学习情境一

道路工程测量

情境引入

如图 1－1 所示，在某测区内有山丘、房屋、河流、小桥、公路等地物，还有高低起伏的地貌。为了把这些地物和地貌测绘到图纸上，需要选择一些能代表地物和地貌几何形状的特征点（称为碎部点），测量出它们与已知点之间的水平角度、水平距离和高差，然后根据这些数据，按一定的比例在图纸上标出点的位置，最后将有关的点相连，描绘成图。

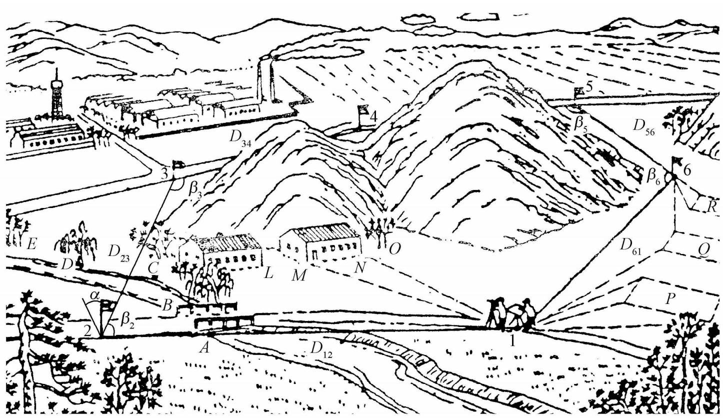

图 1－1　某测区地物、地貌透视图

案例导航

测量学是研究地球的形状与大小，确定地面点之间的相对位置的科学。其主要内容包括测定和测设两个部分。

测定是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算，将地球表面的地形缩绘成地形图，供科学研究、工程规划设计和国防建设使用。

测设是指把地形图上规划设计好的道路、构筑物的位置标定到实地，作为工程施工的依据。测量工作是将地表复杂形态的地物和地貌分区测量。

如何充分了解测量学的分类及道路工程测量的主要任务？如何确定地面点位置？如何了解测量工作的程序？如何理解测量误差精度的指标？需要重点掌握以下内容：

(1)了解地面点的坐标、空间直角坐标系。

(2)水平面代替水准面须满足的条件。

(3)工程测量的原则。

(4)测量误差的产生原因及分类。

1 学习单元1　认识道路工程测量和确定地面点位

知识目标

(1)了解测量学的定义及分类。

(2)理解测量工作的基准面和基准线。

(3)了解地面点的坐标、空间直接坐标系、用水平面代替水准面的范围。

技能目标

(1)能够确定地面点的平面位置和高程位置。

(2)掌握确定地面点位和高层的方法。

基础知识

一、测量学的分类

按研究的对象和应用的不同，测量学通常可分为以下几个分支学科。

(一)普通测量学

研究将地球自然表面局部地区的地物和地貌按一定比例尺测绘成大比例尺地形图的基本理论和方法的学科，属于测量学的基础部分。

(二)大地测量学

研究地球形状、大小和重力场及其变化，通过建立区域和全球三维控制网、重力网并利用卫星测量等方法测定地球各种动态的理论和技术的学科。

(三)摄影测量学

研究利用摄影或遥感技术获取地物和地貌的影像并进行分析处理，以绘制地形图或获得数字化信息的理论和方法的学科。其中航空摄影测量是测绘中、小比例尺的国家基本地形图的主要方法，现也应用到大比例尺地形图的测绘中；而近景摄影测量已经在古道路测绘、建(构)筑物的变形观测、动态目标测量等许多方面得到了广泛的应用。

(四)工程测量学

研究工程建设和自然资源开发中各个阶段进行的控制测量、地形测绘、施工放样、变形监测及建立相应信息系统的理论和技术的学科。其主要内容包括：测绘满足工程规划和勘察设计需要的大比例尺地形图；将图纸上设计的建(构)筑物轴线桩位标定到地面上；对在施工过程中及竣工后建(构)筑物的变形进行监测。

（五）海洋测绘学

研究海洋定位，测定海洋大地水准面和平均海面、海底和海面地形、海洋重力、磁力、海洋环境等自然和社会信息的地理分布，以及编制各种海图的理论和技术的学科。其主要内容包括海洋大地测量、水深测量、海底地形测量、海洋重力测量、海岸地形测量、海道测量、海洋专题测量和海图测绘等。

二、道路工程测量的任务

道路工程测量属于工程测量学的范畴，它是道路工程在勘测设计、施工建设和组织管理等阶段，应用测量仪器和工具，采用一定的测量技术和方法，根据工程施工进度和质量要求，完成各种测量工作。道路工程测量的主要任务如下所述。

（一）大比例尺地形图的测绘

在规划设计阶段，应测绘道路工程所在地区的大比例尺地形图，以便详细地表达地物和地貌的现状。在施工阶段，有时需要测绘更详细的局部地形图，或者根据施工现场变化的需要，测绘反映某施工阶段现状的地形图。在竣工验收阶段，应测绘编制全面反映工程竣工时所有道路、管线和园林绿化等方面现状的地形图。

（二）建（构）筑物的放样

在施工阶段，不管是基础工程、主体工程还是装饰工程，都要先进行放样测量，确定建（构）筑物不同部位的实地位置，并用桩点或线条标定出来，然后才能进行施工。每道工序施工完成后，还要及时对施工各部位的尺寸、位置和标高进行检验、校核测量。

（三）建（构）筑物的变形观测

对一些大型的、重要的或位于不良地基上的建（构）筑物，需要测定其在建（构）筑物荷重和外力作用下随时间而发生的变形，以监测其稳定性。建（构）筑物的变形一般有沉降、水平位移、倾斜、裂缝等。

知识链接

道路工程测量的作用

道路工程测量在工程建设中有着广泛的应用，它服务于工程建设的每一个阶段。

（1）在工程勘测阶段，测绘地形图为规划设计提供各种比例尺的地形图和测绘资料。

（2）在工程设计阶段，应用地形图进行总体规划和设计。

（3）在工程施工阶段，要将图纸上设计好的道路、构筑物的平面位置和高程按设计要求测设于实地，以此作为施工的依据；在施工过程中用于土方开挖、基础和主体工程的施工测量；在施工中还要经常对施工和安装工作进行检验、校核，以确保所建工程符合设计要求；工程竣工后，还要进行竣工测量，施测竣工图，以供日后扩建和维修之用。

（4）在工程管理阶段，对道路和构筑物进行变形观测，以保证工程的安全使用。

总而言之，在工程建设的各个阶段都需要进行测量工作，而且测量的精度和速度直接影响到整个工程的质量和进度。

三、地球的形状和大小

测量工作的主要研究对象是地球的自然表面。地球的自然表面极为复杂，有高山、丘陵、平原、盆地、湖泊、河流和海洋等高低起伏的形态，其中最高的珠穆朗玛峰高出海水面达 8 844.43 m，而最低的马里亚纳海沟低于海水面达 11 034 m。但是这样的高低起伏，相对于地球巨大的半径来说还是很小的，仍可忽略不计。由于地球表面上海洋的面积约占 71%，而陆地面积仅占 29%，因此人们设想有一个静止的海水面，向陆地延伸包围整个地球，形成一个封闭的曲面，把这个曲面看作地球的形体。

由于潮汐的作用，导致海水面高低不同，假定其中有一个平均高度的静止海水面，则它所包围的形体称为大地体，代表了地球的形状与大小。我们把这个平均高度的静止的海水面称为大地水准面。大地水准面上的重力位处处相等，并与其上的重力方向处处保持着正交。地球上任何一点都要受到地球引力和地球自转的离心力的作用，这两个力的合力称为重力，重力的方向线称为铅垂线，所以水准面处处与铅垂线正交。铅垂线是测量工作的基准线，大地水准面是测量工作的基准面。

然而，由于地球内部质量分布不均匀，引起铅垂线的方向产生不规则的变化，致使大地水准面成为一个不规则的复杂曲面，如图 1－2a 所示，所以无法在这个曲面上进行测量数据的处理。为了使用方便，通常用一个非常接近于大地水准面，并可用数学式表示的几何形体（即地球椭球）来代替地球的形状作为测量计算工作的基准面，如图 1－2b 所示。

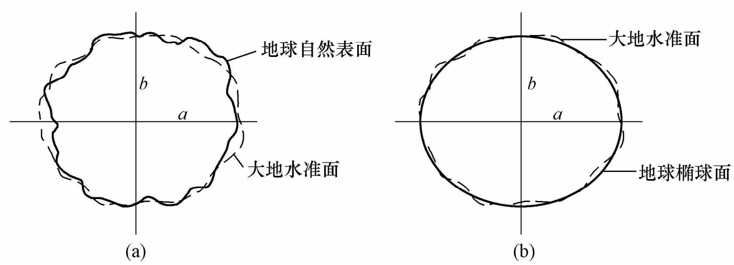

图 1－2　大地水准面与地球椭球面

地球椭球是一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体，故地球椭球又称旋转椭球。旋转椭球体由长半径 a 和短半径 b（或扁率 α）决定，如图 1－3 所示。其关系为

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \qquad (1-1)$$

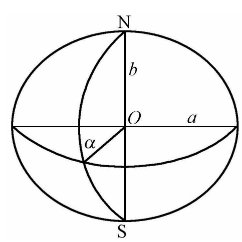

图 1－3　参考椭球面

目前我国采用的地球椭球体元素值是 1975 年“国际大地测量与地球物理联合

会”(IU－GG)通过并推荐的值：

$$a=6\ 378\ 140\ \mathrm{m}, b=6\ 356\ 755\ \mathrm{m}, \alpha=1:298.253$$

由于地球椭球的扁率很小，因此当测区范围不大时，可近似地把地球椭球看作半径为6 371 km的圆球。

四、地面点位置的坐标系

建立坐标系是为了确定地面点的位置，在测量工作中，可用地理坐标系和平面直角坐标系表示地面点位置的坐标系。

(一)地理坐标系

地理坐标系是用经纬度表示地面点位置的球面坐标，可分为天文坐标系和大地坐标系。

1. 天文坐标系

天文坐标系是表示地面点在大地水准面上的位置，其基准是铅垂线和大地水准面，它用天文经度 λ 和天文纬度 φ 两个参数来表示地面点在球面上的位置。

过地面上任一点 P 的铅垂线与地球的旋转轴 NS 所组成的平面称为该点的天文子午面，天文子午面与大地水准面的交线称为天文子午线(也称经线)，如图1－4所示。设 G 点为英国格林尼治天文台的位置，过 G 点的天文子午面称为首子午面。

小提示

P 点天文经度 λ 的定义是：过 P 点的天文子午面 $NPKS$ 与首子午面 $NGMS$ 的两面角，从首子午线向东或向西计算，取值范围为0°～180°，在首子午线以东者为东经，以西者为西经。同一子午线上各点的经度相同。过 P 点垂直于地球旋转轴的平面与地球表面的交线称为 P 点的纬线，其所在平面过球心 O 的纬线称为赤道。

P 点天文纬度 φ 的定义是：过 P 的铅垂线与赤道平面的夹角，自赤道起向南或向北计算，取值范围为0°～90°，在赤道以北为北纬，以南为南纬。应用天文测量方法可以测定地面点的天文经度 λ 和天文纬度 φ。

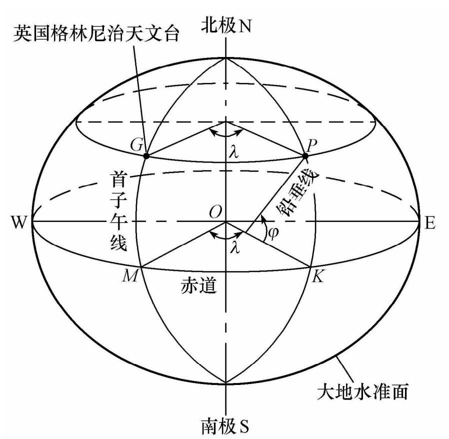

图1－4 天文坐标系

2. 大地坐标系

大地坐标系是表示地面点在参考椭球面上的位置,其基准是法线和参考椭球面,它用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。

P 点的大地经度 L 是通过该点的子午面与首子午面的夹角,在首子午面以东的点从首子午面向东计,0°~180°称为东经,在首子午面以西的点则从首子午面向西计,0°~180°称为西经。我国地处东半球,各地的经度都是东经。

过 P 点作子午线的法线,该法线与赤道面的交角 B 即为 P 点的大地纬度,在赤道以北的点由赤道向北计,0°~90°称为北纬;在赤道以南的点由赤道向南计,0°~90°称为南纬。我国地处北半球,各地的纬度都是北纬。

(二)平面直角坐标系

在工程测量中为了使用方便,常采用平面直角坐标系来表示地面点位,下面介绍常用的两种平面直角坐标系。

1. 高斯平面直角坐标系

当测区范围较小时,可把地球表面当作平面来看待。而当测区范围较大时,就不能把地球上很大一块表面当平面看待,这时,要用平面直角坐标来表示地面点,必须采用适当的地图投影方法。按一定数学法则,把参考椭球面上的点、线投影到平面上的方法叫做地图投影,投影的方法有多种,我国采用的是高斯投影。

高斯投影首先是将地球按经线划分成带,称为投影带,投影带是从首子午线起,每隔经度6°划分为一带(称为6°带),如图1-5所示,自西向东将整个地球划分为60个带。带号从首子午线开始,用阿拉伯数字表示,位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线。第一个6°带的中央子午线的经度为3°,任意一个带中央子午线经度 L_0 与投影带号 N 的关系为

$$L_0 = 6N - 3 \tag{1-2}$$

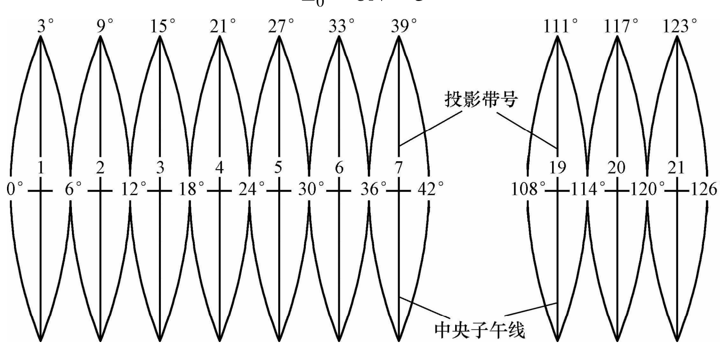

图1-5　6°带中央子午线及带号

反之,已知地面任一点 L 的经度,要求计算该点所在的6°带编号的公式为

$$N = \mathrm{Int}\left(\frac{L+3}{6} + 0.5\right) \tag{1-3}$$

式中　Int——取整函数。

投影时设想用一个平面卷成一个空心椭圆柱,把它横着套在地球参考椭球体外面,使空心椭圆柱的中心轴线位于赤道面内并且通过球心,使地球椭球体上某条6°带

的中央子午线与椭圆柱面相切。在图形保持等角的条件下，将整个带投影到椭圆柱面上，如图1－6a所示。然后将此椭圆柱沿着南北极的母线剪切并展开抚平，便得到6°带在平面上的形状，如图1－6b所示。由于分带很小，投影后的形状变形也很小，离中央子午线越近，变形就越小。

在由高斯投影而成的平面上，中央子午线和赤道保持为直线，两者互相垂直。以中央子午线为坐标系纵轴 X，以赤道为横轴 Y，其交点为 O，便构成此带的高斯平面直角坐标系，如图1－7所示。在这个投影面上的每一点位置，都可用直角坐标 x、y 确定。此坐标与地理坐标的经纬度 L、B 是对应的，它们之间有严密的数学关系，可以互相换算。

如图1－7所示，高斯平面直角坐标纵坐标以赤道为零起算，赤道以北为正，以南为负，我国位于北半球，纵坐标均为正值。横坐标如以中央子午线为零起算，则中央子午线以东为正、以西为负，由于横坐标出现负值，使用不便，故规定将坐标纵轴西移500 km当作起始轴，凡是带内的横坐标值均加500 km。

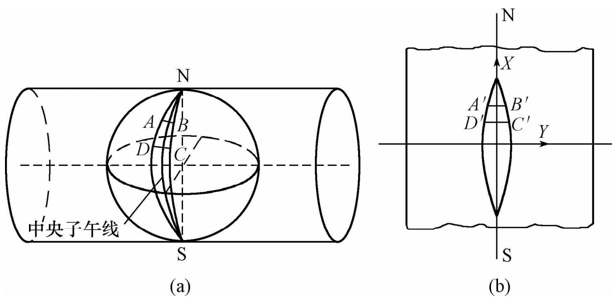

图1－6　高斯平面直角坐标的投影

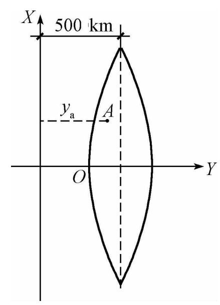

图1－7　高斯平面直角坐标系

知识链接

高斯投影

高斯投影属于正形投影的一种，它保证了球面图形的角度与投影后平面图形的角度不变，但球面上任意两点间的距离经投影后会产生变形，其规律是：除中央子午线没有距离变形以外，其余位置的距离均变长。它把地球视为球体，假想一个平面卷成一个横圆柱面并把它套在球体外面，使横轴圆柱的轴心通过球的中心，球面上一根子午线与横轴圆柱面相切。这样，该子午线在圆柱面上的投影为一直线，赤道面与圆柱面的交线是一条与该子午线投影垂直的直线。将横圆柱面展开成平面，由这两条正交直线就构成高斯平面直角坐标系。

距离变形过大对于测图，尤其是测绘大比例尺地形图是不方便的。减小投影带边缘位置距离变形的方法之一就是缩小投影带的带宽，例如可以选择采用3°带和1.5°带进行投影，其中，3°带每带中央子午线经度 $L_0{}'$ 与投影带号 n 的关系为

$$L_0{}' = 3n \tag{1-4}$$

反之，已知地面任一点的经度 L，要求计算该点所在的3°带编号的公式为

$$n = \mathrm{Int}\left(\frac{L}{3} + 0.5\right) \tag{1-5}$$

我国领土所处的大概经度范围是东经 73°27′至东经 135°09′,6°带投影与 3°带投影的带号范围分别为 13 ~ 23 与 25 ~ 45。可见,在我国领土范围内,6°带与 3°带的投影带号不重复。

2. 独立平面直角坐标系

大地水准面虽是曲面,但当测量区域(如半径不大于 10 km 的范围)较小时,可以用测区中心点 C 的切平面来代替曲面。如图 1 – 8a 所示,地面点在投影面上的位置就可以用平面直角坐标来确定。测量工作中采用的平面直角坐标如图 1 – 8b 所示。规定南北方向为纵轴,并记为 X 轴,X 轴向北为正,向南为负;东西方向为横轴,并记为 Y 轴,Y 轴向东为正,向西为负。地面上某点 P 的位置可用 x_p 和 y_p 来表示。

平面直角坐标系中象限按顺时针方向编号,X 轴与 Y 轴互换,这与数学上的规定是不同的,其目的是为了定向方便,将数学中的公式直接应用到测量计算中,不需作任何变更。原点 O 一般选在测区的西南角,如图 1 – 8a 所示,使测区内各点的坐标均为正值。

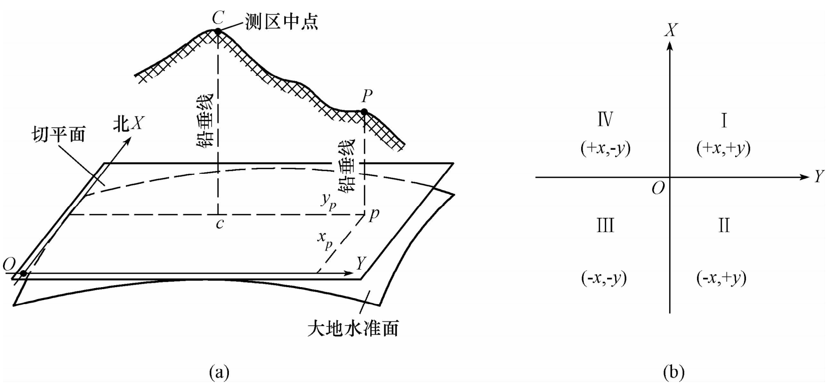

图 1 – 8　独立平面直角坐标系原理图

五、地面点高程位置的确定

(一)绝对高程

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,或称海拔,用 H 表示,如图 1 – 9 所示。地面点 A、B 点的绝对高程分别为 H_A、H_B。

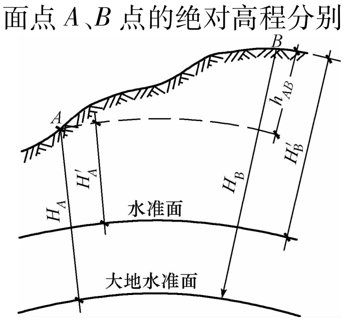

图 1 – 9　地面点的高程

小提示

目前,我国以在青岛观象山验潮站1952—1979年验潮资料确定的黄海平均海水面作为起算高程的基准面,称为“1985国家高程基准”。以该大地水准面为起算面,其高程为零。为了便于观测和使用,在青岛建立了我国的水准原点(国家高程控制网的起算点),其高程为72.260 m,全国各地的高程都以它为基准进行测算。

(二)相对高程

当测区附近尚无国家水准点,而引测绝对高程有困难时,可采用假定高程系统,即假定一个水准面作为高程基准面,这种由任意水准面起计算的地面点高程即地面点至任意水准面的铅垂距离,称为相对高程,也叫假定高程。如图1-9所示,A、B的相对高程为H_A'、H_B'。有时为了使用方便,在某些工程测量中也常使用相对高程。

(三)高差

地面两点间的绝对高程或相对高程之差称为高差,用h_{AB}表示,如图1-10所示。如A、B两点高差为

$$h_{AB}=H_B-H_A=H_B'-H_A' \tag{1-6}$$

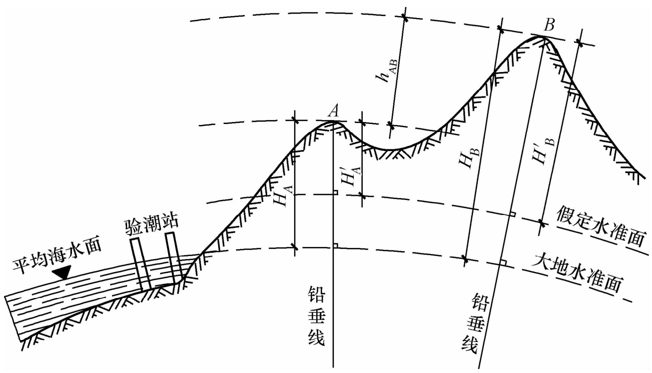

图1-10 高程与高差

从已知高程点对未知点进行高程测量时,都是先求出两点间的高差,从而计算出未知点的高程。未知点比已知点高,其高差为正;反之,高差为负。

在测量中,当测区范围较小时,可将大地水准面近似视为水平面,这样,既可以简化测量计算工作,又不会因曲面和平面的差异过大而产生较大的测量误差。然而,测区范围小到何值时,用水平面代替大地水准面所产生的距离和高差变形才不会超过测量误差的允许范围呢?用水平面代替大地水准面对水平距离和高程测量分别有什么影响?下面一一分述。

1. 对水平距离的影响

如图1-11所示,设地面C为测区中心点,P为测区内任一点,两点沿铅垂线投影到大地水准面上的点分别为c点和p点。过c点作大地水准面的切平面,P点在切平面上的投影为p'点。图中大地水准面的曲率对水平距离的影响为$\Delta D=D'-D$。由于$D'=R\tan\theta$,$D=R\theta$,则有

$$\Delta D=R(\tan\theta-\theta) \tag{1-7}$$

将 $\tan\theta$ 用泰勒级数展开，即

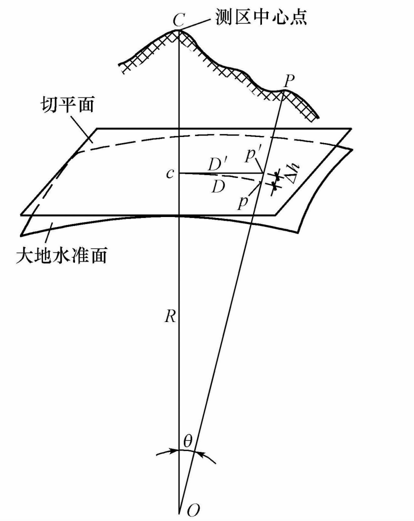

图 1－11　切平面代替大地水准面的影响

$$\tan\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^2 + \cdots$$

由于考虑用切平面代替球面是在较小的局部地区，所以 θ 角很小，上式中省略高次项，只取前两项，代入式（1－7）得

$$\Delta D = \frac{1}{3}R\theta^3$$

以 $\theta = D'/R$ 代入上式，因 D' 与 D 相差很小，以 D 代替 D'，得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \tag{1－8}$$

或

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \tag{1－9}$$

以地球半径 $R = 6\ 371$ km 及不同的距离 D 代入式（1－9）中，可得到表 1－1 所列的结果。

表 1－1　切平面代替大地水准面对距离的影响

ΔD/km	ΔD/cm	$\Delta D/D$
10	0.82	1∶1 217 600
20	6.57	1∶304 400
50	102.65	1∶48 700

由表 1－1 可知，当水平距离为 10 km 时，用切平面代替大地水准面所产生的误差为距离的 1/1 217 600，而目前最精密的量距误差为距离的 1/1 000 000。所以在半径为 10 km 的测区范围内进行距离测量时，可以把切平面当作大地水准面，不必考虑地球曲率的影响。

2. 对高程的影响

由图 1－11 可知

$$\Delta h=\overline{Op'}-\overline{Op}=R\sec\theta-R=R(\sec\theta-1) \tag{1-10}$$

将 $\sec\theta$ 按三角级数展开并略去高次项得

$$\sec\theta=1+\frac{1}{2}\theta^2+\frac{5}{24}\theta^4+\cdots\approx1+\frac{1}{2}\theta^2 \tag{1-11}$$

将式(1－11)带入式(1－10),得

$$\Delta h=R(1+\frac{1}{2}\theta^2-1)=\frac{R}{2}\theta^2=\frac{D^2}{2R} \tag{1-12}$$

用不同的距离代入式(1－12),可得表1－2所列的结果。

表1－2 用水平面代替水准面对高程的影响

距离 D/km	0.05	0.1	0.5	1	2	5	10
高程误差 Δh/cm	0.02	0.08	2	8	31	196	785

由表1－2可知,当用水平面代替水准面时,对高程的影响是较大的,如在500 m的距离时高程误差就有2 cm。进行高程测量时,观测精度要比之高得多。对高程测量来说,必须顾及地球曲率对高程的影响,不得用水平面代替大地水准面。

2 学习单元2 掌握测量工作原则和测量误差的基础知识

知识目标

(1)了解测量工作的基本原则。

(2)了解测量误差产生的原因及分类,熟悉衡量测量精度的指标,理解误差传播定律。

技能目标

(1)能够根据测量原则实施测量工作。

(2)能够进行测量精度评定。

基础知识

建立衡量精度的指标,是为了衡量观测结果的精度,常用的衡量测量精度的指标有中误差、极限误差和相对误差。我们知道,有些未知量不能直接测得,需要借助其他测量按一定的函数关系间接计算。由于直接观测值含有误差,因此它的函数关系也存在误差。我们把建立观测值中误差与函数中误差之间关系的定律,称为误差传播定律。

一、测量误差概述

(一)测量误差的含义

测量工作中的大量实践表明,对某一未知量进行多次重复观测时,不论测量仪器多么精密,观测者多么仔细认真,所测得的各次结果总会存在差异。例如,往、返丈量

某段距离若干次，或重复观测某一角度，观测结果都不会一致。再如，测量某一平面三角形的三个内角，其观测值之和常常不等于理论值 180°。由此可见，某量的各观测值相互之间或观测值与理论值之间往往存在着某种差异，这种差异说明观测中存在误差。这种观测值与真值或理论值之差称为测量误差。

小提示

测量工作的基本原则

无论是测绘地图还是施工放样，都会不可避免地产生误差。如果从一个测站点开始，不加任何控制地依次逐点施测，则前一点的误差将传递到后一点，逐点累积，点位误差将越来越大。为了保证精度，要求先在测区范围内建立一系列控制点，精确测出这些点的位置，然后再分别根据这些控制点进行施测地物、地貌的碎部测量工作。因此，测量工作必须遵循“从整体到局部、先控制后碎部、由高级到低级”的原则进行。

知识链接

测量误差的产生原因

测量误差的产生有许多方面的原因，概括起来主要包括以下三个方面：

1. 仪器条件

在加工和装配等工艺过程中，不能完全保证仪器的结构能满足各种几何关系，不可靠的仪器必然会给测量带来误差。

2. 观测者的自身条件

由于观测者感官鉴别能力所限以及技术熟练程度不同，也会导致在仪器对中、整平和瞄准等方面产生误差。

3. 外界条件

外界条件（主要指观测环境中气温、气压、空气湿度和清晰度、风力以及大气折光等因素）的不断变化会导致测量结果出现误差。

（二）测量误差的分类

测量误差按其对测量结果影响的性质，可分为系统误差和偶然误差。

1. 系统误差

在相同观测条件下，对某量进行一系列的观测，如果误差的大小及符号表现出一致性倾向，即按一定的规律变化或保持为常数，则这种误差称为系统误差。例如，用一把名义长度为 30 m，而实际长度为 30.010 m 的钢尺丈量距离，每量一次钢尺就要少量 0.010 m，这 0.010 m 的误差，在数值上和符号上都是固定的，丈量距离愈长，误差也就愈大。

2. 偶然误差

在相同观测条件下，对某量进行一系列的观测，如果误差的大小及符号都没有表现出一致性的倾向，表面上看没有任何规律可循，则这种误差称为偶然误差。如瞄准目标的照准误差、读数的估读误差等。

小提示

系统误差具有累积性，对测量成果影响较大，应设法消除或减弱。常用的方法有：对观测结果加改正数；对仪器进行检验与校正；采用适当的观测方法。

偶然误差是不可避免的。为了提高观测成果的质量，通常要使观测值的个数多于未知量的个数，也就是要进行多余观测，采用多余观测结果的算术平均值作为最后观测结果。

(三)偶然误差的特征

从表面上看，单个偶然误差没有任何规律，但是随着对同一量观测次数的增加，大量的偶然误差就能表现出一种统计规律性，观测次数越多，这种规律性越明显。

例如，某一测区在相同的观测条件下，独立地观测 358 个三角形的全部内角，由于观测值含有误差，因此，每个三角形内角之和一般不会等于其真值 180°。各三角形内角和的真误差为

$$\Delta_i = (l_1 + l_2 + l_3)_i - 180^\circ \qquad (i = 1, 2, \cdots, n) \tag{1-13}$$

式中 $(l_1 + l_2 + l_3)_i$——第 i 个三角形内角观测值之和。

现取误差区间的间隔 $d\Delta = \pm 3''$，将该组真误差按其绝对值的大小排列。统计出在各区间内的正负误差的个数，列成误差频率分布表，以显示误差在各个区间的分布情况。出现在某区间的误差的个数称为频数，用 k 表示，计算其相对个数 k/n ($n = 358$)，k/n 也称为误差在该区间的频率。统计结果列于表 1-3 中。

表 1-3 偶然误差统计结果

误差区间	负误差		正误差		误差绝对差	
	k	k/n	k	k/n	k	k/n
0～3	45	0.126	46	0.128	91	0.254
3～6	40	0.112	41	0.115	21	0.226
6～9	33	0.092	33	0.092	66	0.184
9～12	23	0.064	21	0.059	44	0.123
12～15	17	0.047	16	0.045	33	0.092
15～18	13	0.036	13	0.036	26	0.073
18～21	6	0.017	5	0.014	11	0.031
21～24	4	0.011	2	0.006	6	0.017
24 以上	0	0	0	0	0	0
k	181	0.505	177	0.495	358	1.000

为了更直观地表示出误差的分布情况，还可以采用直方图的形式来表示。绘直方图时，横坐标取误差 Δ 的大小，纵坐标取误差出现于各区间的相对个数除以区间的间隔值 $d\Delta$，图 1-12 形象地表示了该组误差的分布情况。

根据以上分析，可以概括偶然误差的特征如下：

(1)在一定观测条件下的有限次观测中，偶然误差的绝对值不会超过一定的限值。

(2)绝对值较小的误差出现的频率较大，绝对值较大的误差出现的频率较小。

(3)绝对值相等的正、负误差出现的频率大致相等。

(4)随着观测次数无限增加，偶然误差的平均值趋近于零，即有

$$\lim_{n\to\infty}\frac{[\Delta]}{n}=0 \tag{1-14}$$

式中　$[\Delta]=\Delta_1+\Delta_2+\cdots+\Delta_n=\sum_{i=1}^{n}\Delta_i$。

在测量中，常用[　]表示括号中数值的代数和。

当误差个数 $n\to\infty$ 时，如果把误差间隔 $\mathrm{d}\Delta$ 无限缩小，则可以想象，图 1－12 中的各长方形顶点折线就变成了一条光滑的曲线，如图 1－13 所示。该曲线称为误差分布曲线，即正态分布曲线。不难理解，图中曲线形状越陡峭，表示误差分布越密集，观测质量越高；曲线形状越平缓，表示误差分布越离散，观测质量越低。

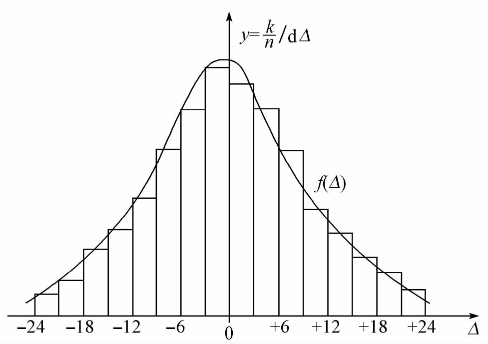

图 1－12　偶然误差频率直方图

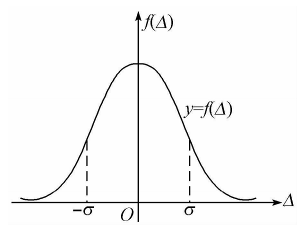

图 1－13　正态分布曲线图

误差分布曲线的方程为

$$y=f(\Delta)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\mathrm{e}^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}} \tag{1-15}$$

式中　$(\sigma>0)$——与观测条件有关的参数。

当 $n\to\infty$ 时，在横坐标 Δ_k 处有

$$y_k\mathrm{d}\Delta=f(\Delta_k)\mathrm{d}\Delta=\frac{n_k}{n}$$

即

$$\frac{n_k}{n\mathrm{d}\Delta}=f(\Delta_k) \tag{1-16}$$

式(1－16)即在 Δ_k 处，在区间 $\mathrm{d}\Delta$ 内误差出现的频率$\frac{n_k}{n}$与误差分布曲线的关系。

偶然误差不能用计算改正或用一定的观测方法简单地加以消除，只能根据偶然误差的特性来合理地处理观测数据，以减少偶然误差对测量成果的影响。

二、衡量测量精度的指标

精度是指误差分布的密集或离散程度。如果在一定观测条件下进行观测所产生的误差分布较为密集，则表示观测精度较高；反之，如果误差分布较为离散，则表示观测精度较低。为了衡量观测结果的精度，必须建立衡量精度的指标。

常用的衡量测量精度的指标有中误差、极限误差和相对误差。

(一)中误差

在相同观测条件下，做一系列的观测，并以各个真误差的平方和的平均值的平方

根作为评定观测质量的标准,称为中误差,通常用 m 表示,即

$$m = \pm\sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \qquad (1-17)$$

式中 $[\Delta\Delta]=\Delta_1^2+\Delta_2^2+\Delta_3^2+\cdots+\Delta_n^2$。

由式(1-17)可知,中误差不等于真误差,它仅是一组真误差的代表值,中误差的大小反映了该组观测值精度的高低。因此,通常称中误差为观测值的中误差。

(二)极限误差

偶然误差的第一特性表明,在一定的观测条件下,误差的绝对值不会超过一定的限值。

小提示

如果某个观测值的误差超过这个限值,就会认为这次观测的质量差或出现错误而舍弃不用。这个限值称为极限误差(或称容许误差)。大量实验统计证明,绝对值大于 2 倍中误差的偶然误差,出现的或然率不大于 5%;大于 3 倍中误差的偶然误差,出现的或然率不大于 0.3%。

《工程测量规范》(GB 50026—2007)规定,以 2 倍中误差作为极限误差,即

$$\Delta_{极}=2m \qquad (1-18)$$

(三)相对误差

中误差和真误差都是绝对误差,误差的大小与观测量的大小无关。然而,有些量如长度,绝对误差不能全面反映观测精度,因为长度丈量的误差与长度大小有关。例如:分别丈量了两段不同长度的距离,一段为 200 m,另一段为 300 m,但中误差皆为 ±0.01 m。显然不能认为这两段距离观测成果的精度相同。为此,需要引入"相对误差",以便能更客观地反映实际测量精度。相对误差为中误差的绝对值与相应观测值之比,用 k 表示。相对误差习惯于用分子为 1 的分数形式表示,分母愈大,表示相对误差愈小,精度也就愈高。

三、误差传播定律

在测量工作中,有一些未知量是不能直接测定的,须借助其他的观测量按一定的函数关系间接计算求得。函数关系的表现形式分为线性函数和非线性函数两种。由于直接观测值含有误差,因而它的函数必然存在误差。建立观测值中误差与函数中误差之间关系的定律,称为误差传播定律。

(一)线性函数

1. 倍数函数

设有倍数函数

$$Z=kx \qquad (1-19)$$

式中 k——常数,无误差;

x——观测值。

当观测值 x 含有真误差 Δx 时,函数 Z 也将产生相应的真误差 ΔZ,设 x 值观测了

n 次,则

$$\Delta Z_n = k\Delta x_n \tag{1-20}$$

将上式两端平方,求其总和,并除以 n,得

$$\frac{[\Delta Z\Delta Z]}{n} = k^2 \frac{[\Delta x\Delta x]}{n} \tag{1-21}$$

根据中误差的定义,有

$$m_Z^2 = k^2 m_x^2$$

或

$$m_Z = km_x \tag{1-22}$$

2. 和差函数

设有和差函数

$$Z = x \pm y \tag{1-23}$$

式中　x,y——独立观测值;

　　Z——x 和 y 的函数。

当独立观测值 x、y 含有真误差 Δx、Δy 时,函数 Z 也将产生相应的真误差 ΔZ,如果对 x、y 观测了 n 次,则

$$\Delta Z_n = \Delta x_n + \Delta y_n \tag{1-24}$$

将上式两端平方,求其总和,并除以 n,得

$$\frac{[\Delta Z\Delta Z]}{n} = \frac{[\Delta x\Delta x]}{n} + \frac{[\Delta y\Delta y]}{n} + \frac{[\Delta x\Delta y]}{n} \tag{1-25}$$

根据偶然误差的抵消性和中误差定义,得

$$m_Z^2 = m_x^2 + m_y^2$$

或

$$m_Z = \pm\sqrt{m_x^2 + m_y^2} \tag{1-26}$$

3. 一般线性函数

设有线性函数

$$Z = k_1x_1 + k_2x_2 + \cdots + k_nx_n \tag{1-27}$$

式中　$x_1,x_2,\cdots,x_n$——独立观测值;

　　$k_1,k_2,\cdots,k_n$——常数。

根据式(1-22)和式(1-26)可得

$$m_Z^2 = (k_1m_1)^2 + (k_2m_2)^2 + \cdots(k_nm_n)^2 \tag{1-28}$$

式中　$m_1,m_2,\cdots,m_n$ 分别是 $x_1,x_2,\cdots,x_n$ 观测值的中误差。

(二)非线性函数

设有非线性函数

$$Z = f(x_1,x_2,\cdots,x_n) \tag{1-29}$$

式中,$x_1,x_2,\cdots,x_n$ 为独立观测值;其中误差为 $m_1,m_2,\cdots,m_n$。

当观测值 x_i 含有真误差 Δx_i 时,函数 Z 也必然产生真误差 Δ_Z,但这些真误差都是很小的值,故对上式全微分,并以真误差代替微分,即

$$\Delta Z = \frac{\partial f}{\partial x_1}\Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2}\Delta x_2 + \cdots + \frac{\partial f}{\partial x_n}\Delta x_n \tag{1-30}$$

式中，$\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \cdots, \frac{\partial f}{\partial x_n}$是函数 Z 对 $x_1, x_2, \cdots, x_n$ 的偏导数。

当函数值确定后，则偏导数值恒为常数，故式(1－30)可以认为是线性函数，于是有

$$m_x = \pm\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)m_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)m_{x_2}^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)m_{x_n}^2} \tag{1-31}$$

四、等精度独立观测量的最可靠值与精度的评定

（一）最可靠值的求取

设在相同观测条件下，对某一量观测了 n 次，其观测值为 $l_1, l_2, \cdots, l_n$，则该量的算术平均值为

$$x = \frac{l_1 + l_2 + \cdots + l_n}{n} = \frac{[l]}{n} \tag{1-32}$$

设观测量的真值为 X，则观测值的真误差为

$$\left.\begin{aligned} \Delta_1 &= l_1 - X \\ \Delta_2 &= l_2 - X \\ &\vdots \\ \Delta_n &= l_n - X \end{aligned}\right\} \tag{1-33}$$

式(1－33)内各式两端相加，并除以 n，得

$$\frac{[\Delta]}{n} = \frac{[l]}{n} - X \tag{1-34}$$

把式(1－32)经过变形并代入式(1－34)，移项后得

$$x = X + \frac{[\Delta]}{n} \tag{1-35}$$

当观测次数 n 无限增大时，根据偶然误差的特性，有

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

那么同时可得

$$\lim_{n\to\infty} x = X$$

小提示

当观测次数无限增加时，算术平均值就趋近于未知量的真值。但是在实际测量工作中，观测次数 n 总是有限的，通常取算术平均值作为最后结果，它比所有的观测值都可靠，因此，通常把有限次观测值的算术平均值称为该量的最可靠值（最或然值）。

（二）精度评定

1. 观测值的改正数

未知量的最或然值与观测值之差称为观测值的改正数，用 V 表示，即

$$\left.\begin{aligned} V_1 &= x - l_1 \\ V_2 &= x - l_2 \\ &\vdots \\ V_i &= x - l_i \end{aligned}\right\} \tag{1-36}$$

将式(1－36)两端求和得

$$[V] = 0 \tag{1-37}$$

由上式可知,一列观测值的改正数之和为零,常以此作为计算的检验、校核。

2. 观测值中误差

在实际测量工作中,观测量的真值 X 是未知的。在等精度观测中,往往只知道算术平均值 x 和观测值改正数 V,也就是说不能用式(1－17)来计算观测值中误差。下面的推导是用观测值的改正数 V 代替真误差 Δ,来推求观测值的中误差公式,为此,将 $\Delta_i = l_i - X$ 与式(1－36)中 $V_i = x - l_i$ 相加,得

$$\Delta_i = (x - X) - V_i (i = 1, 2, \cdots, n) \tag{1-38}$$

将式(1－38)等号两边自乘取和,得

$$[\Delta\Delta] = n\,(x - X)^2 + [VV] - 2(x - X)[V] \tag{1-39}$$

式(1－39)等号两边再除以 n,并考虑到$[V] = 0$,得

$$\frac{[\Delta\Delta]}{n} = \frac{[VV]}{n} + (x - X)^2 \tag{1-40}$$

式(1－40)中,$x - X$ 是最或然值(算术平均值)的真误差,由于 $x - X$ 值难以求得,将 $\delta = (x - X)$代入式(1－40)后,有

$$\frac{[\Delta\Delta]}{n} = \frac{[VV]}{n} + \delta^2 \tag{1-41}$$

将式(1－38)中各式相加,得

$$[\Delta] = n(x - X) + [V]$$

即

$$[\Delta] = n\delta + [V]$$

由于$[V] = 0$,得

$$\delta = \frac{[\Delta]}{n} = \frac{[\Delta_1 + \Delta_2 + \cdots + \Delta_n]}{n} \tag{1-42}$$

将式(1－42)两端平方后,得

$$\delta^2 = \frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \cdots + \Delta_n^2}{n^2} + \frac{2(\Delta_1\Delta_2 + \Delta_2\Delta_3 + \cdots)}{n^2}$$

因为 $\Delta_1\Delta_2, \Delta_2\Delta_3, \cdots$为偶然误差的乘积,当观测数无限增多时,这些乘积也具有偶然误差的特性,因此有

$$\lim_{n\to\infty} \frac{(\Delta_1\Delta_2 + \Delta_2\Delta_3 + \cdots)}{n^2} = 0$$

从而,可得

$$\delta^2 = \frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \cdots + \Delta_n^2}{n^2} = \frac{[\Delta\Delta]}{n^2} \tag{1-43}$$

又由式(1－17)知 $m^2 = \dfrac{[\Delta\Delta]}{n}$,综合式(1－41)和式(1－43),得

$$m^2=\frac{[VV]}{n}+\frac{m^2}{n}$$

整理后，可得

$$m=\pm\sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} \tag{1-44}$$

该式就是利用观测值的改正数计算等精度观测值中误差的公式，也称为贝塞尔公式，m 代表每一次观测值的精度，故称为观测值中误差。

3. 算术平均值的中误差

设对某量进行了 n 次观测，每一次观测的中误差为 m，则算术平均值中误差 M 为

$$M=\frac{m}{\sqrt{n}} \tag{1-45}$$

式(1－45)的推导过程如下

$$x=\frac{[l]}{n}=\frac{l_1+l_2+\cdots+l_n}{n}=\frac{1}{n}l_1+\frac{1}{n}l_2+\cdots+\frac{1}{n}l_n$$

根据误差传播定律，得

$$M=\pm\sqrt{\left(\frac{1}{n}\right)^2m_1^2+\left(\frac{1}{n}\right)^2m_2^2+\cdots+\left(\frac{1}{n}\right)^2m_n^2}$$

因为各次观测为等精度观测，即 $m_1=m_2=\cdots=m_n=m$，则有

$$M=\pm\sqrt{n\left(\frac{1}{n}\right)m^2}=\pm\sqrt{\frac{m^2}{n}}=\pm\frac{m}{\sqrt{n}}$$

即

$$M=\pm\frac{m}{\sqrt{n}} \tag{1-46}$$

小提示

算术平均值的中误差 M 要比观测值的中误差 m 小 $\sqrt{n}$ 倍，观测次数越多，算术平均值的中误差就越小，精度就越高。适当增加观测次数 n，可以提高观测值的精度。当观测次数增加到一定次数后，算术平均值的精度提高幅度就很微小了，所以，应该根据需要的精度，适当确定观测的次数。

例如，等精度观测了某段距离五次，各次观测值列于表 1－4 中，则可求出该段距离观测值的中误差及算术平均值的中误差。

表 1－4 观测值表

观测次数	观测值 l/m	改正数 V/mm	VV	计算
1	148.461	－14	196	$m=\pm\sqrt{\frac{[VV]}{n-1}}=\pm12.1(\text{mm})$ $M=\pm\frac{m}{\sqrt{n}}=\pm5.4(\text{mm})$
2	148.628	－1	1	
3	148.635	－8	64	
4	148.610	＋17	289	
5	148.621	＋6	36	
Σ	743.135	0	586	

五、不等精度独立观测量的最可靠值与精度评定

(一)权

不等精度观测时,用以衡量观测值可靠程度的数值,称为观测值的权,通常以 p 来表示。观测值精度愈高权就愈大,它是衡量可靠程度的一个相对性数值。

设观测量 l_i 的中误差为 m_i,其权 p_i 的计算公式为

$$p_i = \frac{m_0^2}{m_i^2} \tag{1-47}$$

式中 m_0^2——任意正实数。

由式(1-47)可知,观测量 l_i 的权 p_i 与其方差 m_i^2 成反比,l_i 的方差 m_i^2 越大,其权就越小,精度越低;反之,l_i 的方差 m_i^2 越小,其权就越大,精度越高。

令 $p_i=1$,则有 $m_0^2=m_i^2$,也即 m_0^2 为权等于1的观测量的方差,因此称 m_0^2 为单位权方差,而 m_0 就称为单位权中误差。

(二)加权平均值及其中误差

设对某一未知量进行 n 次不等精度独立观测,得观测值 $l_1,l_2,\cdots,l_n$,其中误差分别为 $m_1,m_2,\cdots,m_n$,权分别为 $p_1,p_2,\cdots,p_n$,则观测值的加权平均值为

$$x = \frac{p_1l_1+p_2l_2+\cdots+p_nl_n}{p_1+p_2+\cdots+p_n} = \frac{[pl]}{[p]} \tag{1-48}$$

不同精度观测值 l_i 的加权平均值为

$$x = \frac{[pl]}{[p]} = \frac{p_1}{[p]}l_1 + \frac{p_2}{[p]}l_2 + \cdots + \frac{p_n}{[p]}l_n$$

根据误差传播定律,加权平均值的中误差 M 为

$$M^2 = \frac{p_1^2}{[p]^2}m_1^2 + \frac{p_2^2}{[p]^2}m_2^2 + \cdots + \frac{p_n^2}{[p]^2}m_n^2$$

用 $m_i^2=\dfrac{m_0^2}{p_i}$代入上式得

$$\begin{aligned} M^2 &= \frac{p_1^2}{[p]^2}\cdot\frac{m_0^2}{p_1} + \frac{p_2^2}{[p]^2}\cdot\frac{m_0^2}{p_2} + \cdots + \frac{p_n^2}{[p]^2}\cdot\frac{m_0^2}{p_n} \\ &= \frac{m_0^2(p_1+p_2+\cdots+p_n)}{[p]^2} \\ &= \frac{m_0^2}{[p]} \end{aligned}$$

上式两边开根号得

$$M = \frac{m_0}{\sqrt{[p]}} \tag{1-49}$$

当 n 足够大时,m_i 可用相应观测值 l_i 的真误差 Δ_i 来代替,即可得单位权中误差 m_0 为

$$m_0 = \sqrt{\frac{[p\Delta\Delta]}{n}} \tag{1-50}$$

代入式(1－49)中,可得

$$M=\sqrt{\frac{[p\Delta\Delta]}{n[p]}} \tag{1-51}$$

式(1－51)即为用真误差计算加权算术平均值的中误差的表达式。

课堂案例

1. 倍数函数公式应用

【例 1－1】对一个三角形,已观测了 AB 两角,其值分别为:$\angle A=38°42'16''\pm7.0''$,$\angle B=85°32'42''\pm8.0''$,求$\angle C$ 及其中误差。

【解】根据题意,可得$\angle A+\angle B+\angle C=180°$,即有

$$\angle C=180°-\angle A-\angle B=55°45'02''$$

此处 180°为常数,$\angle A$、$\angle B$ 的中误差分别为 $m_A=\pm7.0''$,$m_B=\pm8.0''$,得

$$m_C{}^2=m_A{}^2+m_B{}^2\text{,即 } m_C=\sqrt{49+64}=\pm10.6''$$

2. 和差函数公式应用

【例 1－2】在 1∶1 000 的图上,量得某两点间的距离 $d=158.6$ mm,d 的量测中误差 $m_d=\pm0.04$ mm。试求实地两点间的距离 D 及其中误差 m_D。

【解】

$$D=1\ 000\times158.6\ \text{mm}=158.6\ \text{m}$$

$$m_D=1\ 000\times(\pm0.04\ \text{mm})=\pm0.04\ \text{m}$$

$$\text{所以},D=158.6\ \text{m}\pm0.04\ \text{m}$$

学习案例

某工程在做一个区域的地形图测绘项目,由于该区域道路和树木比较多,地势起伏较大,对测量造成一定的影响。因此,测绘人员需要判读其点位关系,根据点位关系对该区域进行测量。

想一想

在实际生活中应如何进行地面点位的基本测量工作呢?

案例分析

我们知道,确定点的位置,是将地面点沿铅垂线方向投影到一个代表地球表面形状的基准面上,地面点投影到基准面上后,要用坐标和高程来表示点位。

以地形测绘为例,虽然地面上各种地物种类繁多,地势起伏千差万别,但它们的形状、大小及位置可以看成是由一系列连续不断的点所组成的。所以,点位关系是测量上要研究的基本关系。在实际工作中地面点位的确定不是直接测量坐标和高程,而是通过测量地面点与已知坐标和高程的点之间的几何关系,再经过计算间接得到所测点的坐标和高程。

如图 1－14 所示,Ⅰ和Ⅱ是已知坐标点,它们在水平面上的投影位置为 1、2,地面点 A、B 是待定点、定点,它们投影在水平面上的投影位置是 a、b。

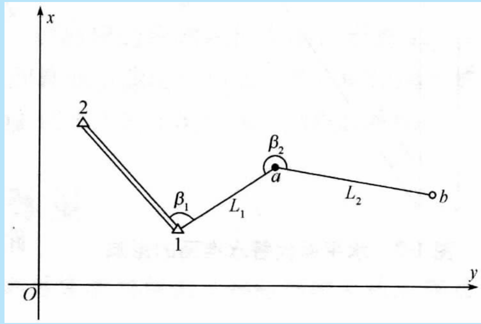

图 1－14 基本测量工作

如果观测了水平角 β_1、水平距离 L_1，可用三角函数计算出 a 点的坐标；同理，观测水平角 β_2 和水平距离 L_2，也可计算出 b 点的坐标。

在测绘地形图时，可在图上直接用量角器根据水平角 β_1 作出 1 点至 a 点的方向线，在此方向线上根据距离 L_1 和一定的比例尺，即可定出 a 点的位置，同理可在图上定出 b 点的位置。

故水平角测量和水平距离测量是确定地面点坐标或平面位置的基本测量工作。

若 I 点的高程已知为 H_1，观测了高差 h_{IA}，则可利用高差计算公式转换后计算出 A 点的高程：

$$H_A = H_I + h_{IA}$$

同理，若观测了高差 h_{AB}，可计算出 B 点的高程。

地面点间的水平角、水平距离和高差是确定地面点位的三个基本要素，我们把水平角测量、水平距离测量和高程测量称为确定地面点位的三项基本测量工作，再复杂的测量任务，都是通过综合应用这三项基本测量工作来完成的。

知识拓展

道路工程施工测量安全管理

1. 道路工程施工测量的一般安全要求

（1）进入施工现场的作业人员，必须首先参加安全教育培训，考试合格后方可上岗作业，未经培训或考试不合格者，不得上岗作业。

（2）不满 18 周岁的未成年工，不得从事工程测量工作。

（3）作业人员服从领导和安全检查人员的指挥，工作时思想集中，坚守作业岗位，未经允许不得从事非本工种作业，严禁酒后作业。

（4）施工测量负责人每日上班前，必须集中本项目部全体人员，针对当天任务，结合安全技术措施内容和作业环境、设施、设备安全状况及本项目部人员技术素质、安全知识、自我保护意识及思想状态，有针对性地进行班前活动，提出具体注意事项，跟踪落实，并做好活动。

（5）六级以上强风和下雨、下雪天气，应停止露天测量作业。

(6)作业中出现不安全险情时,必须立即停止作业,组织撤离危险区域,报告领导解决,不准冒险作业。

(7)在道路上进行导线测量、水准测量等作业时,要注意来往车辆,防止发生交通事故。

2. 施工测量安全管理

(1)进入施工现场的人员必须戴好安全帽,系好帽带;按照作业要求正确穿戴个人防护用品,着装要整齐;在没有可靠安全防护设施的高处(2 m 以上)、悬崖和陡坡施工时,必须系好安全带;高处作业不得穿硬底和带钉易滑的鞋,不得向下投掷物体;严禁穿拖鞋、高跟鞋进入工地现场。

(2)施工现场行走要注意安全,避让现场施工车辆,避免发生事故。

(3)施工现场不得攀登脚手架、井字架、龙门架、外用电梯,禁止乘坐非乘人的垂直运输设备上下。

(4)施工现场的各种安全设施、设备和警告、安全标志等未经领导同意不得任意拆除和随意挪动。确因测量通视要求等需要拆除安全网等安全设施的,要事先与总包方相关部门协商,并及时予以恢复。

(5)在沟、槽、坑内作业必须经常检查沟、槽、坑壁的稳定情况,上下沟、槽、坑必须走坡道或梯子,严禁攀登固壁支撑上下,严禁直接从沟、槽、坑壁上挖洞攀登上下或跳下;间歇时,不得在槽、坑坡脚下休息。

(6)在基坑边沿进行架设仪器等作业时,必须系好安全带并挂在牢固可靠处。

(7)配合机械挖土作业时,严禁进入铲斗回转半径范围。

(8)进入现场作业面必须走人行梯道等安全通道,严禁利用模板支撑攀登上下,不得在墙顶、独立梁及其他高处狭窄而无防护的模板面上行走。

(9)地上部分轴线投测采用内控法作业的,在内控点架设仪器时要注意上方洞口安全,防止洞口坠物发生人员和仪器事故。

(10)施工现场发生伤亡事故,必须立即报告领导,抢救伤员,保护现场。

情境小结

本学习情境主要讲述了道路工程测量的任务、地面点位的确定、测量工作的基本程序和原则、测量误差及测量精度指标等内容。

1. 道路工程测量的主要任务是大比例尺地形图的测绘、建(构)筑物的放样与建(构)筑物的变形观测。

2. 在测量工作中,可用地理坐标和平面直角坐标表示地面点位置的坐标。为了使用方便,常采用平面直角坐标来表示地面点位。地面点到大地水准面的铅垂距离称为该点的绝对高程。由任意水准面起算的地面点高程即地面点到任意水准面的铅垂距离称为相对高程。地面两点间的绝对高程或相对高程之差称为高差。

3. 测量工作必须遵循“从整体到局部、先控制后碎部、由高级到低级”的原则,按照首先控制测量、然后碎部测量的基本程序进行。

4. 常用的衡量测量精度的指标有中误差、极限误差和相对误差。

学习检测

填空题

1. 测量学是研究________的形状与大小，确定________之间的相对位置的科学。其主要内容包括________和________两个部分。
2. 按研究的对象和应用的不同，测量学通常可分为________、________、________、________、________五个分支学科。
3. 道路工程测量的主要任务是 ________、________、________。
4. 测量工作的基准线是________ ，基准面是________，测量计算工作的基准面是________。
5. 在测量工作中，可用________和________表示地面点位置的坐标。
6. 在高斯平面直角坐标系中，中央子午线的投影为坐标________轴。
7. 平面直角坐标系中象限按________方向编号，X 轴与 Y 轴互换。
8. 我国以________平均海水面作为起算高程的基准面。
9. 误差产生的原因主要有________、________、________三个方面。
10. 衡量测量精度的指标有 ________、________、________。

选择题

1. 在高斯平面直角坐标系中，纵轴为(　　)。
   A. X 轴，向东为正　　B. Y 轴，向东为正
   C. X 轴，向北为正　　D. Y 轴，向北为正
2. 某点所在的 6°带的高斯坐标值为 x_m = 366 712.48 m，y_m = 21 331 229.75 m，则该点位于(　　)。
   A. 21 带、在中央子午线以东　　B. 36 带、在中央子午线以东
   C. 21 带、在中央子午线以西　　D. 36 带、在中央子午线以西
3. 当测区附近尚无国家水准点，而引测绝对高程有困难时，可采用假定高程系统，即假定一个水准面作为高程基准面，这种由任意水准面起算的地面点高程即地面点至任意水准面的铅垂距离，称为(　　)。
   A. 绝对高程　　B. 相对高程　　C. 高差　　D. 标高
4. 对地面点 A，任取一个水准面，则 A 点至该水准面的垂直距离为(　　)。
   A. 绝对高程　　B. 海拔　　C. 高差　　D. 相对高程
5. 地理坐标分为(　　)。
   A. 天文坐标和大地坐标　　B. 天文坐标和参考坐标
   C. 参考坐标和大地坐标　　D. 三维坐标和二维坐标
6. 测量工作的基本原则是从整体到局部、从高级到低级和(　　)。
   A. 从控制到碎部　　B. 从碎部到控制
   C. 控制与碎部并行　　D. 测图与放样并行
7. 在相同观测条件下，对某量进行一系列的观测，如果误差的大小及符号表现出一致性倾向，即按一定的规律变化或保持为常数，这种误差称为(　　)。

A. 系统误差　　B. 偶然误差　　C. 粗差　　D. 其他误差

8. 下列属于偶然误差特征的是(　　)。

A. 在一定观测条件下的有限次观测中,偶然误差的绝对值不会超过一定的限值

B. 绝对值较小的误差出现的频率较大,绝对值较大的误差出现的频率较小

C. 绝对值相等的正、负误差出现的频率大致相等

D. 随着观测次数无限增加,偶然误差的平均值趋近于零

9. 绝对值大于 2 倍中误差的偶然误差,出现的或然率不大于(　　)。

A. 3%　　B. 4%　　C. 5%　　D. 6%

简答题

1. 测量学的含义是什么? 道路工程测量的任务是什么?
2. 如何确定地面点的位置?
3. 用水平面代替水准面,对水平距离和高程分别有何影响?
4. 什么是绝对高程? 什么是相对高程? 什么是高差?
5. 测量工作的基本原则是什么?
6. 误差的产生原因有哪些?
7. 系统误差和偶然误差有什么不同? 在测量工作中对这两种误差应如何处理?
8. 什么是测量精度? 衡量测量精度的指标有哪些?