

高等学校试用教材

测 量 与 地 图

吉林师大 北京师大 编著
南京师院 开封师院

人 民 教 育 出 版 社

1978 年 · 北京

测量与地图

吉林师大 北京师大 编著
南京师院 开封师院

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

1978年5月第1版

1979年3月第2次印刷

书号 12012·03 定价 1.45 元

目 录

第一章 绪论

第一节	本课程的对象与任务	1
第二节	地球的形状和大小	2
第三节	地面上点位的确定	3
第四节	水平面代替水准面的限度	4
第五节	地图的基本特性	6
第六节	测制地图的方法	8
第七节	地图的分类	9
第八节	误差和精度	10

第二章 直线丈量 and 定向

第一节	直线丈量	14
第二节	直线定向	18
第三节	罗盘仪及其应用	20

第三章 水准测量

第一节	水准测量原理	22
第二节	地球曲率和大气折光的影响	24
第三节	水准仪和水准测量工具	25
第四节	普通水准测量作业	30
第五节	微倾式水准仪的检验与校正	35

第四章 经纬仪及其使用

第一节	水平角与竖直角观测原理	39
第二节	游标经纬仪的构造和读数方法	40
第三节	光学经纬仪的读数方法	44
第四节	经纬仪的安置和测角	47
第五节	经纬仪的检验与校正	54
第六节	视距测量及其精度要求	56

第五章 小区域控制测量

第一节	经纬仪闭合导线	64
第二节	小三角测量	69

第三节	小区域高程控制网的建立	77
-----	-------------	----

第六章 平板仪地形测量

第一节	平板仪测量原理	80
第二节	大平板仪的构造和性能	80
第三节	平板仪的安置	83
第四节	平板仪导线测量	84
第五节	平板仪交会测量	85
第六节	平板仪图解三角网测量	87
第七节	大平板仪碎部测量	89
第八节	小平板仪与经纬仪联合测图	98
第九节	图幅的拼接和整饰	99

第七章 地形图的应用

第一节	国家基本比例尺地形图的内容和用途	101
第二节	地形图的数学基础	101
第三节	地形图的图式符号	106
第四节	地形图的野外应用	108
第五节	地形图的室内作业	111
第六节	一种新型的地形图	119

第八章 航空象片和卫星象片的应用

第一节	遥感简介	121
第二节	航空象片的基本知识	124
第三节	卫星象片的基本知识	141

第九章 地图投影

第一节	地图投影变形	148
第二节	地图投影分类	154
第三节	方位投影	156
第四节	圆锥投影和多圆锥投影	162
第五节	圆柱投影	167
第六节	伪圆锥投影和伪圆柱投影	170
第七节	地图投影的辨认和选择	173

第十章 普通地理图

第一节	普通地理图的制图综合	177
第二节	水文要素	180
第三节	地形要素	185
第四节	居民点要素	188
第五节	其他要素	190
第六节	普通地理图的阅读	191

第十一章 专题地图

第一节	专题地图的特点和地理基础	193
第二节	专题地图的分类	194
第三节	专题内容的表示方法	195
第四节	专题地图的图型	203

第十二章 教学地图

第一节	地球仪、地形模型和填充图	207
第二节	地图集	209
第三节	教学挂图	211

第十三章 地图编制

第一节	编制地图的一般过程	217
第二节	地图制图自动化	219
第三节	地图制印新技术简介	223

附录

I	地球上 1° 的经纬线弧长	225
II	经纬差 1° 的经纬线间的梯形面积	226
III	几种常用绘图工具的使用方法	226
IV	色彩与着色	229
V	地形图(见彩色插页)	
VI	典型地貌样图(见彩色插页)	
VII	地形图素图(见插页)	
VIII	航空象片(见插页)	
IX	卫星象片(见插页)	
X	制图字体	233
XI	写字格	235

编者的话

第一章 绪 论

第一节 本课程的对象与任务

测量学是研究和测定整个地球或其部分区域的形状和大小的科学。根据研究对象和任务的不同,测量学分为大地测量学、地形测量学、工程测量学和摄影测量学(其中又分为航空摄影测量和地面摄影测量)。

大地测量学,专门研究地球整体的形状、大小和解决在广大区域内建立大地控制网的问题。地形测量学(包括摄影测量学),则是在大地控制网的基础上,根据需要,研究在小区域范围内测绘各种比例尺地形图的问题;工程测量学是为城市建设、各种工矿企业、交通运输及农田水利等工程建设服务的测量学。

地图学是研究地图的实质、制作和使用的科学。现代地图学有以下几个分支:有研究地图的发展、地图的特性和地图使用方法的地图概论;有研究地图投影理论与方法的数学制图学;有研究内业编制地图的方法和过程的地图编制学;有研究地图的绘画及美观方面的地图整饰;有研究复制地图的方法和过程的地图制印;还有研究应用电子计算机技术的地图制图自动化等等。

测量学与地图学的关系十分密切。大地测量可提供关于地球形状和大小的数据以及控制点的资料,这些资料是地图数学基础所不可缺少的,而地形测量的成果又是编制一切地图的原始制图资料。

地图学与地理学的关系,可以从这两门科学发展的历史中明显的看出来。地理学家总是利用地图来研究和阐明地理要素的分布、各要素之间的联系和发展等的规律,而地图工作者为了能在制图过程中正确地表达制图区域内各种地理要素的特点,也需要具有必要的地理知识,两者是紧密相联的。

本课程根据培养中学地理教师和地理工作者的需要和学科特点,只讲述测量学与地图学中的有关部分。又由于航空象片与卫星象片的出现和发展,已成为地理工作的必要手段。因此,本课程的主要内容由地形测量、象片判读和地图应用三部分组成,而地图贯穿于三者之间,是本课程的重点。对学习本课程的要求,应是初步掌握:小区域地形测量与野外填图、正确阅读和使用地图、编绘专题地图与教学挂图、了解现代科学技术在测量与地图中的应用。

测量学与地图学在祖国的社会主义经济建设和国防建设事业中起着很大的作用,是认识地理环境和改造地理环境的重要工具之一。

在工矿企业建设方面,为了寻找矿藏,要通过测量与地图来布设地质勘探网;而地质普查、详查的结果需要填绘在地形图上,才便于分析研究;要弄清矿床分布、计算矿藏储量,地图是重要根据之一。矿床探明后,又需要利用详细的地图和精密测量进行矿井建设的设计和施工。

在农田水利建设方面,如大面积的荒地调查开发,要经过测量绘成地图,用以全面研究整个

区域的地形、水文、土壤、植被等要素的分布和特征。至于估算汇水面积,标定沟渠的配置,以至江河治理和流域规划,都离不开测量与地图。就是交通选线、城市规划等等也是如此。总之,需要测量与地图的实例,不胜枚举。

在国防建设和战争中,如战略部署、战役指挥、战术攻防、兵力配置、工事建筑、行军宿营、作战训练等方面,都离不开测量与地图。

在科学研究和文化教育方面,如区域环境调查、不同特征区域的划分、历代疆域变迁等等,都需要运用地图作为研究工具和把研究成果绘制成地图。地图又是地理教学中不可缺少的主要直观教具。

在国际外交方面,地图是了解、分析国际形势必备的工具。为了保卫祖国神圣的领土、领海、领空不受侵犯,我们必须绘制代表我们国家立场的地图。

第二节 地球的形状和大小

地球是个半径很大的近似球体。在地球表面上,海洋的面积约占 71%,陆地的面积约占 29%。陆地的表面高低不平,海底也是如此。陆地最高处为中尼两国的界峰——珠穆朗玛峰,高达 8848.13 米,海底的最低处为 11022 米,高低之差不到 20 公里,这个数值比起地球的半径来,是很微小的。因此,可以将假想的静止的平均海水面(称大地水准面)又通过大陆和岛屿而围成的整个地球的形体,作为大地球体。水准面的特性是处处和铅垂线相垂直的。由物理学中知道,铅垂线的方向取决于地球内部质量的吸引力。由于地球体的内部质量分布不均匀,引起铅垂线方向的变化,导致和铅垂线垂直的大地水准面成为一个十分复杂的不易用数学式表达的曲面。但它的整体形状仍然是一个很接近于绕自转轴(短轴)旋转的椭圆体,从而可以用旋转椭圆体代表地球形体,称地球椭圆体,它是测量与制图的基础。

地球椭圆体的大小,通常用两个半径:长半径 a 和短半径 b ,或由一个半径和扁率 α 来决定。上述的 a 、 b 、 α 称为地球椭圆体的元素,三者之间的关系是:

$$\alpha = \frac{a-b}{a}$$

几个世纪以来,许多学者曾分别测算出地球椭圆体大小的数值。我国现在采用的地球椭圆体数值是:

长半径 $a=6378245$ 米

短半径 $b=6356863$ 米

扁率 $\alpha=1/298.3$

随着科学技术的进步,人造地球卫星的发射,近年来对地球椭圆体的计算又有不少新的数据。例如 1975 年第 16 届国际大地测量及地球物理联合会上通过的国际大地测量协会的第一号决议中,建议当前大地参数的典型估算值为:

长半径 $a=6378140$ 米

扁率 $\alpha=1/298.257$

由于地球椭圆体的长短两半径的差值很小, 用于小比例尺地图时, 往往把它当作圆球体看待, 这个圆球体的半径是 6371000 米。

第三节 地面上点位的确定

测量与地图有一个共同的根本性的任务, 就是确定地面上点的空间位置。要确定地面点的位置, 必须用投影方法把每个地面点沿铅垂线方向投影到地球椭圆体或圆球体的表面上。由于地球表面高低不平, 除确定其平面位置外, 还要确定该点到大地水准面的高度, 称为高程。

确定地面点的平面位置的方式, 最基本的有两种: 地理坐标和平面直角坐标。标志地面点的高程位置的方式是绝对高程和相对高程。

一、点的地理坐标

地面点在地球椭圆体面或圆球体表面上的投影位置, 用地理坐标, 即经度和纬度来表示。

图 1-1 显示了地球面上点 M 的地理坐标。图中的 NS 为地球的自转轴, 也叫地轴。中心 c 称球心。地轴与地球表面相交的交点 N 和 S 叫做极, 在北方的 N 叫北极, 在南方的 S 叫南极。垂直于地轴的平面与地球面相交的线, 称为纬线。垂直于地轴并通过球心 c 的平面与地球面相交的线, 称为赤道。包含地轴的通过地球上任一点 M 的平面, 称为 M 点的子午面。该子午面与地球表面的交线, 称子午线(即经线)。国际规定通过英国格林尼治天文台(如图中 G 点)的子午线, 称本初子午线, 作为计算经度的起点。过地面上任一点 M 的子午面和本初子午面所夹的两面角称 M 点的经度, 用 λ 表示。其数值从 0° 到 180° 。在本初子午线以东的, 叫东经, 以西的叫西经。过 M 点的铅垂线和赤道平面的夹角, 称 M 点的纬度, 用 φ 表示。其数值从 0° 到 90° 。在赤道以北的叫北纬, 赤道以南的叫南纬。如果知道了地面上一点的经度与纬度, 该点在地球面上的平面位置也就好确定了。

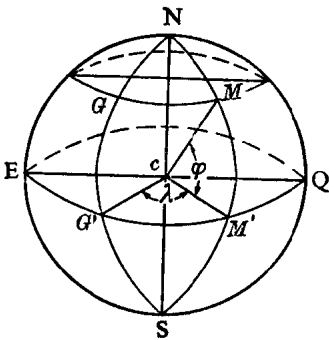


图 1-1 地理坐标

二、点的平面直角坐标

在大地测量和地图编制中经常用地理坐标。但在地形测量中, 则用平面直角坐标来确定地面点的位置。

测量上与地图上所使用的平面直角坐标与数学上的直角坐标不同。测量与地图是将南北方向的坐标轴称 X 轴, 东西方向的坐标轴称 Y 轴, 象限顺序也与数学上的相反。规定所有直线的方向都是从纵轴北端顺时针方向量度的, 这样变换, 既不改变数学公式, 又便于测量与地图上的方向和坐标计算。

如图 1-2 所示, 平面直角坐标是由一平面内的两条互相垂直的直线组成。直线 XX 叫纵坐标轴, 代表南北方向;

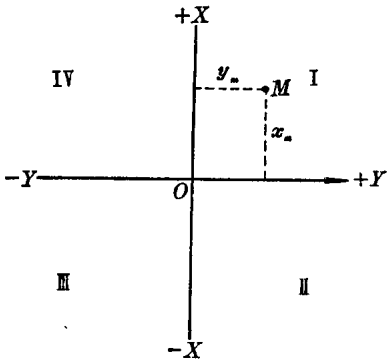


图 1-2 平面直角坐标

直线 YY 称横坐标轴, 代表东西方向。纵横坐标轴的交点 O , 叫坐标原点。坐标轴将平面分为四个部分, 称为象限。顺时针方向排列为 I、II、III、IV 象限。按规定, 坐标值由坐标原点起, 向上、向右为正, 向下、向左为负。

点的平面位置是以点到纵横坐标轴的垂直距离确定的。测量时, 如果测得了 M 点的纵横坐标值, 即图中的 y_m (称点 M 的横坐标) 和 x_m (称点 M 的纵坐标), 地面点 M 的平面位置也就确定了。

三、地面点的高程

表示地面点高程的方法有两种: 一是绝对高程, 它表示地面点至大地水准面的垂直距离, 又称标高或海拔。

如图 1-3 所示, P_0P_0 为大地水准面, 地面点 A 和 B 至大地水准面的垂直距离 H_a 和 H_b , 就是 A 、 B 两点的绝对高程。我国把 1956 年黄海平均海水面作为大地水准面, 即高程的起算面, 依此推算的水准点高程, 称 1956 年黄海高程系。另一种情况是, 为了方便起见, 可以假定任意一个水准面如图 1-3

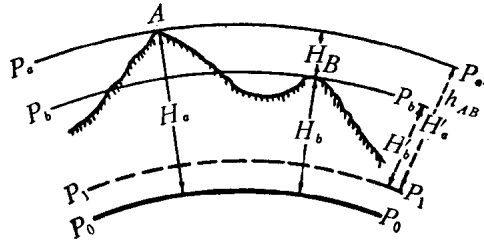


图 1-3 地面点的高程

中的 P_1P_1 作为高程起算面, 这个水准面称假定水准面。地面上任意点到假定水准面 P_1P_1 的垂直距离称该点的假定高程或相对高程, 如图中的 H'_a 和 H'_b 。 A 和 B 两点的高程之差叫高差, 用 h_{AB} 表示。高差有正、负之分。 A 点高于 B 点, 故 A 点对 B 点之高差为正, 反之则为负。

第四节 水平面代替水准面的限度

进行小区域地形测量时, 常把大地水准面用水平面来代替。从理论上讲, 地球椭圆体面或球体面的最微小部分, 也不能认为是平面。但是在测量和制图过程中, 只要当用水平面代替水准面所引起的差异低于实际测绘工作所允许的误差时, 是可以的。

现在来研究水平面代替水准面时, 对距离和高程的影响, 进而限定以水平面代替水准面的范围。

一、对距离的影响

如图 1-4 所示, AB_1 为 P_1AP_1 上的一段圆弧, 设长度为 D , 所对之圆心角为 α 。自 A 点作水准面的切线 AB , 设长度为 t , 如果将切于 A 点的水平面代替水准面, 即以相应的切线段 AB 代替弧线 AB_1 , 则在距离方面将产生误差 Δd 。由图可知:

$$\Delta d = t - D = R \operatorname{tg} \alpha - R\alpha = R(\operatorname{tg} \alpha - \alpha).$$

将 $\operatorname{tg} \alpha$ 展开为级数, 取其首二项得

$$\operatorname{tg} \alpha = \alpha + \frac{1}{3}\alpha^3 + \dots\dots$$

$$\text{或 } \operatorname{tg} \alpha - \alpha = \frac{1}{3}\alpha^3$$

将其代入上式, 得

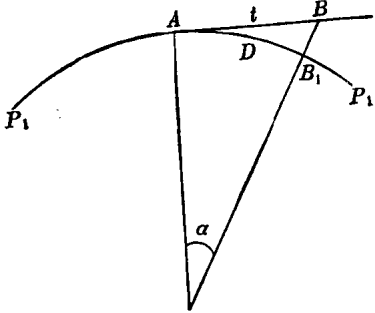


图 1-4 对距离和高程的影响示意图

$$\Delta d = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-1)$$

取 $R=6371$ 公里, 并以不同的 D 代入上式, 则可计算出各种 Δd 值, 如表 1-1 所示:

表 1-1 水平面代替水准面的距离误差与相对误差表

距 离 D (公 里)	距 离 误 差 Δd (厘米)	相 对 误 差 $\Delta d/D$
10	1.0	1:1000000
25	12.8	1:200000
50	102.0	1:49000
100	814.0	1:12000

由表 1-1 可知: 以平面上 AB 的长度 t , 代替水准面上 AB_1 弧长 D , 在 10 公里的距离内, 其相对误差为 1:100 万, 这样小的误差, 就是在地面上进行最精密的距离丈量也是容许的。因此, 在地面上半径为 10 公里的范围内, 即面积约 320 平方公里范围内, 以水平面代替水准面所产生的距离误差无实际意义。实际上, 在做精度较低的测量工作时, 即使半径在 25 公里的范围内, 面积约在 2000 平方公里的范围内, 也可以用水平面代替水准面。

二、对高程的影响

如图 1-4 所示, A 和 B_1 在同一个水准面上, 其高程应相等, 由于 B_1 点投影到平面上为 B 点, B_1 与 B 之间的垂直距离 BB_1 , 就是水平面代替水准面所产生的高程误差。而对水平面来说, BB_1 就是地球曲率对高程的影响。以 K 表示 BB_1 , K 值可由下式算出。

由图可得

$$(R+K)^2 = R^2 + t^2$$

即

$$R^2 + 2RK + K^2 = R^2 + t^2$$

$$K(2R+K) = t^2$$

以 D 代替 t 得

$$K = \frac{D^2}{2R+K}$$

在分母 $2R+K$ 中, 由于 K 与 $2R$ 相比较, K 值极为微小可以略去, 故

$$K = \frac{D^2}{2R} \quad (1-2)$$

在(1-2)式中, 取 $R=6371$ 公里, 以不同的距离 D 代入之, 则得相应的各种不同的高程误差值, 如表 1-2 所示:

表 1-2 水平面代替水准面的高程误差

D (公里)	0.1	0.5	1	2	3	4	5	10	100
K (厘米)	0.78	2	8	31	71	125	196	780	78500

由式(1-2)和表 1-2 可知, 以水平面代替水准面所产生的高程误差, 是随着距离的平方而增长的。例如, 按规范规定, 普通(等外)水准测量, 在 1 公里内高程的误差不得超过 ± 3.5 厘米或

±5.0 厘米,而上表所列,距离 1 公里的 K 值竟达 8 厘米。因此,进行高程测量时,即使在较短的距离内也必须考虑地球曲率的影响。

如前所述,当测区面积不大于半径 10 公里(甚至 25 公里)的面积时,可以水平面代替水准面,也就是说可将水准面视为水平面。在这样条件下,将测区内地面上的地面景物,沿铅垂线方向投影到平面上,并按规定的符号和比例尺缩小而构成的相似图形,称为平面图。如果将水准面视为曲面所构成的图形,则称为地图。平面图也是地图的一种,应该说是它的特例。

第五节 地图的基本特性

地图对每个具有一定文化知识的人并不陌生。但是要把复杂的地面景物用地图的方式,清楚地表达出它的实质和内容,则不是一件容易的事。

毛主席教导我们:“任何运动形式,其内部都包含着本身特殊的矛盾。这种特殊的矛盾,就构成一事物区别于他事物的特殊的本质。这就是世界上诸种事物所以有千差万别的内在的原因,或者叫做根据。”^① 那末构成地图这个事物区别于其他事物的特殊的本质是什么?这就是,构成地图的数学法则、运用地图符号表达空间诸要素的特殊方法和对它们的制图综合。

一、构成地图的数学法则

地图是平面的,而地球椭圆体表面是个曲面。从几何学上得知曲面是不可展面,即不可能展成没有裂缝和褶皱的平面。这就产生了平面和曲面间的矛盾。解决这一矛盾的办法,需要运用数学法则,先将地球椭圆体上的经纬网投影到平面上,以此作为平面上的坐标系。把地面景物按相应的坐标位置转绘上去,构成地图。这种按数学法则将地球椭圆体的经纬网转绘到平面上的方法,叫地图投影。编制地图,只有运用地图投影法,才能使地球表面上各点和地图平面上的各点保持严密的对应关系,从而地图上所反映出的空间各要素有可能表达出它们之间的方向、距离和面积等关系。

二、运用地图符号与注记

一张经过加工而标注有经纬度的卫星象片,也具有一定的数学基础,然而并不能叫地图。

从图 1-5 和图 1-6 的比较中不难看出,地图与卫星象片的区别表现在:地图是运用符号表示地面景物的。而在卫星象片上只是影象。乍看起来也会觉得地图上用符号表示地面景物,不如象片那样真实,而且象片上的许多地面特征在地图上都消失了,似乎地图有些逊色。从而会产生一个疑问,运用地图符号代替影象,究竟有什么必要?

1. 运用符号可以有选择地表示地理环境中的主要景物。因而在大大缩小后的地图上所反映的地面情况,仍能一目了然,而且重点突出。对于那些由于缩小而不能按比例尺表示的重要地面景物,能用超出比例的符号表示出来,这些都是象片所办不到的。

2. 在地图上除了可以用符号反映地面景物的外貌外,还能表示这些景物的本质特征,例如水的流速和居民点的人数等,在象片上却需根据其他现象作推测。

^① 毛泽东:《矛盾论》,见《毛泽东选集》第一卷,人民出版社,1952,第 297 页。



图 1-5 卫星象片

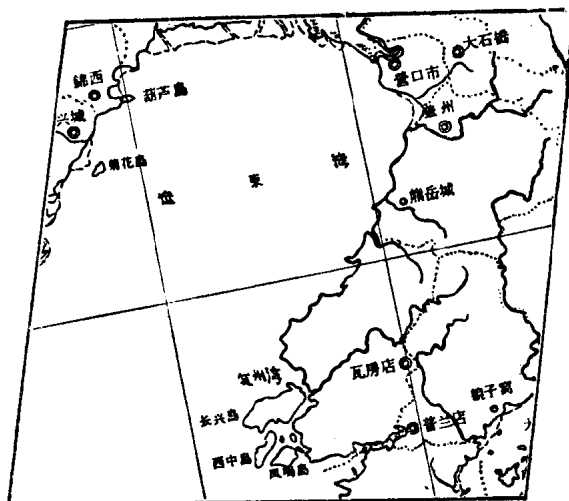


图 1-6 地图

3. 用符号可以表示出在地面上没有外形的许多自然和经济要素的分布规律,如气压和雨量等值线,工业的产量分布等。在象片上就找不出这些内容。

地图上还有起说明作用的文字和数字,这些称注记。注记是地图的重要组成部分,用以标明

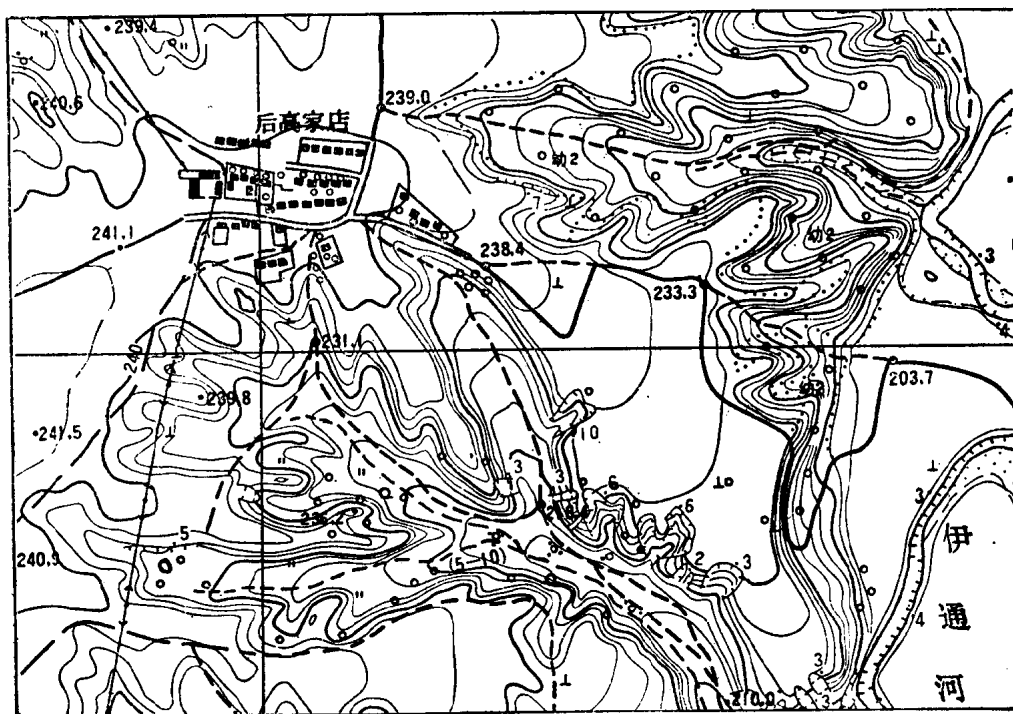


图 1-7 1:1 万比例尺地图



图 1-8 1:5 万比例尺地图

地面景物的名称、质量和数量。如果地图上没有注记,犹如哑叭一样,所以把没有注记的地图称哑图。地图就是用这种“语言”来表达地理环境中各种现象的分布和相互关系的。

三、制图综合

地图上的各种地面景物总是比实地缩小千百万倍。由于缩小,产生了地面上繁多的景物同有限的图面面积间的矛盾。解决这一矛盾的办法,是对地图的内容进行适当的综合。也就是说地图的内容并不是相应地区地面景物的全部,而是经过制图综合的结果。如从图 1-7 和图 1-8 可以看出,由 1:1 万缩小到 1:5 万的比例尺,对原来内容,如果不进行取舍和概括,缩小后的地图既不清晰,又不容易阅读。

把实地的景物,或把原来比较详尽的地图缩小成更小比例尺的地图时,对原地图的内容所作的取舍和概括等措施,称制图综合。制图综合的作用,在于使地图上表示的内容,能更突出制图地区的地理特性,更适应于用图者的各种不同要求。

必须指出,制图综合是地图编制作业中最复杂的创作过程,也是制图工作中的重要研究课题。

综上所述,可以认为:地图是运用一定的数学法则和符号系统并经过制图综合,将地理环境诸要素缩绘于平面上,以表达它们在空间的地理分布和时间的发展变化。

第六节 测制地图的方法

地图的种类很多,其制成的方法也不尽一致,归纳起来,可分为实测成图法和编绘成图法两种。

一、实测成图法

实测成图法又有两种:一种是通过在地面上的实地测量而得到的地图的方法。首先在测区,选出大地控制点并在控制点埋设上标志,精确地测定和计算出它们的平面位置和高程。然后以大地控制点为基础,使用各种测量仪器和工具,逐步测定地面上各种景物的位置与高程,并按规定的符号和注记将测量的结果绘成地图。实测成图法所制成的地图,一般是比例尺较大,内容较详细。

根据上述可知,实测成图法分为外业和内业两类工作。外业就是在野外应用测量仪器测定地面上构成各种景物的点与点之间距离、方向(角度)和高程,以确定其相对位置。内业是根据外业观测的成果,在室内进行成果的整理、计算并绘制成图。

为了防止测量误差的累积、提高测量的精度,测量工作必须按照一定的程序进行。其程序是采用由高级到低级,由整体到局部的原则,先建立控制网,再以控制网为基础进行碎部测量。因此,外业测量工作又可分为两个部分,即建立控制网的控制测量工作和以控制网为基础的碎部测量工作。

再一种是航摄成图法,即把摄影机和感光胶片装在飞机上,飞机按规定的航线飞行时,摄影机同时对地面摄影;然后按照地面上预先设置和测定的控制点的位置和高程,把航摄像片经过纠正而镶嵌成幅。地图的内容是由室内判读和外出调绘,再用地图的图式符号和注记制成地形图。

这种成图方法是目前地形图的主要成图法。

二、编绘成图法

编绘成图法是根据已有的地图和其他编图资料,在室内编辑成新图的方法。一般是把基本的地图资料经过缩小、晒蓝、镶嵌,作为基础蓝图,再参考其他资料并经过制图综合,在基础蓝图上进行编辑工作制成地图。因此由编绘成图法制成的新图,其比例尺一般小于原始的基本资料图(编制教学挂图例外)。这与航测成图相反,航测成图一般是用较小比例尺的底片,制成较大比例尺的地图。

实测地形图是编制其他地图的最原始资料。有些编绘的地图是直接从实测地形图编制出来的。常用的小比例尺图就是这种类型。

由上述的几种成图方法制出的是手稿图,为了满足各方面的需要,还需通过印刷和其他方法复制成数量较多的图幅。

近几年来,由于发射了地球资源卫星,用扫描仪获得地面图象,这种卫星象片的特点是包括的地面范围大,分辨率高,因此许多国家已开始利用卫星象片更新地图或编制地图。另外,运用电子计算技术,自动化制图的研制工作,早在五十年代就已经开始;目前有的国家已开始采用。利用卫星象片制图和自动化制图,当前虽然还处在开始阶段,今后必然会获得迅猛发展。

第七节 地图的分类

地图可以按内容、比例尺、用途以及制图区域和使用方式、图型种类等进行分类。

一、按内容划分

按内容,地图可分为普通地图和专题地图两大类。

普通地图是具有自然和社会经济方面一般特征的地图。它的内容包括水文、地形、土质、植被、居民点、交通线、境界线以及政治经济和文化中心等。普通地图又可分为地理图和地形图(当视水准面为水平面时称平面图)。

专题图是在普通地图基础上,着重表示一种或几种自然或社会经济现象的地图。在专题图中又可分为自然地图(如地质图、地貌图、水文图、气候图、土壤图、植被图、动物图等)社会经济地图(如经济地图、行政区划图、人口图、历史图等)和工程技术地图(如工程图、军事图、航空图、航海图等)等三大类。

二、按比例尺划分

按比例尺的大小,地图可分为大、中、小三类。

大比例尺地图——大于 1:10 万,包括 1:10 万比例尺的地图;

中比例尺地图——小于 1:10 万至大于 1:100 万比例尺的地图;

小比例尺地图——小于 1:100 万,包括 1:100 万比例尺的地图。

三、按用途划分

按用途,地图可分为参考图、教学图、政区图、军用图、飞行图、航海图、交通图、游览图等。

四、按制图区域划分

按制图区域可分为世界图、半球图、大陆图、海洋图、大洲图、国家图、省图、市图、县图、公社图或部分地区图等。

另外,按使用方式,地图可分为挂图和桌图;按图型可分为线画地图和影象地图等等。

第八节 误差和精度

一、量测误差的概念和分类

当人们对地面景物进行测量或根据实测资料编绘各种地图时,总会发现和客观实际情况存在一定差异。其原因是由于人们对客观事物的认识,往往受某些条件的限制而带来的局限性所造成的。认识与客观事物本来面貌之间的差异,往往表现为一定量值,这种量值称误差。换句话说,误差就是量测客观事物所得的数值与其真值之差。

任何量测,都是通过观测人员,使用某种仪器和工具,按照一定的操作方法,在一定的外界条件下进行的。即使最熟练的观测人员,用精密的仪器,细心地进行量测,也不可避免地要产生量测误差。例如在地面上或在地图上进行距离丈量,往往多次得到的结果并不一样。又如量测一个平面三角形的三个内角,其和往往不等于 180° 。编绘地图时,按投影数据绘制的经纬线网总与原数值有差异,按经纬线网镶嵌蓝图时,总与原图不一致等等。

量测误差按性质可以分为系统误差和偶然误差两类:

(一) 系统误差

在相同的观测条件下,作一系列的观测,如果误差数值固定或按一定规律变化时,称为系统误差。

系统误差的产生,主要是由于仪器和工具的不完善引起的。例如钢尺的刻记长度为30米,经鉴定后,其实际长度为29.99米。用此钢尺去量距离时,每量一整尺,就比实际长度长了0.01米。可见,这种误差是累积性的,而且它的符号和大小是一定的,所以量测的整尺数愈多,误差也就愈大。这就说明,系统误差是有一定的规律性的,也是可以全部或部分地消除掉的。

(二) 偶然误差

在相同的观测条件下,进行一系列的观测,出现的误差在数值和正负符号方面都不相同,而且从表面上看每个误差的大小和正负符号没有明显的规律性。但是根据多次反复的测量实践,经过分析研究,发现这种误差表现出一定的统计规律性,这种误差称偶然误差。偶然误差具有以下几个特性:

1. 绝对值较小的误差比绝对值较大的误差出现的机会多;
2. 绝对值相等的正、负误差出现的机会相等;
3. 从第二个特性可以得出:偶然误差的算术平均值,随着观测次数的无限增加而趋于零;
4. 在一定观测条件下,偶然误差的绝对值不会超过一定的界限。

偶然误差的来源很多,如仪器构造不精确和校正不能达到理论上的条件、自然条件的变化、人的感觉器官的限制、观测者操作的熟练程度等,都会影响观测结果。以普通经纬仪测角为例:

在度盘上读数时,比准确的数值可能会读得大一些,或小一些,这就产生了读数误差;在瞄准目标时,虽然将十字丝交点对准了目标,但由于望远镜放大倍数的限制,以及空气的透明度、目标的向光背光、瞄得偏右或偏左了一些,这就产生了瞄准误差;在仪器安置时,没有精确对中,这就会产生对中误差,等等。这些误差影响可能单独出现,也可能同时出现,还可能在不同程度上互相抵消。所以同一人用同一仪器在同样情况下作多次观测,结果往往不同。由此可知,偶然误差是由于许多互不相关的独立因素而引起的微量变化综合作用的结果。由于偶然误差产生的原因十分复杂,找不到一个完全消除它的方法,所以在一切观测结果中都不可避免的含有偶然误差。

二、算术平均值

设对一量进行 n 次等精度观测,其结果为 $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$, 取其商数

$$\frac{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n}{n} = \frac{[L]}{n}$$

称为算术平均值。

设观测量的真值为 X , 则差数为 $L_i - X = \Delta_i$, 该值为观测值 L_i 的真误差。今计算该观测列之误差 Δ_i , 可写出

$$L_1 - X = \Delta_1$$

$$L_2 - X = \Delta_2$$

$$L_3 - X = \Delta_3$$

$$\dots\dots\dots$$

$$L_n - X = \Delta_n$$

各式相加, 便得 $[L] - X \cdot n = [\Delta]$, 也可以写成 $\frac{[L]}{n} - X = \frac{[\Delta]}{n}$, 因为 $[\Delta]$ 总是个微小量, 所以

当测量次数无限增多时, 分数 $\frac{[\Delta]}{n}$ 无限接近于零, 而算术平均值 $\frac{[L]}{n}$ 无限接近于 X 。因此, 当

$n \rightarrow \infty$ 时, 根据变数极限之定义, 可写出

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0$$

和

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[L]}{n} = X$$

由上式可以得出这样的结论, 当一量的等精度测量次数无限增多时, 测量结果的算术平均值无限接近于此量的真值。从而可知当测量次数有限时, 即在测量实践中, 分数 $[L]:n$ 为一有限量, 此量随着测量愈精确, 测量次数愈多, 其值也就愈接近真值。也可以进一步地说: 算术平均是观测量的最可靠值(最或是值), 它可由此量的一列等精度测量中求出。因此, 若某量作了数次等精度测量, 则可取各次测量结果的算术平均值作为此量的最终值。

三、衡量精度的标准

任何观测虽然都存在不可避免的偶然误差, 但观测精度是有高低之分的。测量的任务不仅在于对一个未知量的多次观测, 求出最后的结果, 而且必须对测量结果的精度作出评定。这里介

绍衡量精度的标准的中误差和相对误差。

(一) 中误差

在相同的观测条件下, 设对同一未知量 X 进行多次观测, 其结果为 $L_1, L_2, \dots, L_n$, 每次观测结果相应的真误差(观测值与真值之差)为 $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$, 以 m 表示一次观测值的中误差, 则它的平方等于一组观测值中所有真误差平方的平均值, 所以又称均方误差, 即

$$m^2 = \frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n} = \frac{[\Delta^2]}{n}$$

或

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}} \quad (1-3)$$

一般都采用中误差作为评定观测质量的标准, 因为它能明显地反映测量结果中较大误差的影响。

例: 某小三角锁^①角度测量工作分别由甲、乙两个小组进行观测, 各组测得三角形的闭合差如下

甲组: $-3'' \quad -2'' \quad +4'' \quad +3'' \quad -4'' \quad +2''$

乙组: $+6'' \quad +1'' \quad -2'' \quad -4'' \quad -2'' \quad +3''$

试比较两组观测的精度。

用(1-3)式计算

$$m_{\text{甲}} = \pm \sqrt{\frac{9+4+16+9+16+4}{6}}$$

$$= \pm \sqrt{\frac{58}{6}} = \pm 3.1''$$

$$m_{\text{乙}} = \pm \sqrt{\frac{36+1+4+16+4+9}{6}}$$

$$= \pm \sqrt{\frac{70}{6}} = \pm 3.4''$$

$m_{\text{甲}}$ 的值为 $\pm 3.1''$, 表示甲组的观测精度, $m_{\text{乙}}$ 的值为 $\pm 3.4''$, 表示乙组的观测精度。从甲组和乙组闭合差绝对值之和来看, 两组数值是一样的; 但从中误差来看, 乙组观测精度比甲组低, 因为乙组观测值中有较大误差存在, 而大误差对测量结果的精确程度影响最大。

(二) 容许误差

由偶然误差第四个特性可知, 在一定的观测条件下, 偶然误差的绝对值, 不会超过一定的界限。如果在测量工作中某一观测值的误差超过这个界限, 就认为这次观测的结果不符合要求应该舍去。根据误差理论及对多次实验的统计证明: 大于二倍中误差的偶然误差, 其出现的机会只有 5%; 大于三倍中误差的偶然误差, 其出现的机会仅有 0.3%。因此, 在实际工作中常采用 2—3 倍的中误差作为容许误差。

容许误差通常又称极限误差或最大误差。它是一组测量误差中容许出现的最大误差, 规范

^① 小三角锁将在第五章中讲述, 其组成形式见图 5-10。

中一般以此作为限差。

(三) 相对误差

对衡量精度来说,在很多情况下,仅仅知道中误差还不能完全表示观测精度的高低。例如,测量两条直线,一条为 100 米,其中误差为 ± 2 厘米;另一条为 500 米,中误差也是 ± 2 厘米,但绝不能说明这两条直线的观测精度相同,因为长度的误差大小与长度本身的长短有关。故除了用中误差来衡量精度外,有时还必须用相对误差来衡量精度。中误差的绝对值与相应观测量之比,称相对误差。误差是带有观测量单位的名数,如秒、厘米等;而相对误差是无名数,通常以分子为 1 的分数来表示。

例:丈量两条直线,一条直线长 100 米,中误差是 ± 2 厘米,另一条直线长 500 米,中误差也是 ± 2 厘米。试比较这两条直线丈量的精度。

由于这两条直线的长度不等,因此只根据中误差是无法评定其精度的,必须用相对误差评定之。设它们相对误差分别为 f_1 和 f_2 ,则

$$f_1 = \frac{0.02 \text{ 米}}{100 \text{ 米}} = \frac{1}{5000}$$

$$f_2 = \frac{0.02 \text{ 米}}{500 \text{ 米}} = \frac{1}{25000}$$

显然, $f_2 < f_1$,后者精度高于前者。

在实际工作中,计算直线测量的相对误差,常采用下式:

$$\text{相对误差} = \frac{\text{往返测量的差数}}{\text{往返测量的平均值}}$$

例:对一条直线往返丈量两次,其结果分别为 240.45 米和 240.43 米,设其相对误差为 f ,

则

$$f = \frac{0.02}{240.44} \approx \frac{1}{12000}$$

复 习 题

1. 测量工作的程序,为什么一定要从高级到低级,从整体到局部?
2. 为什么在小区地形测量中,可以用水平面代替水准面?
3. 通过各种各样的地图和航空象片、卫星象片的对比,认识地图的特性。
4. 地图是怎样测制出来的,都怎样进行分类?
5. 量测长度、面积、角度和高程时,为什么必然含有误差,怎样去衡量?