

全国乡(镇)土地管理人员岗位教育教材(之一)



# 土地测绘技术

TU DI  
CE HUI JI SHU

■ 国家土地管理局 编  
■ 天津人民出版社

## 土 地 测 绘 技 术

天津人民出版社出版、发行  
(天津市赤峰道130号)  
河北省遵化县印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 16.25印张 375千字

1990年10月第1版 1991年8月第3次印刷

印数: 25,401—35,500

ISBN 7—201—00624—X/G·252

定 价: 6.45 元

## 内 容 简 介

本书是国家土地管理局科技宣教司为开展全国乡（镇）土地管理人员岗位教育而专门组织编写的一套（两册）教材，书名为《土地测绘技术》和《土地管理基础知识》。

《土地测绘技术》对乡（镇）土地管理人员必须具备的土地测绘基本技能结合实践作了必要的介绍。全书分四篇：第一编为地形测绘技术，第二篇为航摄像片的应用知识，第三篇为绘图技术，第四篇为面积量算技术。

《土地管理基础知识》分为土地管理基础理论和土地管理实践两大部分。包括绪论、土地经济原理、地籍管理、土地利用管理及土地管理法规等内容。

本书被指定为全国乡（镇）土地管理人员岗位教育专用教材，也可作为各级土地管理部门进行其它类专业岗位教育的参考教材，是中等专业学校进行土地管理技能训练较好的参考书。

# 前 言

乡（镇）土地管理工作面广量大，政策性、综合性都比较强，技术要求高。对工作在土地管理第一线的乡（镇）土地管理人员按照岗位规范要求培训，以提高他们的政治素养和业务素质，是保证土地管理事业发展的需要，是实现依法、统一、全面、科学管理土地的关键。1988年全国乡（镇）土地管理人员岗位教育试点经验指出，合适的教材是提高岗位教育质量的重要条件。因此，根据1990年开始在全国开展对乡（镇）土地管理人员进行岗位教育的实际需要，委请江苏省扬州农业学校组织编写了这套教材。

《土地测绘技术》由高级工程师吴忠江主编。其中：第一、第三篇由吴忠江编写，第二篇由陈炳荣编写，第四篇由王吉林编写。

《土地管理基础知识》由讲师王宏喜主编。其中：绪论和第一、第四篇由王宏喜编写；第二篇的五至七章和十至十二章由王吉林编写，第八、第九章由胡存智编写；第三篇的十三、十五、十七章由潘其泉编写，第十四、十六章由黄华明编写。

本教材由高级讲师胡季荣主持组织编写，并统一审定。

本教材编写针对乡（镇）土地管理人员的年龄、文化水平、工作特点和岗位规范的要求，注重实用性，强调实践性，突出技能训练，兼顾基础理论；体现科学性、系统性和教学进程，从理论和实践的结合上阐明土地管理的基本原理、原则、方法和技术。文字通俗，图文并茂，便于自学。但由于水平限制，加上分工编写，内容结构和表达形式等方面难免有不统一或错误之处，敬请读者批评指正，以期在使用过程中改正。

组织编写过程中，得到江苏省扬州农业学校领导的大力支持。中国人民大学土地管理系和我局地籍管理司、土地利用规划司、政策法规司、监察司，建设用地管理司，以及中国土地勘测规划院等单位有关同志对教材的编写大纲和教材初稿提出了宝贵的审改意见，对此表示感谢！

国家土地管理局科技宣教司

一九九〇年五月

# 目 录

## 第一篇 地形测绘

|                    |      |
|--------------------|------|
| 第一章 概 述            | (1)  |
| 第一节 测绘工作在土地管理中的作用  | (1)  |
| 第二节 地面上点位的确定       | (2)  |
| 第三节 平面图、地形图、图比例尺   | (4)  |
| 第四节 测绘工作的原则和程序     | (8)  |
| 第五节 测量误差的知识        | (8)  |
| 第二章 距离测量与直线定向      | (13) |
| 第一节 距离测量           | (13) |
| 第二节 直线定向           | (20) |
| 第三节 距离、方向与地面点坐标的关系 | (23) |
| 第三章 水准仪及普通水准测量     | (26) |
| 第一节 水准测量的原理        | (26) |
| 第二节 水准测量的仪器及工具     | (27) |
| 第三节 水准仪的使用         | (29) |
| 第四节 水准测量的外业        | (30) |
| 第五节 水准测量的内业        | (33) |
| 第六节 微倾式水准仪的检验与校正   | (35) |
| 第七节 水准测量注意事项       | (37) |
| 第四章 经纬仪及其使用        | (38) |
| 第一节 经纬仪的构造和读数方法    | (38) |
| 第二节 经纬仪的使用         | (41) |
| 第三节 水平角观测          | (42) |
| 第四节 竖直角测量          | (46) |
| 第五节 视距测量           | (48) |
| 第六节 经纬仪的检验和校正      | (51) |
| 第五章 平面控制测量         | (53) |

|     |                     |       |
|-----|---------------------|-------|
| 第一节 | 平面控制测量概述            | (53)  |
| 第二节 | 导线测量                | (54)  |
| 第三节 | 经纬仪交会定点             | (64)  |
| 第四节 | 小三角测量               | (69)  |
| 第五节 | 控制点展绘               | (73)  |
| 第六章 | 测绘地形图               | (77)  |
| 第一节 | 小平板仪配合经纬仪(或水准仪)联合测图 | (77)  |
| 第二节 | 经纬仪测绘法              | (79)  |
| 第三节 | 大平板仪测图法             | (81)  |
| 第四节 | 碎部点立尺要领与点的选择        | (83)  |
| 第五节 | 地物、地貌的表示和测绘方法       | (85)  |
| 第六节 | 地形图的拼接、整饰和检查        | (89)  |
| 第七章 | 地形图的应用              | (91)  |
| 第一节 | 地形图的分幅与编号           | (91)  |
| 第二节 | 地形图的识读              | (94)  |
| 第三节 | 地形图的一般应用            | (95)  |
| 第八章 | 地籍测量                | (97)  |
| 第一节 | 地籍测量的目的、任务和作用       | (97)  |
| 第二节 | 地籍测量一般规定            | (97)  |
| 第三节 | 地籍图测绘               | (101) |
| 第四节 | 地籍图的识读              | (106) |
| 附:  | 地籍图式与地籍图示例          | (116) |
| 第五节 | 地籍图的修测与更新           | (118) |

## 第二篇 航摄像片的应用

|      |              |       |
|------|--------------|-------|
| 第九章  | 航测概述         | (123) |
| 第一节  | 航测的任务、特点及应用  | (123) |
| 第二节  | 航空摄影测量的简要过程  | (124) |
| 第三节  | 航空摄影的基本要求    | (125) |
| 第四节  | 航片标志         | (126) |
| 第十章  | 航摄像片的一般特性    | (128) |
| 第一节  | 航摄像片与地形图的区别  | (128) |
| 第二节  | 航摄像片上的主要点和线  | (130) |
| 第三节  | 航摄像片的方位元素    | (133) |
| 第四节  | 航摄像片比例尺      | (134) |
| 第五节  | 航摄像片的像点位移    | (137) |
| 第六节  | 航摄像片的方向偏差    | (139) |
| 第十一章 | 航摄像对的立体观察与量测 | (142) |

|      |            |       |
|------|------------|-------|
| 第一节  | 立体观察       | (142) |
| 第二节  | 像对的立体量测    | (145) |
| 第十二章 | 航摄像片判读与调绘  | (150) |
| 第一节  | 像片判读       | (150) |
| 第二节  | 像片调绘       | (153) |
| 第十三章 | 像片平面图及影像地图 | (155) |
| 第一节  | 像片平面图的编制   | (155) |
| 第二节  | 影像地图简介     | (158) |
| 第十四章 | 航摄像片转绘     | (160) |
| 第一节  | 概述         | (160) |
| 第二节  | 几种转绘方法     | (161) |

### 第三篇 绘图技术

|      |             |       |
|------|-------------|-------|
| 第十五章 | 绘图材料和工具     | (171) |
| 第一节  | 绘图纸基        | (171) |
| 第二节  | 常用的绘图工具     | (171) |
| 第十六章 | 绘图基本技术      | (174) |
| 第一节  | 绘图小钢笔及其练习   | (174) |
| 第二节  | 直线笔及其使用     | (176) |
| 第三节  | 曲线笔及其绘图练习   | (166) |
| 第四节  | 旋转小圆规及其使用   | (177) |
| 第十七章 | 绘图仪器的检查与修磨  | (178) |
| 第一节  | 绘图小钢笔的检查与修磨 | (178) |
| 第二节  | 直线笔的检查与修磨   | (179) |
| 第三节  | 曲线笔的检查与修磨   | (179) |
| 第四节  | 旋转点圆规的检查与修磨 | (180) |
| 第十八章 | 制图字体        | (182) |
| 第一节  | 制图字体的作用和分类  | (182) |
| 第二节  | 汉字结构        | (182) |
| 第三节  | 等线体         | (186) |
| 第四节  | 宋 体         | (187) |
| 第五节  | 仿宋体         | (189) |
| 第六节  | 隶 体         | (190) |
| 第七节  | 阿拉伯数字       | (192) |
| 第八节  | 制图字体的一般书写方法 | (194) |
| 第十九章 | 地形图符号       | (197) |
| 第一节  | 地形图符号的构图与分类 | (197) |
| 第二节  | 地形图图式       | (199) |

|      |             |       |       |
|------|-------------|-------|-------|
| 第三节  | 地形图注记       | ..... | (202) |
| 第二十章 | 地形图和地籍图的清绘  | ..... | (207) |
| 第一节  | 清绘要求及原图清绘方法 | ..... | (207) |
| 第二节  | 地图复制的一般方法   | ..... | (210) |

## 第四篇 土地面积量算技术

|       |                    |       |       |
|-------|--------------------|-------|-------|
| 第二十一章 | 面积量算方法             | ..... | (214) |
| 第一节   | 根据实地测量结果计算面积的方法    | ..... | (214) |
| 第二节   | 在图上量算面积的方法         | ..... | (218) |
| 第二十二章 | 土地面积量算工作的基本原则和实施程序 | ..... | (229) |
| 第一节   | 土地面积量算工作的基本原则      | ..... | (229) |
| 第二节   | 土地面积量算的实施程序        | ..... | (234) |

附录:

|    |             |       |       |
|----|-------------|-------|-------|
| 一、 | 测量常用的计量单位   | ..... | (245) |
| 二、 | 普通测量常用的数学公式 | ..... | (246) |

# 第一篇 地形测绘

## 第一章 概 述

### 第一节 测绘工作在土地管理中的作用

#### 一、测绘工作概述

测绘工作就是使用测量仪器和工具，通过测量和计算，得到一系列测量数据；或把地球表面的地形（地物、地貌），按一定比例测绘成地形图的过程。

测绘是一门科学，按照研究范围和使用要求，形成了诸如：大地测量学、地形测量学、工程测量学、航空摄影测量学，以及用测量所得的成果资料进行编绘和印制各种地图的制图学等学科。

测绘科学应用很广。在国防建设和进行各项工程建设及对土地的开发利用等方面，都需要应用测量数据和地形图。在科学研究方面，如空间技术的研究，地壳的变形，海洋的变迁，以及地震预报的研究等，也都要应用测绘资料。在现代土地管理工作中，为对土地资源及其利用情况进行全面的科学普查及为地籍管理提供科学图件，必须进行测绘工作和应用测绘资料。

#### 二、土地管理中的测绘工作

（一）土地管理工作，主要包括土地利用管理和地籍管理，而这两方面的管理工作，都是以测绘资料为基础的，如应用的地形图、象片平面图或影象地图等。测绘上述图件的方法，在现阶段一般采用平板仪测量法、航空摄影测量法和编绘法，以及应用现代遥感技术，如彩红外遥感图象和大象幅多光谱航空象片，绘制成现代化的测绘图件。对于方法的选用，应根据地形条件，测区面积大小，土地利用和进行土地调查的要求及具备的技术和物质条件而定。不论采用何种方法测绘和编绘的图件，都必须有较好的现势性和要求达到的应有精度。

（二）地形测绘技术是进行土地测绘的专业基础。作为一个乡（镇）土管技术人员，应了解测绘工作在土地管理中的作用，懂得测量学的基本知识，学会地形测绘的基本方法，具有阅读、应用地形图及对地形图进行修测、补测的能力和技术，以及绘制地形图和地籍图的技能。

## 第二节 地面上点位的确定

### 一、确定地面点的三个基本要素

测量工作的根本任务就是确定地面点的位置,如图1-1所示,地面点A、B、C在投影面上的位置是a、b、c。地面点的位置是用高程和坐标的数值来表达的,但在实际工作中,并不能直接测出它们的高程和坐标。为了确定地面点A、B、C的位置需要进行下列测量工作。

- (一) 丈量出AB、BC的各边的水平距离  $D_{ab}$ 、 $D_{bc}$ ;
- (二) 测出AB边的方位角 $\alpha$ 及AB、BC两边所夹的水平角 $\beta$ ;
- (三) 测出A、B、C各点间的高差 $h_{ab}$ 、 $h_{bc}$ 。若已知A点的高程,则B、C点的高程即可求得。若已知A点的坐标,即可推算出B、C点的坐标。由此可见,地面点间的位置关系是以距离、水平角(方向)和高程来确定的。所以,高程测量、水平角测量、距离测量是测量学的基本内容。高程、水平角和距离是确定地面点位置的基本要素。

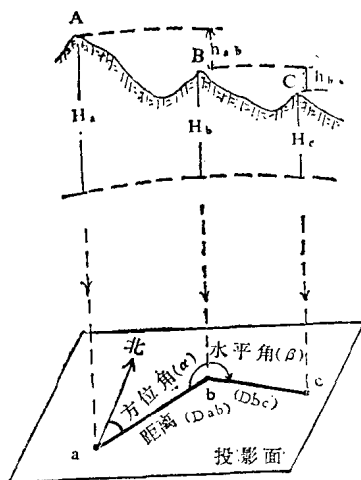


图1-1

### 二、地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程,简称高程。地面点到假定水准面的铅垂距离,称为假定高程或相对高程。图1-2中的 $H_A$ 、 $H_B$ 即为A、B点的绝对高程; $H'_A$ 、 $H'_B$ 为A、B点的相对高程。地面上两点之间的高程差称为高差。

1950~1956年,我国在青岛设立验潮站,进行长期的观测,取海水面的平均高度作为大地水准面的位置(其高程为零),以此作为我国计算高程的基准面,并在青岛建立了水准原点,其高程为72.289米,全国各地的高程都是以它为基准测算出来的,称为1956年黄海高程系。

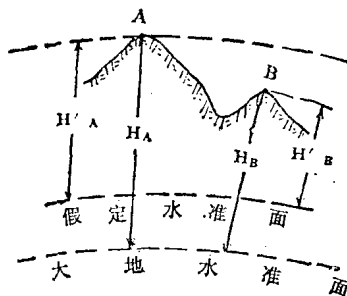


图1-2

为提高高程精度,近年来又以青岛验潮站1952~1979年的潮汐观测资料所计算的平均海水面为我国高程基准面,并命名为“1985国家高程基准”。在青岛建立了中华人民共和国水准原点,其高程为72.2604米,代替原来采用的1956年黄海平均海水面及相应的水准原点高程值72.289米。

### 三、地面点在投影面上的坐标

确定地面点位置的坐标系有三种,即地理坐标、高斯平面直角坐标和平面直角坐标。

- (一) 用经度和纬度来表示地面上点的平面位置,称为地理坐标。经度从首子午线起(通过英国格林威治天文台的经线)向东 $180^\circ$ 称东经;向西 $180^\circ$ 称西经。纬度从赤道起向北由 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称北纬;向南由 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称南纬。我国位于东半球和北半球。例如北京的地理坐

标为：东经 $116^{\circ}28'$ ，北纬 $39^{\circ}54'$ 。地理坐标只能用来确定地面点在旋转椭圆体面上的位置，但测量上的计算和绘图，要求在平面上进行，为实用起见必须建立一个平面坐标系。

(二) 高斯平面直角坐标。为了使全国有一个统一的坐标系，我国采用高斯投影法，即将地球划分成60个投影带，然后将每个带投影到平面上，如图1—3 (b)，就是将一个带投影在高斯投影平面上。

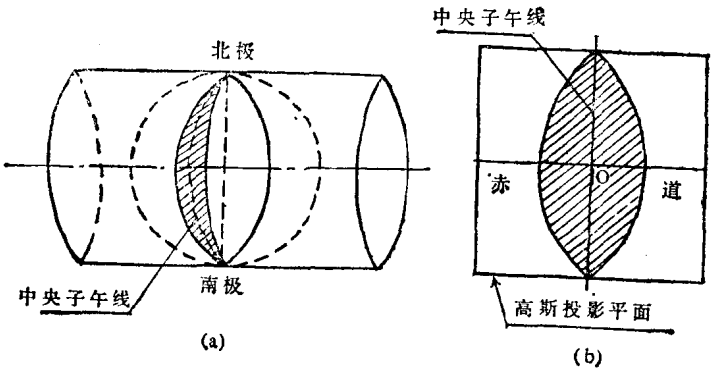


图1—3

投影带从首子午线起，每隔经度差 $6^{\circ}$ 划一带，称为 $6^{\circ}$ 带。自西向东将整个地球划分成60个带，即 $0^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 为第一带， $6^{\circ} \sim 12^{\circ}$ 为第二带……。 $3^{\circ}$ 线为第一带的中央子午线， $9^{\circ}$ 线为第二带的中央子午线……。如图1—4所示。

高斯投影的特点是，在投影带中离中央子午线愈远变形愈大，也就是误差较大，故进行1:1万比例尺测图时，采用 $3^{\circ}$ 带投影法。它是从东经 $1^{\circ}30'$ 起，每经差 $3^{\circ}$ 划分一带，将整个地球划分为120个投影带，如图1—5所示。

$3^{\circ}$ 带的中央子午线经度 =  $3 \times$  三度带带号。当进行大比例尺测图时，为满足

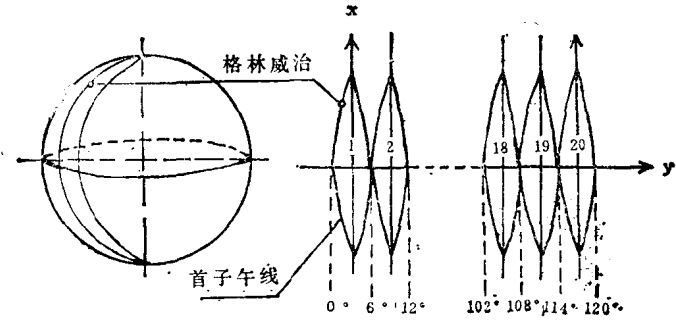


图1—4

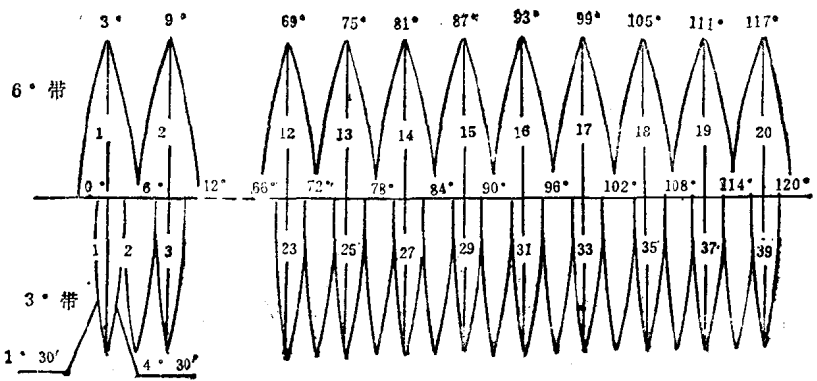


图1—5

精度还将要求 $1.5^\circ$  投影或任意带投影。

高斯投影平面直角坐标的表示方法，如图 1～6 所示。我国位于北半球，纵坐标从赤道起算，其坐标值 $X$ 均为正号，横坐标 $Y$ 则有正和负，如图 1～6 (a) 中的 $B$ 点， $X$ 为正， $Y$ 为负。测量计算中，为避免坐标出现负值，将每带的坐标原点向西移500公里，这样点的纵、横坐标就均为正值，如图 1～6 (b) 所示。设 $A$ 、 $B$ 点在投影带中的横坐标为： $Y_A = +137682$ 米， $Y_B = -274243$ 米，则西移500公里后的坐标为： $Y_A = 500000 + 137682 = 637682$ 米， $Y_B = 500000 - 274243 = 225757$ 米。同时为了指示投影是在哪一个 $6^\circ$ 带内，还规定在横坐标值前面加上带号，如 $A$ 点位于第20带内，则其横坐标 $Y_A$ 应写成20637682米。高斯平面直角坐标一般用于大面积的测区。

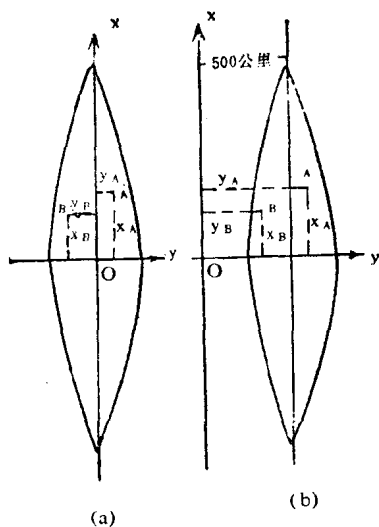


图 1—6

### (三) 平面直角坐标系

在10～20公里为半径的范围内测绘地形图，可不考虑地球曲率而将其当作平面看待，因为仅产生1～7厘米的长度误差，相对误差为1/百万～1/30万，故可忽略不计。

在此平面上建立测量坐标系，称平面直角坐标系，如图 1～7。其坐标符号、指向正负号和象限排列与高斯平面直角坐标相同。

在实地应用中，为避免测区的坐标出现负值，坐标原点应安置在测区的西南角，使测区全部落在第 I 象限内。

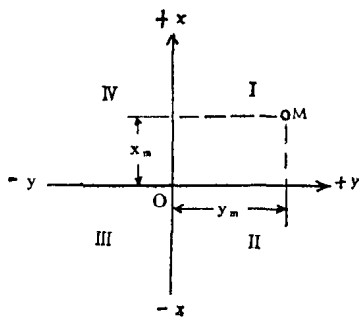


图 1—7

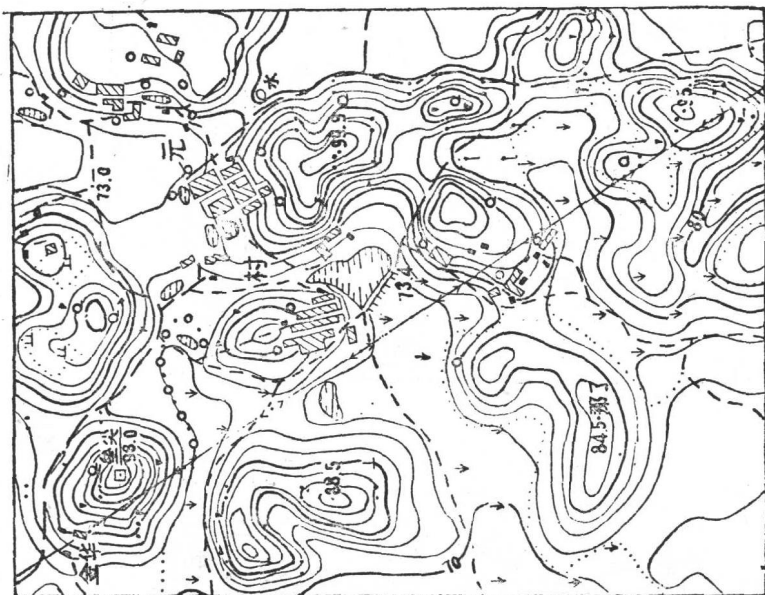
## 第三节 平面图、地形图、图比例尺

### 一、平面图

在图上仅表示地面上物体（简称地物）平面位置的称为平面图。如测绘的地籍图（见第八章），因地籍图一般只测定地物的平面位置，无需反映地形的高低，只有在特殊情况下，采用高程点注记和地理名称相配合的形式，来表示某些突出的地物，所以说地籍图系属平面图的一种。

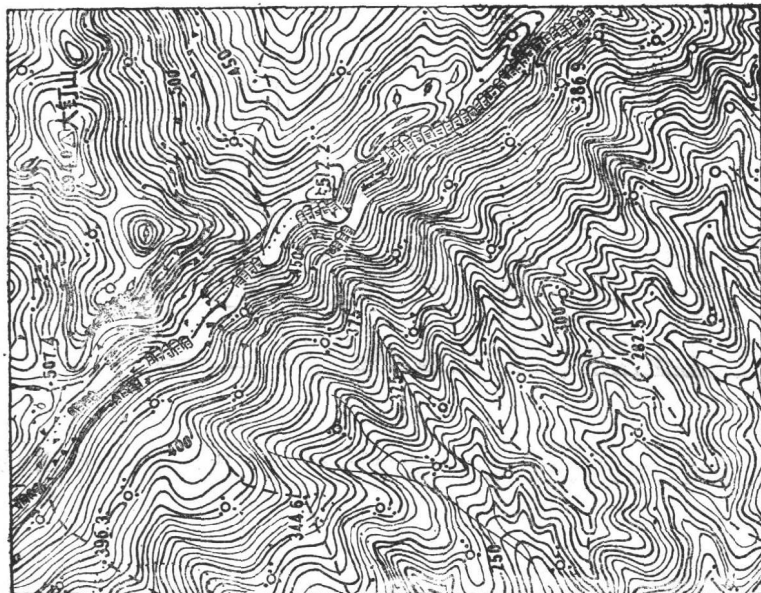
## 二、地形图

在图上除表示地物的平面位置外，还用特定符号表示出地面上的高低起伏形态（简称地貌）情况的称为地形图。在测绘工作中通常用等高线来表示地貌，如图 1~8。在地形图上可直接量算和确定出各地面点之间的距离、高差和线段的方向，为能认识整个实地地形情况提供可靠的资料，所以说地形图是进行土地调查的基础图件。



丘陵地形

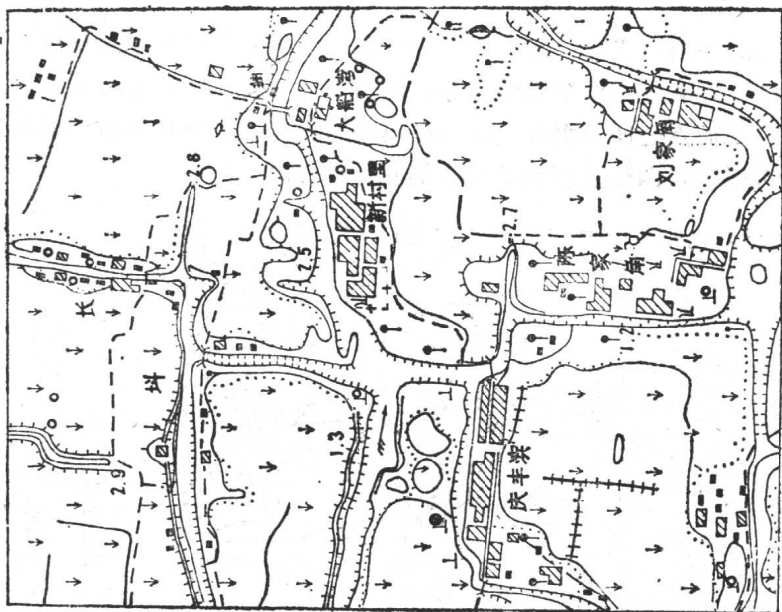
(b)



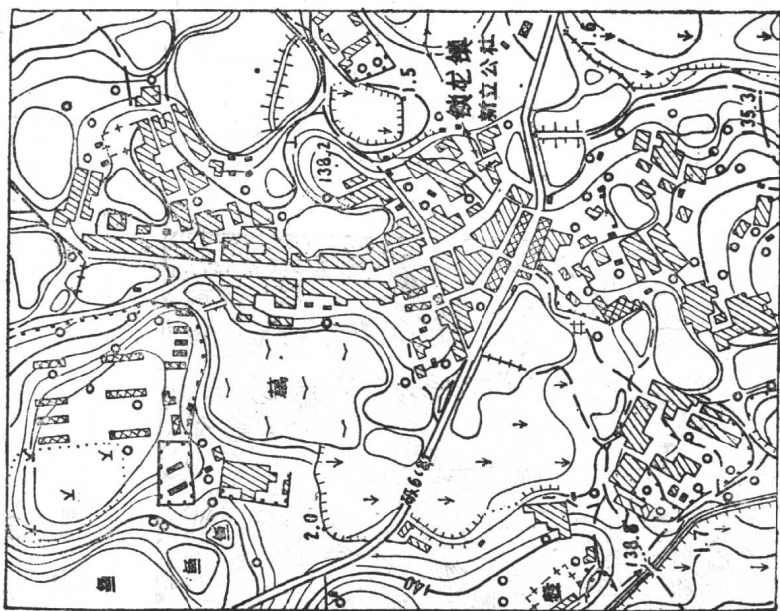
山地地形

(a)

图 1-8



农村地形 (d)



集镇地形 (c)

图 1-8

### 三、图比例尺

地形图上任一线段的长度与它所代表的地面上实际水平长度之比，称为地形图的比例尺。

#### (一) 数字比例尺

1. 数字比例尺用分子为一的分数式表示，如  $\frac{1}{1000}$ 、 $\frac{1}{5000}$  等，也可写成 1 : 1000、1 :

5000形式。

2. 比例尺的大小是以比例尺的比值来衡量的。比例尺分母愈小, 比值愈大, 则比例尺愈大; 反之, 分母愈大, 比值愈小, 则比例尺愈小。如 $\frac{1}{1000}$ 的比值大于 $\frac{1}{5000}$ , 所以 $\frac{1}{1000}$ 比例尺大于 $\frac{1}{5000}$ 。

3. 比例尺换算为: 实地长度 = 图上相应长度  $\times$  比例尺分母。图上长度 =  $\frac{\text{实地相应长度}}{\text{比例尺分母}}$ 。

计算时要将图上长度和实地长度化算到同一单位。

### (二) 图示比例尺

根据数字比例尺可绘制成图示比例尺, 如图1~9。图示比例尺上所注记的数字代表以米为单位的实地水平距离, 能直接而方便地进行图上与实地相应水平距离之间的化算。

### (三) 比例尺的精度

地形图上0.1毫米所代表的实地长度, 称为比例尺的精度。比例尺的精度能反映各种比例尺地形图表示地面物体大小的程度, 如表列数字。

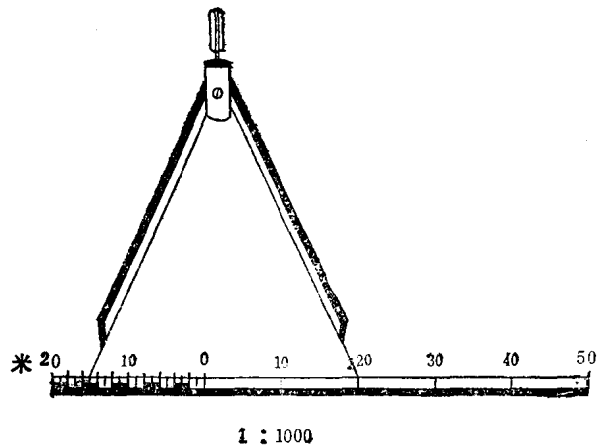


图1-9

表 1-1

| 比例尺                      | 1 : 500 | 1 : 1000 | 1 : 2000 | 1 : 5000 | 1 : 10000 |
|--------------------------|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 比例尺精度表示<br>地面物体尺寸<br>(米) | 0.05    | 0.10     | 0.20     | 0.5      | 1.0       |

从上表可知, 比例尺大能表示地面上的小物体; 比例尺小则反之。在实际应用中根据需要选定不同的比例尺就是这个道理。

(四) 比例尺的选择, 除考虑比例尺精度外, 还应考虑该地区的经济发达程度、土地的经济价值、建筑物的分布、图面负载、所需土地调查资料的紧迫程度以及所能承担的人力、物力和财力等因素。根据我国的情况, 在进行土地测绘工作中, 城镇地区一般选用 1 : 500、1 : 1000; 农村居民点一般选用 1 : 1000、1 : 2000; 广阔的农村地区一般选用 1 : 5000、1 : 10000。

## 第四节 测绘工作的原则和程序

在进行一个地区的测绘工作中，必须遵循科学的原则和程序，否则就要造成浪费和不能保证测绘成果的质量。

在遵循原则方面：（一）首先应根据需要选定适宜的成图比例尺，因为，测绘比例尺的大小将影响经济效益或造成浪费。（二）要严格执行现行专业规范，如国家土地管理局一九八九年三月制定的《城镇地籍调查规程》和国家测绘局颁发的《地籍测量规范》及其所要用的规范细则等。因为，《规范》是测绘科研和实践的总结。（三）在测绘技术的实施方面，必须是“从整体到局部”、“先控制后碎部”的方法来组织测量工作，这样，才能保证测绘成果的精度，加快测量速度。

测绘工作程序，决定于成图方法。在进行土地测绘中，一般采用平板仪测量、航空摄影测量及用原有地形图进行修测、补测后编绘成图，各种方法成图都有其一定的程序。但不论用何种方法成图，总是要先外业后内业，而且外业工作占主导地位，因为，只有在外业测量数据准确、调查资料可靠齐全的基础上，再进行内业整理制图，才能为土地管理工作提供科学图件。

## 第五节 测量误差的知识

### 一、测量误差及其分类

（一）什么是测量误差？即对某一未知量，如某一个角度、某一段距离或某两点间的高差等，进行多次重复观测，所得各次结果往往存在差异，这种差异就是各次测量所得的数值（简称观测值）与未知量的真实值（简称真值）之间存在的差值，这种差值称测量误差，即

$$\text{测量误差} = \text{观测值} - \text{真值}$$

### （二）测量误差产生的原因

测量误差的产生，主要是由于观测仪器的构造不可能十分完善；观测者视觉鉴别能力和技术水平的限制；测量作业是在不断变化着的外界条件（如风力、温度、亮度等）下进行的。因为任何测量工作都离不开上述三个客观条件，从这一意义上来说，测量中产生误差是不可避免的。然而，在测量中要求测量工作者既看到客观条件所起的作用，又能积极主动采取各种有效措施，以能避免和克服测量中不利因素影响，力求使观测的结果达到较高的质量。上述三方面因素，通常称为观测条件。观测条件相同的各次观测，称为等精度观测，观测条件不同的各次观测，称为不等精度观测。

在测量结果中，有时还会出现错误。如读错、记错、测错等，统称为粗差。粗差在测量结果中是不允许存在的。为了防止和及时发现粗差，测量时必须遵守规范，加强作业人员的责任心，提高操作技能，还应采取必要的检核措施。至于如何从观测结果中找出粗差，测量中规定超过作业技术要求的容许误差，即认为是粗差。

### (三) 测量误差的分类及特性

测量误差按其性质可分为:

1. 系统误差 在相同的观测条件下, 对某量进行一系列的观测, 若误差出现的符号(正号或负号)和数值大小均相同, 或按一定的规律变化的误差, 称为系统误差。例如用名义长度为30米, 而实际长度为30.004米(根据标准长检验而得)的钢尺量距, 每量一尺段就有-0.004米的系统误差, 它是一个常数。又如水准仪虽经检校, 视准轴和水准管轴之间仍存在残差*i*角, 观测时在水准标尺上的读数便会产生 $D \cdot \frac{i''}{\rho''}$ 的误差, 该误差随距离*D*而变化。

系统误差具有积累性, 对测量结果影响甚大, 但其符号和大小有一定的规律, 故系统误差可以用计算改正的方法加以消除, 如尺长改正; 也可按一定的操作方法加以消除, 例如在水准测量中, 用前后视距相等的方法, 消除残差*i*角对测量高差的影响; 用经纬仪盘左盘右两个位置测角, 取其平均值, 可消除视准轴不垂直于横轴的角度误差。但有的系统误差, 如经纬仪照准部水准管轴不垂直于竖轴的误差对测量水平角的影响, 只能用精确校正管水准气泡, 并在操作中仔细整平的方法减弱。

2. 偶然误差 在相同的观测条件下, 对某量进行一系列的观测, 如误差出现的符号和大小均不一致, 且从表面上看没有任何规律性, 该误差称为偶然误差。例如, 在量距时或进行水准测量时, 在尺上估读小数, 有时偏大, 有时偏小的误差; 在测角时用望远镜照准目标的照准误差等, 都属于偶然误差。

从表面上看, 少量的偶然误差的出现没有规律性, 但当在相同条件下, 如果对某量进行多次重复观测, 在只含有偶然误差的情况下, 偶然误差列却呈现出统计学上的规律性, 且观测次数愈多, 这种规律愈明显。人们通过反复实践和认识, 总结出偶然误差列具有如下的特性:

- (1) 在一定观测条件下, 偶然误差的绝对值不会超过一定的限度;
- (2) 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的机会要多;
- (3) 绝对值相等的正误差与负误差出现的机会相等;
- (4) 同一量的等精度观测, 其偶然误差的算术平均值随着观测次数的增加而趋近于零, 即

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0 \quad (1-1)$$

式中: *n*为观测次数;  $[\ ]$ 表示总和,  $[\Delta] = \Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n$ ;  $\Delta$ 为每一观测值与其真值之间存在的差数, 简称误差;  $\lim$ 表示极限的意思;  $n \rightarrow \infty$ 表示*n*无限制地增大, 读作“*n*趋向无穷大”。

整个式子是说, 当*n*无限制地增大时,  $\frac{[\Delta]}{n}$ 的极限是零。

上述第一个特性说明误差出现的范围; 第二个特性说明误差值大小的规律; 第三个特性说明误差符号出现的规律; 第四个特性说明偶然误差具有抵偿性。显然第四个特性可由第三个特性导出。