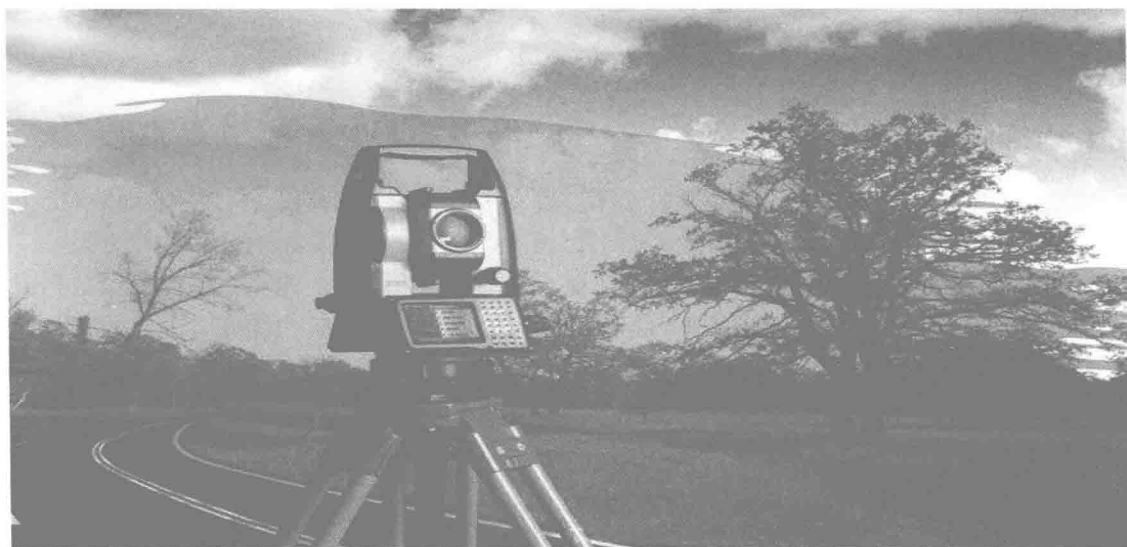


第 1 篇

测量的基本知识与技术



- 第 1 章 绪论
- 第 2 章 水准测量
- 第 3 章 角度测量
- 第 4 章 距离测量及直线定向
- 第 5 章 全站仪测量
- 第 6 章 测量误差的基本知识
- 第 7 章 小区域控制测量
- 第 8 章 大比例尺地形图测绘
- 第 9 章 地形图的应用

绪论 第1章

【要点提示】通过本章的学习，掌握大地水准面、参考椭球体、地理坐标、高斯平面直角坐标、高程等基本概念，知道测量的基本工作，理解测量工作的基本原则，了解用水平面代替水准面的限度。

1.1 测量学的任务与作用

1.1.1 测量学的任务

测量学是研究地球的形状和大小及如何测定地面点的平面位置和高程，将地球表面的地形及其他信息测绘成图，并将设计图上的建筑物测设到实地的科学。它的主要内容包括两个方面：

(1) 测定 测定是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算，得到一系列测量数据或成果，将地球表面的地形按一定比例尺缩绘成地形图，供科学研究、国防和工程建设规划设计使用。

(2) 测设 测设是指用一定的测量方法，按要求的精度，把设计图上规划设计好的建（构）筑物的平面位置和高程在实地标定出来，作为施工的依据。

1.1.2 测量学的分支及研究对象

测量学按其研究的范围和对象的不同，包括以下几个主要学科：

(1) 大地测量学 大地测量学是一门研究地球形状、大小，地球重力场测定和按一定的坐标系建立国家统一的点位控制网，以满足测绘地形图、国防和工程建设需要的理论、技术和方法的学科。

(2) 普通测量学 普通测量学是一门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。

(3) 摄影测量学 摄影测量学是一门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。其中航空摄影测量学是测绘中、小比例尺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；而近景摄影测量学已经在古建筑测绘、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。

(4) 工程测量学 工程测量学是一门研究工程建设在勘察设计、施工放样、运营管理各阶段中进行测量工作的理论和方法的学科。其主要内容包括：控制测量、地形测量、施工

测量、安装测量、竣工测量、变形观测等。

(5) 海洋测量学 海洋测量学是一门研究地球表面水体（江河、湖泊和海洋）、港口、航道及水下地貌等测量的理论和方法的学科。

(6) 地图制图学 地图制图学是一门研究利用测量成果制作各种地图的理论、工艺和方法的学科。其研究内容包括地图编制、地图投影、地图整饰及电子地图的制作与应用。

本教材为适合土木工程的需要，主要介绍普通测量学和工程测量学中有关施工测量的基本内容。

1.1.3 测量学发展概况

测量学是一门历史悠久的科学，早在几千年前，由于当时社会生产发展的需要，中国、埃及、希腊等国家的人民就开始创造与运用测量工具进行测量。我国在古代就发明了指南针、浑天仪等测量仪器，并绘制了相当精确的全国地图。指南针于中世纪由阿拉伯人传入欧洲，并在全世界得到广泛应用，直到今天它依然是利用地磁测定方位的简便测量工具。17世纪发明望远镜后，人们利用光学仪器进行测量，使测量科学迈进了一大步。20世纪60年代以来，由于电子计算技术的飞速发展，出现了自动化程度很高的电子经纬仪、电子全站仪和自动绘图仪。80年代末以来发展了一种利用卫星定位的新技术——全球定位系统（Global Positioning System, GPS），使用GPS作业时，测量人员不受气候及地形的限制，只需要将卫星接收机安置在待测量的点位上，接收卫星信号，并使用专门的软件即可计算出该点的三维坐标。这种技术彻底地改变了传统的通过测角量边计算地面控制点坐标的方法，极大地促进了测量学的发展。可以相信，随着现代科学技术的发展，测量科学也必然会向更高层次的自动化、数字化方向发展。

1.1.4 测量技术在国民经济建设中的作用

在国民经济建设中，测量技术的应用十分广泛。例如，铁路、公路在建造之前，为了确定一条最经济、最合理的路线，在确定了路线大致走向的基础上，必须首先进行该地带的测量工作，由测量成果绘制带状地形图，在地形图上进行路线设计，然后将设计图上的路线中线位置在实地标定出来，以便进行施工；在路线跨越河流时，必须建造桥梁。造桥之前，要绘制河流两岸的地形图，测定河流的水位、流速、流量和桥轴线长度等，为桥梁的设计提供必要的资料。在桥梁施工时将设计的桥台、桥墩位置用测量的方法在实地标定；当路线穿过山地需要开挖隧道时，开挖之前必须在地形图上确定隧道的位置，并由测量数据计算隧道的长度和方向。在隧道施工期间，需要根据测量成果指示开挖的方向等，使之符合设计要求。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，在设计阶段，要测绘各种比例尺的地形图，供构筑物的平面及竖向设计之用；在施工阶段，要将设计构筑物的平面位置和高程在实地标定出来，作为施工的依据；待工程完工，还要测绘竣工图，供日后扩建、改建、维修和城市管理应用；对某些重要的建筑物，在其施工过程中以及建成以后，还需要进行变形观测，以保证建筑物的安全使用。

1.1.5 本课程的学习要求

对于土木工程类专业，设置本课程的主要目的是学习和掌握下列内容：

(1) 地形图测绘 运用测量学的理论、方法和工具,将小范围内的地物和地貌测绘成地形图,这项任务简称为测图。

(2) 地形图应用 在工程设计中,从地形图上获取设计所需要的相关资料,例如点的坐标和高程、两点之间的水平距离、地面的坡度、地块的面积、地形的断面等。

(3) 施工放样 把设计图上的建筑物或构筑物的平面位置及高程以规定的精度要求在实地标定出来,作为施工的依据。

(4) 变形观测 建筑物或构筑物在施工和运行阶段,由于受自重和外力的影响所发生的水平和垂直位移称为变形。进行变形观测,以便采取措施,保证建筑物的安全使用。

1.2 地球的形状及大小

测量工作是在地球表面上进行的,地球的形状和大小直接与测量工作有关,同时测量的计算和基准面、基准线的选择有关,因此需要首先认识地球的形体及进行测量时所采用的基准。

如图 1-1a 所示,由于地球的自转,其表面质点同时受到万有引力与离心力合力即重力的影响,重力的方向线又称铅垂线,是测量上的基准线。

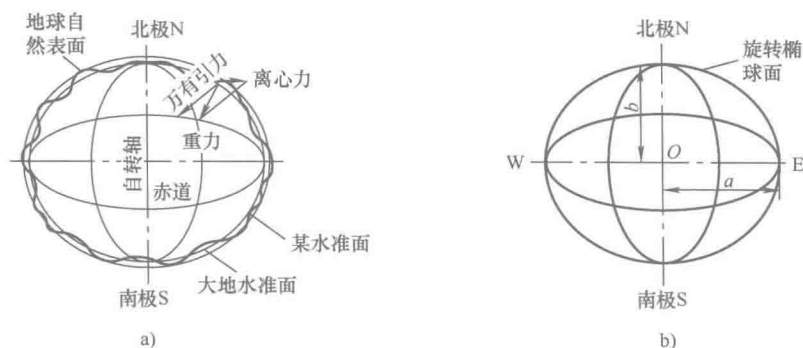


图 1-1 地球自然表面、大地水准面和旋转椭球面

地球自然表面是极不平坦和极不规则的,有高山、丘陵、盆地、平原、海洋等。世界最高的珠穆朗玛峰高出海平面 8844.43m,最深的马里亚纳海沟低于海平面 11022m,相对高差接近 20km,但与地球半径 6371km 相比,通常可以忽略不计。此外,地球表面海洋面积约占 71%,陆地面积仅占 29%。因此,在考虑地球的形状时,人们设想以一个静止不动的海水面延伸穿过陆地,形成一个闭合的曲面,这个闭合的曲面称之为水准面。由于海水有涨落变化,符合这一特点的水准面可有无数多个,其中通过平均海水面的那个水准面称为大地水准面,它是地面点高程计算的起算面(又称为高程基准面)。大地水准面所包围的地球形体,称为大地体。

水准面的特性是它处处与铅垂线正交,由于地球的内部质量分布不均匀,地球各处引力的大小不同,致使重力方向发生变化,所以大地水准面实际上是一个复杂又不易用数学式表达的曲面,如果将地球表面的图形投影到这个不规则的曲面上,测量计算和制图将很困难,为此选用一个非常接近大地水准面并可用数学式表达的几何形体来代表地球的形体。这个几

何形体是由椭圆 NESW 绕其短轴 NS 旋转而成的旋转椭球体，如图 1-1b 所示，旋转椭球体又称为地球椭球体，其表面称旋转椭球面。

决定地球椭球体形状和大小的参数为椭圆的长半轴 a 、短半轴 b 及扁率 α ，如图 1-1b 所示，其关系为 $\alpha = (a - b) / a$ 。

我国采用的三个椭球元素值及 GNSS 测量使用的参考椭球元素值见表 1-1。

表 1-1 参考椭球元素值

序 号	坐标系名称	a/m	α
1	1954 北京坐标系	6 378 245	1 : 298. 3
2	1980 西安坐标系	6 378 140	1 : 298. 257
3	2000 国家大地坐标系	6 378 137	1 : 298. 257 222 101
4	WGS-84 坐标系 (GNSS)	6 378 137	1 : 298. 257 223 563

在表 1-1 中，序 1 参考椭球称为克拉索夫斯基椭球 (Krasovsky ellipsoid)，序 2 参考椭球是 1975 年 16 届“国际大地测量与地球物理联合会”(International Union of Geodesy and Geophysics) 通过并推荐的椭球，简称 IUGG1975 椭球，序 4 参考椭球是 1979 年 17 届“国际大地测量与地球物理联合会”(International Union of Geodesy and Geophysics) 通过并推荐的椭球，简称 IUGG1979 椭球，序 3 参考椭球的长半轴 a 与序 4 的相同，只是扁率有微小差异。

由于参考椭球的扁率 α 很小，当测区面积不大时，可以把地球当作圆球来看待，其半径 $R = (2a + b) / 3$ ， R 的近似值可取 6371km。

1.3 测量的坐标系统和高程系统

测量工作的实质是确定地面点的空间位置，而地面点的位置通常需要三个量来表示，即该点的平面（或球面）坐标以及该点的高程。因此必须首先了解测量的坐标系统和高程系统。

1.3.1 坐标系统

坐标是用来确定地面点在地球椭球面或投影在平面上的位置。表示地面点位在球面或平面上的位置，通常有下列几种坐标系统。

1. 地理坐标

在确定大范围内地面点的位置时，是以球面坐标系统来表示。用经纬度表示地面点在球面上的位置，称为地理坐标。

按坐标系所依据的基准线和基准面及测量计算坐标的方法不同又可分为天文地理坐标和大地地理坐标两种。

(1) 天文地理坐标 天文地理坐标又称天文坐标，是用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示地面点在大地水准面上的位置，它的基准是铅垂线 and 大地水准面。

如图 1-2 所示，过地面上任一点 P 的铅垂线与地轴 NS 所组成的平面称为天文子午面，过英国格林尼治天文台的

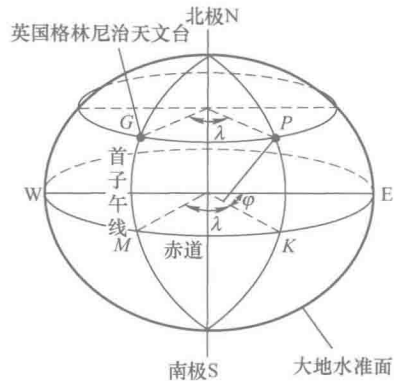


图 1-2 天文地理坐标

子午面称为首子午面。天文子午面与大地水准面的交线称为天文子午线（或称经线）。 P 点的天文经度 λ 是指过 P 点的天文子午面与首子午面所夹的二面角。自首子午线向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经；向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。同一子午线上各点的经度相同。

过 P 点垂直于地轴的平面与大地水准面的交线称为纬线，垂直于地轴并通过球心的平面称为赤道面。赤道面与球面的交线称为赤道。 P 点的天文纬度是指过 P 点的铅垂线与赤道面的夹角，自赤道起向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬，向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬。可以应用天文测量方法测定地面点的天文经度 λ 和天文纬度 φ 。例如北京市中心的天文地理坐标为东经 $116^\circ 24'$ ，北纬 $39^\circ 54'$ 。

(2) 大地地理坐标 大地地理坐标又称大地坐标，是用大地经度 L 和大地纬度 B 来表示地面点在旋转椭球面上的位置，它的基准是法线和旋转椭球面。 P 点的大地经度 L 是过 P 点的大地子午面和首子午面所夹的二面角， P 点的大地纬度 B 是过 P 点的法线与赤道面的夹角。大地经纬度是根据起始大地点（又称大地原点，该点的大地经纬度和天文经纬度一致）的大地坐标，按大地测量所得的数据推算而得。20世纪50年代，鉴于当时的历史条件，采用了克拉索夫斯基椭球元素，通过与苏联1942年普尔科沃坐标系联测，经我国东北传算过来的坐标系称为“1954北京坐标系”，简称54北京系，其大地原点位于现俄罗斯圣彼得堡市普尔科沃天文台圆形大厅中心。目前我国使用的大地坐标系，是以陕西省泾阳县永乐镇石际寺村大地原点为起算点，根据IUGG1975椭球元素建立的，称为“1980西安坐标系”，简称80西安系。

天文地理坐标和大地地理坐标的不同点是各自所依据的基准面和基准线不同，前者是大地水准面和铅垂线，后者是旋转椭球面和法线。

2. 高斯平面直角坐标

地理坐标建立在球面基础上，不能直接用于测图、工程建设规划、设计、施工，因此测量工作最好在平面上进行。而旋转椭球面是一个不能简单地展开成平面的曲面，必须通过投影的方法将球面上的点位化算到平面上。用投影的方法将曲面上的点化算到平面上，曲线上的线段、图形随之投影到平面上，要保证其长度、角度、面积均不发生变形是不可能的，测量上常要求角度不变，且小范围内经投影变换后图形相似。角度不变的投影称为正形投影，我国采用的是高斯正形投影（简称高斯投影）。

(1) 投影带的划分 为保证投影前后长度、面积的变形能满足测图的精度要求，高斯投影首先是将地球按经线划分成若干带，然后分带投影。带宽用投影带两边缘子午线的经度差表示，常用带宽为 6° 、 3° 和 1.5° ，分别简称为 6° 、 3° 和 1.5° 带投影。国际上对 6° 和 3° 带投影的中央子午线经度有统一规定，满足这一规定的投影称为统一 6° 带投影和统一 3° 带投影。

1) 统一 6° 带投影。从首子午线开始，自西向东每隔 6° 划分为一带（称为 6° 带），如图1-3所示，每带均有统一编排的带号，用 N 表示，自西向东依次编为1~60，位于各投影带边界上的子午线称为分带子午线，位于各投影带中央的子午线称为中央子午线。各带中央子午线经度 L_0 按下式计算：

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

反之，已知地面上任意一点的经度 L ，可按式(1-2)计算该点所在统一 6° 带的编号 N ：

$$N = \text{Int}\left(\frac{L}{6} + 1\right) \quad (1-2)$$

2) 统一 3°带投影。由 1°30′ 开始, 自西向东每隔 3° 划分为一带 (称为 3°带), 其带号用 n 表示, 依次编号为 1~120, 各带中央子午线经度 L'_0 按下式计算:

$$L'_0 = 3n \quad (1-3)$$

同样, 根据地面上任意一点的经度 L , 可按式 (1-4) 计算该点所在统一 3°带的编号 n :

$$n = \text{Int}\left(\frac{L}{3} + 0.5\right) \quad (1-4)$$

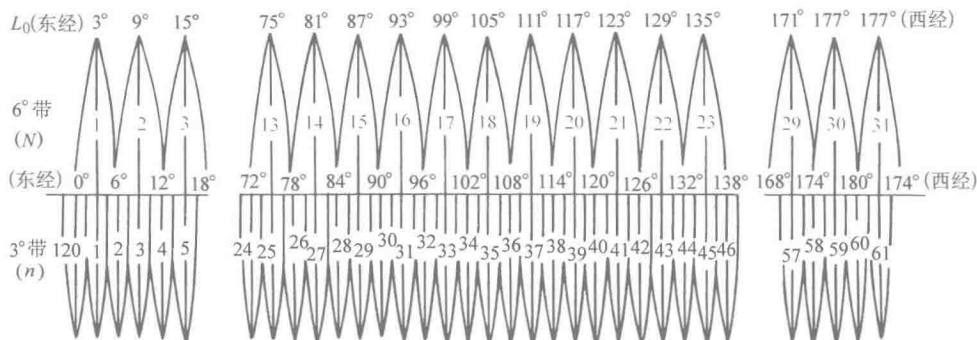


图 1-3 6°带和 3°带投影

(2) 分带投影 投影时设想一个空心的横椭圆圆柱体套在椭球面上, 横椭圆圆柱的中心轴线通过椭球的中心, 并且与椭球面上需投影的那个带的中央子午线相切, 如图 1-4a 所示。然后将中央子午线附近 (即本带东西边缘子午线构成的范围) 的椭球面上的点、线投影到横椭圆圆柱面上。再顺着过南北极的母线将椭圆柱面剪开并展开为平面, 如图 1-4b 所示, 这个平面称为高斯投影平面。高斯投影除保持投影前后的角度不变外, 中央子午线在投影面内为直线, 且长度不变, 其余子午线均为凹向中央子午线的曲线, 长度大于投影前的长度, 离中央子午线越远变形越大。赤道投影后为一直线, 并与中央子午线垂直, 其余纬线则为凸向赤道的曲线。

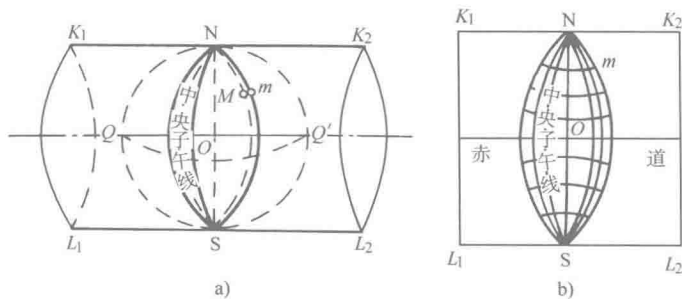


图 1-4 高斯投影

在高斯投影平面内, 中央子午线与赤道互相垂直, 以中央子午线为坐标纵轴 x 轴, 向北为正; 赤道为横轴 y 轴, 向东为正。两轴的交点 O 为坐标原点, 构成高斯平面直角坐标系, 如图 1-5 所示。与数学上的笛卡儿坐标系比较, 在高斯平面直角坐标系中, 为了定向的方

便,定义纵轴为 x 轴,横轴为 y 轴,这与数学上常用的笛卡儿坐标系不同。象限按顺时针方向编号,目的是便于数学上定义的各类函数公式直接应用到测量计算,不需做任何变更。

我国位于北半球, x 坐标均为正, y 坐标则有正有负,当地面点位于中央子午线以东时为正,以西时为负。例如图 1-5a 的 B 点位于中央子午线以西,其 y 坐标值为负值。对于 6° 带高斯坐标系,最大的坐标负值约为 365km。为了避免 y 坐标出现负值,我国统一规定将每带的坐标原点向西移 500km,也就是给每点的 y 坐标值加上 500km,使之均为正值,如图 1-5b 所示。

为了能正确区分某点所处的投影带的位置,规定在横坐标 y 值之前冠以投影带的编号。例如,图 1-5b 中的 B 点位于第 20 带内,其真正横坐标(在图 1-5a 中的坐标) $y_B = -113\,424.690\text{m}$,按上述规定 y 值应该写为 $Y_B = 20(-113\,424.690 + 500\,000) = 20\,386\,575.310\text{m}$ 。

3. 独立平面直角坐标系

如图 1-6a 所示,当测区范围较小时(一般要求测区半径小于 10km),将测区中心点 C 沿铅垂线投影到大地水准面上的 c 点,用过 c 点的切平面来代替大地水准面,在切平面上建立的测区平面直角坐标系 O_{xy} 称为独立平面直角坐标系。其坐标原点选在测区西南角处,使测区内坐标值均为正值,以测区中心的子午线为 x 轴方向。将测区内任一点 P 沿铅垂线投影到切平面上得 p 点,通过测量计算出的 p 点坐标 x_p 、 y_p 就是 P 点在独立平面直角坐标系中的坐标。

独立平面直角坐标系的坐标轴方向和象限编号顺序与高斯平面直角坐标系相同,如图 1-6b 所示。

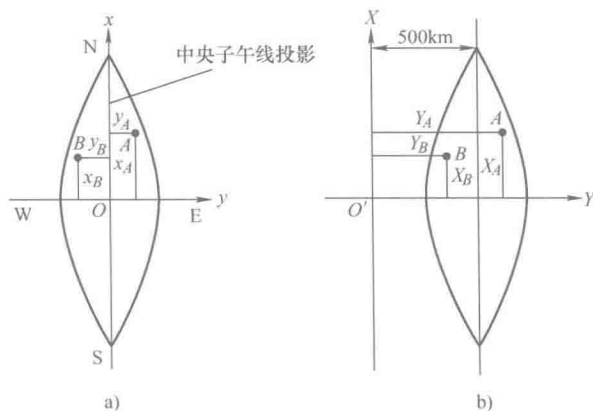


图 1-5 高斯平面直角坐标

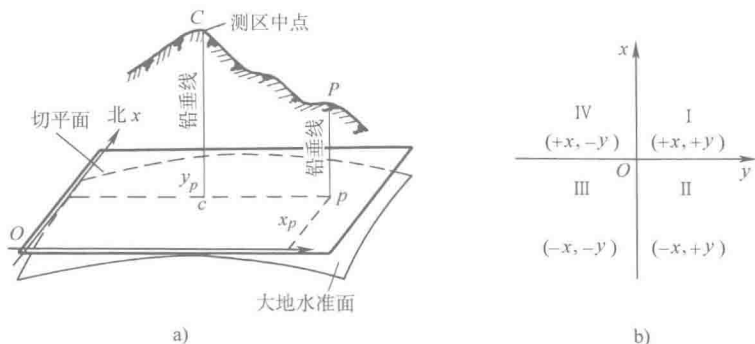


图 1-6 独立平面直角坐标系原理图

1.3.2 高程系统

地面点沿铅垂线至大地水准面的距离称为该点的绝对高程或海拔,一般用 H 表示,如

图 1-7 所示, 图中 A 、 B 的高程分别为 H_A 、 H_B 。

高程系是一维坐标系, 它的基准是大地水准面。我国境内所测定的高程点是以青岛大港一号码头验潮站历年观测的黄海平均海水面为基准面, 并在青岛观象山建立水准原点, 通过水准测量的方法将验潮站确定的高程零点引测到水准原点, 求出水准原点的高程。

1956 年我国采用青岛大港一号码头验潮站 1950 ~ 1956 年验潮资料计算确定的大地水准面为基准引测出水准原点的高程为 72.289m, 以该大地水准面为高程基准建立的高程系称为“1956 年黄海高程系”, 简称“56 黄海系”。20 世纪 80 年代中期, 又采用青岛大港一号码头验潮站 1953 ~ 1979 年验潮资料计算确定的大地水准面为基准引测出水准原点的高程为 72.260m, 以这个大地水准面为高程基准建立的高程系称为“1985 国家高程基准”, 简称“85 高程基准”。“85 高程基准”使用的大地水准面比“56 黄海系”使用的大地水准面高出 0.029m。

在局部地区, 当无法知道绝对高程时, 也可以假定一个水准面作为高程起算面, 地面点到假定水准面的铅垂线距离, 称为假定高程或相对高程。如图 1-7 中 A 、 B 两点的相对高程为 H'_A 、 H'_B 。

地面上两点之间的高程之差, 称为高差, 一般用 h 加上这两点的名称作为下标表示。如 A 、 B 两点的高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-5)$$

式中, h_{AB} 有正有负, 下标 AB 表示 A 点至 B 点的高差。

上式也表明两点间高差与高程起算面无关。

综上所述, 当通过测量与计算, 求得表示地面点位置的三个量, 即 (x, y, H) 后, 地面点的空间位置也就确定了。

1.4 地球曲率对测量的影响

将地面点测绘在平面图纸上, 是测量的重要任务之一。如前所述, 将大地水准面近似看作圆球面, 把地面点先投影到圆球面上, 然后再投影到平面图纸上描绘, 这个过程很复杂。

在实际测量工作中, 当测区范围较小时, 可忽略地球曲率的影响, 将大地水准面近似为水平面, 即把较小一部分地球表面上的点投影到水平面上来决定其位置, 这样既可以简化计算和绘图工作, 又不致因曲面和水平面的差异过大而产生较大的测量误差。本节主要讨论用水平面代替水准面后对距离和高程的影响 (或称地球曲率的影响), 以便给出水平面代替水准面的限度。

1.4.1 对距离的影响

如图 1-8 所示, 设 A 、 B 为水准面 P 上的两点, 在曲线上的弧长为 D , 所对圆心角为 θ ,

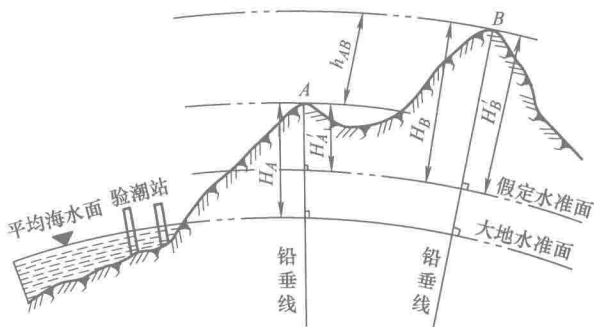


图 1-7 高程与高差的定义及其相互关系

过 A 点作水准面 P 的切面，即水平面 P'，A、B 两点在水平面上的长度为 D'，在较小范围内，将大地水准面近似看作圆球面，则

$$D = R\theta \tag{1-6}$$

$$D' = R\tan\theta \tag{1-7}$$

式中 R——球面 P 的半径；

θ——弧长 D 所对角度。

以水平面上距离 D'代替球面上弧长 D 所产生的误差为 ΔD，则

$$\Delta D = R(\tan\theta - \theta) \tag{1-8}$$

将式 (1-8) 中 tanθ 按三角级数展开，并略去高次项，得

$$\tan\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5$$

将上式代入式 (1-8) 中，并顾及 θ = D / R，整理后可得

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

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \tag{1-10}$$

若取地球半径 R = 6731km，并以不同的 D 值代入式 (1-9) 或式 (1-10)，则可得出距离误差 ΔD 和相应相对误差 ΔD / D，见表 1-2。

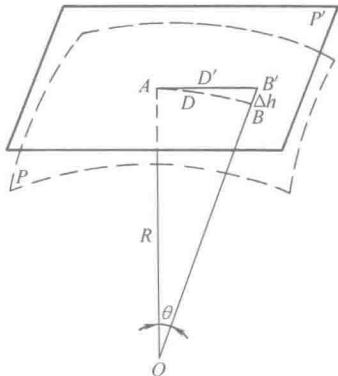


图 1-8 水平面代替水准面的影响

表 1-2 水平面代替水准面的距离误差和相对误差

距离 D/km	距离误差 ΔD/mm	相对误差 ΔD/ D
10	8	1/1 220 000
25	128	1/200 000
50	1026	1/49 000
100	8212	1/12 000

由表 1-2 可知，当距离为 10km 时，用水平面代替水准面所产生的距离相对误差为 1/1 220 000，这样小的距离误差就是在地面上进行最精密的距离测量也是允许的。因此，可以认为在半径为 10km 的范围内，用水平面代替水准面所产生的距离误差可以忽略不计，也就是可以忽略地球曲率对距离的影响。当精度要求较低时，还可以将测量范围的半径扩大到 25km。

1.4.2 对高差影响

在图 1-8 中，由于 A、B 两点位于同一水准面上，所以其高程应相等（即高差为零）。B 点在水平面上的投影为 B'点，则 BB'即为水平面代替水准面所产生的高差误差，设 BB' = Δh，则

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + D'^2 \tag{1-11}$$

整理后得

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

在上式中,可以用 D 代替 D' ,同时 Δh 与 $2R$ 相比可忽略不计,则

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-13)$$

同样,以不同的 D 值代入式 (1-13),取 $R=6371\text{km}$,可得相应的高差误差,见表 1-3。

表 1-3 水平面代替水准面的高差误差

距离 D/km	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	5	10
$\Delta h/\text{mm}$	0.8	3	7	13	20	78	314	1962	7848

由表 1-3 可知,用水平面代替水准面,在 1km 的距离上高差误差就有 78mm 。因此,在进行高程测量时,即使很短的距离也应考虑地球曲率的影响,采用相应的措施减小误差。

1.5 测量工作概述

地球的表面十分复杂,但不管多么复杂,测量工作均可看成是确定地面点的工作。在土木工程建设中,测量工作的主要任务是测绘地形图和施工放样,本节扼要介绍测图和放样的大概过程,为学习后面各章建立初步的概念。

1.5.1 测量工作的基本原则和方法

测绘地形图或施工放样时,要在某一个点上测绘出该测区全部地形或者放样出建筑物的全部位置是不可能的。如图 1-9a 中所示的 A 点,在该点只能测绘出附近的地形或者放样出附近的建筑物的位置(如图中的拟建建筑物 p'),对于山后面的部分以及较远的地形就观测不到,因此需要在若干点上分区观测,最后才能拼成一幅完整的地形图,如图 1-9b 所示。施工放样也是如此。另外,任何测量工作都不可避免地会产生误差。为防止误差的累积和传播,保证测区内点位之间具有规定的精度,在实际测量工作中应当遵守以下基本原则:

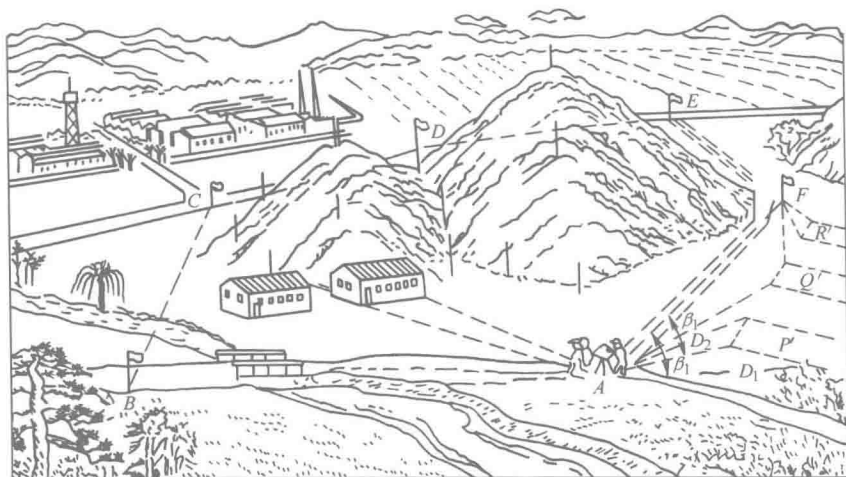
1) 在测量布局上应遵循“从整体到局部”的原则;在测量程序上应遵循“先控制后碎部”的原则;在测量精度上应遵循“由高级到低级”的原则。

2) 对测量工作的每个工序,都必须坚持“边工作边检核”的原则,以确保测量成果精确可靠。

1.5.2 控制测量的概念

在测量程序上遵循“先控制后碎部”的原则,就是先进行控制测量,用较严密的方法和较精密的仪器测定分布在测区内若干个具有控制意义的控制点的平面位置(坐标)和高程,作为测绘地形图的依据和施工放样的基础。控制测量分为平面控制测量和高程控制测量。平面控制测量的方法有导线测量、三角测量及交会定点等,其目的是确定测区中一系列控制点的坐标 x 、 y ;高程控制测量的方法有水准测量、光电测距三角高程测量等,其目的是测定各控制点的高程 H 。如图 1-9a 所示的测区,图中 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 为平面控制点,由这一系列控制点连接而成的几何图形,称为平面控制网,图 1-9a 为闭合导线网。通过导线测量(包括测角度和量距离等)和计算可求得各平面控制点的坐标 x 和 y 值。高程控制点由一系列水准点或三角高程点构成,亦可将平面控制点兼作高程控制点位,由测区内某一已

知高程的水准点开始, 经过 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 等控制点构成闭合水准路线, 进行水准测量和计算, 求得这些控制点的高程 H 。控制测量是带有全局性的工作, 在比较大的测区应根据需要按照不同的精度要求分成各种等级, 逐层加密直至满足应用要求。利用人造卫星的全球定位系统, 可以同时测定控制点的坐标和高程, 是控制测量的发展方向。



a)



b)

图 1-9 地形和地形图示意图

1.5.3 碎部测量的概念

碎部测量是以控制点为依据,以较低的(当然也是保证必要的)精度测定控制点至碎部点(地形特征点)的水平距离、高差及相对于某已知方向的角度来确定碎部点的位置。在测区内测定一定数量的碎部点位置后,可按一定比例尺将这些碎部点标绘在图纸上,绘制成图,如图1-9b所示。图上表示的道路、桥梁及房屋等地物是用规定的图式和地物符号绘出的。图中央部分的一组闭合曲线表示测区内两座相连的山头及其高低起伏的形态,这些闭合曲线称为等高线。用等高线表示地貌是最常用的方法,其原理将在以后有关章节中详细介绍。

在普通测量中,碎部测量常用平板仪测绘或经纬仪测绘法。图1-10所示是用经纬仪测绘法进行碎部测量。在控制点A点上安置经纬仪,以另一控制点B点为定向点,瞄准后使水平读盘读数为 $0^{\circ}00'00''$,然后依次瞄准在房屋角点1、2、3处竖立的标尺,读得相应的水平角 β_1 、 β_2 、 β_3 ,同时测得测站点至各碎部点的水平距离 D_1 、 D_2 、 D_3 。根据角度和距离在图板上用量角器和直尺按比例尺标绘出房屋角1、2、3点的平面位置。

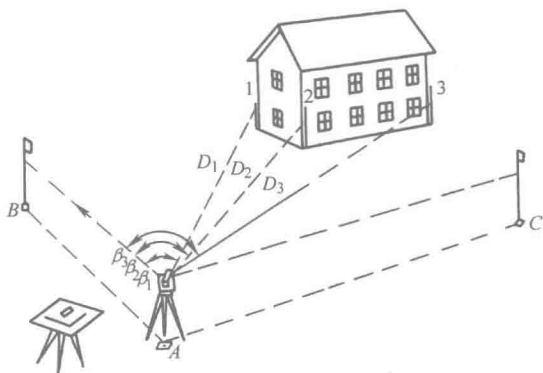


图1-10 经纬仪测绘法

1.5.4 施工放样的概念

施工放样中的碎部测量是把设计图上的建筑物位置在实地上标定出来,作为施工的依据。为了使地面上标定出来的建筑物位置成为一个有机的整体,施工放样同样要遵循“先控制后碎部”的基本原则。

如图1-9b所示,在控制点A、F附近设计了建筑物 P' 、 Q' 、 R' (图中用虚线表示),施工前需首先在实地标定出它们的位置。根据控制点A、F和建筑物的设计坐标,可求出水平角 β_1 、 β_2 和水平距离 D_1 、 D_2 ,然后在控制点A上,用仪器测设出 β_1 、 β_2 所指的方向,沿这些方向量出水平距离 D_1 、 D_2 ,即在实地定出1、2等点,这就是建筑物的实地位置。由于施工控制网是一个有机整体并且有相应的精度和密度,因此不论建筑物的范围有多大,由各个控制点定出的建筑物的位置,也必能联系成为一个整体。同样根据控制点的已知高程和建筑物的图上设计高程,可用水准测量方法测设出建筑物的实地设计高程。

综上所述,控制测量和碎部测量的基本任务都是确定点的空间位置,所进行的基本工作都是量距、测角、测高差。因此,距离、水平角、高差被称为确定地面点位的基本三要素。

测量工作有内业和外业之分。在野外利用测量仪器和工具测定地面上两点的水平距离、角度、高差,称为测量外业工作。在室内将外业的测量成果进行数据处理、计算和绘图,称为测量的内业工作。

1.6 测量常用的计量单位

测量工作中经常用到的角度、长度的度量单位及其换算关系，分别列于表 1-4 和表 1-5。

表 1-4 角度单位及其换算关系

度分秒制	弧度制
1 圆周 = 360°	1 圆周 = 2rad
$1^\circ = 60'$	$1\text{rad} = 180^\circ/\pi = 57.295\ 779\ 51^\circ$
$1' = 60''$	$= 3438'$
	$= 206265''$

表 1-5 长度单位及其换算关系

公制	英制
$1\text{km} = 1000\text{m}$	英里 (mile)
$1\text{m} = 10\text{dm}$	英尺 (feet, 简写 ft)
$= 100\text{cm}$	英寸 (inch, 简写 in)
$= 1000\text{mm}$	$1\text{km} = 0.6214\text{mile}$
	$= 3280.8\text{ft}$
	$1\text{m} = 3.2808\text{ft}$
	$= 39.37\text{in}$

思考题与习题

- 1-1 测定与测设有何区别？
- 1-2 何谓大地水准面？有什么特点和作用？
- 1-3 何谓绝对高程、相对高差及高差？
- 1-4 高斯平面直角坐标系是怎样建立的？测量上的平面直角坐标系和数学上的平面直角坐标系有何区别？
- 1-5 已知某点位于高斯投影 6° 带第 20 号内，该点在该投影带高斯平面直角坐标系中的横坐标 $y = -306\ 579.210\text{m}$ ，写出该点不包含负值且含有带号的横坐标 y_0 。
- 1-6 某点的大地经度为 $109^\circ39'$ ，试计算该点所在 6° 带的带号以及该点所在投影带中央子午线的经度 L_0 。
- 1-7 测量工作的基本原则是什么？为什么要遵循这些原则？
- 1-8 测量工作中，用水平面代替水准面时，地球曲率对距离、高差的影响如何？
- 1-9 确定地面点位的三项基本要素是什么？

水准测量 第2章

【要点提示】本章学习应在了解水准测量原理和水准仪基本构造的基础上，掌握 DS₃ 水准仪的使用方法；掌握水准测量的施测方法和内业计算；能够进行普通光学水准仪的检验校正；了解水准测量的误差及其他水准仪的基本特点。

测量地面点高程的工作，称为高程测量。在地形图的测绘、工程勘察设计及施工放样中，均需要测量地面点的高程。测量地面点的高程按使用的仪器和方法不同，分为水准测量、三角高程测量、气压高程测量和 GPS 测量等。其中，水准测量是最常用和精度较高的方法。

2.1 水准测量原理

水准测量的基本原理是利用水准仪所提供的水平视线，通过读取竖立在两点上水准尺的读数，测定两点间的高差，从而由已知点高程推求未知高程。

如图 2-1 所示，欲测定 B 点的高程，需先测定 A、B 两点间的高差 h_{AB} 。为此，可在 A、B 两点上竖立水准尺，并在其间安置水准仪，若水准仪的水平视线在 A、B 点水准尺上的读数为 a 、 b 。则 A、B 两点间的高差为

$$h_{AB} = a - b \quad (2-1)$$

如果水准测量方向是由已知点 A 到待定点 B 进行的，则 A 点为后视， a 为后视读数；B 点为前视， b 为前视读数。A、B 两点间的高差 h_{AB} 等于后视读数 a 减去前视读数 b ，即 $h_{AB} = a - b$ 。当 $a > b$ 时，高差为正值，说明 B 点高于 A 点；反之，当 $a < b$ 时，则高差为负值，说明 B 点低于 A 点。

如果已知 A 点高程为 H_A 和测得高差为 h_{AB} ，则 B 点高程为

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (2-2)$$

以上利用高差计算高程的方法，称为高差法。由图 2-1 可知，B 点高程也可以通过仪器的视线高 H_i 计算：

$$\begin{aligned} H_i &= H_A + a \\ H_B &= H_i - b \end{aligned} \quad (2-3)$$

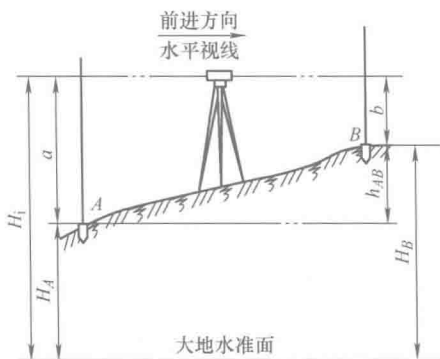


图 2-1 水准测量原理

由式 (2-3) 用视线高程计算 B 点高程的方法, 称为视线高程法。当安置一次仪器需要测多个前视点高程时, 利用视线高程法比较方便。

2.2 DS₃ 型水准仪及其使用

水准测量所使用的仪器为水准仪。我国水准仪按其精度分为 DS_{0.5}、DS₁、DS₃、DS₁₀、DS₂₀ 五个等级。“D”和“S”是“大地”和“水准仪”的汉语拼音的第一个字母, 其下标数字 0.5、1、3、10、20 表示该类仪器的精度。数字越小, 精度越高。DS₃ 型水准仪在工程测量中常用, 使用该仪器进行水准测量, 每千米可达 $\pm 3\text{mm}$ 的精度, 本节重点介绍这类仪器。

2.2.1 DS₃ 型水准仪的构造

在水准仪测量中, 水准仪的主要作用是提供一条水平视线, 并能照准水准尺进行读数。图 2-2 所示为我国生产的 DS₃ (简称 S₃) 型水准仪的外形。水准仪主要由望远镜、水准器及基座三部分组成。

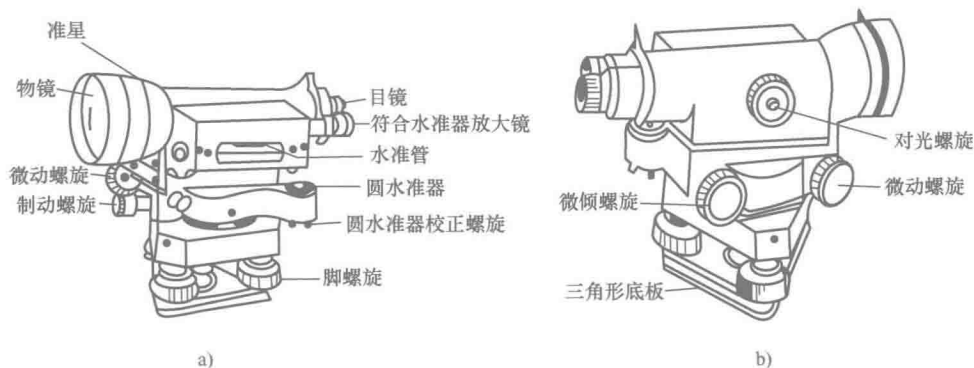


图 2-2 DS₃ 型水准仪

1. 望远镜

望远镜是水准仪上的重要部件, 用来瞄准远处的水准尺进行读数, 它由物镜、调焦透镜、调焦螺旋、十字丝分划板和目镜等组成, 如图 2-3 所示。

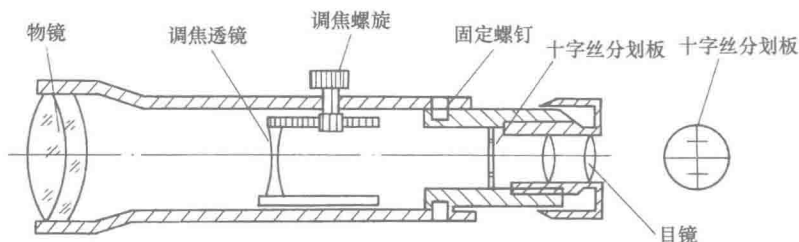


图 2-3 望远镜

物镜由两片以上的透镜组组成, 作用是与调焦透镜一起使远处的目标成像在十字丝平面上, 形成缩小的实像。旋转调焦螺旋, 可使不同距离目标的成像清晰地落在十字丝分划板

上,称为调焦或物镜对光。目镜也是由一组复合透镜组成,其作用是将物镜所成的实像连同十字丝一起放大成虚像,转动目镜螺旋,可使十字丝影像清晰,称为目镜调焦。

十字丝分划板是安装在镜筒内的一块光学玻璃板,上面刻有两条互相垂直的十字丝,竖直的一条称为纵丝,水平的一条称为横丝或中丝,与横丝平行的上、下两条对称的短丝称为视距丝,用以测定距离用。水准测量时,用十字丝交叉点和中丝瞄准水准尺并读数。

物镜光心与十字丝交点的连线称望远镜的视准轴。合理操作水准仪后,视准轴的延长线即成为水准测量所需要的水平视线。从望远镜内所看到的目标放大虚像的视角 β 与眼睛直接观察该目标的视角 α 的比值,称望远镜的放大率,一般用 ν 表示

$$\nu = \frac{\beta}{\alpha} \quad (2-4)$$

DS₃型水准仪望远镜的放大率一般为25~30倍。

2. 水准器

水准器主要用来整平仪器、指示视准轴是否处于水平位置,是操作人员判定水准仪是否置平正确的重要部件。普通水准仪上通常有圆水准器和管水准器两种,如图2-4、图2-5所示。

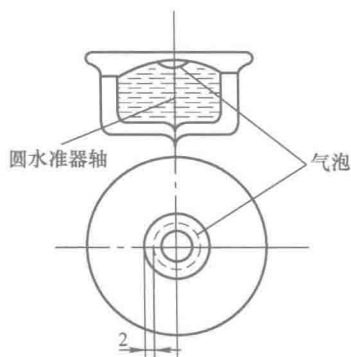


图 2-4 圆水准器

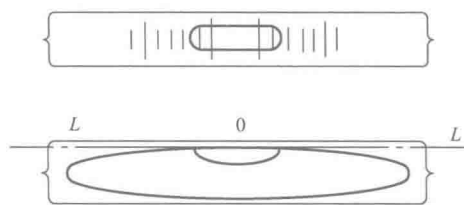


图 2-5 管水准器

(1) 圆水准器 圆水准器外形如图2-4所示,顶部玻璃的内表面为球面,内装有酒精或乙醚溶液,密封后留有气泡。球面中心刻有圆圈,其圆心即为圆水准器零点。通过零点与球面曲率中心连线,称为圆水准轴。当气泡居中时,该轴线处于铅垂位置;气泡偏离零点,轴线呈倾斜状态。气泡中心偏离零点2mm所倾斜的角值,称为圆水准器的分划值。DS₃型水准仪圆水准器分划值一般为8'~10'。圆水准器的精度较低,用于仪器的粗略整平。

(2) 管水准器 管水准器又称水准管,它是一个管状玻璃管,其纵向内壁磨成一定半径的圆弧,管内装酒精或乙醚溶液,加热融封冷却后在管内形成一个气泡(图2-5)。由于气泡较液体轻,气泡恒处于管内最高位置。水准管内壁圆弧的中心点(最高点)为水准管的零点,过零点与圆弧相切的切线称水准管轴(图中L—L)。当气泡中点处于零点位置时,称气泡居中,这时水准管轴处于水平位置。在水准管上,一般由零点向两侧刻有数条间隔2mm的分划线,相邻分划线2mm圆弧所对的圆心角,称为水准管的分划值,用“ τ ”表示。

$$\tau = \frac{2\rho}{R} \quad (2-5)$$

式中 R ——水准管圆弧半径;

ρ ——弧度的秒值, $\rho = 206265''$ 。