

第 1 章 绪 论



学习目标

1. 了解建筑工程测量是一门技能性要求很强的课程。
2. 熟悉工程测量在建筑工程、市政、城镇建设和环境工程等领域均具有广泛的应用。
3. 了解测量学的发展史及建筑工程测量的由来。



学习要求

1. 会利用点的高斯平面坐标确定其所处的投影带。
2. 会确定地面上点的位置。

1.1 测量学概述

1.1.1 测量学发展史

我国是世界文明古国,测绘方法出现很早,最早可以追溯到四千年以前。在《史记·夏本纪》中叙述了夏禹治理洪水的情况:“左准绳,右规矩。载四时,以开九州,通九道,坡九泽,度九山。”这说明在公元前 21 世纪人类已经使用简单的测量工具进行测量工作。春秋战国时期,测绘有了新的发展。从《周髀算经》、《九章算术》、《管子·地图篇》、《孙子兵法》等书的有关论述中都说明了我国的测量、计算技术和军事地形图的内容已经达到了相当高的水平。在长沙马王堆汉墓出土的公元前 2 世纪的地形图、驻军图和城邑图是迄今发现的最古老最翔实的地图。魏晋时刘徽著《海岛算经》,阐述了测算海岛之间的距离和高度的方法。西晋的裴秀主持编制了反映晋十六州的郡国县邑、山川原泽和境界的大型地图集——《禹贡地域图十八篇》,并总结出分率、准望、道里、高下、方斜、迂直的“制图六体”,从此地图制图有了标准和原则。唐代高僧一行(俗名张遂)于公元 724 年主持进行了世界最早的子午线测量,在河南平原南北伸展约 200 公里近似位于同一子午线上的四个点上,测量冬至、夏至、春分、秋分中午的日影长度和北极高,又用步弓实地丈量了四点间的距离,推算北极星每差一度相应

的地面距离。北宋沈括发展了裴秀的制图理论。编结了“二寸折一百里”(相当于 $1:9 \times 10^5$ 的《天下州县图》。他还发明和发展了许多精密易行的测量技术,如用分级筑堰静水水位法测量了汴渠的高差,用平望尺、千尺和罗盘测量地形,并在世界上最早发现了磁偏角。陕西西安碑林的《华夷图》和《禹迹图》是南宋末时的石刻,图上有方格,每方折百里,为我国现存最早的“计理画方”地图。苏州的南宋石刻《平江图》是我国现存最完整的古代城市规划图。元代郭守敬在全国进行了天文测量,并在长期修渠治水实践中,总结出一套水准测量的经验,首先提出了海拔高程的概念。明代郑和七下西洋首次绘制了航海图。清康熙年间(1708—1718年)开展了大规模的经纬度测量和地形图测绘,编成著名的《皇舆全图》。

在世界范围内,17世纪望远镜的发明和应用对测量技术的发展起到了很大的促进作用。1683年,法国进行了弧度测量,证明了地球是两极略扁的椭球体。1794年德国高斯提出了最小二乘法原理,后来又提出了横圆柱投影学说,对测量学的发展做出了重大贡献。1903年飞机的发明对航空摄影测量发展起到了决定性作用,并大大减小了测量的劳动强度。20世纪以来,电子计算机的出现,不仅加快了计算速度,而且改变了测绘的仪器和方法。特别是1957年人造地球卫星的发射,促使测绘工作有了新的飞跃,开辟了卫星大地测量学这一新领域。多普勒定位是空间技术用于大地测量并得到普遍应用的一种先进技术。到了70年代,又出现了全球定位系统(GPS),用它进行精密控制测量能达到厘米级精度。人们利用遥感、遥测技术获得丰富的图像信息,编制大区域的小比例尺影像地图和专题地图。同时还出现了惯性测量系统和长基线干涉测量,前者是根据惯性原理设计的测定地面点大地元素的装置,后者是一种独立站射电干涉测量技术,用来测定相距很远地面点的相对位置。

建国以来,测绘事业有了很大的发展,主要成就有以下几个方面。

(1)测量学的任务及其在工程建设中的作用。在全国范围内建立了国家大地网(平面控制)、国家水准网、国家基本重力网和卫星多普勒网,并对国家大地网进行了整体平差。

(2)仪器开发。研制成功卫星摄影仪、卫星激光测距仪、多普勒接收机、精密光学经纬仪、精密水准仪、光电测距仪和解析测图仪等仪器,促进了我国测绘事业的进一步发展。从70年代中期起,激光技术开始用于施工测量和变形观测,例如激光铅垂仪用于烟囱和高层建筑的施工;激光扫平仪用于场地平整;激光导向仪用于控制施工机械的前进方向,激光准直仪用于大坝的变形监测等。

(3)新技术应用方面。目前,随着GPS、全站仪、计算机等在测量领域的普遍应用,全国正在构建数字中国。数字中国的建设不仅为以后国民经济建设提供必要的地形图件,而且将为更好的管理和合理利用国家水土资源等提供必要的图件保障。这些技术改革和硬件设备的改进将使得测量结果的获得过程大为简化,实现了测量过程一体化,使测量成果现势性大为提高,并在必要时可随时对测量图件及成果进行修正。

1.1.2 测量学的概念与分类

测量学是研究测定地面点的平面坐标和高程,将地球表面的地形和其他信息测绘成图,以及确定地球形状和大小等的科学。

测量学按照研究范围和对象的不同主要可分为以下几种。

1. 大地测量学

研究和测定地球形状、大小和地球重力场,以及测定地面点几何位置的学科。

2. 普通测量学

研究地球表面较小区域的形状和大小,不考虑地球的曲率,用水平面代替地球局部表面所进行的地形图或平面图测绘的学科。

3. 摄影测量学

研究利用摄影或遥感的手段获取被测物体的信息(影像的或数字形式的),进行分析和处理,以确定被测物体的形状、大小和位置,并判断其性质的学科。摄影测量学可分为航天摄影测量、航空摄影测量、地面摄影测量和水下摄影测量。

4. 工程测量学

研究工程建设在勘察设计、施工放样、竣工验收和管理阶段所进行的测量工作的理论、技术和方法的学科。

5. 地籍测量学

研究测定土地及其上面附着物权属界限的位置、形状、面积并反映其使用状况为主要目的所进行的测量工作的理论、技术和方法的学科。

6. 制图学

利用测量所得的资料,研究如何将投影编绘成地图,以及地图制作的理论、工艺技术和应用等方面的测绘科学。

1.1.3 测量学的任务及其在工程建设中的作用

1. 测量学的任务

测量学最初即是研究地球的形状、大小及确定地面点空间位置的一门科学。测量一词是泛指对各种量的量测,而测量学所要量测的对象是地球的局部表面以及整个地球。由于测量学一般包含“测”和“绘”两项内容,所以又称为测绘科学。测绘学是既要测定地面点的几何位置、地球形状、地球重力场以及地球表面自然形态和人工设施的集合形态,又要结合社会和自然信息的地理分布,研究绘制全球或局部地区各种比例尺的地形图和专题地图的理论和技術。

测量学的主要任务可分为测图和测设两大内容。

(1)测图(测定)。是将地面上存在的各种地形和地物利用工程测量的方法确定出它们

的位置并用规定的符号和一定的比例绘制成图的工作,称为测图,也称测定。如某区域地形图的测绘等工作。

(2)测设(放样)。是将各种工程设计的点位用测量的方法测设到实地的工作,称为测设,又称放样。如各种工程建筑物和构筑物的施工放样等工作。

2. 测量学在工程建设中的作用

测量工作对我国的社会主义经济建设和国防建设具有重要的意义。在铁路、公路、水利工程、水土保持工程、植树造林和土地平整等工程建设中都起着不可忽略的作用,并且贯穿于工程建设的始终。

(1)为工程规划设计提供所需的地形资料。规划时提供中、小比例尺地形图及有关信息,建筑物设计时要测绘大比例尺的地形图。

(2)施工阶段要将图上设计好的建筑物按其位置、大小测设于地面上,以便据此施工。

(3)在施工过程和工程建成后的运行管理中,需要对建筑物的稳定性及变化情况进行监测——变形观测,确保工程安全。

例如在铁路、公路、渠道、管道等工程建设之前,为了确定一条经济合理的路线,必须进行路线勘测,绘制带状地形图、纵断面图和横断面图,并在图上进行路线设计,然后将设计路线的位置标定在地面上,以便进行施工。当路线跨越河流、沟道等时,必须修建桥梁或涵洞等,在建造这些建筑物之前,要测绘河流或沟道两岸的地形图,测量河床或沟道断面、水位、流速、流量和桥梁轴线的长度,以便设计桥台和桥墩的位置,最后将设计位置测设到实地。又如城市规划、给水排水、煤气管道等市政工程的建设,工业厂房和高层建筑的建造,各项水利工程的兴建,地下矿藏的勘探和开采,森林资源的调查和采伐,地籍测量和土地管理等都要以地形图和各种测量数据为依据。在国防建设中,除了各项国防工程的修建、战役部署和军事行动需要军用地图外,还要为大炮和导弹等武器发射的准确性提供精确的测量数据。

1.2 地面点位的确定

1.2.1 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的,许多测量基本理论和数据都涉及地球的形体,因此必需了解地球的形状和大小。地球的自然表面极为复杂,有高山、丘陵、平原、海洋等,因此,地球是起伏不平的不规则曲面。地面上最高的珠穆朗玛峰,高出海平面 8848.13 m,海洋最深处是太平洋西部的马里亚纳海沟,深达 1102 m,但因地球的半径约为 6371 km,故地球表面的起伏相对于其庞大的体积来说是极微小的。同时,整个地球表面上海洋面积约占 71%,陆地仅占 29%,所以海水面所包围的形体基本上表示了地球的形状。人们通常用一个向陆地内部延伸的静止海水面所包围的形体来表示地球的形状。这种静止海水面称为水准面。随着静止海水面高度的不同,水准面有无数个,而其中通过平均海水面的一个称为大地水准

面。为此,我国规定以 1956 年由青岛验潮站求出的黄海平均海水面(即从青岛验潮站的大枯零点)称为我国大地水准面。如图 1-1 所示,该表面是一个处处与重力方向垂直的曲面。重力方向线是铅垂线,也是测量工作的基准线,而大地水准面是测量高程的基准面。由此基准面推算各水准点的高程称为“1956 年黄海高程系”。大地水准面为一个复杂的曲面。如果将地球表面上的图形投影到这个复杂的曲面上,则在测量计算上极为困难,且不利于各种工程建设的进行。因此,人们又选择——一个与大地水准面非常接近的数学面——旋转椭球体来代替地球的形状和大小。

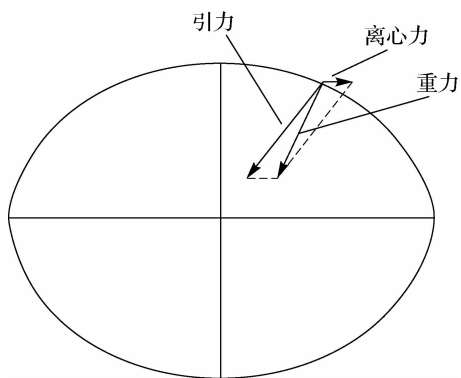


图 1-1 地球表面与大地水准面

由于地球内部质量分布不均匀,从而引起铅垂线方向呈不规则变化。因此,绕其短轴而成的球体,其旋转轴与地球自转轴相重合,如图 1-1 所示,其表面称为旋转椭球面。旋转椭球体的形状和大小取决于长半径(赤道半径) a 、短半径(旋转轴半径) b 和扁率 $\alpha(\alpha=(a-b)/a)$ 。我国 1978 年推算值为: $a=6378143\text{ m}$, $\alpha=1:298.255$ 。

当地球的形状和大小确定之后,还要将椭球面与大地水准面的相互位置固定下来才能将地面上的观测成果换算到椭球体上。如图 1-2 所示,地面上选定一点 P 称为大地基准点,使 P 点的铅垂线与椭球面上相应 P_0 点的法线相重合,并且在此位置上椭球面与大地水准面相切,处在这个位置的椭球体与大地体(由大地水准面所包围的形体)相接近,并将它与大地水准面的相对位置固定下来,这个椭球体就称为参考椭球体。实际上每个国家都采用与本国领土比较合适的椭球体,并且独自确定椭球体与大地体的关系。我国于 1954 年建立北京坐标系。近几年来,又根据最新测量数据,将坐标系的原

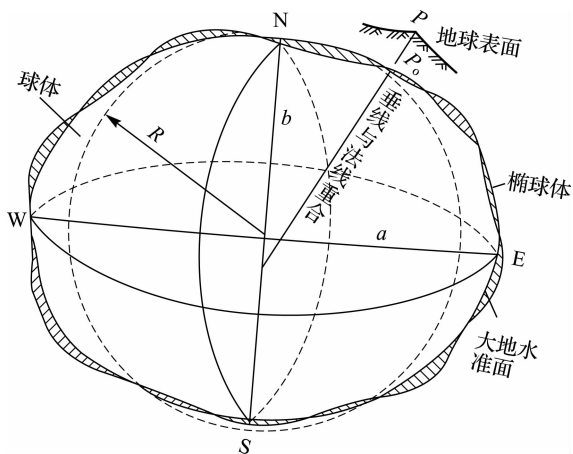


图 1-2 大地体与椭球体

点设在陕西泾阳县永乐镇,即以该点作为大地原点进行定位,称为“1980 年国家大地坐标系”。

参考椭球体是测量成果换算的依据。在一般测量中,为了计算方便,可近似把地球当作球体看待,其平均半径约为 6371 km。当测区范围较小时,又可把球面视为平面看待。

1.2.2 地面上点位的表示方法

确定地面上一点的空间位置,包括确定它在球面上的位置(以坐标表示)及其到大地水准面的垂直距离(即高程)。

1. 坐标

主要为地理坐标和平面直角坐标。

(1)地理坐标。以经度和纬度表示地面点位置的,称为地理坐标。如图 1-3 所示,N 和 S 分别为地球北极和南极,NS 为地球的自转轴。设地球上有一任一点 M ,过 M 点和地球自转轴所构成的平面称 M 点的子午面,子午面与地球表面的交线称为子午线,又称经线。按照国际天文学会规定,通过英国格林尼治天文台的子午面称为起始子午面,以它作为计算经度的起点,向东从 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 称东经,向西从 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 称西经。 M 点的子午面与起始子午之间的夹角 λ 即为 M 点的经度。 M 点的铅垂线与赤道平面之间的夹角 φ 即为 M 点的纬度。赤道以北从 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 称北纬,赤道以南从 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 称南纬。若 M 点的经度和纬度已知,则该点在地球表面上的投影位置即可确定。

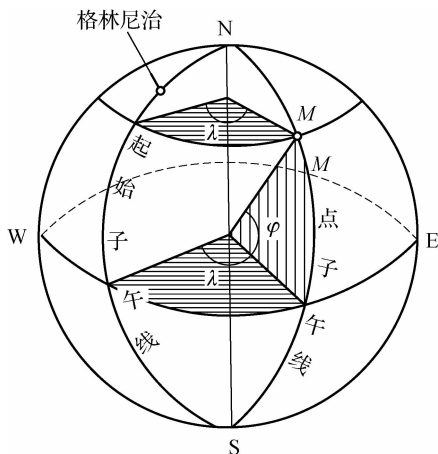


图 1-3 地理坐标系

(2)平面直角坐标。当测量的范围较小时(半径不大于 10km 的区域内),可把该部分的球面视为水平面,将地面点直接沿铅垂线方向投影于水平面上。如图 1-4 所示,以相互垂直的横轴和纵轴建立平面直角坐标系。纵轴为 x 轴,与南北方向一致,以向北为正,向南为负。横轴为 y 轴,与东西方向一致,以向东为正,向西为负。这样任一点平面位置可以用其纵横

坐标表示,如坐标原点 O 是任意假定的,则为独立的平面直角坐标系。

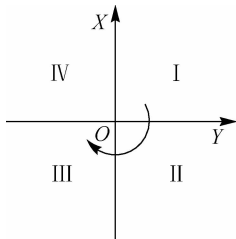


图 1-4 测量平面直角坐标系

由于测量上所用的方向是从北方向(纵轴方向)起按顺时针方向以角度计值(象限也按顺时针编号,如图 1-4 所示)。因此,将如图 1-5 所示的数学上平面直角坐标系(角值从横轴正方向起按逆时针方向计值)的 x 轴和 y 轴互换后即可得到测量平面直角坐标系,数学上三角函数的计数公式可不加改变直接用于测量的计算中。

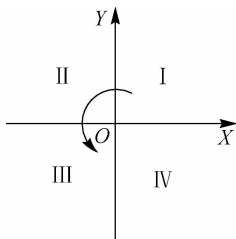


图 1-5 数学平面直角坐标系

(3)高斯投影的概念及高斯平面直角坐标。高斯投影概念,设想用一横圆柱体套在地球外面,使圆柱体的轴心通过地球的中心,把地球某一条子午线(称为中央子午线)与圆柱体相切,如图 1-6(a)所示。将该子午线两侧的球面上的图形按一定的数字关系投影到圆柱面上,然后将圆柱面沿通过南北极的 TT' 和 KK' 切开,展成平面就得到投影到平面上的相应图形。

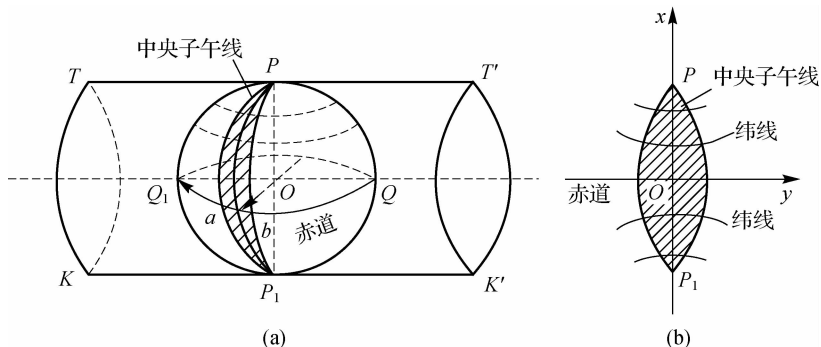


图 1-6 高斯投影原理

这种投影具有下列性质：

- ① 中央子午线 POP_1 的投影为一条直线，且投影后长度无变形，其余经线的投影为凹向中央子午线的对称曲线，如图 1-6(b) 所示。
- ② 赤道的投影也为一直线，其余纬线的投影为凸向赤道的对称曲线，如图 1-6(b) 所示。
- ③ 中央子午线和赤道投影后为互相垂直的直线，成为其他经纬线投影的对称轴。
- ④ 其他经纬线投影后仍保持互相垂直的关系，即投影前后角度无变形，故称为正形投影。

高斯平面直角坐标。高斯投影的角度无变形，其长度除中央子午线无变形外，离中央子午线越远其变形就越大，为此应采用分带投影来限制其影响。

如图 1-7 所示，从格林尼治子午线（首子午线）起，依次每隔经度 6° 分为一带，称为六度带。整个地球分为 60 带，用数字 1-60 顺序编号，每带中央子午线的经度顺序为 3° 、 9° 、 15° 、……，可按下式计算

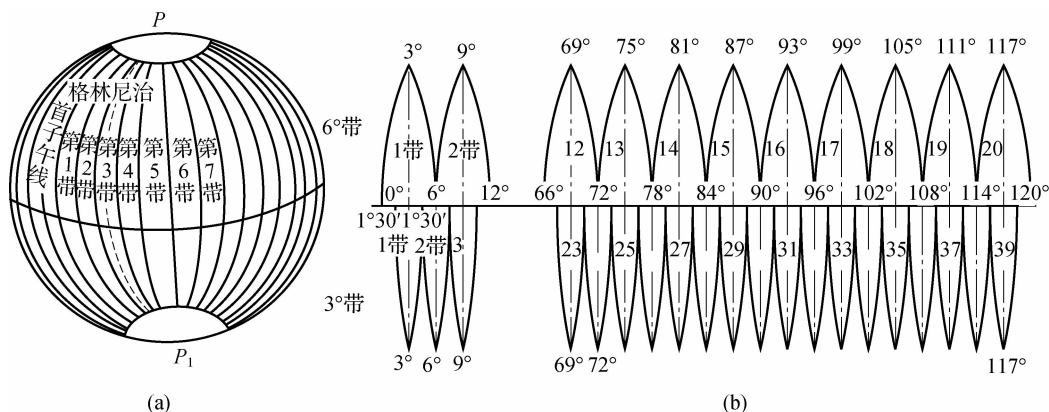


图 1-7 分带投影

$$\lambda_0 = 6N - 3 \quad (1-1)$$

式中： λ_0 ——投影带中央子午线的经度；

N ——投影带的号数。

由于中央子午线和赤道的投影为互相垂直的直线，以中央子午线为 x 轴，赤道为 y 轴。两轴的交点为坐标原点，就组成了高斯平面直角坐标系，如图 1-8(a) 所示。

我国位于北半球， x 坐标值均为正， y 坐标值则有正有负。为了避免横坐标出现负值，所以将海带的坐标原点向西移动 500km，如图 1-8(b) 中的 O 点。这样每一带中所有各点的横坐标值均能得到正值。在图 1-8(a) 中，设 $y_A = 37680.1 \text{ m}$ ， $y_B = -34240.5 \text{ m}$ ，移动原点后则 $y_A = 500000 + 37680.1 = 537680.1 \text{ m}$ ， $y_B = 500000 - 34240.5 = 465759.5 \text{ m}$ ，如图 1-8(b) 所示。为了表明一个点位于哪一带内，需要在横坐标前面加上带号，例如 A 点位于中央子午线 117° 的 20 带内， $y_A = 20537680.1 \text{ m}$ 。

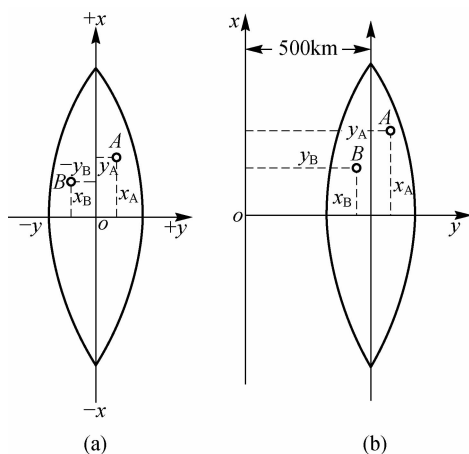


图 1-8 高斯平面直角坐标系

用 6° 分带投影时其长度变形能满足 $1:25000$ 或更小比例尺测图的精度要求。而用 $1:10000$ 以上的大比例尺测图时,采用 6° 分带将不能满足测图精度的要求,此时应采用 3° 分带法。

3° 带是在 6° 带的基础上划分的,它的宽度为 6° 带的一半, 6° 带的中央子午线及其两边缘子午线都是 3° 带的中央子午线。

3° 带中央子午线的经度顺序为 $3^\circ, 6^\circ, 9^\circ, \dots$, 可按下式计算

$$\lambda'_0 = 3N' \quad (1-2)$$

式中: λ'_0 —— 3° 带中央子午线的经度;

N' —— 3° 带的号数。

为了避免横坐标出现负值, 3° 带的坐标原点同 6° 带一样向西移动 500 km。但 y 值前面的带号不同。上例中央子午线 117° 时的 3° 带带号 $N' = 117^\circ / 3^\circ = 39$ 。

因此, y 坐标值前面要加“39”。

2. 高程分为绝对高程和相对高程。

(1)绝对高程。如图 1-9 所示,地面点沿铅垂线方向至大地水准面的距离称为绝对高程或海拔。在图中,地面点 A 和 B 的绝对高程分别为 H_A 和 H_B 。过去我国采用青岛验潮站 1950—1956 年观测成果求得的黄海平均海水面作为高程的零点,称为“1956 年黄海高程系”。后经复查,发现该高程系验潮资料过短,准确性较差,改用青岛验潮站 1950—1979 年的观测资料重新推算并命名为“1985 年国家高程基准”。国家水准原点设于青岛市观象山,作为我国高程测量的依据。它的高程是以“1985 年国家高程基准”所定的平均海水面为零点测算而得,废止了原来“1956 年黄海高程系”的高程。

(2)相对高程。如图 1-9 所示,地面点沿铅垂线方向至任意假定的水准面的距离称为相

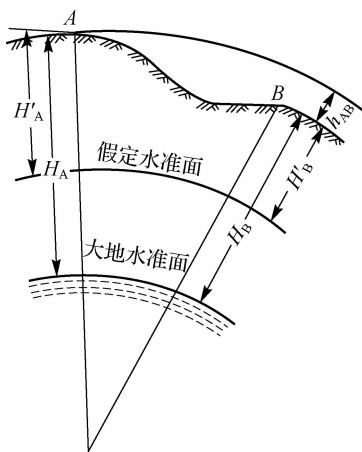


图 1-9 绝对高程与相对高程

对高程,亦称为假定高程。在图中,地面点 A 和 B 的相对高程分别为 H'_A 和 H'_B ,两点高程之差为高差。如图中, A 、 B 点的高差

$$h_{AB} = H'_B - H'_A$$

在测量工作中,一般采用绝对高程,只有在偏僻地区,附近没有已知的绝对高程点可引测时,才采用相对高程。

1.2.3 地面点位的确定

测量工作的实质是确定地面点位的基本要素,即水平角(β)、水平距离(d)与高差(h)(或斜距离 D' 与竖直角 θ)。传统的测量方法是根据已知点位的平面位置及其高程,测出已知点至各欲求点间的水平角、水平距离及其间的高差,推算出各欲求点位的平面位置与高程。但自全站仪问世以来,由于它可以同时测出水平角、斜距离与竖直角,并通过仪器中的程序算出所需要的测量结果。因此,将全站仪安置在已知点位(y_e, x_e, H_e),将已知点位的坐标与后视方位输入,就可以直接测算出欲求点的坐标(y_i, x_i, H_i)或欲求点间的距离和高差,简化了测量工作,提高了工作效率。

1.2.4 水平面代替水准面的限度

采用高斯直角坐标来表示地面上某点的位置时,需要通过比较复杂的投影计算才能求得该地面点在高斯投影平面上的坐标值,一般都用于大面积的测区。假如测量区域较小时将曲面按照平面对待,即以水平面代替水准面,使计算和绘图工作大为简化。下面分析用水平面代替水准面对距离和高差的影响,以便限制用水平面代替水准面的范围。

1. 地球曲率对水平距离的影响

如图 1-10 所示,设地面上有 A' 、 B' 两点,它们投影到球面的位置为 A 、 B ,如果用水平面

替代水准面,则这两点在水平面上的投影为 A、C。则以水平距离(AC)替代球面上的距离 AB 带来的误差为:

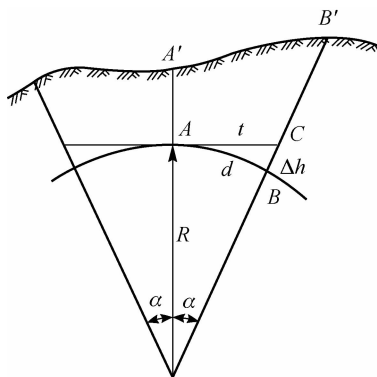


图-10 用水平面代替水准面的示意图

$$\Delta d = t - d = R \tan \alpha - R\alpha \quad (1-3)$$

式中: R ——球半径(6371 km);

α ——AB 圆弧对应的圆心角。

将 $\tan \alpha$ 按泰勒级数展开,取前两项,并代入(1-3)式得:

$$\Delta d = R\alpha + R\alpha^3/3 - R\alpha = R\alpha^3/3 \quad (1-4)$$

而 $\alpha = d/R$,代入(1-4)式得出:

$$\Delta d = d^3/3R^2 \quad (1-5)$$

将不同的 d 值代入或(1-5),算得相应的 Δd 与 $\Delta d/d$ 值并列入表 1-1 中,由表中的数据可以看出,距离不同时用水平面代替水准面对水平距离带来的影响。当水平距离 $d \leq 10$ km 时, $\Delta d/d \leq 1/12 \times 10^5$ 。目前所采用的所有测量手段都达不到这一精度。因此可以得出,在半径为 10 km 的范围内,用水平面代替水准面对水平距离的影响可以忽略,即可把半径为 10km 范围内的水准面近视看作水平面。

2. 对高程的影响

在图 1-10 中,A、B 两点在同一水准面内,其高程相等。但是,如果用水平面替代水准面,则 B 投影到水平面上的投影为 C 点,这时,在高程方向上所产生的误差为 Δh ,由图中可见, $\angle CAB = \alpha/2$,且 α 很小,则:

表 1-1 地球曲率对水平距离和高程的影响

距离 d	距离误差 $\Delta d(\text{mm})$	距离相对误差 $\Delta d/d$	高程误差 $\Delta h(\text{mm})$	距离 d	距离误差 $\Delta d(\text{mm})$	距离相对误差 $\Delta d/d$	高程误差 $\Delta h(\text{mm})$
100 m	0.000008	$1/12.5 \times 10^9$	0.8	10 km	8.2	$1/12 \times 10^5$	7850
1 km	0.008	$1/12.5 \times 10^7$	78.5	25km	128.3	$1/19.5 \times 10^4$	49050.0

$$\Delta h = d \cdot \alpha / 2 \quad (1-6)$$

而 $\alpha = d/R$, 则:

$$\Delta h = d^2 / 2R \quad (1-7)$$

将不同的 d 值代入式(1-7)得出 Δh 相应的数据如表 1-1 所示。由表中数据可以看出, 当水平距离 $d=100$ m 时, 对应距离对高差的影响接近于 1 mm, 直观判断时可得出结论认为, 即使水平距离很短, 曲率对高差的影响也不可忽视。但是, 水准测量过程中通常让前、后视距离大致相等, 则地球曲率对前、后视读数的影响大致相等, 因此对高差的影响近似为 0; 由此可以得出结论认为, 当水平在 10 km 范围内, 水准测量过程中, 如果前、后视距离大致相等, 用水平面代替水准面时对高差的影响可以忽略。

结论:在面积为 100 km^2 范围内, 不论进行水平距离还是水平角测量, 都可以不考虑地球曲率的影响, 但对高程测量的影响不能忽略。

1.2.5 测图原理

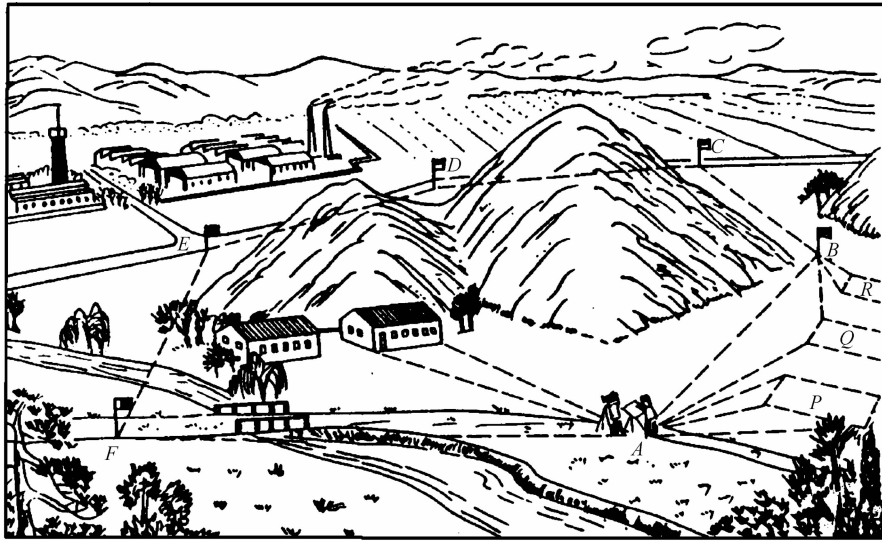
前面谈到反映地面情况的地图, 是把地面上高低不等的点投影到参考椭球面上的。在测区范围较小的地形图上把投影面作为平面。如图 1-11(a)中 $A、B、C、D、E、F$ 是地面上高低不等的一系列点, 构成一个空间多边形。过这些点作铅垂线, 这些铅垂线的垂足在图 1-11(b)的平面上构成多边形 $A'B'C'D'E'F'$, 平面上各点就是空间各点的正射投影。从图中可以看到多边形 $ABCDEF$ 与 $A'B'C'D'E'F'$ 并不完全相似。平面上多边形的各边一般都短于空间的相应边, 至多相等。投影平面上的角是包括两倾斜边的两面角在水平面上的投影。所以, 地形图上各点是实地上相应点在平面上正射投影的位置再按测图比例尺缩绘在纸上的。由此得出测量工作中测定点与点之间关系的三种要素:

(1)测定地面上两点间的距离, 是指水平距离。

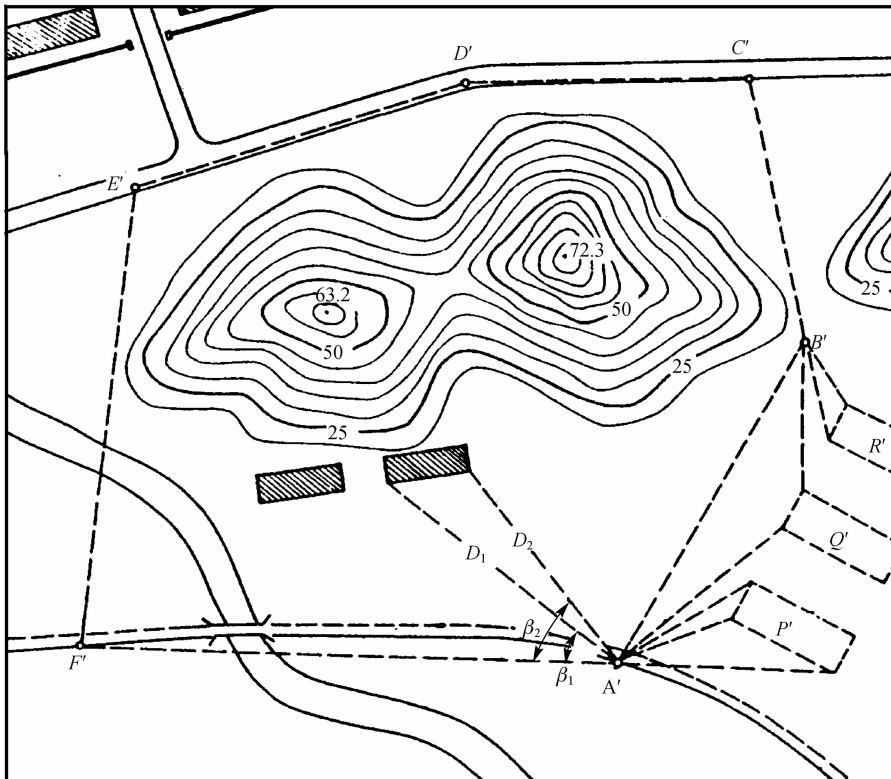
(2)测定两条边之间的夹角, 是指通过角顶的两条边所作两个竖直平面与水平面的交线所构成的角, 测量上称为水平角。

(3)地面上各点的高差, 是指地面各点沿铅垂线方向至大地水准面的距离之差, 即高程之差。

由此可知, 水平距离、水平角及高程是确定地面点相对位置的三个基本几何要素。测量地面点的水平距离、水平角及高程是测量的基本工作。



(a)



(b)

图 1-11 测图原理示意图

1.3 施工测量的作用、特点和原则

1.3.1 施工测量的作用

1. 施工测量

各种工程建设,都要经过规划设计、建筑施工、经营管理等几个阶段,每一阶段都要进行测量,在施工阶段所进行的测量工作,称为施工测量。

2. 施工测量任务

施工测量的基本任务是按照设计要求,使用测量工具,按照一定的测量方法,满足一定的测量精度要求,将设计部门设计的建筑测设到地面上,包括建筑的形状(角度)、大小(长度)、方位(方位角)、高低(高程)等要素。同时衔接和指导各工序间的施工。

3. 施工测量内容

施工测量贯穿于整个施工过程中,它的主要内容包括以下 5 种。

(1)施工场地平整测量:各项工程建设开工时,首先要进行场地平整。平整时可以利用勘测阶段所测绘的地形图来计算场地的设计高程并估算土石方量。如果没有可供利用的地形图或计算精度要求较高时,也可采用方格水准测量的方法来计算土石方量。

(2)建立施工控制网:施工测量按照“从整体到局部、先控制后碎部”的基本原则进行的。为了把规划设计的建筑准确地在地面标定出来,以便于各项工作的平行施工,施工测量时要在施工场地建立平面控制网和高程控制网,作为建筑定位及细部测设的依据。

(3)施工放样与安装测量:施工前,要按照设计要求,利用施工控制网把建筑和各种管线的平面位置及高程在地面标定出来,作为施工的依据。在施工过程中,要及时测设建筑的轴线和标高位置,并对构件和设备安装进行校准测量。

(4)竣工测量:每道工序完成后,都要通过实地测量检查施工质量并进行验收,同时根据检测验收的记录整理竣工资料和编绘竣工图,为鉴定工程质量和日后维修与改扩建提供依据。

(5)建筑的变形观测:对于高层建筑、大型厂房或其它重要建筑,在施工过程中及竣工后一段时间内,应进行变形观测,测定其在荷载作用下产生的平面位移和沉降量,以保证建筑的安全使用,同时也为鉴定工程质量、验证设计和施工的合理性提供依据。

1.3.2 施工测量的特点

1. 目的不同

测图工作是将地面上的地物和地貌测绘到图纸上,而施工测量是将图纸上设计的建筑或构筑物放样到实地。

2. 精度要求不同

建筑测设的精度可分为两种:

(1)测设整个建筑(也就是测设建筑的主要轴线)对周围原有建筑或与设计建筑之间相对位置的精度。

(2)建筑各部分对其主要轴线的测设精度。对于不同的建筑或同一建筑中的各个不同部分,这些精度要求并不一致。测设的精度主要取决于建筑的大小、性质、用途、建材、施工方法等因素。例如:高层建筑测设精度高于低层建筑;自动化和连续性厂房测设精度高于一般厂房;钢结构建筑测设精度高于钢筋混凝土结构、砖石结构;装配式建筑测设精度高于非装配式建筑。放样精度不够,将造成质量事故;精度要求过高,则增加放样工作的困难,降低工作效率。因此,应该选择合理的施工测量精度。

3. 工程知识要求

工程施工测量贯穿施工的全过程,测量工作直接影响工程质量和进度。因此,施工测量人员必须具备一定的施工知识,了解设计的基本思路、设计内容、工程性质、对测量的精度要求、熟悉建筑图纸、了解施工过程,密切配合施工进度,确保施工质量。

4. 默契配合

施工现场地面情况变动大,建筑平面、建筑立面造型复杂,测量人员需要与施工技术人员密切配合,制定合理的测量方案,保证施工正常进行。

5. 受施工干扰

施工场地上工种多,交叉作业频繁,并要填、挖大量土、石方,地面变动很大,又有车辆等机械震动,因此各种测量标志必须埋设稳固且不易被破坏。常用方法是将这些控制点远离现场。但控制点常直接用于放样,且使用频繁,控制点远离现场会给放样带来不便,因此常采用二级布设方式,即设置基准点和工作点。基准点远离现场,工作点布设于现场,当工作点密度不够或者现场受到破坏时,可用基准点增设或恢复之。工作点的密度应尽可能满足一次安置仪器即可放样的要求。

6. 安全要求高

施工现场工序繁多,车辆出行频繁,高空作业连续不断,需要测量人员注意安全,包括:人员安全、仪器安全、测量标注的安全、测量数据的精度等,因此需要测量人员合理安排测量与其他施工工序。

1.3.3 施工测量的原则

1. 程序原则

测量结果误差是不可避免的,错误是不允许存在的。测量必须遵守“从整体到局部、先控制后碎部”的基本原则。先在测区(测量区域)内选择若干个周围一定范围内具有一定控

制意义的点组成控制网,并确定这些点的平面位置和高程,以此为基础对周围的施工点位进行测量定位。这样做的好处在于:可以控制误差的积累和传递,确保测区的整体精度;由于控制网的存在可以将整个测区分成若干个区域,同时测量,提高测量工作效率,缩短测量工期。

2. 检核原则

为减少测量误差的积累和传递,测量一定做到“步步检核”,前一步合格才可进行下一步工作,防止发生错误,保证测量质量。

1.4 施工测量的有关要求

1.4.1 测量放线工作的基本准则

1. 法律法规

认真学习和执行国家法令、政策与规范,明确为工程服务从而达到对按图施工与工程进度负责的工作目的。

2. 工作程序

遵守先整体后局部、高精度控制低精度的工作程序。即先测设精度较高的场地整体控制网,再以控制网为依据进行各局部建筑的定位、放线和测图。

3. 原始依据

严格审核测量原始依据的正确性,坚持测量作业与计算工作步步有校核的工作方法。测量原始依据包括:设计图纸、文件、测量起始点、数据、测量仪器和量具的计量检定等。

4. 测法原则

遵循测法要科学、简捷,精度要合理、相称的工作原则。仪器选择要适当,使用要精细。在满足工程需要的前提下,力争做到省工、省时、省费用。

5. 验线制度

定位、放线工作必须执行经自检、互检合格后,再由有关主管部门验线的工作制度。此外,还应执行安全、保密等有关规定,用好、管好设计图纸与有关资料。实测时要当场做好原始记录,测后要及时保护好桩位。

6. 工作作风

紧密配合施工,发扬团结协作、不畏艰难、实事求是、认真负责的工作作风。

7. 总结经验

虚心学习,及时总结经验,努力开创新局面,以适应建筑业不断发展的需要。

1.4.2 测量验线工作的基本准则

1. 主动及时

验线工作应主动及时,从审核施工测量方案开始,在施工的各主要阶段前均应对施工测量工作提出预防性的要求,以做到防患于未然。

2. 验线依据

验线的依据必须原始、正确、有效。主要是设计图纸、变更洽商记录与起始点位(如红线桩点、水准点等)及其已知数据(如坐标、高程等),要最后定案有效且是正确的原始资料。

3. 仪器检验

仪器与钢尺必须按计量法有关规定进行检验和校正。

4. 验线精度

应符合规范要求,主要包括:

- ①仪器的精度应适应验线要求,并校正完好;
- ②必须按规程作业,观测误差必须小于限差,观测中的系统误差应采取措施进行改正。
- ③验线本身应进行附和(或闭合)校核。

5. 独立验线

验线工作与放线工作独立进行,包括:

- ①观测人员独立;
- ②仪器独立;
- ③测量方法和观测路线独立。

6. 验线部位

应在关键环节与最弱部位验线,包括:

- ①定位依据桩及定位条件;
- ②施工区域平面控制网、主要轴线及控制桩;
- ③施工区域高程控制网及 ± 0.000 高程线;
- ④控制网及定位放线中最弱部位。

7. 验线精度

平面控制网与建筑定位,应在平差计算中评定其最弱部位的精度,并实地验测,精度不符合要求时应重测。细部测量,可用不低于原测量放线的精度进行验测。

1.4.3 测量记录的基本要求

1. 记录基本要求

原始真实、数字正确、内容完整、字体工整。

2. 填写规定位置

记录要填写在相应表格的规定位置。

3. 保持纪录原始性

测量记录要当场填写清楚,不允许转抄、誊写,以确保记录的原始性。数据要符合法定计量单位。

4. 记录要清楚、工整

将小数点对齐,上下成行,左右成列。对于记错或算错的数字,在其上划一斜线,将正确数字写在同格错数的上方。

5. 反映精度

记录数字的位数要反映观测精度。如水准读数至 mm,1.45m 应记录为 1.450m。

6. 现场计算

记录过程的简单计算应在现场及时完成,并作校核,如平均数、高差、角度等的计算。

7. 记录人员应及时校对观测数据

根据观测数据与现场实际情况作出判断,及时发现并改正明显错误。

8. 现场勾绘草图、点之记

包括方向、地名、有关数据等均需一一记录清楚。测量数据大多具有保密性,应妥善保管,工作结束后测量数据应立即上交有关部门保存。

1.4.4 测量计算的基本要求

1. 测量计算工作基本要求

依据正确、方法科学、严谨有序、步步校核、结果正确。

2. 计算依据

外业观测成果是内业计算的基本依据,计算开始前要对外业观测记录、草图、点之记等进行认真审核,发现错误并及时补救和改正。

3. 计算过程

一般需要在规定的表格内进行需要反复校对,严禁抄错数据。

4. 步步检核

为保证计算结果的正确性必须遵守步步校核的原则,校核方法以独立、有效、科学和简捷为原则,常用方法有以下 5 种。

(1)复算校核:将结算结果重新计算一遍,做好换人进行校核计算,以免因习惯性错误的

再次发生失去复核的意义。

(2) 总和校核:例如水准测量中,终点对起点的高差,应满足如下条件:

$$\sum h - \sum a - \sum b = H_{\text{终}} - H_{\text{始}}$$

(3) 几何条件校核:例如闭合导线计算中,调整后个内角之和应满足如下条件:

$$\sum \beta = (n - 2) \cdot 180^\circ$$

(4) 变换计算方法校核:例如坐标反算中,可采用公式计算和按计算程序计算两种方法。

(5) 概略估算校核:在开始计算之前,可按已知数据与计算公式,预估结果的符号与数值,此结果虽不能与精确计算结果完全吻合,但一般不会有很大差错,对防止出现错误至关重要。

注意:任何一种校核计算都只能发现计算过程中出现的错误,而不能发现原始依据的错误,所以对原始计算依据的校核至关重要。

5. 适应精度

计算中数字应与观测精度相适应,在不影响成果精度的情况下,要及时合理地删除多余数字,提高计算速度。删除数字应遵守“四舍、六入如、整五凑偶”的原则。

1.4.5 测量人员应具备的能力

1. 审核图纸

能读懂设计图纸,结合测量放线工作审核图纸,能绘制放线所需大样图或现场平面图。

2. 放线要求

掌握不同工程类型和不同施工方法对测量放线的要求。

3. 仪器使用

了解仪器的构造和原理,并能熟练地使用、检校和维修仪器。

4. 计算校核

能对各种几何形状、数据和点位进行计算与校核。

5. 误差处理

能利用误差理论分析误差产生的原因,并能采取有效的措施对观测数据进行处理。

6. 熟悉理论

熟悉测量理论,能对不同的工程采用适合的观测方法和校核方法,按时保质保量地完成测量任务。

7. 应变能力

能针对施工现场出现的不同情况,综合分析和处理有关测量问题,提出切实可行的改进措施。

1.4.6 测量员岗位职责

1. 工作作风

紧密配合施工,坚持实事求是、认真负责的工作作风。

2. 学习图纸

测量前需了解设计意图,学习和校核图纸;了解施工部署,制定测量放线方案。

3. 实地检测

会同建设单位一起对红线桩测量控制点进行实地检测。

4. 仪器校核

测量仪器的核定与校正。

5. 密切配合

与设计、施工等方面密切配合,并事先做好充分的准备工作,制定切实可行的与施工同步的测量放线方案。

6. 放线、验线

须在整个施工的各个阶段和各主要部位做好放线、验线工作,并要在审查测量放线方案和指导检查测量放线工作等方面加强力度,避免返工。验线工作要主动,从审核测量放线方案开始,在各主要阶段施工前,对测量放线工作提出预防性要求,真正做到防患于未然,准确地测设标高。

7. 观测记录

负责垂直观测、沉降观测,并记录整理观测结果。

8. 基线复合

负责及时整理并完善基线复核、测量记录等测量资料。

1.4.7 施工测量管理人员的工作职责

1. 项目工程师

对工程的测量放线工作负技术责任,审核测量方案,组织工程各部位的验线工作。

2. 技术员

领导测量放线工作,组织放线人员学习并校核图纸,编制工程测量放线方案。

3. 施工员

对工程的测量放线工作负主要责任,并参加各分项工程的交接检查,负责填写工程预检单并参与签证。

1.4.8 施工测量技术资料的主要内容

主要包括:①红线桩坐标及水准点通知单;

- ②交接桩记录表；
- ③工程定位图(建筑总平面图、建筑场地原始地形图)；
- ④设计变更文件及图纸；
- ⑤现场平面控制网与水准点成果表及验收单；
- ⑥工程位置、主要轴线及高程预检单；
- ⑦必要的测量原始记录；
- ⑧竣工验收资料及竣工图；
- ⑨沉降变形观测资料。

1.4.9 测量的计量单位

《中华人民共和国计量法》和《国际单位制及其应用》规定：

①国际单位制的基本单位 7 个。如长度单位——米(m)，质量单位——千克(kg)，时间单位——秒(s)等。

②包括国际单位制中辅助单位在内具有专门名称的导出单位 18 个。如力的单位——牛(顿)(N)，压强单位——帕(斯卡)(Pa)等。

③可与国际单位制并用的我国法定计量单位 18 个。如时间单位——分(min)、时(h)、日(d)，平面角度单位——度($^{\circ}$)、分($'$)、秒($''$)，质量单位——吨(t)，体积单位——升(L、l)，面积单位——平方米(m^2)、公顷(hm^2)、平方公里(km^2)等。

换算：1 km = 1000 m, 1 m = 10 dm = 100 cm = 1000 mm, 1 公顷 = 10 000 m^2 = 15 市亩, 1 km^2 = 100 公顷 = 1 500 市亩, 1 市亩 = 666.67 m^2 , 1 圆周角 = 360 $^{\circ}$, 1 $^{\circ}$ = 60 $'$, 1 $'$ = 60 $''$ 。

④由词头和以上单位所构成的十进倍数和分数单位，用于构成十进倍数和分数单位的词头 20 个。如 10⁹——吉(G)，10⁶——兆(M)，10³——千(k)，10⁻¹——分(d)，10⁻²——厘(c)，10⁻³——毫(m)，10⁻⁶——微(μ)等。

1.5 学习施工测量的目的和要求

1.5.1 施工测量的基本要求

1. 质量第一的观念

为了确保施工质量符合设计要求，需要进行相应的测量工作，测量工作的态度会影响施工质量，因此施工测量人员应有“质量第一”观念。

2. 严肃认真的工作态度

测量工作是一项科学工作，它具有客观性。在测量工作中，为避免产生差错，应进行相应的检查和检核，杜绝弄虚作假、伪造成果及违反测量规则的行为。

3. 保持测量成果的真实性、客观性和原始性

测量的观测成果是规划、设计及施工的依据,需长期保存,所以必须保证测量成果的真实性、客观性和原始性。

4. 要爱护测量仪器与工具

每一项测量工作都要使用相应的测量仪器和工具,而它们的状态直接影响观测成果的精度,因此要爱护测量食品与工具。

5. 理论要求

达到测量技术员的理论水平,包括测量的基本理论方法,误差基本理论,控制测量的基本理论。

6. 技能要求

熟练掌握各种测量仪器的使用方法,水平角、距离、高差等测量基本数据的测绘方法。能够完成控制测量的外业测量和内业计算及碎部测量的方法、水利工程的放线等。

1.6.2 学习施工测量的基本品质

测量是实践性极强的工作,通常在野外进行,要求测绘工作者和学习并准备进行测绘工作的人来说要做好以下准备。

1. 学会“四得”

即跑得、累得、晒得、饿得。测绘工作要不怕跑腿,学会忍受劳累,不怕太阳的暴晒,有忍饥挨饿的能力。

2. 做到“四心”

细心、耐心、恒心、责任心。外业测量时耐心,内业计算时细心,对难度大的测绘工作要有恒心,对测绘工作自始至终要有责任心。

3. 具有“四性”

艰苦性、吃苦性、任劳任怨性、服务性。测绘工作本身就决定了我们的工作艰苦的,要会吃苦,善于吃苦,任劳任怨才能圆满完成自己的工作。

4. 爱护仪器和测量成果资料

爱护测量仪器设备是测绘工作者具备的基本品质,测绘资料是我们外业辛勤工作心血所得,要像爱护我们自己一样去爱护和保护,它保证数据的原始性和完整性。

本章小结

1. 本章简要介绍测量的概念,引入测量学的基本内容和学习要求,了解测量学的任务和作用。
2. 讲述了建筑工程测量的作用,地面点位的确定,测量工作的原则和基本要求。
3. 最后详细阐述了学习测量学的目的和要求,明确了本课程的学习方法和学习重点。

◀ 思考题 ▶

一、填空题

1. 测量学上的基准线是 _____, 基准面是 _____, 在工程测量中用 _____ 来代替。
2. 测量的三项基本工作是 _____、_____ 和 _____。
3. 测量工作的基本原则是 _____。
4. 测量工作的基本任务 _____ 和 _____。
5. 国家统一划分六度投影带第 19 带的中央子午线是东经 _____。

二、简答题

1. 测量学研究的对象和任务是什么?
2. 什么是铅垂线和大地水准面? 它们在测量中的作用是什么?
3. 什么是绝对高程和相对高程? 它们的基准面是什么?
4. 某点 A 的高斯平面坐标为: $X_A = 2497019.17 \text{ m}$, $Y_A = 19710154.33 \text{ m}$, 试说明 A 点所处的 6° 投影带和 3° 投影带的带号, 和它们各自的中央子午线经度。
5. 用切平面代替大地水准面对距离和高程有什么影响。
6. 测量工作的基本原则是什么?
7. 测量记录和计算工作各有什么基本要求?
8. 如何确定地面上点的位置?
9. 建筑施工测量的作用是什么?