

第一章 绪论

第一节 测量学与交通土木工程

测量学是一门研究测定地面点位置，研究确定并展示地球表面形态与大小的科学。

人类在从事生产活动的过程中必然要涉及到测量科学，例如土地的利用以及地面上构造物的建造等都离不开边界、面积、土石方的测定，漫长人类文明史中的生产活动与测量科学息息相关。

测量学的主要技术表现为测量与绘图，故测量学又有“测绘学”之称。由于测量学所涉及的研究对象、方式、手段各有区别，因而测量学在自身的发展中形成了特色各异的其他分支测量学科。这些分支学科是大地测量学、地形测量学、摄影测量学、海洋测量学、地图制图学和工程测量学。

大地测量学是一门研究广大地面上建立国家大地基础控制，研究测定地球形状、大小的重要学科。大地测量学是地学的重要组成部分，是整个测量科学的基础理论学科。

地形测量学是研究地面及其附属物的测绘理论和方法的学科。

海洋测量学是研究地球表面水体及水下地貌表面的测绘理论和方法的学科。

摄影测量学是研究以摄影图象等手段表述地球表面的测绘理论和方法的学科。

地图制图学是研究绘制或表述地球表面及其附属物形状的成图理论与方法的学科。

工程测量学是研究各种工程建设在规划、勘察设计、施工、管理各阶段中的测量理论和方法的学科。

在科学技术高度发展的今天，测量学作为比较古老的学科，发展非常迅速。本世纪中期以后出现的激光技术、微电子技术、航天技术、计算机技术等重大成就，极大地推动测量学科的飞跃和革新，主要贡献有激光红外测距、卫星全天候定位、摄影与遥感、数字化测量技术等。测量学已经是具有现代完整理论基础和现代先进技术的重要学科。

测绘，即对地球表面及其附属物的测绘，并赋予处理、储存、管理等过程，其获得的数据或图象成为可以储备、传播、应用的地球空间信息。地球空间信息是测绘学的成果。在现代测绘科学与计算机信息科学集成的条件下，地球空间信息科学由此发展起来。由于测绘学是实现地球空间信息的科学，在这个意义上，测量学又有地球空间信息工程学之称。

测量在交通土木工程建设中占有重要的地位，主要表现在：

1. 测量是交通土木工程规划选线的重要依据。例如规划一个地区的交通网络，确定一条交通线的走向，必须有测量提供的地形图和有关的地理信息参数才能实现。规划选线所需的地形图是优化交通网络，节约用地，提高交通建设效益的重要一环。

2. 测量是交通土木工程勘察设计的重要基础工作。对一个区域或者一条待定交通线地面的高低平斜、河川宽窄深浅以及地面附属物，只有经过详细测量并获得大量地面基础信息，才能进行交通土木工程的设计。测量是交通土木工程设计的前期重要技术工作。

3.测量是交通土木工程顺利施工的基本保证。一条公路中心线的标定，一座建筑物实际位置的确定，……测量技术工作在其中发挥重要的保证作用。

4.测量是检验工程质量和监视重要交通土木工程设施安全营运的必要技术手段。

交通土木工程测量是交通土木工程专业的基本技术。这门技术不仅包括有测量学科的基本理论和技术原理，而且具有工程测量学的意义。土木工程技术人员明确测量学科在交通土木工程建设中的重要地位，熟练掌握测量基本理论和技术原理，熟练掌握和应用工程测量基本理论和方法，是进行交通土木工程技术工作的基本条件。

第二节 坐标系统和高程系统的概念

一、地球体的有关概念

测量在地球面上进行，测量技术工作与地球体有着密切关系，它必然涉及地球体的有关概念。

垂线：重力的作用线称为铅垂线，简称垂线。一条细绳系一重物（图 1.1），细绳在重物作用下形成下垂的方向线就是垂线。图 1.1 中的重物称为垂球。垂线是测量技术工作的一条基准线。

水准面：某一时刻处于没有风浪的海洋水面，称为水准面。水准面是一个理想化的静止曲面，性质有：①水准面处处与其相应的垂线互相垂直；②因海水有潮汐，静止曲面所处的高度随时刻不同而异，因此不同时刻的水准面存在不同的高度。

大地水准面：在高度不同的水准面中选择一个高度适中的水准面作为平均海面，这个没有风浪没有潮汐的平均海面就称为大地水准面。

大地体：大地水准面所包围的曲面形体称为大地体。大地测量学的研究表明 大地体是一个上下略扁的椭球体（图 1.2）。从整个地球表面现状看：①海洋表面（约占 71%）大于陆地表面（约占 29%），大地水准面所依据的海洋表面在很大程度上可代表地球表面；②地球表面的高低不平程度与地球半径相比可忽略不计（如珠峰高 8 848m 与地球半径 6 371 000m 的比值不足千分之二）。因此大地体曲面可以代表地球的表面形状。

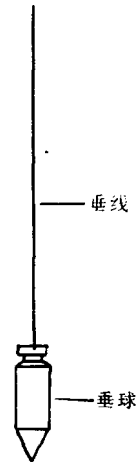


图 1.1

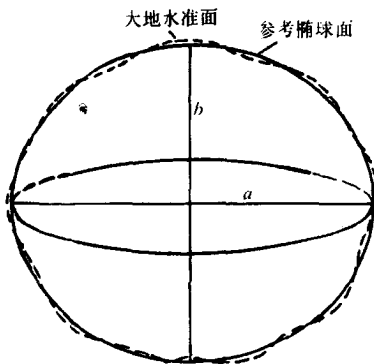


图 1.2

参考椭球体：由于地球内部物质的不均匀性，大地水准面各处重力线方向是不规则的（图 1.3），大地水准面是一个起伏变化的不规则曲面，由此可见，大地体表面也是不规则的曲面。

为了正确计算测量成果，准确表示地面点的位置，必须用一个近似于大地体的曲面体表示大地体，这个曲面体就是参考椭球体。参考椭球体是一种规则的曲面体，用简单数学公式表示 即

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$$

式中 a 、 b 是参考椭球体的几何参数， a 是长半径， b 是

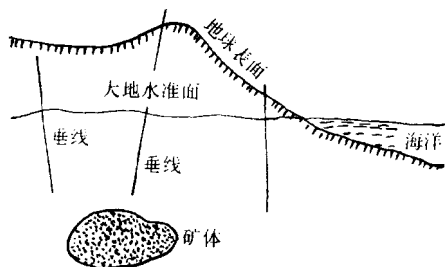


图 1.3

短半径。参考椭球体扁率 α 满足下式

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

如图 1.2 参考椭球体必须与大地体较好的吻合，这种吻合又决定于世界各国实际采用的参考椭球体几何参数。我国采用的参考椭球体几何参数有：

1. 1980 年以后采用国际大地测量协会 IAG-75 参数： $a = 6\,378\,140\text{m}$ ， $\alpha = 1/298.257$ ，推算值 $b = 6\,356\,755.288\text{m}$ 。

2. 1954 年北京坐标系曾经采用前苏联克拉索夫斯基参数，即 $a = 6\,378\,245\text{m}$ ， $\alpha = 1/298.3$ ，推算值 $b = 6\,356\,863.019\text{m}$ 。1980 年以后我国采用 IAG-75 参数建立国家新的坐标系，不再采用克拉索夫斯基参数。若实际应用中采用 1954 年北京坐标系时，克拉索夫斯基参数仍有效。

在工程应用上，若要求不高时，可以把地球当作圆球体，这时地球参数是平均曲率半径 $R = 6\,371\,000\text{m}$ 。

二、坐标系统

坐标是表示地面点位置并从属于某种坐标系统的技术参数。用途不同，表示地面点位置的坐标系统也各有不同。在工程建设中经常应用的有三种坐标系统：大地坐标系统、高斯平面直角坐标系统和独立平面直角坐标系统。

1. 大地坐标系统

大地坐标系统是以参考椭球体面为基准面的球面坐标系，通常以大地经度和大地纬度表示，简称经度 (L) 纬度 (B)。图 1.4 表示以 O 为中心的大地椭球体， N 为北极， S 为南极， $WDCE$ 是地球赤道面。 P 是地球上的地面点，经 NSP 的平面称为子午面。 p 是地面点 P 在参考椭球体面的投影位置， NSC_p 是过 p 点的子午线。图中设 $NSDG$ 为经过英国格林尼治天文台 G 的本初子午线（起始子午线，1884 年国际经度会议决议确定），其子午面 NSD 与子午面 NSP 的夹角 L_p 是 P 点的大地经度， P_p 线法线与赤道平面的夹角 B_p 是 P 点大地纬度。 L_p 、 B_p 称为 P 点大地坐标。

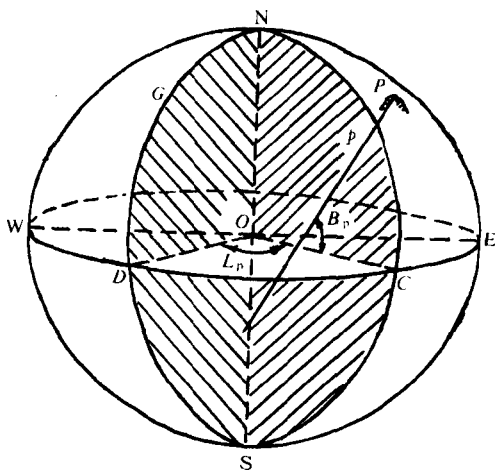


图 1.4

我国地理版图处在本初子午线以东的经度约是 $74^\circ \sim 135^\circ$ 处在赤道 $WDCE$ 以北的纬度约是 $3^\circ \sim 54^\circ$ ，因此在表示点位大地坐标时冠以“东经”“北纬”的名称。例如， P 点的大地坐标 $L = 98^\circ 31'$ ， $B = 35^\circ 27'$ 称 P 点的大地坐标为东经 $98^\circ 31'$ 北纬 $35^\circ 27'$ 。

2. 高斯平面直角坐标系统

大地坐标表示的是地面点位的球面坐标，工程设计上需要的是点位平面位置。工程建设是在地球曲面上完成的，工程设计计算亦是均在平面上进行的。可想而知，“平面”与“曲面”必

然有矛盾。高斯平面直角坐标系是一种应用比较广泛的坐标系统，可以解决这类问题。

1) 高斯投影的几何意义

高斯投影是高斯平面直角坐标系建立的基础，其几何意义（见图 1.5）如下：

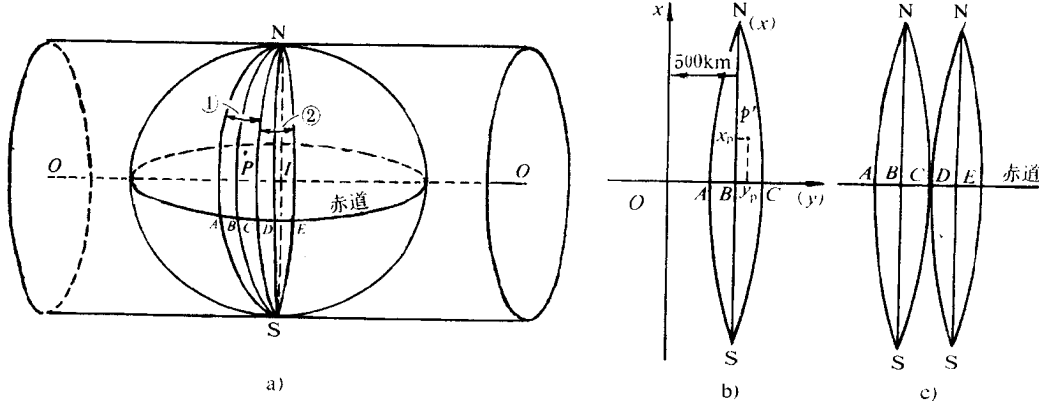


图 1.5

(1)沿 N、S 两极在参考椭球面均匀标出子午线（经线）。如图 1.5a 中 NAS、NBS、NCS 是其中的三条子午线，A、B、C 是三条子午线与赤道的交点，弧 AB、BC 的长度相等。子午线 NAS、NCS 构成的带状称为投影带。

(2)假想一个横椭圆柱面套在参考椭球面上，柱中心轴 OO 穿过地球中心 I 且与地球旋转轴 NIS 互相垂直，柱面与参考椭球面相密切于子午线 NBS。NBS 称为中央子午线。

(3)假想地球是透明体，中心 I 是一个点光源，光的照射使子午线 NAS、NBS、NCS 及其相应的地球表面投影到横椭圆柱面上。

(4)沿 N、S 轴及 OO 方向切开横椭圆柱面并展开成图 1.5b) 投影带平面，称为高斯投影带平面，简称高斯平面。

高斯平面的特点：

(1)投影后的中央子午线 NBS 是直线，长度不变。

(2)投影后的赤道 ABC 是直线 保持 $ABC \perp NBS$ 。

(3)离开中央子午线的子午线投影是以两极为终点的弧线，离中央子午线越远，弧线的曲率越大，说明离中央子午线越远投影变形越大。

2) 高斯平面直角坐标系的建立

根据高斯平面投影带的特点，高斯平面直角坐标系按下述四个规则建立：① X 轴是中央子午线 NBS 的投影，北方为正方向；② Y 轴是赤道 ABC 的投影 东方为正方向；③ 原点，即中央子午线与赤道交点用 O 表示；④ 四象限按顺时针顺序 I、II、III、IV 排列。见图 1.6。

3) 投影带的中央子午线与编号

投影带的宽度以投影带边缘子午线之间的经度差 ΔL 表示。为避免高斯投影带的变形，投影带宽度 ΔL 不能太宽，一般 ΔL 宽度取 6° 或 3° 。高斯投影根据 ΔL 逐带连续进行。例如，图 1.5a) 中的 带投影完

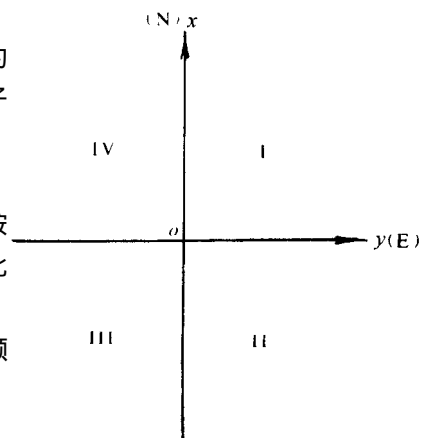


图 1.6

毕转动椭球体使②带的中央子午线 NDS 与椭圆柱面相密切，并进行投影。带的投影结果如图 1.5c)。以此类推，按上述的几何意义对全球连续逐带高斯投影，即全球表面展开成如图 1.7 的高斯平面。

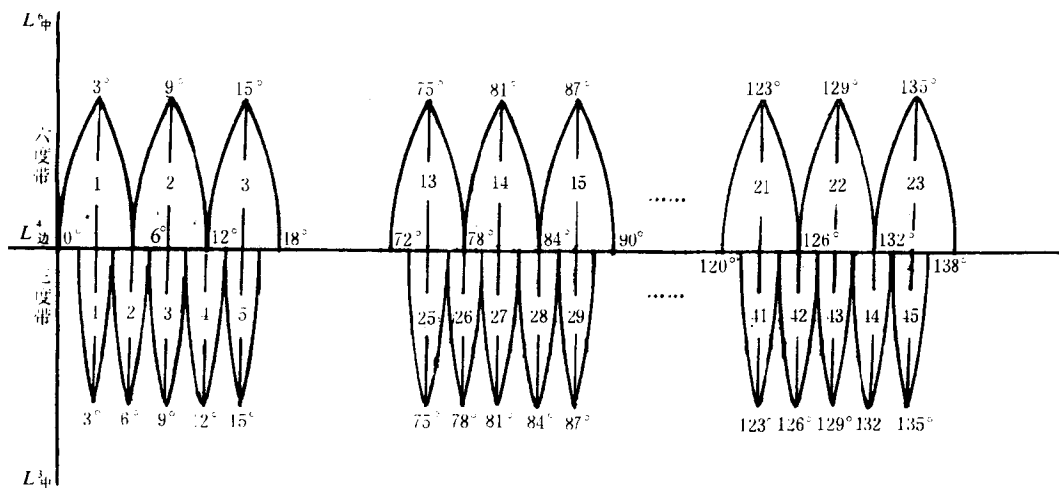


图 1.7

图 1.7 上半部表示以 6° 作为宽度的六度带高斯投影平面，全球可分为 60 个六度投影带。各带的中央子午线的大地经度 L_0 与投影带的带号 N 有关系 即

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1-2)$$

图 1.7 下半部表示以 3° 作为宽度的三度带高斯投影平面，全球可分为 120 个三度投影带。各带的中央子午线的大地经度 L_0 与投影带的带号 n 的关系 即

$$L_0 = 3n \quad (1-3)$$

根据我国在大地坐标系中的经度位置 (74° ~ 135°)，从上述两公式可见，我国用到的六度带的带号 N 在 13 ~ 23 之间，用到的三度带的带号 n 在 25 ~ 45 之间。

4 高斯平面直角坐标表示地面点位置

我国国家测量大地控制点均按高斯投影计算其高斯平面直角坐标。如图 1.5a) 中 球面点 p 大地坐标 L_p, B_p 。在图 1.5b) 中 p' 点是 p 的高斯投影点，其高斯平面直角坐标为 x_p, y_p 。它们表示的意义是：(1) x_p 表示 p 点在高斯平面上至赤道的距离；(2) y_p 包括有投影带的带号、附加值 500km 和实际坐标 Y 三个参数 即

$$y_p = \text{带号 } N \text{ 或 } n + 500\text{km} + Y_p \quad (1-4)$$

例如某地面点坐标 $x = 2\,433\,586.693\text{m}$, $y = 38\,514\,366.157\text{m}$ 。其中 x 表示该点在高斯平面上至赤道的距离为 2 433 586.693m。根据式 (1-4)，该地面点所在的投影带带号 $n = 38$ 是三度带 地面点 y_p 坐标实际值 $Y_p = 14\,366.157\text{m}$ 即减去原坐标中带号 38 及附加值 500) 表示该地面点在中央子午线以东 14 366.157m；若 y 坐标实际值 Y 带负号，则该地面点在中央子午线以西。

根据 y_p 坐标的投影带带号，便可以按式 (1-3) 推算投影带中央子午线的经度为 $L_0 = 104^\circ$ 。注意：如果投影带带号属于六度带，则按式 (1-2) 推算。

3. 独立平面直角坐标系

独立平面直角坐标系的建立如图 1.6，但是这种坐标系没有高斯平面直角坐标系那样严

格的规则，主要表现在：

1) 坐标系 x 轴所在的中央子午线的经度不一定满足式 (1-2)、式 (1-3) 可按不同要求采用其他的经度，具有一定的随意性；

2) 坐标轴 x 轴的正方向不一定指向北极，可根据工作需要自行确定，具有某种实用性；

3) 坐标系原点不一定设在赤道上，一般设在有利于工作的范围内，具有相应的区域性。

4. 测量平面坐标系与数学坐标系的异同点

测量平面坐标系，即高斯平面直角坐标系和独立平面直角坐标系。从图 1.6 可见，上述二坐标系的构形相同。测量平面坐标系与数学坐标系相比的主要区别是坐标轴的取名不同，坐标系的象限排序不同。但是这些区别不影响数学上各种三角公式的应用。如图 1.8a) 是数学坐标系， α 角以 x 轴为起始方向按象限排序在第一象限， op 的长度为 S 则 p 点的坐标为

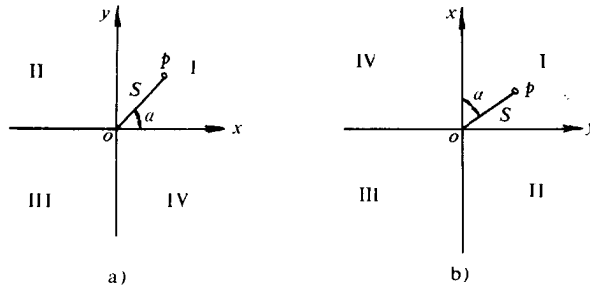


图 1.8

$$x = S \times \cos\alpha \quad (1-5)$$

$$y = S \times \sin\alpha \quad (1-6)$$

图 1.8b) 是测量平面坐标系， α 角是以 x 轴为起始方向按象限排序在第一象限， op 长度为 S 则 p 点坐标计算式仍然是式 (1-5) 和式 (1-6)。因此 数学上的三角公式适用于测量平面坐标系。

三、高程系统

1. 高程系统的一般概念

地面点高程，指的是地面点到某一高程基准面的垂直距离。地面点高程是表示地面点位置的重要参数。地面点高程基准面一经认定，地面点的高程系统就确定了。一般地，高程系统有大地高系统、正高系统、正常高系统等。

大地高系统：以参考椭球体面为基准面的高程系统。大地高，表示地面点到参考椭球体面的垂直距离。正高系统：以大地水准面为基准面的高程系统。正高，表示地面点到大地水准面的垂直距离。正常高系统：以似大地水准面为基准面的高程系统。正常高，表示地面点到似大地水准面的垂直距离。

图 1.9 表示上述三个基准面的关系，其中大地水准面是在测定平均海面中得到的高程基准面。我国在山东青岛设验潮站长期测定海面高度得出我国大地水准面的位置，如图 1.9 的 Q 。通常，参考椭球体面、大地水准面、似大地水准面在 Q 处重合。但是，由于地球内部的物质不均匀性，参考椭球体面、大地水准面、似大地水准面在其他地方不重合。如图 1.9 中 P 处， h_m 是大地水准面与参考椭球体面的差距， h'_m 是似大地水准面与参考椭球体面的差距。

一般地，大地水准面与参考椭球体面的差距 h_m 难以得到，故无法将测得的地面点正高化算到参考椭球体面。在实际测量技术工作中，选用的似大地水准面是一个与参考椭球体面的

差距 h'_m 可以得到的大地水准面。由此可见，差距 h'_m 可以求得，故可以将测得的地面点正常高化算到参考椭球体面。我国的国家高程测量采用正常高系统，国家高程点的高程是正常高。

2. 实际应用中的地面点高程的概念

实际应用中的地面点高程有绝对高程、相对高程。

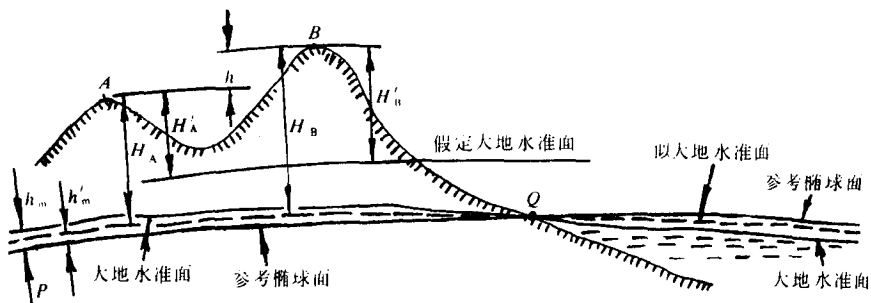


图 1.9

绝对高程：地面点沿其垂线到法定的似大地水准面的垂直距离。如图 1.9 所示，定义经过 Q 点的似大地水准面为法定的似大地水准面， H_A 、 H_B 表示 A 、 B 二点分别到法定的似大地水准面的绝对高程。绝对高程是正常高系统所确定的地面点高程。实际工程应用中，按国家高程点的正常高推算地面点高程，这种工程上的地面点高程属于绝对高程。

相对高程：地面点沿其垂线到假定的大地水准面的垂直距离。如图 1.9 所示， H'_A 、 H'_B 表示 A 、 B 二点分别到假定的大地水准面的相对高程。这里所说的相对高程是以假定的大地水准面所确定的地面点高程，可以说是假定高程系统的地面点高程。

高差：二个地面点的高程之差，用 h 表示。如 A 、 B 二点高差 h_{AB} 为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-7)$$

实际应用中，似大地水准面与参考椭球体面的差距 h_m ，由大地测量科学解决，在一般工程建设中未顾及这一因素。

第三节 地面点定位的概念

一、技术过程

地面点定位，亦即以某种技术过程确定地面点的位置。在工程建设中，地面点定位的主要技术过程有：

1. 以测量技术手段测定地面点位置并用图象或图形和数据等形式表示出来，这种技术过程称为测绘。通常这一技术过程把球面地面点位置表示为平面的形式。如图 1.10a) M 、 N 、 P 为地面上的三个点，经测绘技术过程表示为高斯平面上的点位置如图 1.10b) 的 m 、 n 、 p 。

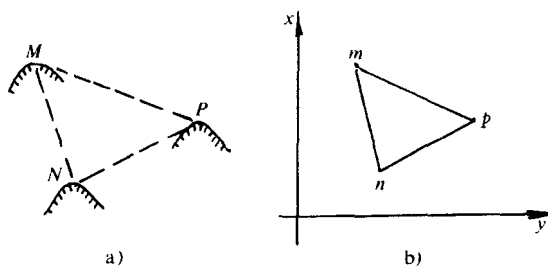


图 1.10

2. 利用测量技术手段把设计上拟定的地面点测定到实地上，这种技术过程称为测设，或称

为工程放样,简称放样。如图 1.11a) 的 $a、b、c、d$ 为图纸上设计的一座建筑物的四个角点,放样技术过程把它们标定在实地,即 $A、B、C、D$ 如图 1.11b)。

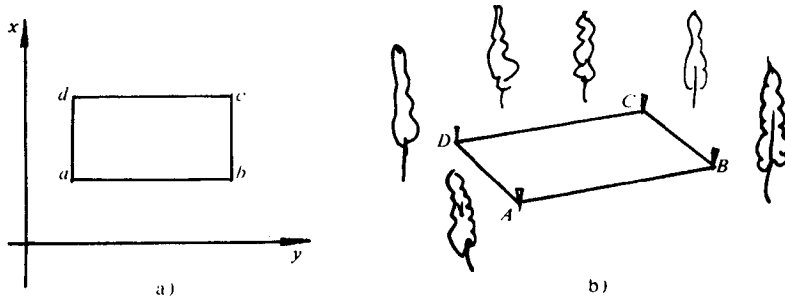


图 1.11

二、地面点定位元素

1. 定位元素的概念

以坐标 $(x、y)$ 和高程 (H) 表示的地面点定位参数,又称为三维定位参数,其中把坐标 $(x、y)$ 称为二维定位参数。

从图 1.12 可知 在坐标系中 $m、n、p$ 三个地面点之间具有边长 $(D_1、D_2、D_3)$ 和构成的角度 $(\beta_1、\beta_2、\beta_3)$, 根据初等数学原理, 只要测量这些地面点之间的边长和角度, 便可以确定 $m、n、p$ 三个点之间的相互关系。测量学的理论和实践表明, 只要测量了这些地面点之间的边长和角度, 就可以为地面点坐标参数 $x、y$ 的求得提供重要的数据基础。

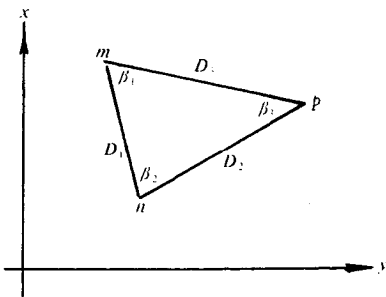


图 1.12

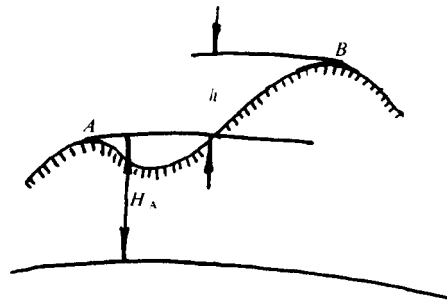


图 1.13

图 1.13 中可见 地面点的高程 H 也是通过测量点位之间的高差 h 推算得到的。A 点为已知点 高程为 H_A , B 点为未知点, 只要测量了 A 至 B 的高差 h 便可以确定 B 点的高程 即

$$H_B = H_A + h \quad (1-8)$$

由此可见, 角度测量、距离测量、高差测量是地面点定位的测量基本工作。测量得到的角度 (β) 、距离 (D) 、高差 (h) 是地面点定位的基本元素, 称为定位元素。由于这些定位元素具有独立性 (即某一元素与其它同类元素之间不存在函数关系) 和直接可量性 (即可利用测量仪器直接测量其大小), 故称之为直接观测量, 或称为直接定位元素。一般地, 地面点的定位参数 $x、y、H$ 不能直接测量得到, 但可以利用地面点的直接定位元素按某种规定的法则推算得到, 故又称地面点的定位参数 $x、y、H$ 为间接观测量, 或称为间接定位元素。

2. 观测量的单位制

1) 角度观测量的单位制: 见表 1-1。

2 长度单位制：距离、高差、坐标等都涉及到的长度单位制列于表 1-2。

角度观测量的单位制

表 1-1

60 进位制	弧度制	100 进位制
一圆周 = 360°	一圆周 = 2π 弧度	一圆周 = 400°
1° = 60'	$\rho^\circ = 57.295\ 779\ 51^\circ$	1° = 100'
1' = 60"	(即 180/π)	1' = 100"
	$\rho' = 3\ 437.746\ 771'$	
	(即 180 × 60/π)	
	$\rho'' = 206\ 264.8''$	
	(即 180 × 3 600/π)	

长度单位制

表 1-2

国际制	市制	英制
1km(公里)	1市里	1英里(mile)
= 1000m(米)	1市尺	1英尺(foot)
1m = 10dm(分米)		= 12英寸
= 100cm(厘米)	1km = 2市里	
= 1000mm(毫米)	1m = 3市尺	1km = 0.621 388 181 mile
		1m = 3.280 8 feet

本书后续课程提到的 ρ 是一个常数 即 $\rho = 206\ 265''$ (秒)

三、地面点定位的工作原则

上述内容可见，地面点的定位涉及到技术过程和相应的测量技术手段，在后续的书课程目中将会逐步明确与定位技术过程和技术手段相适应的基本技术工作内容。为了保证基本工作内容的实现，定位必须遵循的工作原则有：

1. 等级原则

等级类别：测量技术工作的等级有三种，即

- 1) 国家测量的技术等级 即一、二、三、四等级。
- 2) 工程测量的基本等级和扩展级。基本等级是二、三、四、五等级，以此为基础的扩展级是一、二、三级。
- 3) 工程应用等外级。

在后续课程中将会学习有关技术等级的规定。等级的规定有高低之分，技术要求的严密程度必然有差别。等级的规定是工程建设中测量技术工作成果质量的标准，也是严格科学态度与实际测量技术水平的象征；离开甚至违背技术等级要求的不合格测量工作是不能容许的。

2. 整体原则

所谓整体，其一，指的是测量对象是一个个互相联系的个体（或称为工程建设中的某一局部、细部；或是地表面上的碎部）所构成的完整测量基地；其二，指的是测定地面点位置的有关参数（如定位元素）不是孤立的，而是从属于工程建设整体对象的参数。地面点定位的整体原则是：1) 从工程建设的全局出发实施定位的技术过程；2) 定位技术过程得到的点位置必须在数学或物理的关系上按等级原则符合工程建设的整体要求。

3. 控制原则

所谓控制，实际上是在等级原则下为工程建设自身提供定位的基准，这是后续课程“控制测量技术”所述的内容。以控制测量技术建立的基准设施是工程建设的基础，是工程建设中地面点定位的测量保证。一般地，只有工程建设自身整个基准设施的控制测量完成之后，才有可能进行工程建设的其他地面点定位技术工作，这就是所谓的“先控制”原则。

4. 检核原则

地面点的定位元素测定工作是以“正确”为前提的。实现正确的地面点定位，必须通过比较，即进行检核的环节才可以证明正确与否。检核原则贯穿于整个定位过程。一个工程测量工作者的良好习惯，必须以高度的工作责任感对测量的技术过程进行认真的检验，对得到的测量成果进行严格的检核，消除不符合要求的测量成果，消灭错误，消灭虚假，保证测量的成果绝

对可靠、绝对准确。实践证明，没有经过检核证明正确的测量成果是不可取的。

思考与练习

1. 测量学及其分支学科的概念。
2. 测量学在土木工程中的地位。
3. 地球体的几个概念 垂线、水准面、大地水准面、大地体、参考椭球体。
4. 高斯投影的几何意义及地面点高斯平面直角坐标的意义。
5. 地面点 A 的高斯平面直角坐标是： $x = 2\ 053\ 410.714\text{m}$, $y = 36\ 431\ 071.256\text{m}$ 。说明 x 、 y 的意义，指出 A 点坐标所在投影带的中央子午线的经度。
6. 独立平面直角坐标的特点。
7. 高程系统和地面点高程的概念 似大地水准面、高程、正常高、绝对高程、相对高程、高差。
8. 试述地面点定位技术过程：测绘、测设的概念。
9. 试述地面点直接定位元素和间接定位元素的概念。
10. 地面点定位的工作原则是什么？

第二章 角度测量

第一节 角度测量的概念

角度测量是最基本的测量技术工作，地面点之间的水平角和竖直角是角度测量的对象

(一) 水平角 水平面上二条相交直线的夹角 或者说 二个相交竖直面 的二面角。

如图 2.1, M 、 N 、 P 是三个高度不同的地面点，在 N 点的水平面上设一个水平度盘，水平度盘的刻度有的 360° 如图 2.1 按顺时针刻划。在 N 分别观测 M 、 P 二点得视线 NM 、 NP 并投影在 N 点的水平面上得 Nm 、 Np 二条水平线。二条水平线在水平度盘上获得相应的度盘刻度值 m' 、 p' 是视线 NM 、 NP 在水平度盘上的水平方向观测值，简称水平方向值。

根据水平角的概念，图 2.1 Nm 、 Np 二条水平线的夹角 $\angle mNp$ 是水平角，也是竖直面 E_1 、 E_2 在 N 点垂线上的二面角，视线 NM 、 NP 分别在 E_1 、 E_2 竖直面。其水平角角度值 β 为

$$\beta = p' - m' \quad (2-1)$$

二方向之间的水平角是相应二个水平方向值的差值。

(二) 竖直角 竖直角及有关的仰角、俯角、天顶距也是角度测量的角度量。

1. 竖直角：同一竖直面内观测视线与水平线的夹角，称为竖直角。如图 2.1 中 $\angle MNm$ 、 $\angle PNp$ 是在 N 点观测 M 、 P 点的竖直角。竖直角又有垂直角、高度角之称。

2. 仰角：竖直面内观测视线在水平线之上的竖直角；如图 2.1 $\angle MNm$ 。

3. 俯角：竖直面内观测视线在水平线之下的竖直角 如图 2.1 $\angle PNp$ 。俯角为负值。

4. 天顶距：地面点的垂线上方向至观测视线的夹角。如图 2.1 中 NT 与 NM 的夹角 $\angle TNM$ ， NT 与 NP 的夹角 $\angle TNP$ 分别是在 N 点观测 M 、 P 点的天顶距。

设在 N 观测 M 的天顶距为 Z 竖直角为 α 。因为 $\angle TNm = 90^\circ$ 故天顶距 Z 与竖直角 α 的关系为

$$\alpha = 90^\circ - Z \quad (2-2)$$

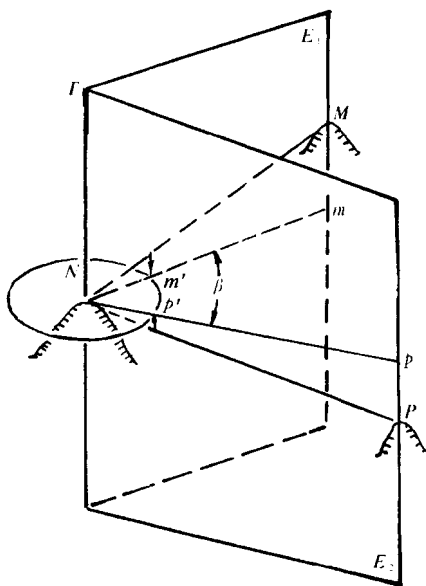


图 2.1

第二节 光学经纬仪的基本结构

一、经纬仪种类

经纬仪是角度测量的重要仪器，在工程建设中应用的经纬仪种类有：游标经纬仪、光学经纬仪、光电经纬仪。

游标经纬仪是以金属度盘为获得角度值的测角仪器，角度测微装置按游标原理制成。这种仪器在过去工作中发挥了应有的作用，但精度低和操作不方便，应用已不多了。

光电经纬仪是一种先进的精密测角仪器，其测角装置采用新型光电度盘和光电子器件与集成电路，储存、传送角度信息，测量速度快，精度高，是一种自动化测角仪器。

光学经纬仪是一种精密光学测角仪器，采用光学玻璃度盘，应用光学测微系统，精密度高，操作方便应用广泛。我国《经纬仪系列标准》(见附录 1)列举的各种等级经纬仪有 DJ₀₇、DJ₁、DJ₂、DJ₆ 等。D 是 dadi (大地) 的第一个字母，J 是 jingwei (经纬) 的第一个字母。

工程建设上应用比较普遍的有 DJ₆(图 2.2)、DJ₂(图 2.3) 二种光学经纬仪，它们的基本组成部分主要是照准部、度盘和基座(图 2.4)。

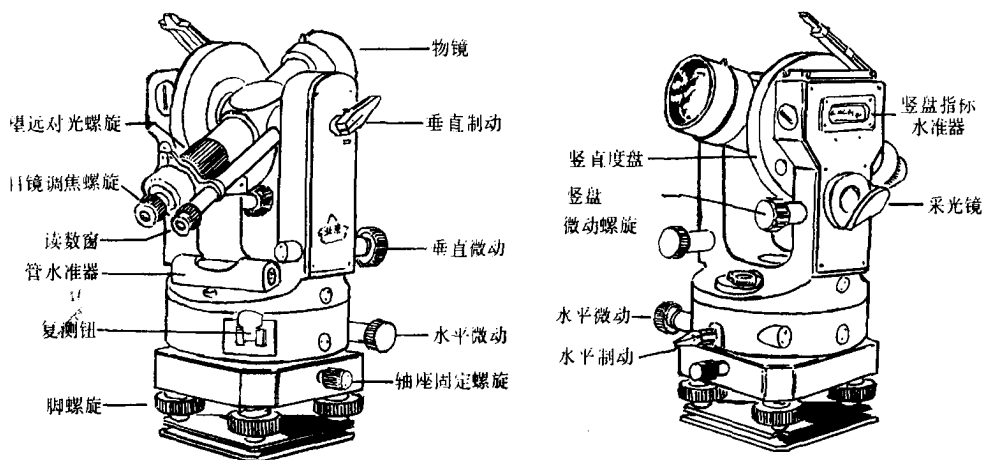


图 2.2

二、照准部的基本结构

照准部是经纬仪的重要组成部分，主要有望远镜、水准器、横轴、支架、竖轴，此外还有水平制动、微动、垂直制动、微动、微倾螺旋等操作部件。

1. 望远镜：望远镜是经纬仪看清目标和瞄准目标的重要部件，结构上与横轴安装在一起。

1) 望远镜的结构如图 2.5 所示，望远镜的基本构件有物镜、调焦镜、十字丝板和目镜，这些构件组合在镜筒中。

十字丝板(图 2.6)是望远镜的瞄准标志。板上注有双丝、单丝以及上、下短横丝构成的十字丝刻划，纵丝与横丝互相垂直，与垂线互相平行。物镜、目镜是凸透镜组。目镜上带有目镜调焦轮。物镜的光心 O 与十字丝板的中心 O' 连成的直线称为望远镜的视准轴。调焦镜是凹透镜，凹透镜与镜筒上的望远调焦轮(套在镜筒外壁上)相连并将受望远调焦轮的控制前后移

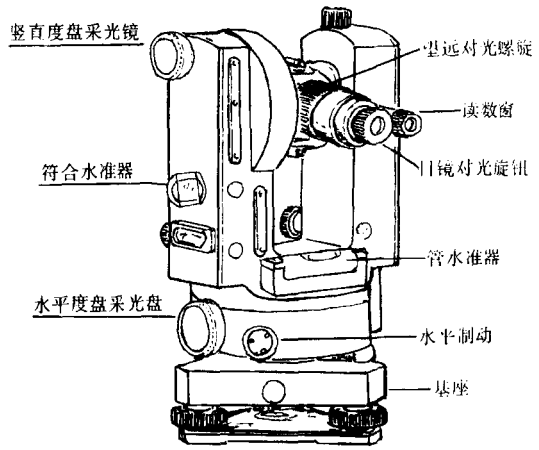
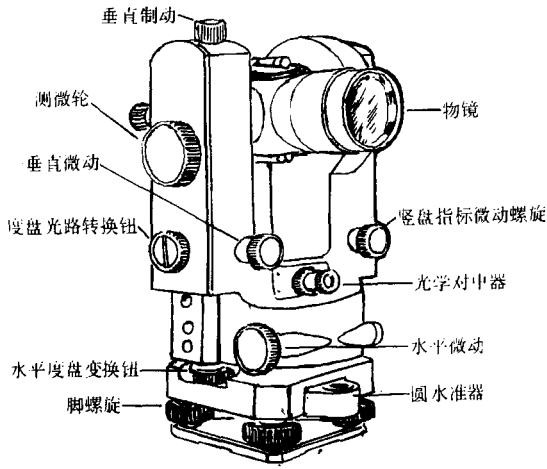


图 2.3

动，以便调整物像的成象质量。

2)望远镜的成象过程：如图 2.7 所示，(1)物镜前的物象 A 经物镜成为缩小的倒实象，并经调焦镜的调焦作用落在十字丝板的焦面上。(2)目镜将倒实象和十字丝象一起放大成虚象 B 。望远镜放大倍率随仪器而异， DJ_6, DJ_2 经纬仪望远镜放大倍率 28 倍左右。

实现成象过程必须做好对光动作，即：(1)转动目镜调焦轮眼睛看清楚十字丝象；(2)转动望远调焦轮（或称望远对光螺旋）眼睛看清楚物象 A 。(3)消除视差。视差，即移动眼睛可发现十字丝象与虚象 B 的相对变动现象。视差的存在表明物象 A 可能没有落在十字丝板焦面上。操作人员正确重复 (1) (2)对光动作可消除视差。

2.水准器：水准器是测量仪器整平指示装置。该玻璃制品内装酒精（或乙醚），其内液面有一水准气泡，其表面有指示整平的刻划标志，一般经纬仪配置管水准器和圆水准器二种。

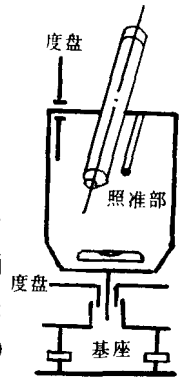


图 2.4

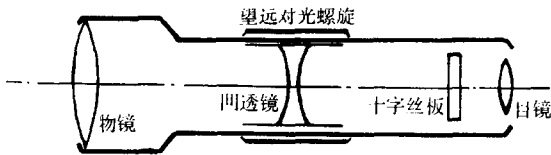


图 2.5

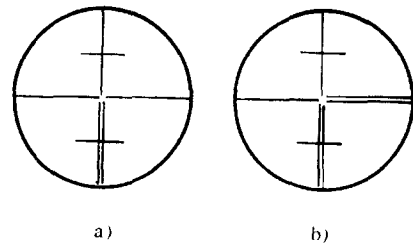


图 2.6

1)管水准器（图 2.8）：呈管状，内液面气泡呈长形，内壁顶端是一个半径 R 约 $20m \sim 40m$ 的圆弧 ($L'L'$) 表面刻划间隔 $2mm$ ，零点中心隐设在刻划线的中间。当气泡中心移到零点中心时，称水准气泡居中。居中时过圆弧零点的法线必与垂线平行，这时过零点作直线 LL 与圆弧相切则 LL 必然垂直于垂线 直线 LL 称为管水准轴。管水准轴是管水准器水平状态的特征轴。

管水准器格值：水准器表面刻划间隔所对应的圆心角 τ 称为管水准器格值 或称分划值。

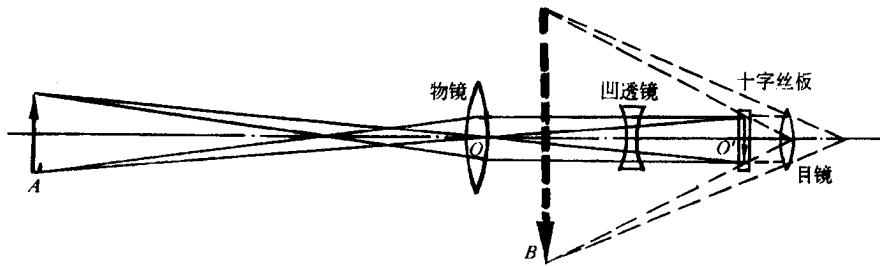


图 2.7

图 2.8 中 间隔 2mm 的圆弧所对应的圆心角：

$$\tau = \frac{2}{R} \times \rho \quad (2-3)$$

式中 $\rho = 206\,265''$ 。式 2-3) 可知 在间隔为 2mm 的范围内， R 越大 即 τ 越小，说明水准器的整平灵敏度越高。DJ₂ 经纬仪的 τ 是 20''，DJ₆ 经纬仪的 τ 是 30''。

2. 圆水准器 (图 2.9) 呈圆状 内液面的气泡圆形 内壁顶端是一个半径 R 约 0.8m 的圆球面 球表面有一个小圆圈标志，零点标志隐设在小圆圈的中心 (图 2.9a))。当水准气泡居中时，过零点作圆球面法线 OO ， OO 必然与垂线平行 故称 OO 为圆水准轴。圆水准轴是圆水准器表示水平状态的特征轴。

圆水准器格值： τ 仍按式 (2-3) 计算 式中 2mm 表示水准气泡偏离零点的间隔，当 R 约有 0.8m 时， τ 约有 8' 圆水准器的整平灵敏度较低。

3. 基本轴系：照准部的望远镜视准轴、横轴、竖轴和管水准器轴 (圆) 水准器轴构成经纬仪的基本轴系。如图 2.10， CC 望远镜视准轴； HH 横轴； VV 竖轴； LL ，管水准器轴。这些轴在经纬仪结构的关系必须满足： $CC \perp HH$ ； $HH \perp VV$ ； $LL \perp VV$ 。此外，十字丝板的纵丝平行于竖轴 VV 。

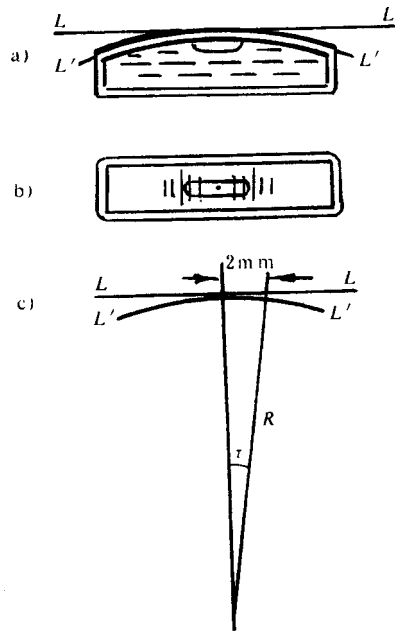


图 2.8

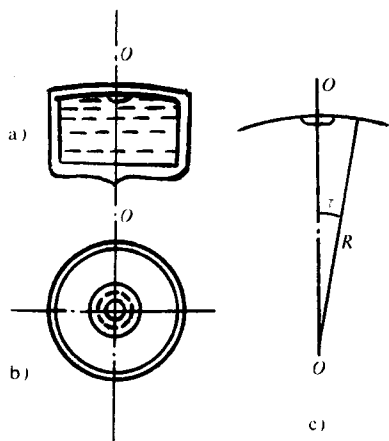


图 2.9

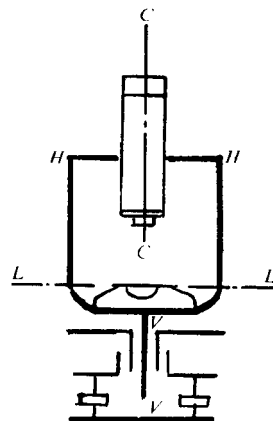


图 2.10

三、度盘

1. 度盘的结构形式：光学经纬仪设有水平度盘和竖直度盘，而且都是光学玻璃制成的圆盘。度盘全周刻度 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ ，由于度盘直径不大（90mm），度盘刻划的最小读数间隔有 $20'$ 、 $30'$ 、 $1'$ 三种格式，度盘有 $0^{\circ} \sim 359^{\circ}$ 度数注记。水平度盘按顺时针顺序注记。水平度盘套在竖轴中可以自由转动。

竖直度盘固定在横轴的一端与望远镜一起转动。竖直度盘有按顺时针顺序或按逆时针顺序注记。图 2.11 是一个按顺时针顺序注记的竖直度盘， 0° 注在目镜方， 180° 注在物镜方， $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 就在视准轴方向上。图中读取度数的指标线与竖直度盘水准器结合在一起，水准器气泡居中即指标线应在垂线方向上。

2. 度盘读数光学系统：利用几何光学原理，把水平度盘和竖直度盘的刻划影像传送到一个读数窗中。图 2.12，表示一种光学经纬仪的度盘读数光学系统。图中 A、B 二个有各种光学器件的光路系统，A 光路用于获取水平度盘角度读数，B 光路用于获取竖直度盘的角度读数。A、B 二个光路最后带着各自的角度信息与光路中的测微读数组合并放大在同一个读数窗中。

3. 水平度盘拨角机构：拨角机构有二种，即度盘变换钮和复测钮。度盘变换钮是一个带有齿轮的转动装置，通过齿轮的连接带动度盘转动，度盘转动的角度值可在读数窗中看到。复测钮是一种控制度盘与照准部联系的控制机构，其操作与控制作用可用表 2-1 表示。

复测钮操作与控制作用

表 2-1

复测钮的一般操作	度盘与照准部的联系	转动照准部度盘的动作	读数窗的情况
开	连接	随之转动	度数不变
关	脱离	不随之转动	度数变化

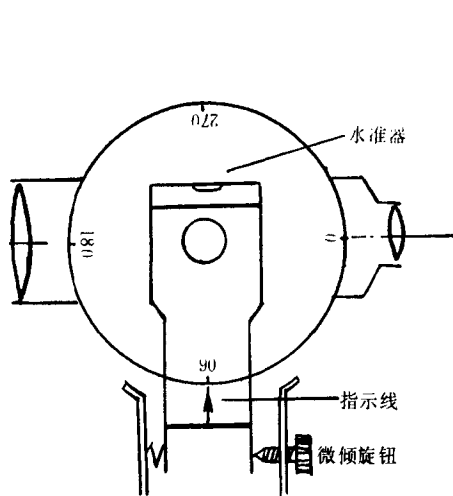


图 2.11

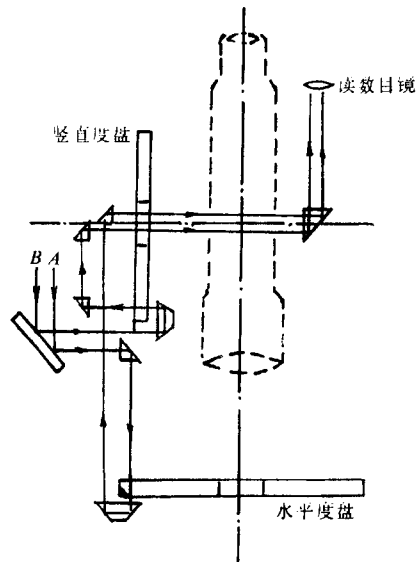


图 2.12

四、基座

基座主要由轴套、脚螺旋、连接板、固定旋钮等构成，是经纬仪照准部的支承装置。经纬仪

照准部装在基座轴套以后必须扭紧固定螺旋。

五、其他

1. 光学对中器(图 2.13) 主要由目镜、分划板、直角转向棱镜等部件构成。直角转向棱镜使水平光路转成垂直光路。

2. 旋钮机构：1)水平制动、微动旋钮，控制照准部水平转动；2)垂直制动、微动旋钮，控制望远镜纵向转动；3)微动旋钮 调整竖直度盘水准器气泡居中，使指标线处于垂线上。

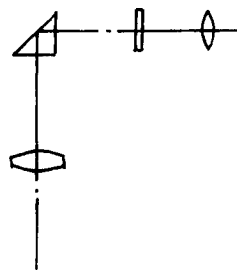


图 2.13

第三节 光学经纬仪的角度测微

由于光学经纬仪度盘直径很短，度盘周长有限，如 DJ₆ 经纬仪水平度盘周长不足 300mm，在这种度盘上刻 360°的条纹，但是要直接刻上更密的条纹就很难了。为了实现精密测角，可以借助光学测微技术获得 1'以上的精细角度。

一、分微尺测微

1. 装置：在读数光路系统中，分微尺是一个有 60 条刻划表示 60' 有 0-6 注记的光学装置。

在光路设计上，对度盘而来的 1°间隔影像进行放大使之与分微尺的 60'相匹配。图 2.14 中放大的度盘分划间隔 214°~215°与分微尺的 60'匹配的图象。

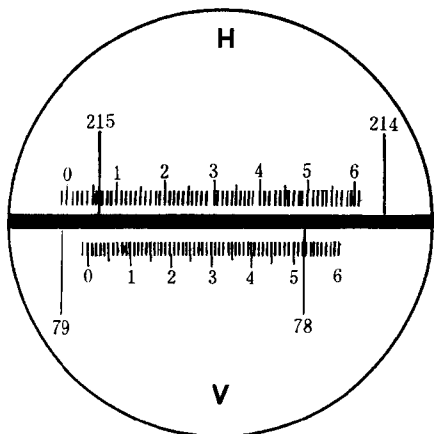


图 2.14

2. 分微尺测微读数方法：根据图 2.14 的读数窗 读数方法：

- 1) 读取分微尺内的度分划度数；
- 2) 读取分微尺 0 分划至该度分划所在的分微尺上的分数。
- 3) 计算以上二数之和为读数窗的角度读数。

如图 2.14 的水平度盘(注有 H 的读数窗位)的角度读数是 215°06.5' (即 215°06'30") 竖直度盘(注有 V 的读数窗位)的角度读数是 78°52.0' (即 78°52'00")。

二、对径符合测微

1. 测微装置

高精度的角度测量要求采用对径读数方法，亦即在水平度盘(或竖直度盘)相差 180°的二个位置取得角度观测值的方法。对径符合测微的主要装置包括有测微钮(设在照准部支架上)、一对光楔和测微窗。图 2.15a) 中的 α 及 $\alpha + 180^\circ$ 是度盘对径读数值，反映在测微窗中是正像 $163^\circ 20' + a$ 倒像 $343^\circ 20' + b$ 。图象中度盘刻划的最小间隔为 20'。

对径符合测微通过光楔的折光作用移动光路实现的，其最终结果是 $163^\circ 20' + \frac{a+b}{2}$ 。

2. 对径符合测微的读数方法

1) 当读数窗为图 2.15a) 时，转动测微钮控制二个光楔同时偏转，其折光作用使度盘对径

读数分划线对称重合 如图 2.15b)。

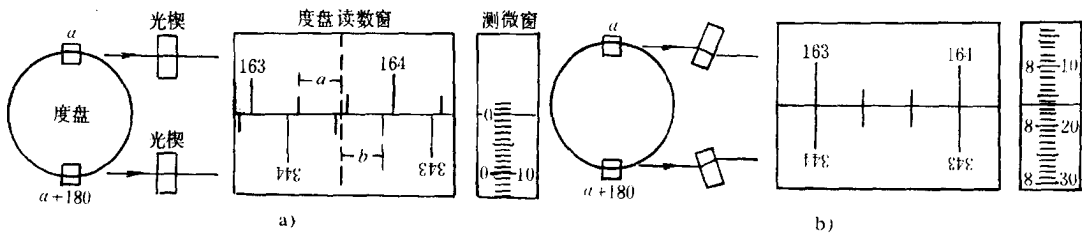


图 2.15

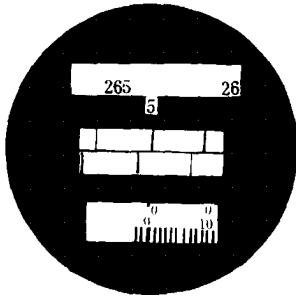


图 2.16

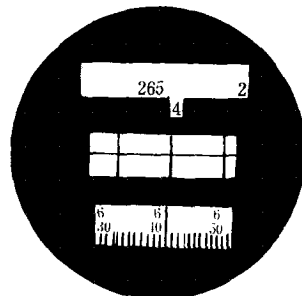


图 2.17

2)在读数窗中读取视场左侧正像度数,如图中 163°。

3)读整十分。数正像度数分划与相应对径倒象度数分划之间的格数 n 得整 10' 的角值为 $n \times 10'$ 图中是 30' 即 $3 \times 10'$ 。有的仪器将数格数 n 得整 10' 的方法改进为直读整 10' 的数字 如图 2.17 直读度盘读数窗的 4 得 40'。

4)读取测微窗分、秒的角值 图 2.15b)是 8'16.3"。

5)计算整个读数结果 得 $163^\circ 38' 16.3''$ 。

水平、竖直度盘对径符合测微光路各自独立,测微前利用光路变换钮选取相应的光路。

第四节 水平角测量的基本操作方法

水平角测量是利用经纬仪在相应的地面固定点(有固定标志的地面点)上对另一地面点上的目标进行观测的过程,整个过程涉及到经纬仪的基本操作方法和水平角的观测技术方法。

经纬仪的基本操作方法:

(一)经纬仪的安置:目的—,经纬仪的中心在地面点中心的垂线上;目的二,经纬仪的水平度盘处于水平状态;目的三,经纬仪的安置高度适当稳定可靠便于工作。经纬仪的安置又称为对中整平。由于经纬仪设有光学对中器,经纬仪的安置方法以光学对中器进行对中整平为常见 具体方法:

1.三脚架对中:三脚架是安放经纬仪的支架,将三脚架安置在地面点上,要求高度适当,架头概平,大致对中,稳固可靠。伸缩三脚架的架腿可调整三脚架高度,三脚架安置时在架头中心处自由落下一小石头,观其落下点与地面点的偏差,若偏差在 3cm 之内,则实现大致对中。三脚架的架腿尖头尽可能插进土中。

2.经纬仪对中:这是精密对中的工作。

1)安置经纬仪:从仪器箱中取出经纬仪放在三脚架架头上(手不放松),位置适中。另一