

绪 论

本章学习要点

- 建筑工程测量的主要任务
- 测量工作的基准面和基准线
- 测量平面坐标系统和高程系统
- 测量工作的基本程序和原则
- 确定地面点位的三要素
- 用水平面代替水准面的限度

1.1 建筑工程测量学的任务

1.1.1 测绘学的研究对象及其分类

测绘学是研究地球形状和大小以及确定地球表面物体的空间位置,并将这些空间位置信息进行处理、储存和管理的科学。

测绘学按照研究范围、研究对象及采用技术手段的不同,分为以下几个主要分支学科。

(1) 大地测量学

研究地球的形状和大小,解决大范围地区的点位测定和地球重力场问题。由于人造地球卫星和空间技术的利用,大地测量又分为常规大地测量和卫星大地测量两种。

(2) 普通测量学

不顾及地球曲率的影响,研究在地球表面局部区域内测绘地形图的理论、技术和方法。

(3) 摄影测量与遥感

研究利用摄影或遥感技术获取被测物体的信息,以确定其形状、大小和空间位置。

(4) 工程测量学

研究工程建设在设计、施工和管理各个阶段进行测量工作的理论、技术和方法的学科。

(5) 地图制图学

研究各种地图的制作理论、原理、工艺技术和应用。

本教材主要介绍普通测量学和工程测量学的基本知识。

1.1.2 建筑工程测量学的主要任务

建筑工程测量学是测绘学的一个组成部分,它是研究建筑工程在勘测设计、施工和运营管理阶段所进行的各种测量工作的理论、技术和方法的学科,它的主要任务如下。

(1) 大比例尺地形图测绘(测定)

在工程设计的各个阶段,为了对建筑物的具体设计提供各种地形资料,需要在建筑地区进行地形图的测绘。在规划设计阶段,应测绘建筑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,为规划设计提供依据。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,作为施工组织管理和土方等工程量预结算的依据。在竣工验收阶段,应测绘编制全面反映竣工时所有建筑物、道路、管线和园林绿化等方面现状的地形图,为验收以及运营管理工作提供依据。

(2) 建筑物施工放样(测设)

在工程施工阶段,就需要根据建筑物的设计图,按照设计要求,通过测量的定位放线,将建筑物的平面位置和高程标定到施工的作业面上,为施工提供正确位置。放样工作,贯穿于施工的整个过程。例如,基础工程的基槽(基坑)开挖施工前,先将图纸上设计好的建筑物(构筑物)的轴线标定到地面上,并引测到开挖范围以外保护起来,再放样出开挖边线和 ± 0.000 的设计标高,才能进行开挖;主体工程的墙砌体施工前,应先将墙体轴线和边线在建筑物(构筑物)或地面上弹出线来,并立好高度标志,再进行砌筑;装饰工程的墙(地)面砖施工前,应先将纵横分缝线和水平标高线弹出来,再进行铺装。每道工序施工完成后,还要及时对施工各部位的尺寸、位置和标高进行检核,作为检查、验收和竣工资料的依据。

(3) 变形观测

对于一些大型的、重要的或者位于不良地基上的建筑物(构筑物),在施工阶段和运营阶段,要定期进行变形观测,以监测其稳定性和安全性。建筑物(构筑物)的变形一般有沉降、水平位移、倾斜、裂缝等,通过测量掌握这些变形的出现、发展及变化规律,对保证建筑物(构筑物)的安全有重要作用。

1.1.3 建筑工程测量的现状与发展方向

建筑业是我国的支柱产业之一。在建筑业的发展过程中,建筑工程测量为其做出了应有的贡献,同时建筑工程测量的技术也得到了发展和提高。目前,除常规的仪器工具(如光学的水准仪、光学经纬仪和钢尺等)在建筑工程测量中发挥作用外,现代化的测量仪器(如电子水准仪、电子经纬仪、全站仪等)也已普及,提高了测量工作的速度、精度和可靠性。一些专用的激光测量设备(如激光垂直仪、激光扫平仪以及激光经纬仪等)的应用,为现代高层建筑和地下建筑施工提供高效准确的测量技术服务。由于不受气候、地形及通视条件的限制,全球定位系统(GPS)也正在被广泛地应用在建筑工程测量中。计算机技术目前已经普及,在测量数据的处理、计算机辅助制图以及测量仪器的控制等方面正在不断发展,未来将向一体化、自动化和智能化方向发展。

1.2 地球的形状和大小

1.2.1 地球的自然形体

测量工作是在地球表面进行的,所以首先需要研究地球的形状和大小。地球的自然表面有高山、丘陵、平原、海洋等起伏状态,是一个不规则的曲面。就整个地球而言,海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%。世界上最高的山峰珠穆朗玛峰高度为 8844.43m,最深的海沟马里亚纳深达 11 022m。尽管地球表面有如此大的落差变化,但与地球半径 6371km 相比,这样的起伏还是很小的。这样,在地球表面进行测量工作所获得的距离、角度、高差等成果,不可能在这样不规则的曲面上进行数据处理和绘制地形图。因此,人们就要寻找一个理想几何体来代表地球的形状和大小,要求这个理想几何体与地球的自然形体十分接近,而且又能用数学模型来表示。

1.2.2 大地体

1. 铅垂线

如图 1-1 所示,地球表面任意一个质点都同时受到两个作用力:其一是地球自转产生的离心力;其二是地球产生的引力。这两种力的合力称为重力。重力的作用线称为铅垂线,见图 1-2,它是测量工作的一条重要基准线。在地球上任何一点悬挂一个垂球,其静止时所示的方向即为铅垂线的方向。

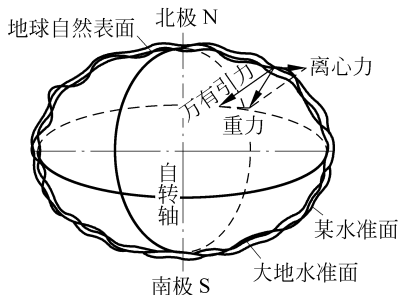


图 1-1 地球的自然表面

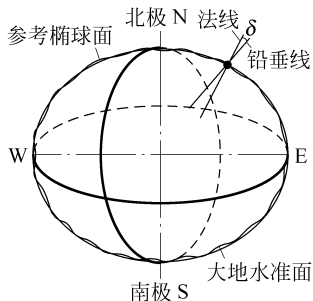


图 1-2 大地水准面

2. 水准面

自由静止状态的水面延伸而穿过陆地,包围整个地球,形成一个闭合曲面,称为水准面。由物理学知道,这个面是一个重力等位面,水准面上处处与铅垂线方向垂直。水面可高可低,故而水准面有无穷多个。

3. 大地水准面

与平均海面相吻合的水准面,称为大地水准面。它是测量工作的一个重要基准面。

4. 大地体

大地水准面包围的形体称为大地体。大地体是十分接近地球的自然形体。由于地球内部的质量分布不均匀,使得大地体的表面是一个略有起伏变化的不规则曲面,它不能用数学模型来表示。

1.2.3 地球椭球体

人们发现,地球的自然形体十分接近一个旋转的椭球体,如图 1-3 所示。旋转椭球体是一个长半轴为 a 和短半轴为 b 的椭圆绕短半轴 b 旋转而成的几何体。它符合理想几何体的两个条件,用它来表示地球的形状和大小。地球椭球体的 3 个参数是长半轴 a ,短半轴 b 和扁率 f 。

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (1-1)$$

在几何大地测量中地球椭球体的形状和大小常用 a 、 f 来表示。

地球椭球体,可以用数学公式表示为

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 \quad (1-2)$$

几个世纪以来,许多国家曾分别计算出地球椭球体的参数值,表 1-1 为最近几次有代表性的测量成果。

表 1-1 地球椭球体的几何参数

椭球名称	年份	a/m	f
克拉索夫斯基	1940	6 378 245	1 : 298.3
1975 年大地测量参考系统	1975	6 378 140	1 : 298.257
WGS-84 系统	1984	6 378 137	1 : 298.257 223 563
CGCS2000	2000	6 378 137	1 : 298.257 222 101

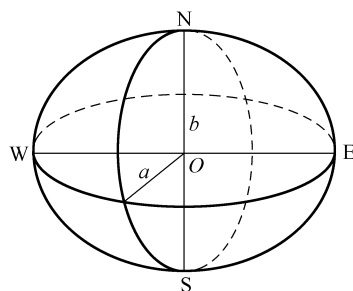


图 1-3 地球椭球体

1.2.4 地球圆球

由于地球椭圆体的扁率很小,当测区面积不大时,在测量工作中可以把地球看成圆球,其半径为 $R = (a + a + b)/3 \approx 6371\text{km}$ 。

1.3 测量常用的坐标系

地面点的空间位置与一定的坐标系对应。在测量上常用的平面(球面)坐标系有小区的测量坐标系、高斯平面直角坐标系、大地坐标系等;高程系有绝对高程系、相对高程系、大地高等。

1.3.1 小区域的测量平面直角坐标系和高程系

1. 测量平面直角坐标系

当测区面积较小(如 100km^2)时,如图 1-4 所示,可以用测区中心点 c 的切平面来代替曲面。通过 c 点的子午线投影在切平面上,形成纵轴 x' ,纵向北为正值;过 c 点垂直于 x' 轴方向形成横轴 y' ,横轴向东为正。为了使测区内纵、横坐标都为正值,将坐标原点移至测区西南角,形成测量平面直角坐标系 xoy 。如 P 点的平面坐标 $p(x_p, y_p)$ 。

数学平面直角坐标系与测量平面直角坐标系(图 1-5)异同: x 轴与 y 轴位置互换; 象限编号不同, 测量平面直角坐标系象限按顺时针方向编号; 数学坐标系中的所有公式可以直接用到测量坐标系的计算上。

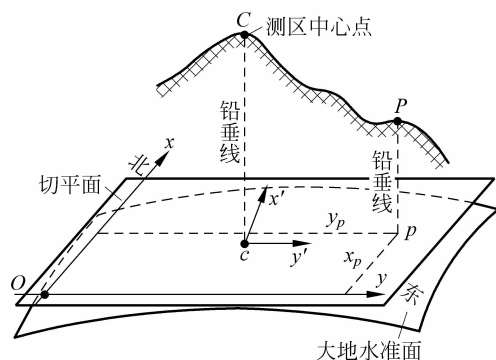


图 1-4 假定平面直角坐标系

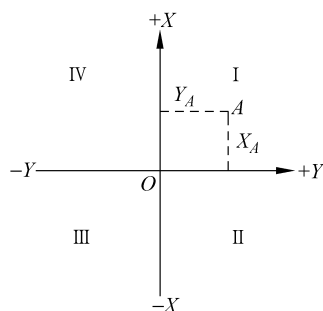


图 1-5 测量平面直角坐标系

2. 高程系统

(1) 绝对高程(海拔)

地面点到大地水准面的铅垂距离称为绝对高程, 用 H 表示。如图 1-6 所示, A 点绝对高程为 H_A 。

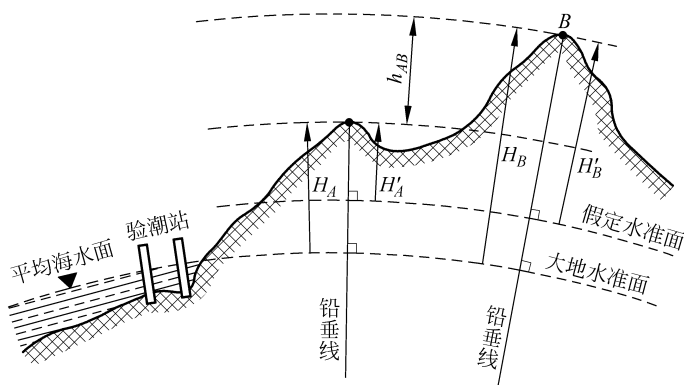


图 1-6 高程与高差的定义及其相互关系

我国利用青岛验潮站 1952—1979 年的资料, 取其平均海水面的位置作为大地水准面的位置, 其高程为零, 过该点的大地水准面即为我国计算高程的基准面。为了便于观察和使用, 在青岛建立了我国的水准原点, 其高程为 72.260m。全国各地的高程都以它为基准进行测算, 称为 1985 国家高程基准。我国自 1987 年 5 月起开始采用 1985 年国家高程基准作为高程起算的统一基准。

(2) 相对(假定)高程

当有些地区引用绝对高程有困难, 或者为了计算和使用上的方便, 可采用相对高程系统。相对高程是采用假定的水准面作为起算高程的基准面。地面点到某一假定水准面的铅垂距离称为相对高程, 用 H' 表示。如图 1-6 所示, A 点高程为 H'_A 。相对高程系统与国家

高程系统联测后,可以把地面点的相对高程换算成绝对高程。

(3) 高差

地面两点的高程之差称为高差,用 h 来表示。由图 1-6 可以看出:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H_{B'} - H_{A'} \quad (1-3)$$

由此可见,两点高差与高程起算面无关。

同理

$$h_{BA} = H_A - H_B = -h_{AB} \quad (1-4)$$

可见, AB 的高差 h_{AB} 和 BA 的高差 h_{BA} 绝对值相等,符号相反。

1.3.2 高斯平面直角坐标系

当测区面积较大时,就不能把球面看成平面。在球面上进行测量计算或绘图是非常复杂和不方便的,测量计算最好在平面上进行,但地球表面是一个不可展开的曲面,通过地图投影的方法将地球表面上的点位化算到平面上,这样,在平面上建立平面直角坐标系后就可以采用简单公式计算点的平面坐标。

1. 地图投影的方法

地球投影有等角投影(又称正形投影)、等面积投影和任意投影等多种投影方法,我国通常采用等角横轴切圆柱投影,称为高斯-克吕格投影,简称高斯投影。

2. 高斯投影的方法

如图 1-7 所示,设想用一个横椭圆柱套在地球椭球外面,并与某一个子午线相切,此子午线称为中央子午线,将中央子午线东西方向一定经差范围内的图形,用高斯投影的方法投影到椭圆柱面上,再将该圆柱表面沿南北极点的母线切开展平,就得到平面上的图形。

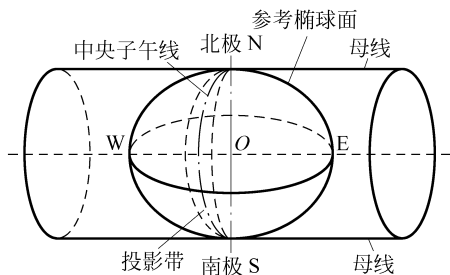


图 1-7 高斯平面直角坐标系的投影图

3. 高斯投影的特点

- (1) 球面上的图形,投影前后角度相等。
- (2) 中央子午线投影后为一条直线,且长度不变。离中央子午线越远的子午线,投影后长度变形越大,形状是弧形,凹向中央子午线。
- (3) 离开赤道的纬线是弧线,凸向赤道。
- (4) 投影后赤道是一条直线,并与中央子午线的投影保持正交。

4. 分带投影方法

为了控制长度变形,测量中采用限制投影带宽度的方法,即将投影区域限制在中央子午

线的两侧狭长地带,这种方法称为分带投影。投影带宽度是利用相邻两个子午线的经差来划分,有 6° 带、 3° 带等不同分带方法。

5. 6° 带和 3° 带的划分

6° 带投影的划分是从英国格林尼治子午线开始,自西向东,每隔 6° 投影一次。这样将椭圆分成60个带,编号为1~60带; 3° 带投影是从东经 $1^\circ 30'$ 的子午线开始,每 3° 划分为一带,如图1-8所示。

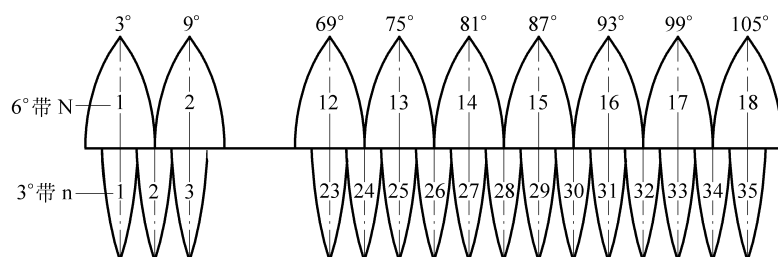


图 1-8 统一 6° 带投影与统一 3° 带投影高斯平面直角坐标系的关系

6. 高斯平面直角坐标系的建立

以赤道和中央子午线的交点作为坐标原点 O ,中央子午线方向为 x 轴,北方向为正,赤道投影线为 y 轴,东方向为正。象限按顺时针 I 、 II 、 III 、 IV 排列,图1-9(a)在这个坐标系里的地面点位坐标值,称为坐标自然值。

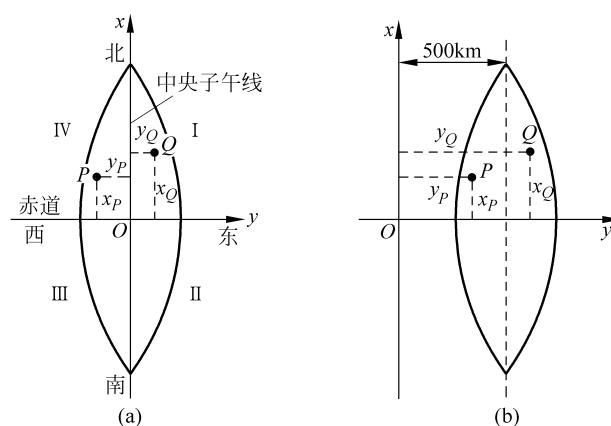


图 1-9 高斯平面直角坐标系

在同一投影带内横坐标有正值、有负值,这对坐标的计算和使用很不方便。为了使 y 值都为正,将纵坐标 x 轴西移500km,并在 y 坐标前面冠以带号,如在第21带,中央子午线以西的 P 点,在高斯平面直角坐标系中的坐标自然值为

$$\begin{cases} x_P = 4\,429\,757.075\text{m} \\ y_P = -58\,269.593\text{m} \end{cases}$$

而 P 点坐标的通用值为

$$\begin{cases} x_P = 4\,429\,757.075\text{m} \\ y_P = 21\,441\,730.407\text{m} \end{cases}$$

1.3.3 大地坐标系

在研究全球测量问题时,一般采用大地坐标系。

地面上一点的空间位置可以用大地坐标(B, L, H)表示。在大地坐标系中,以地球椭球面作为基准面,以起始子午面和赤道面作为确定某一点投影位置的两个参考面。

图 1-10 中,过地面点 P 的子午面与首子午面之间的夹角,称为该点的大地经度,用 L 表示。过地面点 P 的椭球面法线与赤道平面的夹角称为该点的大地纬度,用 B 表示。 P 点沿法线到椭球面的距离,称为大地高,用 H 表示。

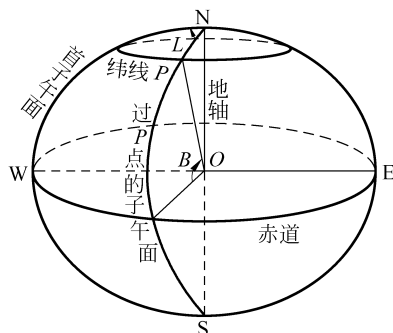


图 1-10 大地坐标系

我国曾 3 次建立大地坐标系。

1. 1954 年北京坐标系

新中国成立初期采用克拉索斯基椭球建立的坐标系称为 1954 年北京坐标系。1954 年北京坐标系属于参心坐标系。

2. 1980 年国家大地坐标系

我国在 20 世纪 70 年代采用 IUGG-75 椭球,大地坐标原点选在陕西省永乐镇,称为 1980 年国家大地坐标系,也称 1980 年西安坐标系,简称西安 80 坐标系。1980 年国家大地坐标系属于参心坐标系。

3. 2000 国家大地坐标系

2000 国家大地坐标系,是我国当前最新的国家大地坐标系,英文缩写为 CGCS2000。2000 国家大地坐标系属于地心坐标系。根据《中华人民共和国测绘法》,经国务院批准,我国自 2008 年 7 月 1 日起,启用 2000 国家大地坐标系。

另外,常见的还有世界大地坐标系(WGS-84 坐标系),世界大地坐标系采用的是空间直角坐标系,如图 1-11 所示。坐标原点位于地球质心,采用 WGS-84 椭球。WGS-84 坐标系属于地心坐标系。

1.4 测量工作的基本程序和原则

1.4.1 测绘地形图的程序和原则

进行测量工作,无论是测绘地形图或施工放样,要在某一点上测绘该地区所有的地物和地貌或测设建筑物的全部细部是不可能的。下面以测绘地形图为例介绍测绘工作的基本程序和原则。如图 1-12 所示,测区内有房屋、道路、桥梁等地物,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,我们应选择一些有代表性的地物和地貌的特征点(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,按照一

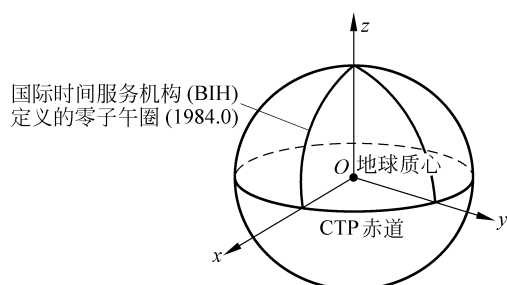


图 1-11 WGS-84 世界大地坐标系

定的比例在图纸上标出点的位置,最后将相关的点相连接,描绘成图,称为地形图,如图 1-13 所示。

在 A 点只能测绘附近的房屋、道路等的平面位置和高程,对于山的另一面或较远的地物就观测不到,因此必须连续逐个设站。

为了将整个测区的特征点全部测完,首先在整个测区内选择若干具有控制意义的点 A、B、C 等,称为控制点,用较精密的仪器和较严密的方法,测定各控制点间的水平距 D 、水平角 β 和高差 h ,精确地计算各控制点的坐标和高程。这些测量工作称为控制测量。

然后,根据控制点,用较低精度的仪器和一般方法,来测定碎部点,即地物、地貌特征点的坐标和高程,这些测量工作称为碎部测量。

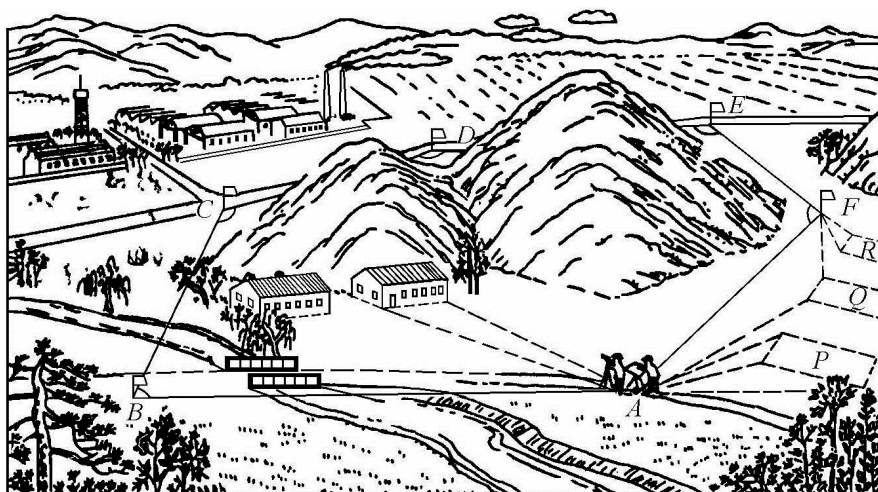


图 1-12 某地区地物地貌透视图

按照这个程序进行测图,不但可以保证成图的精度,而且由于在测区内建立了统一的坐标系统和高程系统,可以多个小组同时进行碎部测量,加快工作进程。

当测区面积较大时,如果仅做一级控制不能满足测图要求时,可以进行多级控制。做多级控制时,上一级的精度应比下一级的精度高一个层次,由高级到低级逐级布设,才能保证最后一级的精度满足要求。

上述的测量基本程序可归结为两步:第一步为控制测量,第二步为碎部测量。

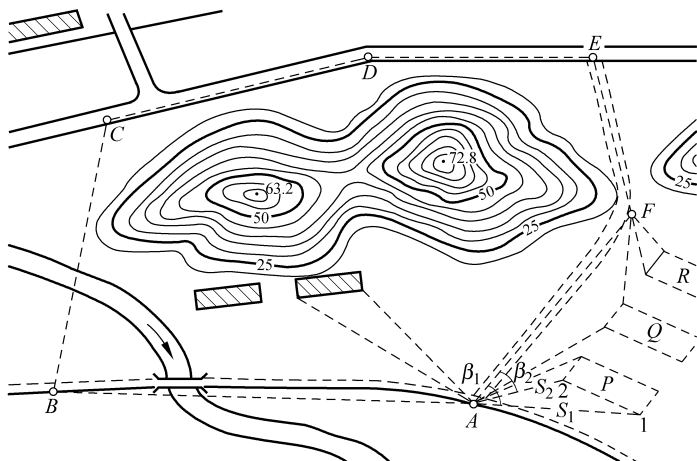


图 1-13 某地区地形图

1.4.2 测量的基本程序和原则

在测量的布局上,是“由整体到局部”,在测量次序上是“先控制后碎部”,在测量的精度上是“从高级到低级”,这是测量工作应遵循的一个基本原则。

另外,当控制测量有误差,以其为基础的碎部测量也会有误差;碎部测量有误差,就会使地形图也存在误差。因此,要求测量工作必须有严格的检核工作,故“步步有检核”是测量工作应遵循的又一个原则。

对施工测量来说,也要遵循这个原则,先在整个建筑施工范围内进行控制测量,得到一定控制点的平面坐标和高程,然后以这些控制点为依据,在局部地区进行建筑物(构筑物)轴线点的测设。如果施工场地范围较大,控制测量也应由高级到低级逐级加密布设,使控制点的精度和密度均能满足施工测量的要求。

1.4.3 确定地面点位的三要素

在实际工作中,确定地面点位时,往往不是直接测定它们的坐标和高程,而是先测出水平角、水平距和高差,然后再计算地面点的坐标和高程。如图 1-14 所示, A、B 是两个已知平面控制点,如果测定水平角 $\angle BAP = \beta$, 水平距离 D_{AP} , 就可以计算 P 点坐标。同样 A 是一个已知高程的控制点,如果测定 AP 的高差 h_{AP} 就可以计算 P 点的高程,如图 1-15 所示。

由此可见,距离、角度和高差是测定地面点位的 3 个基本要素。

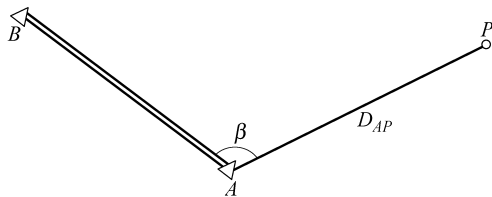


图 1-14 点的坐标测定

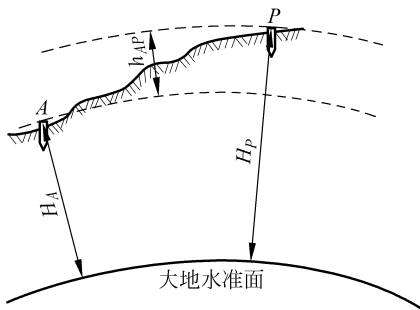


图 1-15 点的高程测定