

目 录

第一章 绪论	1
1-1 实用工程测量的内容	1
1-2 地面点位置的表示方法	2
第二章 水准测量	5
2-1 水准测量原理	5
2-2 微倾式水准仪	6
2-3 水准尺和尺垫	8
2-4 水准测量的外业工作	9
2-5 水准测量的内业工作	12
2-6 水准测量的误差	14
2-7 微倾式水准仪的检验与校正	16
2-8 自动安平水准仪和精密水准仪	18
第三章 角度测量	22
3-1 水平角测量原理	22
3-2 DJ ₆ 级光学经纬仪	22
3-3 水平角的测量方法	24
3-4 竖直角测量方法	27
3-5 水平角测量的误差	30
3-6 经纬仪的检验和校正	31
3-7 DJ ₂ 级光学经纬仪	34
第四章 距离测量和直线定向	37
4-1 距离测量概述	37
4-2 钢尺量距的一般方法	39
4-3 钢尺的检定	40
4-4 钢尺量距的精密方法	42
4-5 红外光电测距仪	44
4-6 直线定向	47
第五章 关于测量误差的基本知识	51
5-1 测量误差概述	51
5-2 评定观测值精度的标准	53
5-3 中误差的传播定律	55
5-4 等精度观测值的最或是值	59
5-5 不等精度观测值的最或是值	62
第六章 小地区控制测量	67
6-1 控制测量概述	67

6-2	导线测量的外业工作	68
6-3	导线测量的内业计算	71
6-4	小三角测量的外业工作	76
6-5	小三角测量的内业计算	79
6-6	交会法	86
6-7	高程控制测量	88
第七章	地形图的识读和应用	94
7-1	地形和地形图	94
7-2	地物和地貌在地形图上的表示方法	96
7-3	阅读地形图的基本知识	100
7-4	地形图的应用	101
第八章	大比例尺地形图测绘	106
8-1	测图前的准备工作	106
8-2	视距测量	107
8-3	平板仪的构造和用法	110
8-4	碎部测量的方法	114
8-5	地形图的拼接、检查与整饰	117
第九章	测设的一般原理	119
9-1	水平角的测设原理	119
9-2	水平距离的测设原理	120
9-3	高程的测设原理	121
9-4	点位的测设原理	122
9-5	设计坡度的测设原理	124
第十章	建筑工程测量	126
10-1	概述	126
10-2	施工测量前的准备工作	126
10-3	施工控制测量	130
10-4	民用建筑物的放样	135
10-5	工业建筑物的放样	138
10-6	外形复杂建筑物的放样	140
10-7	高层建筑物的放样	143
10-8	建筑物的变形观测	146
10-9	竣工测量	148
第十一章	公路工程测量	151
11-1	概述	151
11-2	路线初测阶段的测量	151
11-3	路线定测阶段的测量	152
11-4	单圆曲线元素的计算和主点测设	157
11-5	单圆曲线的详细测设	159
11-6	圆曲线越障测设	163
11-7	其它类型圆曲线的测设	164
11-8	缓和曲线的测设	168
11-9	高速公路线型	175

11-10	竖曲线	176
11-11	交点里程的推算	177
11-12	路线纵横断面测量	178
11-13	公路施工放样	182
11-14	桥梁、涵洞施工测量	186
第十二章 管道工程测量		191
12-1	概述	191
12-2	中线测量	191
12-3	纵横断面测量	192
12-4	管道施工测量	193
12-5	顶管施工测量	196
12-6	管道竣工测量	198
第十三章 农田基本建设工程测量		201
13-1	概述	201
13-2	农村地籍测量	201
13-3	土地面积测算	206
13-4	渠道工程测量	210
13-5	小水库工程测量	212

第一章 绪 论

1-1 实用工程测量的内容

测量学是研究应用测绘仪器和工具量度并确定地面点位置的科学，是为人们认识自然和改造自然服务的一门应用科学。测量学按研究的范围和任务分为大地测量学、普通测量学、摄影测量学、工程测量学等学科。实用工程测量是运用普通测量学和工程测量学的原理和方法为建筑、道路、管道和农田水利等工程的设计、施工、管理和城乡规划服务的。它的主要内容有：

一、测绘地形图

在工程的规划设计阶段，将建筑区域内建筑物、道路、河流、农田、树木等各种地物的位置、形状和地面的高低起伏情况，通过测量和计算，按一定的比例缩小绘成地形图。地形图全面、真实地反映了地面现状情况，是进行城乡规划，合理确定建（构）筑物平面位置和高程的重要依据。

二、测设建（构）筑物

在工程施工阶段，将设计图纸上的建（构）筑物，按设计要求标定在施工场地上，作为施工的依据。在施工过程中，根据施工需要及时提供建（构）筑物的轴（中）线和高程等标志，以保证按图施工。

三、测绘竣工图

工程竣工后，将施工成果（包括地下管道等隐蔽工程）的位置，通过竣工测量编绘成竣工总平面图和文字说明资料。竣工图和竣工资料对建（构）筑物工程项目的管理、修缮、改建、扩建和战备工作都有重要意义。

四、变形观测

在施工过程中和完工后，对建（构）筑物进行沉降、倾斜、位移、裂缝等变形观测，以保证建（构）筑物的安全施工和安全使用，并为有关科学研究工作提供建（构）筑物变形情况的精确资料。

总之，在工程建设的各个阶段都离不开测绘工作。所以，作为一名土建工程技术人员，必须懂得测绘工作的原理和方法，能测绘小区域大比例尺地形图，能利用地形图解决规划、设计和施工中的有关问题，掌握一般工程施工测量的基本方法。

测量是一门古老的科学，它的兴起和发展与人类的生产活动密切相关。早自上古史时代，劳动人民就将测绘技术逐步应用于土地划分、河道整治、测时、航海、地形图绘制等

方面。我国古代劳动人民对测绘科学的发展曾做出了杰出的贡献。近代科学技术的迅速发展极大地推动了测绘技术的进步。电子计算技术、激光技术、空间技术等进入实用测绘技术领域,极大地改变了传统的测绘、计算方法,工程测量正朝着测绘过程自动化的方向发展。

1-2 地面点位置的表示方法

确定地面点的位置是测绘科学研究的基本内容,是完成各种测量任务的基本方法。为确定地面点位置所作的角度、距离、高差等测量工作都是在地球表面上进行的,为了正确认识和科学处理各种观测数据,首先应该了解地球的形状和大小。

一、地球的形状和大小

地球表面是极不规则的,有高出海水面的山峰,有低于海水面的海沟等。但长期科学考察和观测的结果告诉人们,这样的起伏和地球的巨大半径相比是很小的,而且地球表面的大部分(约占71%)是海洋。所以,地球的形状可视作由静止的海水面延伸穿过陆地所包围而成的球体。在重力作用下,自由静止的水面叫水准面。水准面有无数多个,其中与海水面的平均位置相吻合的一个叫大地水准面。大地水准面所包围的形体叫大地体。

处于静止状态的液体表面必与重力方向(铅垂线方向)垂直,否则液体就要流动。所以水准面和大地水准面上任何一点的法线都与其铅垂线重合。由于地球内部质量分布不均匀等原因,地面上各点的铅垂线方向发生变化,所以大地水准面是个有微小起伏的不规则曲面。为便于测量数据的计算,人们用一个非常接近于大地水准面的规则的旋转椭球体面代替它来表示地球的形状和大小,如图1-1所示。

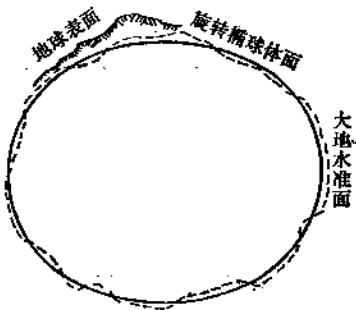


图 1-1

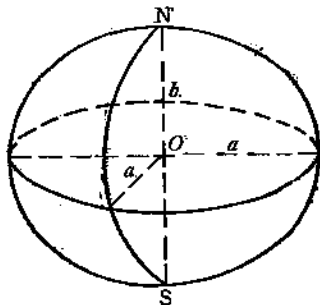


图 1-2

旋转椭球体面是规则的数学表面,它的形状和大小用长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 α 表示,如图1-2。我国现在采用的是1975年国际大地测量与地球物理联合会测算的元素值。

$$\text{长半轴 } a = 6378140\text{m}$$

$$\text{扁率 } \alpha = a - b/a = 1/298.257$$

由于地球的扁率很小,在一般工程测量中可近似地将地球视为圆球,其平均半径为:

$$R = 1/3(a + a + b) = 6371\text{km}$$

二、地面点位置的表示方法

为确定地面点的位置,首先要选定基准面并在该面上建立坐标系,然后将地面点投影

到基准面上, 则该点的位置即可用它在基准面上的坐标和它到基准面的铅直距离(高程)表示。

(一) 地面点在基准面上的坐标

1. 地理坐标 地理坐标是用经度 λ 和纬度 ϕ 表示地面点位置的球面坐标, 如图1-3所示。经度从首子午线起算, 向东为东经($0^\circ \sim 180^\circ$), 向西为西经($0^\circ \sim 180^\circ$); 纬度从赤道起算, 向北为北纬($0^\circ \sim 90^\circ$), 向南为南纬($0^\circ \sim 90^\circ$)。我国领土位于东半球和北半球, 所以各地的地理坐标都是东经和北纬, 例如北京市某点的地理坐标为东经 $116^\circ 20' 50''$, 北纬 $39^\circ 55' 37''$ 。



图 1-3

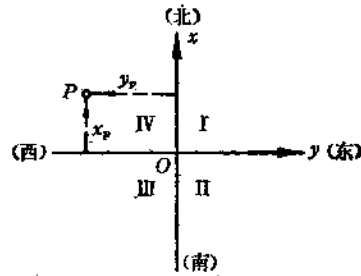


图 1-4

2. 平面直角坐标

(1) 独立平面直角坐标 测区较小时, 地面(曲面)近似平面。将测区内地面点沿铅垂线方向投影到测区中心的水平面(与水准面相切的平面)上, 它们在水平面上的位置即可用平面直角坐标表示。该坐标自成系统, 所以称为独立平面直角坐标系, 如图1-4。在水平面上建立平面直角坐标系时, 一般是在测区中选一点为坐标原点, 以过原点的南北方向为纵坐标轴, 记为 x 轴, 以北为正方向; 以过原点的东西方向为横坐标轴, 记为 y 轴, 以东为正方向。四个象限的序号由 x 轴的正方向起顺时针排列。为避免测区内坐标出现负值, 原点可选在测区的西南角, 使测区全部处在第一象限内。原点选在测区中央时, 可将原点坐标假定为一个足够大的正整数。

(2) 高斯平面直角坐标 当测区较大时, 就不能将地球上很大一块地面当作平面看待, 但测量的计算和绘图工作都在平面上进行。球面上点的位置如何描绘到平面上的问题, 可以采用高斯投影的方法加以解决。

高斯投影是从首子午线起, 自西向东沿子午线将地球划分成经差 6° 的60个带, 位于每带中央的子午线叫中央子午线。设想将地球套在一个用平面卷成的圆柱内, 使圆柱的轴通过球心, 使圆柱面与地球面上某一个 6° 带的中央子午线相切, 如图1-5所示。将地球上的中央子午线、赤道、分带子午线和带内地面点投影到圆柱面上, 然后, 将圆柱沿通过地球南北极的母线剪开并展成平面, 便得到该 6° 带在平面上的形象。

如图1-6, 在展开后的平面上, 中央子午线是一条直线, 将它作为纵坐标轴(x 轴); 赤道是一条与中央子午线垂直的直线, 将它作为横坐标轴(y 轴); 两轴交点为坐标原点, 这就是高斯平面直角坐标系。该 6° 带内任一点的位置均可用该点的高斯平面直角坐标表示。

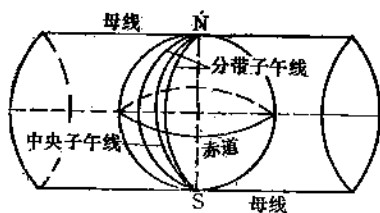


图 1-5

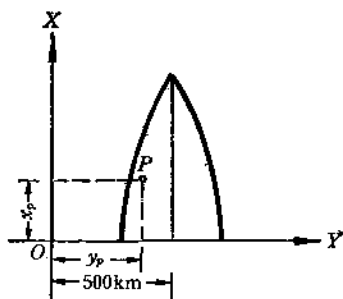


图 1-6

我国位于赤道以北，各点纵坐标 x 均为正值。为避免中央子午线以西各点的横坐标 y 出现负值，规定将纵坐标轴向西平移500公里（如图1-6），为能从点的横坐标判断出该点在哪一个6°带，还规定在横坐标前加写6°带的带号。例如，某点横坐标 $y = 19\ 638\ 325\text{m}$ ，表示该点在第19带内中央子午线以东138 325m处。

（二）地面点的高程 地面点的高低位置用高程表示。某点到大地的水准面的铅垂距

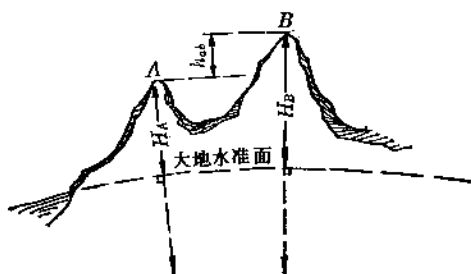


图 1-7

离称为该点的绝对高程或海拔。如图1-7中， H_A 和 H_B 分别为地面上A点和B点的绝对高程。我国现在采用的1985年国家高程基准，是以青岛验潮站1953年至1979年测定的黄海平均海面为大地水准面（高程起算面），并经连测得到青岛观象山国家水准原点的绝对高程为78.260m，全国各地的高程则根据它推算得出。

在局部地区或某项工程建设中，引测绝对高程有困难时，可以采用假定水准面为高程起算面。某点到假定水准面的铅垂距离称为该点的相对高程或假定高程。采用假定高程时，先在测区内选定一个基准点并确定其假定高程值，再以它为准推算其它各点的假定高程。

地面上两点高程之差叫高差，用 h 表示。图1-7中，B点对A点的高差用下式表示

$$h_{AB} = H_B - H_A$$

复习与思考题

1. 测量在工程建设中的作用是什么？
2. 什么是水准面、水平面和大地水准面？它们各有何特点？在测量中的作用是什么？
3. 如何表示地面点的位置？
4. 独立平面直角坐标系是怎样建立的？与数学中的平面直角坐标系有什么区别？地面点的位置在什么条件下才能用独立平面直角坐标表示？
5. 简要叙述高斯投影的要点及高斯平面直角坐标系建立的方法。
6. 什么叫点的绝对高程和相对（假定）高程？已知M点的高程 $H_M = 49.053\text{m}$ ，N点的高程 $H_N = 50.010\text{m}$ ，求N点对M点的高差是多少？M点对N点的高差是多少？

第二章 水准测量

为确定地面点的高程所进行的测量工作叫高程测量。高程测量依所用仪器和测算方法不同分为气压高程测量、三角高程测量和水准测量。几种方法中以水准测量的测算简便精度高，是测定地面点高程的主要方法，广泛应用于各种工程测量中。

2-1 水准测量原理

图2-1中，已知A点高程 H_A ，欲求B点高程 H_B 。如图所示，若能求出B点对A点的高差 h_{AB} ，则B点高程 H_B 就能根据A点高程 H_A 推算出来。为此，在A、B点上竖立水准尺，在A、B点间安置水准仪，并利用水准仪的水平视线在A尺上读数设为 a ，在B尺上读数设为 b 。

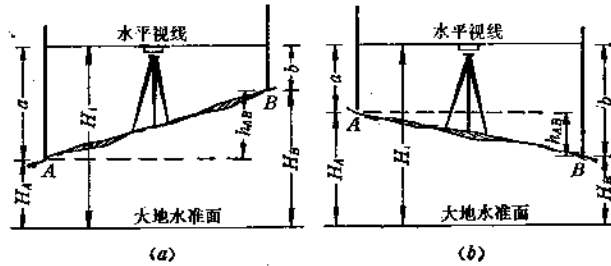


图 2-1

则有：

$$B \text{ 点对 } A \text{ 点的高差} \quad h_{AB} = a - b \quad (2-1)$$

$$\text{待求点 } B \text{ 的高程} \quad H_B = H_A + h_{AB} \quad (2-2)$$

式中， a 是已知高程点上的尺读数，称为后视读数； b 是待求高程点上的尺读数，称为前视读数。高差的正负号，表示以后视点为准，前视点对后视点的高低关系。如图2-1(a)中，高差是正号，说明前视点B比后视点A高。图2-1(b)中，高差是负号，表示前视点B比后视点A低。

在地形测量和各种工程的施工测量中，安置一次仪器常要求出许多点的高程。这时，为便于计算，可以先求出水准仪水平视线的高程（简称视线高），再分别计算各待定点的高程。图2-1中：

$$\text{视线高} \quad H_i = H_A + a \quad (2-3)$$

$$\text{待求点高程} \quad H_B = H_i - b \quad (2-4)$$

综上所述，水准测量就是利用水准仪的水平视线，在高程已知点上读取后视读数，在待求点上读取前视读数，计算高差或视线高，再根据高差或视线高推算待求点的高程。必须指出，只在视线水平时上述原理才成立。因此，视线水平是水准测量必须满足的基本条件，为水准测量提供水平视线的仪器叫水准仪。

2-2 微倾式水准仪

在我国按精度将水准仪分为DS_{0.5}、DS₁、DS₃、DS₁₀四个等级。图2-2是工程测量中常用的DS₃型微倾式水准仪。D和S分别为“大地测量”和“水准仪”汉语拼音的第一个字母。“3”表示该型水准仪所能达到的精度，即每公里往返测高差中数（平均值）的中误差 $\leq \pm 3 \text{ mm}$ 。

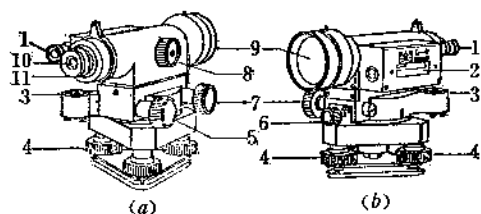


图 2-2

1—符合水准器观察镜；2—水准管；3—水准盒；4—脚螺旋；5—微倾螺旋；6—制动螺旋；7—微动螺旋；8—物镜对光螺旋；9—物镜；10—目镜；11—目镜对光螺旋

一、微倾式水准仪的基本构造

水准仪的主要功能是为水准测量提供水平视线，以测定地面点之间的高差。为了达到上述目的，水准仪上设有望远镜和水准器，望远镜内有一条视线，借助水准器可以使视线处于水平位置。

（一）望远镜 望远镜的作用一是看清远处目标，二是提供一条照准和读数用的视线。

如图2-3所示，望远镜主要由物镜、目镜、对光透镜和十字线分划板组成。目标（如水准尺）通过物镜的作用在望远镜筒内形成一个倒立缩小的实像，移动对光透镜可以使不同距离的目标成像在十字线分划板平面上。目镜的作用是将十字线和目标的像同时放大，以使观测者看清。

十字线分划板上刻有十字线，见图2-4。十字线的交点和物镜光心的连线称为视准轴。视准轴是照准目标和读数的依据。

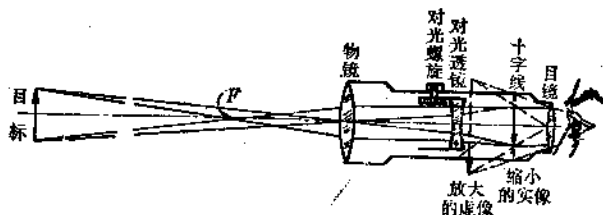


图 2-3

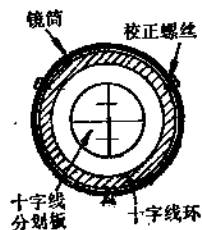


图 2-4

为了控制望远镜在水平方向上的转动以照准水准尺，水准仪上设有制动螺旋和微动螺旋。旋紧制动螺旋后望远镜不能转动，此时如转动微动螺旋，望远镜又可在小范围内缓缓转动，借此即可精确对准水准尺。

为了用望远镜能同时看清十字线和目标（水准尺），望远镜上设有目镜对光螺旋和物镜对光螺旋。望远镜对光的程序和方法是：

1. 目镜对光 将望远镜对向浅色明亮背景，转动目镜对光螺旋，使十字线成像清晰。
2. 物镜对光 将望远镜对准目标，转动物镜对光螺旋，使目标成像清晰。

3. 检查并消除视差 眼睛在目镜后上下移动时, 十字线和目标影像之间的相对运动现象叫视差。视差是由于目标通过物镜后的像面与十字线平面不重合造成的, 如图 2-5 (a), 它会影响照准和读数的精度。消除视差的方法是重新仔细对光, 直到眼睛在目镜后上下移动时, 十字线在尺上的读数不再变化为止, 如图 2-5 (b)。

(二) 水准器 水准器有水准管和水准盒两种。水准器的作用是用来指示视准轴(视线)是否水平。

1. 水准管 水准管也叫长水准器, 如图 2-6 所示, 水准管是纵向内壁磨成圆弧形的玻璃管, 管内注满酒精和乙醚的混合液, 加热融封后, 管内留一个气泡。水准管圆弧的中点叫水准管零点, 通过零点与水准管纵向圆弧相切的直线叫水准管轴线, 如图 2-6 (b) 中的 LL 。水准管气泡的中点与水准管零点吻合时叫气泡居中。气泡居中时, 水准管轴线处于水平位置。气泡偏离零点后, 水准管轴线处于倾斜位置。气泡移动 2 mm 水准管轴线倾斜的角值, 叫水准管分划值。水准管的分划值愈小, 灵敏度愈高。DS₃ 型水准仪的水准管分划值 $\tau = 20''$ 。

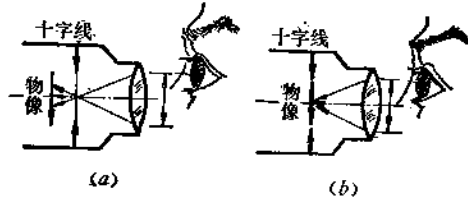


图 2-5

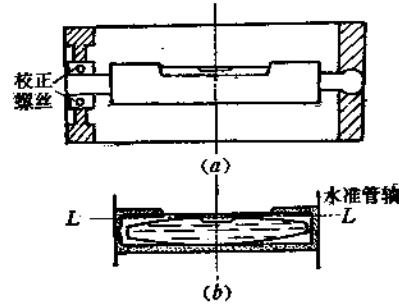


图 2-6

为了提高目估水准管气泡居中的精度, 在水准管的上方安装一组棱镜, 通过棱镜的折光作用, 将气泡两端的影像反映到符合水准器观察镜中。气泡两端的像吻合时, 表示气泡居中, 如图 2-7 (a); 气泡两端的像错开时, 则表示气泡不居中, 如图 2-7 (b)。此时转动微倾螺旋, 使望远镜目镜端微微升高或降低, 气泡即可居中。

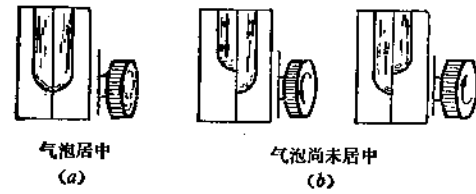


图 2-7

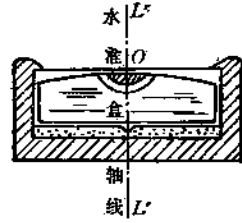


图 2-8

水准管安装在望远镜上。为了得到水平视线, 用校正螺丝把水准管轴线调整成与视准轴(视线)平行。这样, 水准管气泡居中时, 水准管轴线水平, 视准轴也就水平了。水准管轴和视准轴是水准仪上的两条重要轴线, 水准管轴与视准轴平行是水准仪能正常工作的主要条件。

2. 水准盒 水准盒也叫圆水准器。如图 2-8 所示, 水准盒顶面的内壁是球面, 球面中央刻一个小圆圈, 其圆心叫水准盒零点。通过零点的球面法线叫水准盒轴线, 如图 2-8 中的 $L'L'$ 。气泡居中时水准盒轴线处于铅垂位置。水准盒的分划值一般为 $8' \sim 10'$, 灵敏

度较低，是概略整平仪器的工具。用校正螺丝将水准盒轴调整成与仪器竖轴平行，当气泡居中时竖轴处于铅垂位置，仪器就概略水平了。

转动脚螺旋可以使水准盒气泡居中。脚螺旋顺时针转动时升高，逆时针转动时降低。

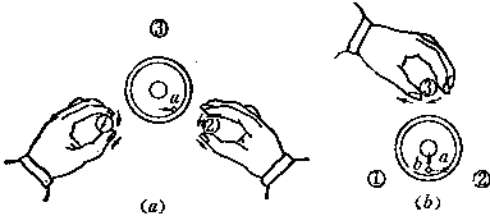


图 2-9

图2-9(a)中,气泡偏在a点,为使其居中,先按箭头所示方向,两手同时相对转动脚螺旋①和②,使气泡由a点移动到b点,再转动脚螺旋③使气泡居中,如图2-9(b)。转动脚螺旋时气泡运动的规律是:两手相对转动两个脚螺旋时,气泡移动的方向与左手拇指转动脚螺旋时的运动方向一致。

二、水准仪的基本操作

(一)安置与粗平 水准仪应尽可能安置在距后视点和前视点等远的地方(通过目估或步测)。仪器高度应与观测者的身高相适应。安置仪器时先踏牢两支脚架腿,再按图2-10所示方法,通过左右摆动、前推后拉和踏实第三条脚架腿,使水准盒气泡大致居中,最后转动脚螺旋使气泡居中,达到粗略整平仪器的目的。

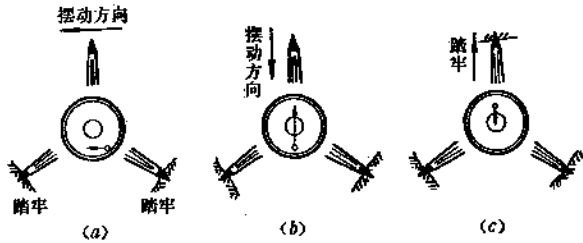


图 2-10

(二)照准与对光 用望远镜照准水准尺前应转动目镜对光螺旋使十字线清晰。照准时,松开制动螺旋转动望远镜,用镜筒上方的准星和照门对准水准尺后旋紧制动螺旋。水准尺成像不清晰时,调节物镜对光螺旋使尺像清晰,并注意消除视差。最后转动微动螺旋使十字线的纵线对准水准尺的一侧,以便读数。

(三)精平与读数 从目镜左侧的符合水准器观察镜中观察气泡位置,并转动微倾螺旋使气泡居中。气泡居中后应立即读数,并在读数后随即检查气泡是否仍然居中,如不居中应将原读数作废,重新精平、读数,以确保读数时视线水平。

2-3 水准尺和尺垫

工程测量中常用的水准尺有塔尺和双面尺两种,如图2-11。用水准仪的水平视线在水准尺上读数,是水准测量中的一项基本操作技能。对该数的要求是准确、迅速,为此,必须熟悉水准尺的分划和注记特点,掌握读数方法。

塔尺多用于等外水准测量,一般长3 m或5 m,尺面采用黑白相间的区格式分划,黑格和白格基本分划都是1 cm。有的尺把1 cm的黑格和白格又等分成黑、白各一个小格,每小格5 mm。由尺底的零点起每dm处注记相应数字,整米数的注记一般用红色数字表示,大于1 m的注记,其整米数多用字头上红点的个数表示,例如2表示2.2 m。

双面尺多用于三、四等水准测量，全长 3 m，两根尺为一对。尺两面均有刻划，一面是由零点起黑白格相间的黑面尺，另一面是由 4.687m 或 4.787m 起红白格相间的红面尺，水平视线在同一立尺点上的黑、红面尺读数应相差 4.687m 或 4.787m，据此可对水准尺读数进行检核。

水准测量中，每次读数前应转动微倾螺旋使水准管气泡居中（视线水平），然后读出十字线的中横线在水准尺上所截的数。读数时以 m 为单位，顺序读出 m、dm、cm 并估读 mm。图 2-12 中左图读数为 1.480m，右图读数为 0.794m。

尺垫呈三角形，底部有三个尖脚可以踏入土中，上部中央有一个凸起的半球体，如图 2-13。尺垫用来标志转点位置，转点起传递高程的作用，水准测量时水准尺应立在转点处尺垫半球体的顶点上。

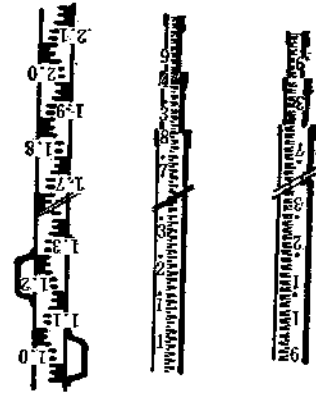


图 2-11

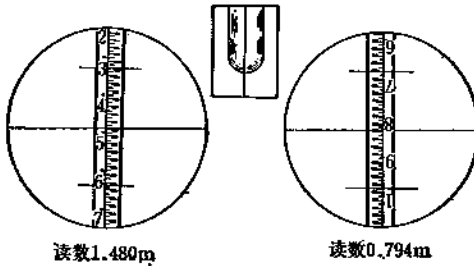


图 2-12

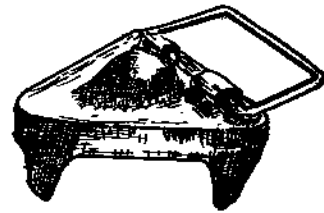


图 2-13

2-4 水准测量的外业工作

一、水准点

为了统一全国高程系统和满足各种工程测量的需要，国家测绘部门在全国埋设了很多固定的高程标志，并精确测出标志顶点的高程，这些高程标志叫水准点，简记为 BM 。图 2-14 是水准点标志的一般形式。

二、水准测量的方法

水准测量通常是从一个已知高程的水准点开始，按照一定的水准路线，引测出所需各点的高程。当待求点离水准点较远或高差较大时，需在其间选定若干转点，将水准路线分成若干站，依次观测每站高差，再根据水准点的高程推算出所求点高程。

如图 2-15 所示，已知水准点 BM_A 的高程 $H_A = 48.602m$ ，欲求 B 点高程 H_B 。在距 BM_A 点约 150m 处选定转点 ZD_1 ，在距 BM_A 和 ZD_1 等远处安置水准仪，用水平视线在 BM_A 点尺上读得后视读数 $a_1 = 1.507m$ ，记入表 2-1 BM_A 点的后视栏中，在 ZD_1 点尺上读得前视读数 $b_1 = 1.121m$ ，记入 ZD_1 点的前视栏中。计算第一测站 (ZD_1 点对 BM_A 点) 的高差 $h_1 =$

$a_1 - b_1 = +0.386\text{m}$, 记入表中 BM_A 和 ZD_1 两点之间的高差栏内, 并可根据 BM_A 点的高程推算出 ZD_1 点的高程 $H_1 = H_A + h_1 = 48.988\text{m}$, 记入表中 ZD_1 点的高程栏内。这样, 就完成了第一测站的观测和计算工作。然后将 BM_A 点尺移至距 ZD_1 点约 150m 的 ZD_2 点, 将水准仪迁至 ZD_1 点与 ZD_2 点之间, 按上述方法观测和计算, 直到 B 点。

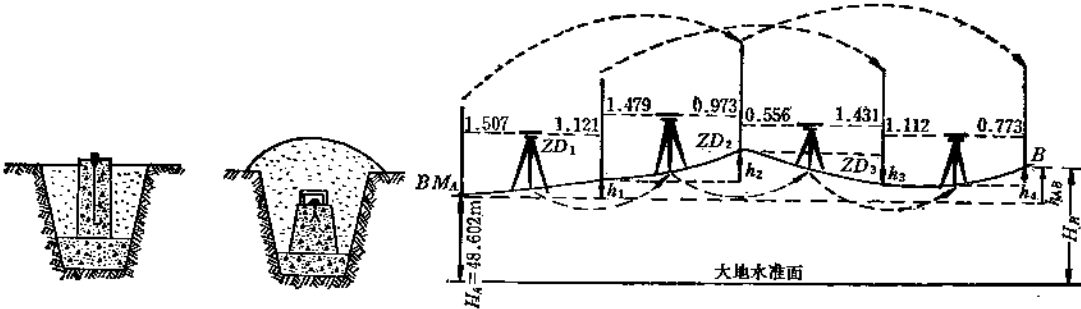


图 2-14

图 2-15

在这样的连续观测中, 各测站的高差:

$$\begin{aligned} h_1 &= a_1 - b_1 \\ h_2 &= a_2 - b_2 \\ h_3 &= a_3 - b_3 \\ h_4 &= a_4 - b_4 \end{aligned}$$

将以上各式等号两端分别取和, 则得终点 B 对起点 BM_A 的总高差:

$$h_{AB} = \sum h = \sum a - \sum b \tag{2-5}$$

根据高差 h_{AB} 也可以直接计算 B 点的高程

$$H_B = H_A + h_{AB} \tag{2-6}$$

水准测量中, 水准点的高程通过转点传递到待求点, 为避免和缩小转点下沉、移动等对观测成果的影响, 转点要选在有明确标志、地面坚实并有凸起的地方。在一般土地上测量时转点处应放置尺垫。

三、水准测量的检核

(一) 测站检核 测站检核的目的是及时发现和纠正测站高差观测中的错误, 保证每一测站高差的正确性。测站检核常采用双观测值法进行。

1. 双仪器高法 在一个测站上测得高差后, 将水准仪提高或降低 0.1m 以上重新安置, 再测一次高差。两次所测高差之差不大于 6mm 时, 取其平均值作为该站高差, 超过限差要求时重新观测。

2. 双面尺法 在一个测站上, 不改变仪器高度, 先用双面水准尺的黑面分划测一个高差, 再用红面分划测一个高差, 两高差之差也应符合上述限差要求。

(二) 计算检核 计算检核的目的是及时发现和纠正高差和高程计算中的错误, 保证计算结果的正确性。根据公式 (2-5)、(2-6), 计算检核按下式进行:

$$\sum a - \sum b = \sum h = H_{\text{终}} - H_{\text{始}} \tag{2-7}$$

即后视读数之和减前视读数之和应等于各测站高差的代数和, 还应等于计算得到的终点高

程减去已知的起点高程。上述等式成立时表示计算正确，否则说明计算中有错误。如表2-1中：

水准测量手簿

表 2-1

测 点	后 视 读 数	前 视 读 数	高 差		高 程	备 注
			正	负		
BM_A	1.507				48.602	环岛东30m
ZD_1	1.479	1.121	0.386		49.988	
ZD_2	0.556	0.973	0.506		49.494	
ZD_3	1.112	1.431		0.875	48.619	
D		0.773	0.339		48.958	分院工地
计算 检核	$\Sigma a = 4.654$	$\Sigma b = 4.298$	$\Sigma h_{\text{测}} = +0.356$		$H_{\text{终}} = 48.958$	
	$-\Sigma b = 4.298$				$-H_{\text{始}} = -48.602$	
	$\Sigma h = +0.356$				$\Sigma h = +0.356$	

$$\Sigma a - \Sigma b = 4.654 - 4.298 = +0.356\text{m}$$

$$\Sigma h = 0.386 + 0.506 + 0.339 - 0.875 = +0.356\text{m}$$

即 $\Sigma a - \Sigma b = \Sigma h$ ，这说明表中各测站高差的计算是正确的。

$$H_{\text{终}} - H_{\text{始}} = 48.958 - 48.602 = +0.356\text{m}$$

即 $H_{\text{终}} - H_{\text{始}} = \Sigma h$ ，这说明表中各点高程的计算是正确的。

(三) 成果检核 成果检核也称路线检核，成果检核的目的是以规定的限差（容许误差）为标准鉴别一条水准路线观测成果的正确性。测量误差在限差以内时，观测成果正确（即精度合格），否则应返工重测。

1. 往返（支线）路线检核 如图2-16所示，欲求A点高程，先由水准点 BM_2 起测至A点得往测高差 $h_{\text{往}}$ ，为了进行检核，再由A点测回到原水准点得返测高差 $h_{\text{返}}$ 。往返测高差的绝对值应相等，正负号相反，即往返测高差的代数和应等于零，如不为零，称此值为往返测高差的闭合差（或往返测高差的较差），用 $f_{\text{合}}$ 表示，即：

$$f_{\text{合}} = h_{\text{往}} + h_{\text{返}} \quad (2-8)$$

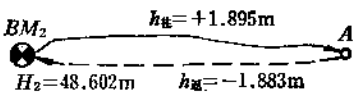


图 2-16

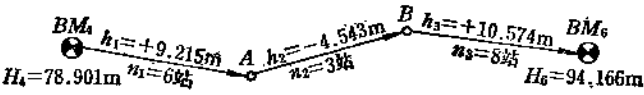


图 2-17

闭合差在限差以内时精度合格，否则须返工重测。

2. 附和路线检核 如图2-17所示，欲求A、B点高程，从水准点 BM_4 测至待求点A、B后，为了进行检核，又连测到另一个水准点 BM_6 上，这种起闭于两个水准点的水准路线叫附和路线。在附和路线中，各段实测高差的代数和（即实测的终点对起点的高

差)，应与起、终两水准点高程之差相等，如不相等其差值叫作闭合差 f_h 。

$$f_h = \sum h - (H_{终} - H_{始}) \quad (2-9)$$

闭合差在限差以内时，观测成果精度为合格。

3. 闭合路线检核 如图2-18所示，欲求1、2、3点高程，由水准点 BM_A 依序测至待求点1、2、3后，为进行检核，又测回到原水准点 BM_A ，这种起闭于同一个水准点的环形水准路线叫闭合路线。在闭合路线中，各段高差的代数和应等于零，如不为零，闭合差 f_h 应不超过容许值。

$$f_h = \sum h \quad (2-10)$$

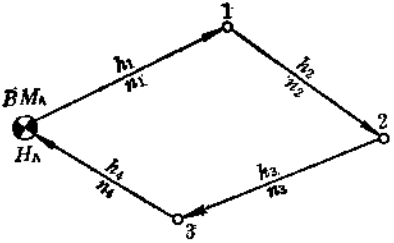


图 2-18

2-5 水准测量的内业工作

水准测量的内业工作主要有：复查外业手簿观测数据是否符合要求，计算有无错误；计算实测闭合差和容许闭合差，鉴别观测成果是否合格；调整闭合差并推算各待求点高程等。

一、水准测量的容许闭合差

水准测量的容许闭合差，因水准测量的等级不同而异，现将与工程测量有关的限差规定介绍如表2-2。

表 2-2

等 级	容 许 闭 合 差	一 般 应 用 范 围 举 例
三 等	$f_{h容} = \pm 12\text{mm}\sqrt{L}$ $f_{h容} = \pm 4\text{mm}\sqrt{n}$	有特殊要求的较大工程、城市地面沉降观测等
四 等	$f_{h容} = \pm 20\text{mm}\sqrt{L}$ $f_{h容} = \pm 6\text{mm}\sqrt{n}$	综合规划路及重力自流管道工程、普通建筑工程、河道工程等
等 外 (图 根)	$f_{h容} = \pm 40\text{mm}\sqrt{L}$ $f_{h容} = \pm 12\text{mm}\sqrt{n}$	山区线路工程、排水沟疏浚工程、小型农田水利工程等

注：1. 表中 L 为水准路线单程公里数， n 为单程测站数。
2. 容许闭合差 $f_{h容}$ ，在平地按水准路线的公里数 L 计算；在山地按测站数 n 计算。

二、高差闭合差的计算与调整

水准路线高差闭合差的计算见公式(2-8)、(2-9)、(2-10)。调整闭合差的前提条件是闭合差必须小于或等于容许值，即 $f_h \leq f_{h容}$ 。

在附和闭合水准路线中，调整闭合差的方法是给每段高差各加一个改正数，改正数的大小与测段的距离（或测站数）成正比，改正数的正负号与闭合差的正负号相反。改正后高差的代数和应等于起终水准点已知高程之差。最后用改正后的高差推算待求点及终点的高程。算出的终点高程应与已知值一致，据此可以检核计算的正确性。

在往返路线中如精度合格则以往、返测高差的平均值（其正负号以往测高差的符号为准）推算待求点的高程。

【例题 1】图 2-16 往返水准路线中，已知水准点 BM_3 的高程 $H_3 = 48.602\text{m}$ ，测得往测高差 $h_{往} = +1.895\text{m}$ ，返测高差 $h_{返} = -1.883\text{m}$ ，水准路线长约 1200m ，若 $f_{容} = \pm 40\text{mm}\sqrt{L}$ ，试检核观测成果是否合格，如合格，则求 A 点高程 H_A 值。

【解】

- 1. 求实测闭合差 $f_h = h_{往} + h_{返} = 1.895 - 1.883 = +0.012\text{m}$
- 2. 求容许闭合差 $f_{容} = \pm 40\sqrt{L} = \pm 40 \cdot \sqrt{1.2} = \pm 43\text{mm}$
- 3. 求平均高差 $h = +1/2(1.895 + 1.883) = +1.889\text{m}$
- 4. 求 A 点高程 $H_A = H_3 + h = 48.602 + 1.889 = 50.491\text{m}$

【例题 2】图 2-17 的附和水准路线中，水准点高程和各段观测数据如图所示，若 $f_{容} = \pm 12\text{mm}\sqrt{n}$ ，检核观测成果是否合格，如合格，则求 A 、 B 点高程。

【解】

- 1. 计算闭合差
实测闭合差 $f_h = \sum h - (H_{终} - H_{始}) = 15.246 - 15.265 = -0.019\text{m}$
容许闭合差 $f_{容} = \pm 12\sqrt{n} = \pm 12\sqrt{17} = \pm 49\text{mm}$
 $f_h < f_{容}$ 成果合格

2. 调整闭合差

本例中全线 17 站共产生 -19mm 的闭合差，因各站观测条件相同，所以每站应改正

$$V_n = -f_h/n = -\frac{-19}{17} = +1.12\text{mm}$$

各段高差的改正数，按式 $V_i = V_n \cdot n_i$ 计算，分别为 $V_1 = +7\text{mm}$ ， $V_2 = +3\text{mm}$ ， $V_3 = +9\text{mm}$ 。改正后的各段高差按式 $(h_i) = h_i + V_i$ 计算，分别为 $(h_1) = +9.222\text{m}$ ， $(h_2) = -4.540\text{m}$ ， $(h_3) = +10.583\text{m}$ 。

3. 计算待求点高程

$$H_A = H_{BM_4} + (h_1) = 78.901 + 9.222 = 88.123\text{m}$$
$$H_B = H_A + (h_2) = 88.123 - 4.540 = 83.583\text{m}$$

4. 计算检核

水准测量成果调整表 表 2-3

点 名	距 离 (m)	站 数	实测高差	高差改正数	改正后高差	高 程	备 注
BM_4	390	6	+9.215	+0.007	+9.222	78.901	影视厅门前
A	250	3	-4.543	+0.003	-4.540	88.123	天峪路口
B	520	8	+10.574	+0.009	+10.583	83.583	分院门口
BM_5						94.166	主坝脚下
Σ	1160	17	+15.246	+0.019	+15.265		
辅助计算	实测闭合差 $f_h = \sum h - (H_{终} - H_{始}) = 15.246 - (94.166 - 78.901) = -0.019\text{m}$ 容许闭合差 $f_{容} = \pm 12\sqrt{n} = \pm 12\sqrt{17} = \pm 49\text{mm}$ 每站改正数 $V_n = -f_h/n = -19/17 = +1.12\text{mm}$						

$$H_6 = H_B + (h_3) = 83.583 + 10.583 = 94.166\text{m}$$

推算出的终点高程与已知值相同,说明计算无误。

在实际工作中,上述计算常列表进行,如表2-3。

2-6 水准测量的误差

测量工作都是由人使用仪器和工具,在一定的外界自然条件下进行的。由于人眼睛的鉴别能力有一定限度,仪器的构造和性能也不可能绝对完善,加之外界自然条件对观测的不利影响,所以测量成果中总是存有误差。水准测量的误差包括仪器误差、观测误差和外界条件的影响。

一、仪器误差

(一)水准仪视准轴与水准管轴不平行的误差(即*i*角误差) 当两轴不平行(夹角为*i*)时,水准管气泡居中后水准管轴水平,但视准轴倾斜*i*角,因而产生读数误差,误差的大小与*i*角的大小和仪器到立尺点的距离成正比。

$$m_i = i'' / \rho'' \cdot D \quad (2-11)$$

式中 i'' ——视准轴与水准管轴的夹角;

D ——水准仪到立尺点间的距离。

$$\rho'' = 206265''$$

当 $i = 20''$ $D = 75\text{m}$ 时, $m_i = 7.20\text{mm}$ 。可见*i*角的存在对读数的影响是很大的。水准测量中,如使前、后视距离相等,则在前、后视读数中所含的误差也相等,在计算高差时误差即被抵消。在一个测站上使前、后视距离相等有困难时,也可以在几个测站内使后视距离之和与前视距离之和相等,以消除此项误差的影响。

(二)水准尺误差 水准尺分划不匀,尺长不准、零点不准、尺身弯曲变形和塔尺接头处不密合等都会影响读数的准确。所以水准尺使用之前应进行检定。使用两支水准尺观测时,在起、终点上应使用同一支尺,或使测站总数为偶数,以尽量消除两支尺零点不一致(水准尺零点差)对观测成果的影响。

二、观测误差

(一)水准管气泡居中的误差 水准仪视线水平是靠水准管气泡居中实现的,而观测者用眼睛鉴别气泡居中位置不可能绝对准确。用眼睛鉴别气泡居中的误差一般为 $0.15\tau''$,采用符合式水准器时精度可提高一倍。由此造成的读数误差

$$m_\tau = \pm \frac{0.15\tau''}{2 \cdot \rho''} \cdot D \quad (2-12)$$

式中 τ ——水准管分划值;

D ——水准仪至立尺点的距离。

当 $\tau = \pm 20''$ $D = 75\text{m}$ 时, $m_\tau = \pm 0.54\text{mm}$ 。

(二)估读水准尺读数的误差 观测者用十字线在水准尺的厘米分划内估读毫米数的误差,与人眼的分辨能力、望远镜放大率和仪器至立尺点的距离有关,即

$$m_v = \pm D \times 60'' / V \rho'' \quad (2-13)$$