

项 目 一

测量基础知识



学习目标

- 掌握高程、高差的相关概念。
- 掌握测量直角坐标的原理。
- 掌握确定地面点位的三个基本要素。
- 熟悉建筑工程测量的任务和作用。
- 熟悉测量常用的计量单位与凑数规则。
- 熟悉测量工作的基本原则和要求。



项目导入

提出问题:在建筑工程施工过程中,我们应如何将图纸上设计好的建筑物和构筑物的位置实地标定出来呢?

解决问题:地面点的确定——高程、平面位置。

任务一 建筑工程测量的任务和作用

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面点位置的一门科学。其研究对象主要是地球和地球表面上的各种物体,包括它们的几何形状及空间位置关系。地球表面的物体可以分为地物和地貌,地物是地球表面有突出轮廓的自然或人工物体(如房屋、道路、河流、湖泊等);地貌是地形的高低起伏变化(如山地、丘陵等)。测量学的内容包括测定和测设两个部分。测定是指使用测量仪器和工具,用一定的测绘程序和方法将地物和地貌按一定的比例尺和特定的图例符号缩绘成地形图,供科学研究、经济建设和国防建设使用;测设是指使用测量仪器和工具,按照设计要求,采用一定的方法,将设计图纸上设计好的工程建筑物、构筑物的平面位置和高程标定到施工作业面上,作为施工的依据。在工程测量中,测设工作又称放样。

工程测量学属于测量学的范畴。它是主要研究工程建设和自然资源开发各个阶段中所进行的测量工作。工程测量的应用领域十分广泛,在工业与民用建筑、道路、桥梁、市政、水利水电等领域,甚至在工业制造中都有十分重要的作用。建筑工程测量是工程测量学的内容之一,应用在建筑工程的勘测设计、施工和运营管理等各个阶段,其主要任务如下:

一、勘察设计阶段

勘察设计阶段是将工程所需范围的地物和地貌按工程要求缩绘成地形图,并获得相关的测绘资料,为工程的总体规划和设计所使用。

二、施工阶段

施工阶段主要包括施工测量和竣工测量两项工作任务。施工测量要进行建筑物、构筑物的定位与放线,在施工过程中进行工程测量、安装测量与工序间的校核测量等。竣工测量需施测竣工图,供日后扩建和维修之用。

三、运营管理阶段

运营管理阶段主要是通过变形观测保障建筑物安全。在施工过程中,要进行变形监测,以指导和检查工程的施工,确保施工的质量符合设计的要求;在建筑物建成后进行变形监测,对建筑物的稳定性及变化情况进行监督测量,了解其变形规律,以确保建筑物使用安全。

由此可见,建筑工程测量是建筑施工中一项非常重要的工作,在建筑工程建设中有广泛的应用。它服务于建筑工程建设的每一个阶段,贯穿于建筑工程的始终,对于保证工程的规划、设计、施工等方面的质量与安全运营都具有十分重要的意义。

任务二 地面点位置的确定

测量的基本工作任务,无论是测定还是测设,都是通过确定地面点的位置来完成。地面点的空间位置在工程测量工作中通常用平面位置 x 、 y 和高程 H 来表示。

一、测量的基准面

如果要确定地面上某点的位置,必须建立一个相应的测量工作面作为参考依据,实现统一的计算基准。这个工作面称为测量工作的基准面,它需要具备两个条件:其形状和大小要尽可能与地球实际的形状和大小一致;能用简单的几何形体和数学式表达。

地球的自然表面高低起伏,有山地、丘陵、平原、江河湖海等,是凹凸不平的复杂曲面。其中,海洋的面积约占 71%,陆地的面积约占 29%。地球上自由静止的水面,受到重力作用处处与重力方向正交,其延伸形成一个曲面,称为水准面。与水准面相切的平面称为水平面。可见,水准面和水平面可以有无数个,其中由通过平均海水面的水准面向陆地内部延伸形成的不规则闭合曲面称为大地水准面。由大地水准面所包围的形体叫大地体。大地水准面和大地体能较为准确地表达地球实际的形状和大小,是测量工作的基准面,也是地面点高程的起算面(又称高程基准面)。而与水准面处处正交的重力方向线称为铅垂线,是测量工作的基准线。

由于地球内部的物质分布不均,引起地面点的铅垂线方向不规则变化,因此大地水准面有微小起伏,不能用数学公式来表达。如图 1-1(a)所示,在测量上采用一个与大地水准面非常接近,又能用数学公式表达的旋转椭球面代替大地水准面作为基准面,称其为参考

椭球面,它包围的形体称为参考椭球体,如图 1-1(b)所示。

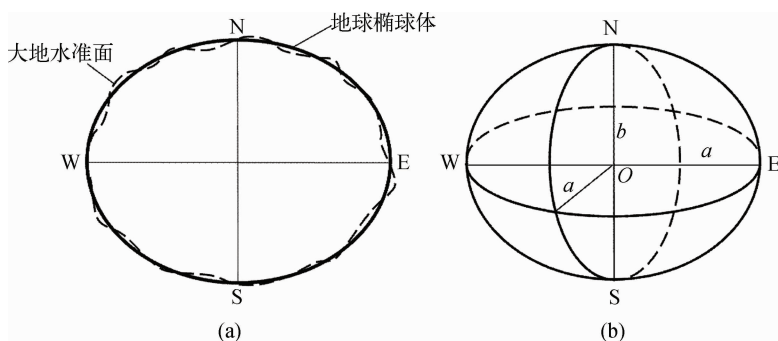


图 1-1 参考椭球体

我国目前采用的参考椭球体主要参数值为:长半轴 $a=6\,378\,137\text{ m}$,短半轴 $b=6\,356\,752\text{ m}$,扁率 $\alpha=1/298.257$ 。当测区面积不大时,可近似将参考椭球看做半径为 $6\,371\text{ km}$ 的圆球。

测量工作实际是以参考椭球面作为计算的基准面,并在此基础上建立坐标轴系,从而确定地面点的位置。

二、坐标系统

地面点的位置用平面坐标和高程来表达,在表达地面点位之前,需要根据基准面来建立统一的坐标系统。

(一) 平面坐标系

1. 地理坐标

地理坐标是在大区域内确定地面点的位置,以球面坐标来表示地面点位。用经度 λ 和纬度 φ 表示地面点在旋转椭球面上的位置。地理坐标是由天文测量方法测定的。经度由本初子午线向东和向西各 $0^\circ\sim 180^\circ$,向东为东经,向西为西经。纬度以赤道起算,向南和向北各 $0^\circ\sim 90^\circ$,向北为北纬,向南为南纬。

2. 高斯平面直角坐标

将地球表面的点由球面转换为平面直角坐标,更便于计算和使用。要将曲面上的点转换到平面上,可采用高斯投影的方法。建立在高斯投影面上的直角坐标系被称为高斯平面直角坐标系。它一般应用于范围较大的区域,按经度差 6° 或 3° 进行分带,将地球分为 60 或 120 个带。各带中央的子午线被称为中央子午线,高斯平面直角坐标系是以中央子午线为纵轴、以赤道为横轴,其交点为原点而建立起来的。

3. 平面直角坐标

在小区域范围内(半径 $\leq 10\text{ km}$),可用水平面代替水准面,此时由平面直角坐标代替球面坐标产生的误差可忽略不计。因此,在一般的工程项目测量工作中,可根据工程的实际情况,采用独立的平面直角坐标系进行有关计算。如图 1-2 所示,规定纵坐标轴为 x ,向北为正,向南为负;横坐标轴为 y ,向东为正,向西为负。坐标轴与数学上使用的直角坐标轴编号互换,图上地面 A 点的平面坐标为 (x_A, y_A) 。平面直角坐标系的原点 O 一般选在测区的西南角,使测区内所有点的坐标均为正值。如图 1-3 所示,象限按顺时针方向依次编号,编号顺序与数学上直角坐标系的象限编号相反。如此建立的平面直角坐标系在测量坐标

计算时可直接应用数学中的计算公式。

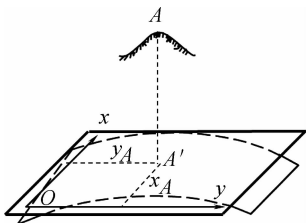


图 1-2 平面直角坐标系

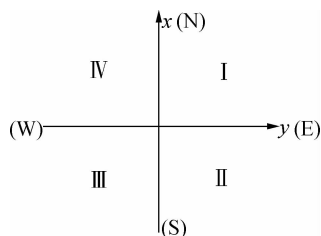


图 1-3 平面直角坐标系的象限

4. 施工坐标系与测量坐标系的坐标换算

施工坐标系亦称建筑坐标系,其坐标轴与主要建筑物主轴线平行或垂直,以使用直角坐标法进行建筑物的放样。施工控制测量的建筑基线和建筑方格网一般用施工坐标系,而施工坐标系与测量坐标系往往不一致,因此,施工测量前常常需要进行施工坐标系与测量坐标系的坐标换算。

如图 1-4 所示, x_0 、 y_0 和 α 被称为坐标换算的要素,其中, x_0 、 y_0 为平移参数,代表施工坐标系的坐标原点 O 在测量坐标系中的坐标; α 为旋转参数,是测量坐标系的纵坐标轴沿顺时针方向旋转到建筑坐标系纵轴所在方向的旋转角。设 x_P 、 y_P 为 P 点在测量坐标系 xOy 中的坐标, x'_P 、 y'_P 为 P 点在施工坐标系 $x'Oy'$ 中的坐标,则将施工坐标换算成测量坐标的计算公式为:

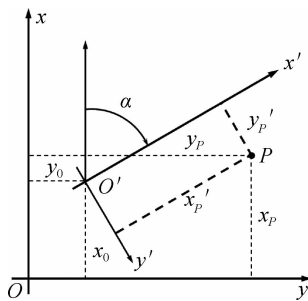


图 1-4 建筑坐标与测量坐标的换算

$$\begin{cases} x_P = x_0 + x'_P \cos \alpha - y'_P \sin \alpha \\ y_P = y_0 + x'_P \sin \alpha + y'_P \cos \alpha \end{cases} \quad (1-1)$$

反之,将测量坐标换算成施工坐标的计算公式为:

$$\begin{cases} x'_P = (x_P - x_0) \cos \alpha + (y_P - y_0) \sin \alpha \\ y'_P = -(x_P - x_0) \sin \alpha + (y_P - y_0) \cos \alpha \end{cases} \quad (1-2)$$

(二) 高程系统

1. 绝对高程

地面上某点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程,又称海拔,一般用 H 表示,如图 1-5 所示。地面上 A 、 B 两点的绝对高程分别为 H_A 、 H_B 。

由于受海潮、风浪等影响,海水面的高低时刻在变化。我国的高程是以青岛验潮站历年记录的黄海平均海面为基准,并在青岛建立国家水准原点作为全国高程的起算点。我国在新中国成立之初建立了“1956 黄海高程系”,其青岛国家水准原点高程为 72.289 m。随着观测资料的累积,我国 1987 年起用了“1985 年国家高程基准”,更为精确地确定了黄海平均海面,推算得到了国家水准原点的高程为 72.260 m。

2. 相对高程

在局部地区特殊条件下,采用绝对高程有困难或不需要和国家高程系统联系,可以采

用一个假设水准面为高程起算面。地面上某点到假设水准面的铅垂距离,称为该点的假定高程或相对高程,如图 1-5 中 H'_A 、 H'_B 。

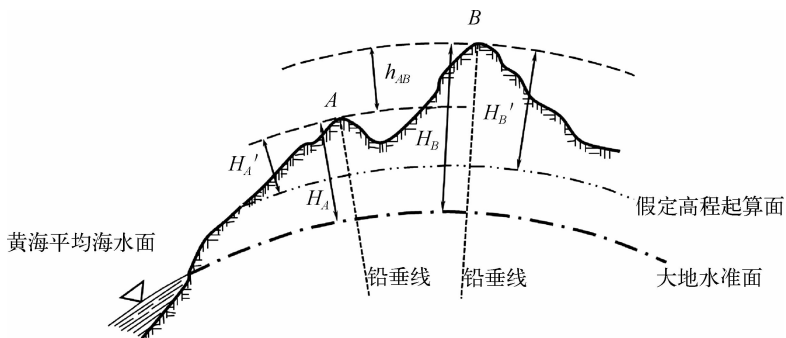


图 1-5 高程系统

3. 建筑标高

在建筑施工测量中,为方便应用,每个独立的单项工程都有自身的高程起算面。通常选定建筑物首层室内地坪面为该工程地面点高程起算的基准面,记为 ± 0.000 。建筑物某部位的标高,是指某部位距 ± 0.000 的相对高程。

4. 高差

两个地面点之间高程的差值称为高差,通常用 h 来表示。图 1-5 中, A 点到 B 点的高差记为 h_{AB} , 即:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-3)$$

由此可见:

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

且两点之间高差的大小与高程起算面无关。

三、确定地面点位的三个基本要素

如前所述,地面点的空间位置是以地面点在投影平面上的坐标 X 、 Y 和高程 H 决定的。在实际的测量中, X 、 Y 和 H 的值不能直接测定,而是通过测定水平角和水平距离以及各点间的高差 h , 再根据已知点的坐标、高程和已知边的方位角计算出来待定点坐标和高程的。

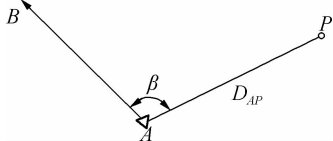


图 1-6 水平角与水平距离确定坐标

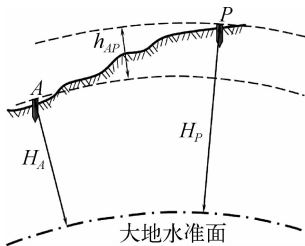


图 1-7 高差测量测定高程

图 1-6 中, A 点坐标已知, AB 方向的方位角已知, 通过观测水平角 β 和 AP 边的水平距离 D_{AP} 来确定待定点 P 的平面坐标。图 1-7 中, A 点的高程已知, 通过观测 A 点到 P 点

的高差 h_{AP} , 来确定 P 点的高程 H_P 。

由此可见, 水平距离、水平角和高程是确定地面点位的三个基本要素。水平距离测量、水平角测量和高差测量是测量的三项基本工作。

任务三 测量工作的基本原则和要求

一、测量工作的基本原则

在测量工作中, 由于仪器、观测者和外界条件的原因, 不可避免地会产生误差, 甚至还会发生一些错误。这些误差如果不加以检查和控制, 会由前面的观测结果传播到后面的观测结果, 最后误差越来越大, 达到不可容许的程度。另外, 测量工作需要十分精确、细致, 为确保结果的正确, 必须进行相应的检核工作。因此, 测量工作必须遵循以下基本原则。

(一) “从整体到局部, 先控制后碎部, 由高级到低级”的原则

1. 在布局上“从整体到局部”

测量工作必须先进行总体布置, 然后再分期、分区、分项实施局部测量工作, 而任何局部的测量工作都必须服从全局的工作需要。

2. 在工作程序上“先控制后碎部”

就是先进行控制测量, 测定测区内若干个控制点的平面位置和高程, 作为后面测量工作的依据。通过控制测量, 能有效地控制误差传播, 使碎部点精度得到保证。

3. 在精度上“由高级到低级”

测量中, 任何定位工作必须满足规范规定的技术等级要求, 否则测量成果不可应用。因此, 实施时应先布设高精度的控制点, 再逐级发展布设低一级的交会点以及进行碎部测量。这样既可以满足精度要求, 也可以合理地利用资源, 提高经济效益。

(二) “前一步工作未作检核, 不得进行下一步工作”的原则

测量工作有外业和内业之分。测定地面点位置的水平角度测量、水平距离测量、高差测量是测量的基本工作, 称为外业。将外业成果进行整理、计算(坐标计算、高程计算)、绘制成图的工作, 称为内业。

不论是外业还是内业工作, 都关系到测量结果的真实、可靠、准确性, 任何不合格或错误的成果都会给工程建设带来巨大的损失。因此, 对测量工作的观测成果和计算成果必须进行步步检验, 反复检核, 以消除测量中的错误, 剔除不合格成果。前一步工作未作检核不得进行下一步工作, 未经检核的成果坚决不允许使用。其检核包括观测数据检核、计算检核、精度检核等。

二、从事测量工作的基本要求

从事测量工作应坚持以下要求:

- (1) 坚持“质量第一”的观点, 严格遵守规范的要求。
- (2) 具有严肃认真的工作态度和严谨细致的工作作风。
- (3) 保持测量成果的真实、客观和原始性, 坚决不允许伪造测量数据。

(4) 测量工作者要爱护测量仪器和工具,轻拿轻放,避免震动,要掌握正确的操作方法。

任务四 测量常用的计量单位与凑数规则

一、计量单位

在测量工作中,常用的有长度、面积和角度三种计量单位。

(一) 长度单位

国际通用长度单位为 m(米),我国规定采用米制。

1 m=10 dm(分米)=100 cm(厘米)=1 000 mm(毫米)

1 km(千米或公里)=1 000 m

(二) 面积单位

小区域面积采用 m^2 (平方米),大区域采用 km^2 (平方千米或平方公里)。

(三) 角度单位

1. 60 进制的度

1 圆周角=360°(度)

1°(度)=60'(分)

1'(分)=60"(秒)

2. 弧度

1 圆周角=2πρ(弧度)=360°(度)

$$\rho^\circ = \frac{360^\circ}{2\pi} = 57.3^\circ$$

$$\rho' = \frac{360^\circ}{2\pi} \times 60' = 3\,438'$$

$$\rho'' = \frac{360^\circ}{2\pi} \times 60' \times 60'' = 206\,265''$$

二、凑整规则

测量计算过程中,一般存在数值取舍凑整的问题。由于数值取舍凑整会带来凑整误差,为了尽量减弱对测量结果的影响,避免误差累积,通常采用以下凑整规则:

(1) 被舍去的部分大于 0.5 时,末位进 1。

(2) 被舍去的部分小于 0.5 时,末位不变。

(3) 被舍去的部分等于 0.5 时,末位凑成偶数,即末位为奇数则末位进 1,末位为偶数则末位不变。

例如,保留三位小数:

$$1.325\,6 \approx 1.326$$

$$1.325\,4 \approx 1.325$$

$$1.325\,500\,001 \approx 1.326$$

$$1.325\,5 \approx 1.326$$

$$1.3265 \approx 1.326$$

上述凑整规则可总结为“四舍六入,奇进偶舍”。



目标检测

1. 名称解释:高程、高差、相对高程、绝对高程。
2. 已知 A 点的绝对高程为 110.356 m , AB 两点高差为 -1.008 m , 则 B 点的绝对高程是多少?
3. 已知 A 点的高程为 16.678 m , AB 两点高差为 $+0.661\text{ m}$, 则 B 点的相对高程是多少?
4. 确定地面点位的三个基本要素是什么?
5. 测量工作的基本原则和要求是什么?
6. 测量工作常用的凑数规则是什么?

项目二

水准测量



学习目标

- 掌握水准测量的基本原理。
- 熟悉水准仪的构造,能正确操作水准仪。
- 掌握水准测量的方法和成果计算。
- 掌握水准仪进行已知高程点的测设方法。
- 了解水准仪的检验方法。
- 掌握使用水准仪的要领。
- 掌握水准尺的识读方法。



项目导入

提出问题:已知 A 点的高程为 H_A ,要测定 B 点的高程 H_B 。

解决问题:所需仪器——水准仪和水准尺,水准仪架在两尺之间,水准尺在 A 、 B 两点各垂直竖立一条。

任务一 水准测量的原理

测量地面点高程的工作,称为高程测量。按使用的仪器和施测方法的不同,高程测量分为水准测量、三角高程测量和气压高程测量。用水准仪测量高程,称为水准测量,它是高程测量中最常用、最精密的方法。本项目主要介绍水准测量。

水准测量是利用水准仪提供的水平视线,借助于带有分划的水准尺,直接测定地面上两点间的高差,然后根据已知点高程和测得的高差,推算出未知点高程。

测定待测点高程的方法有高差法和仪高法两种。

一、高差法

如图 2-1 所示,若已知 A 点的高程 H_A ,欲测定 B 点的高程 H_B ,在 A 、 B 两点上竖立两根尺子,并在 A 、 B 两点之间安置一架可以得到水平视线的

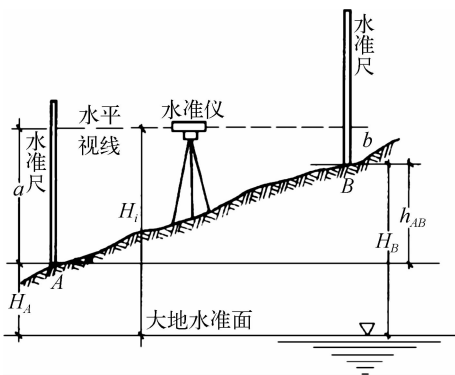


图 2-1 水准测量原理

仪器。假设水准仪的水平视线在尺子上的位置读数分别是 A 尺(后视)读数为 a , B 尺(前视)读数为 b , 则 A 、 B 两点之间的高程差(简称高差 h_{AB})为:

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

于是 B 点的高程 H_B 为:

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

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + a - b \quad (2-3)$$

这种利用高差计算待测点高程的方法,称高差法。这种尺子称为水准尺,所用的仪器称为水准仪。

二、仪高法

由式 2-3 可以写为:

$$H_B = (H_A + a) - b \quad (2-4)$$

如图 2-2 所示,即:

$$H_B = H_i - b$$

上式中 H_i 是仪器水平视线的高程,常称为仪器高程或视线高程。仪高法是计算一次仪高,就可以测算出几个前视点的高程。即放置一次仪器,可以测出数个前视点的高程。

综上所述,高差法和仪高法都是利用水准仪提供的水平视线测定地面点高程。

注意:

(1) 前视与后视的概念一定要清楚,不能误解为往前看或往后看所得的水准尺读数。

(2) 两点间高差 h_{AB} 是有正负的,计算高程时,高差应连其符号一并运算。在书写 h_{AB} 时,注意 h 的下标, h_{AB} 是表示 B 点相对于 A 点的高差; h_{BA} 则表示是 A 点相对于 B 点的高差。 h_{AB} 与 h_{BA} 的绝对值相等,但符号相反。

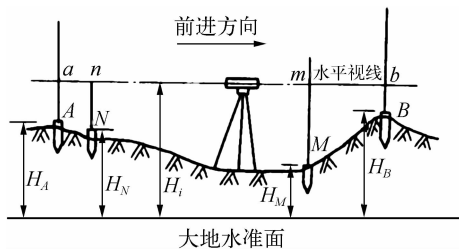


图 2-2 仪高法水准测量

任务二 DS3 型微倾式水准仪及其使用

水准测量所使用的仪器为水准仪,工具为水准尺和尺垫。

水准仪按其精度可分为 DS_{05} 、 DS_1 、 DS_3 和 DS_{10} 四个等级。工程测量广泛使用 DS_3 级水准仪,因此本项目着重介绍这类仪器。

一、水准仪的结构

根据水准测量的原理,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。因此,水准仪构成主要有望远镜、水准器及基座三部分(图 2-3)。

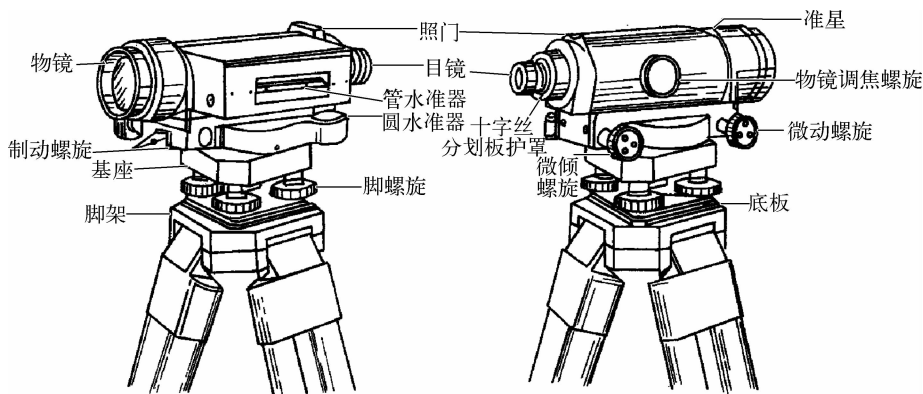


图 2-3 DS3 微倾式水准仪及其构造

1. DS3 型水准仪组成

- (1) 望远镜:物镜、对光透镜、十字丝分划板、目镜。
- (2) 水准器:管水准器(水准管)、圆水准器。
- (3) 托板:通过微倾轴与望远镜连接。
- (4) 基座:轴套、脚螺旋。

2. DS3 型水准仪涉及的基本概念

- (1) 十字丝分划板:有上丝、下丝、中横丝、竖丝,用来瞄准和读数。
- (2) 视准轴:十字丝的交点和物镜中心的连线称为望远镜的视准轴,是用来瞄准和读数的视线。
- (3) 望远镜的作用:提供一条瞄准目标的视线;将远处的目标放大,提高瞄准和读数的精度。

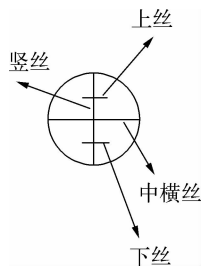


图 2-4 十字丝

- (4) 水准管:图 2-5 为水准管示意图。

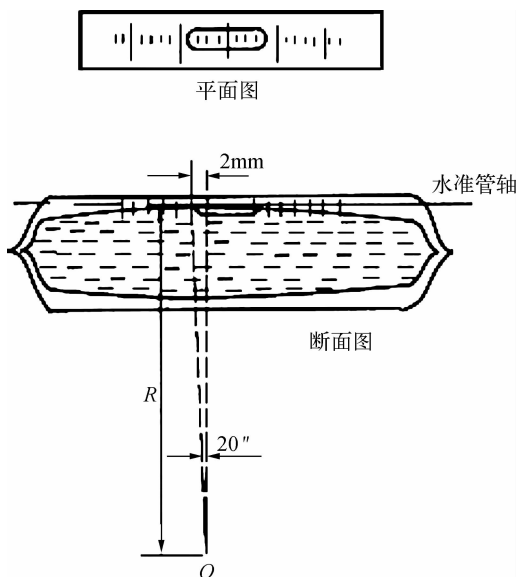


图 2-5 水准管

(5) 水准管分划值:指水准管上相邻两分划(即 2 mm)间的弧长所对的圆心角值。DS3 型水准仪的水准管分划值一般为 $20''$ 。水准管分划值是水准管灵敏度的指标,水准管分划值越小,水准管灵敏度越高。

为了进一步提高水准管的灵敏度和测量方便,需安装符合水准器[图 2-6(a)],观测符合水准窗口,有如下情况[图 2-6(b)、(c)]:

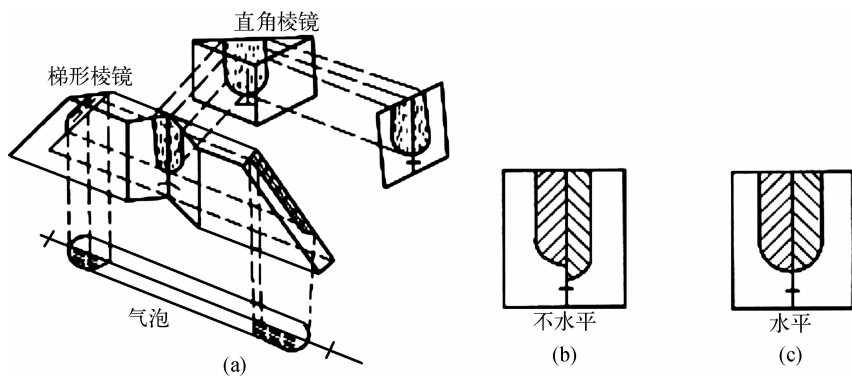


图 2-6 符合水准器

水准仪能提供水平视线的基本要求是:水准管轴平行于视准轴。

二、水准尺和尺垫

水准尺是水准测量时使用的标尺。其质量好坏直接影响水准测量的精度。因此,水准尺需用不易变形且干燥的优质木材制成,要求尺长稳定,分划准确。常用的水准尺有塔尺和双面尺两种。塔尺多用于等外水准测量,其长度有 2 m 和 5 m 两种,用两节或三节套接在一起。尺的底部为零点,尺上黑白格相间,每格宽度为 1 cm,有的为 0.5 cm,每 1 m 和分米处均有注记。双面水准尺多用于三、四等水准测量。其长度有 2 m 和 3 m 两种,且两根尺为一对。尺的两面均有刻划,一面为红白相间,称红面尺;另一面为黑白相间,称黑面尺(也称主尺),两面的刻划均为 1 cm,并在分米处注字。两根尺的黑面均由零开始;而红面,一根尺由 4.687 m 开始至 6.687 m 或 7.687 m,另一根由 4.787 m 开始至 6.787 m 或 7.787 m (图 2-7)。

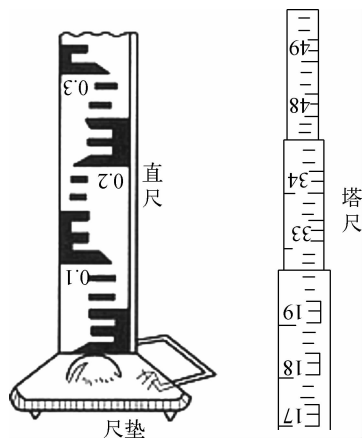


图 2-7 水准尺和尺垫

尺垫是在转点处放置水准尺用的,它用生铁铸成,一般为三角形,中央有一突起的半球体,下方有三个支脚。使用时将支脚牢固地插入土中,以防下沉,上方突起的半球形顶点作为竖立水准尺和标志转点之用。

三、水准仪的基本操作程序

水准仪的基本操作程序包括安置仪器、粗略整平、瞄准水准尺、精平和读数等操作步

骤。分述如下：

1. 安置水准仪

打开三脚架并使高度适中,目估使架头大致水平,检查脚架腿是否安置稳固,脚架伸缩螺旋是否拧紧,然后打开仪器箱取出水准仪,置于三脚架头上用连接螺旋将仪器牢固地固定在三脚架头上。

2. 粗略整平

粗平是借助圆水准器的气泡居中,使仪器竖轴大致铅垂,从而视准轴粗略水平。在整平的过程中,气泡的移动方向与左手大拇指运动的方向一致。如图 2-8 所示。

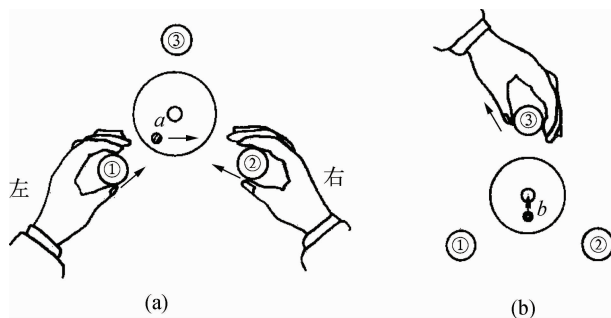


图 2-8 粗略整平过程

3. 瞄准水准尺

首先进行目镜对光,即把望远镜对着明亮的背景,转动目镜对光螺旋,使十字丝清晰。再松开制动螺旋,转动望远镜,用望远镜筒上的准星瞄准水准尺,拧紧制动螺旋。然后从望远镜中观察;转动物镜对光螺旋进行对光,使目标清晰,再转动微动螺旋,使竖丝对准水准尺。

当眼睛在目镜端上下微微移动时,若发现十字丝与目标影像有相对运动,这种现象称为视差(图 2-9)。产生视差的原因是目标成像的平面和十字丝平面不重合。由于视差的存在会影响到读数的正确性,必须加以消除。消除的方法是重新仔细地进行物镜对光,直到眼睛上下移动,读数不变为止。此时,从目镜端见到十字丝与目标的像都十分清晰。

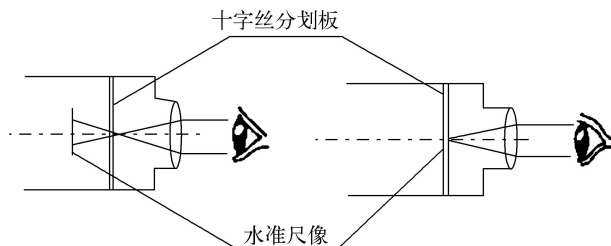


图 2-9 视差现象

4. 精平和读数

眼睛通过位于目镜左方的符合气泡观察窗看水准管气泡,右手转动微倾螺旋,使气泡两端的像吻合,即表示水准仪的视准轴已精确水平。这时,即可用十字丝的中丝在尺上读数。现在的水准仪多采用倒像望远镜,因此读数时应从小往大,即从上往下读。先估读毫

米数,然后报出全部读数。

精平和读数虽是两项不同的操作步骤,但在水准测量的实施过程中,却把两项操作视为一个整体。即精平后再读数,读数后还要检查管水准气泡是否完全符合。只有这样,才能取得准确的读数(图 2-10)。

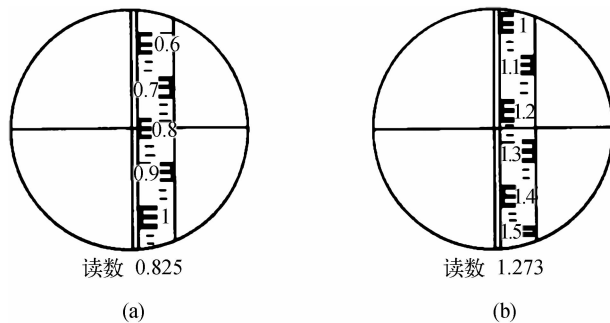


图 2-10 视窗中水准尺读数

任务三 水准测量的一般方法

一、水准点(Bench Mark)和水准测量路线

1. 水准点

为了统一全国的高程系统和满足各种测量的需要,测绘部门在全国各地埋设并测定了很多高程点,这些点称为水准点(Bench Mark),简记为 BM。水准测量通常是从水准点引测其他点的高程。水准点有永久性和临时性两种。国家等级水准点一般用石料或钢筋混凝土制成,深埋到地面冻结线以下。在标石的顶面设有用不锈钢或其他不易锈蚀材料制成的半球状标志。有些水准点也可设置在稳定的墙脚上,称为墙上水准点。

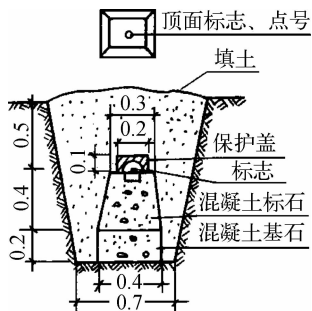


图 2-11 永久性水准点埋设

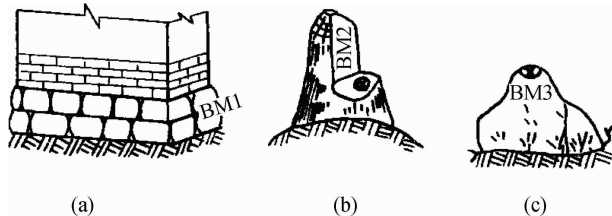


图 2-12 临时性水准点

建筑工地上的永久性水准点一般用混凝土或钢筋混凝土制成(图 2-11),临时性的水准点可用地面上突出的坚硬岩石或用大木桩打入地下,桩顶钉为半球形铁钉(图 2-12)。

埋设水准点后,应绘出水准点与附近固定建筑物或其他地物的关系图,在图上还要写

明水准点的编号和高程,称为点之记,以便于日后寻找水准点位置之用。水准点编号前通常加 BM 字样,作为水准点的代号。

2. 水准路线

在一系列水准点间进行水准测量所经过的路线,称为水准路线,形式主要有闭合水准路线、附和水准路线和支水准路线。为了避免在测量成果中存在错误,保证测量成果能达到一定精度要求。布设时根据测区的实际情况和作业要求,布设成某种形式的水准路线。

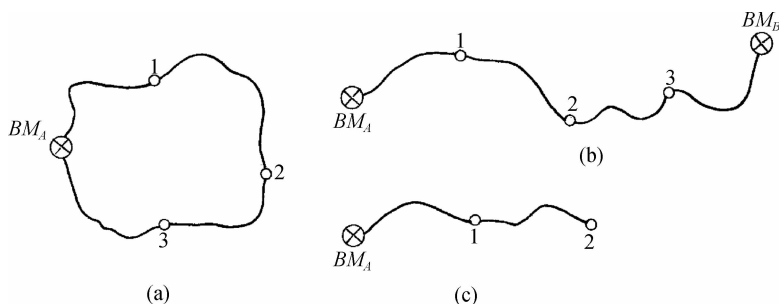


图 2-13 水准路线形式

(1) 闭合水准路线:如图 2-13(a)所示,从水准点 BM_A 出发,沿各待定高程点 1、2、3 进行水准测量,最后又回到原出发水准点,这种形成环形的路线,称为闭合水准路线。

(2) 附和水准路线:如图 2-13(b)所示,从水准点 BM_A 出发,沿各待定高程点 1、2、3 进行水准测量,最后又附和到另一个水准点 BM_B 。这种在两个已知水准点之间布设的路线,称为附和水准路线。

(3) 支水准路线:如图 2-13(c)所示,从水准点 BM_A 出发,沿各待定高程点 1、2 进行水准测量。这种从一个已知水准点出发,而另一端为未知点的路线,既不自行闭合,也不附和到其他水准点上,称为支水准路线。

二、水准测量的实施

当欲测的高程点距水准点较远或高差很大时,就需要连续多次安置仪器以测出两点的高差。

1. 高差法

如图 2-14 所示,已知 A 点的高程 $H_A = 43.150 \text{ m}$,欲测 B 点高程 H_B ,在 AB 线路上增加 1、2、3、4、……等中间点,将 AB 高差分成若干个水准测站。其中间点仅起传递高程的作用,称为转点(Turning Point),简称为 TP。转点无固定标志,无需算出高程。每安置一次仪器,便可测得一个高差,即:

$$\begin{aligned} h_1 &= a_1 - b_1 \\ h_2 &= a_2 - b_2 \\ &\dots\dots \\ h_n &= a_n - b_n \end{aligned}$$

将各式相加,得:

$$\sum h = \sum a - \sum b$$

则 B 点的高程为:

$$H_B = H_A + \sum h \quad (2-5)$$

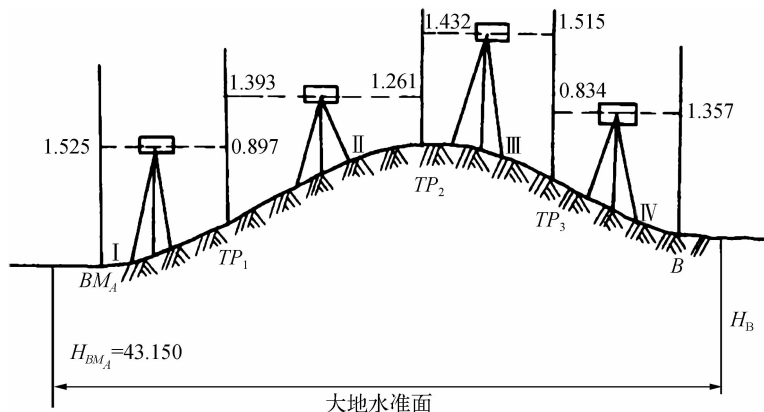


图 2-14 高差法连续水准测量

观测、记录与计算见表 2-1。

表 2-1 高差法水准测量手簿

测点	后视读数(m)	前视读数(m)	高差(m)	高程(m)	备注
BM_A	1.525			43.150	已知水准点
TP_1	1.393	0.897	0.628	43.778	
TP_2	1.432	1.261	0.132	43.910	
TP_3	0.834	1.515	-0.083	43.827	
B		1.375	-0.523	43.304	
计算校核	$\sum_{后} = 5.184$	$\sum_{前} = 5.030$	$\sum h = 0.154$	$H_{终} - H_{始} = 0.154$	计算无误
	$\sum_{后} - \sum_{前} = 0.154$				

2. 仪高法

仪高法测高程的施测与高差法基本相同。如图 2-15 所示,在相邻两测站之间有了中间点 1、2、3 与 4、5,它们是待测的高程点,而不是转点。在测站 I,除了读出 TP_1 点上的前视读数,还要读出中间点 1、2、3 的读数;在测站 II,要读出 TP_1 点上的后视读数,以及读出中间点 4、5 的读数。

仪高法的计算方法与高差法不同,需先计算仪器视线高程 H_i ,再推算前视点和中间点高程。记录与计算见表 2-2 相应栏。

为了减少高程传递误差,观测时应先观测转点,后观测中间点。

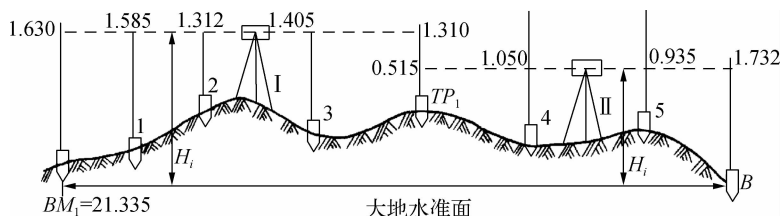


图 2-15 仪高法连续水准测量

表 2-2 仪高法水准测量手簿

测站	测点	后视 读数(m)	视线高(m)	前视读数(m)		高程(m)	备注
				转点	中间点		
I	BM ₁	1.630	22.965			21.335	
	1				1.585	21.380	
II	2				1.312	21.653	
	3				1.405	21.560	
	TP ₁	0.515	22.170	1.310		21.655	
	4				1.050	21.120	
	5				0.935	21.235	
	B				1.732	20.438	
计算检核	$\sum_{后} = 2.145$ $\sum_{后} - \sum_{前} = -0.897$			$\sum_{前} = 3.042$ (不包括中间点) $H_{终} - H_{始} = 20.438 - 21.335 = -0.897$			

三、水准测量的检核

1. 计算检核

B 点对 A 点的高差等于各转点之间高差的代数和,也等于后视读数之和减去前视读数之和,因此此式可用来作为计算的检核。但计算检核只能检查计算是否正确,不能检核观测和记录时是否产生错误。

2. 测站检核

B 点的高程是根据 A 点的已知高程和转点之间的高差计算出来的。若其中测错任何一个高差,B 点高程就不会正确。因此,对每一站的高差,都必须采取措施进行检核测量。

(1) 双仪器高法:同一测站用两次不同的仪器高度(两次不同的仪器高度相差 10 cm 以上),测得两次高差以相互比较进行检核。两次所测高差之差对于等外水准测量容许值为 ± 6 mm,对于四等水准测量容许值为 ± 5 mm。超出此限差,必须重测,在此限差内,可取两次所测高差之差的平均值作为该站的观测高差。

(2) 双面尺法:仪器高度不变,立在前视点和后视点上的水准尺分别用黑面和红面各进行一次读数,测得两次高差,相互进行检核。两次所测高差之差的限差同双仪器高法。

3. 成果检核

测站检核只能检核一个测站上是否存在错误或误差超限。由于温度、风力、大气折光、尺垫下沉和仪器下沉等外界条件引起的误差, 尺子倾斜和估读的误差, 以及水准仪本身的误差等, 虽然在一个测站上反映不很明显, 但随着测站数的增多使误差积累, 有时也会超过规定的限差。因此为了正确评定一条水准路线的测量成果精度, 应进行整个水准路线的成果检核。成果检核的方法, 因水准路线布设形式的不同, 主要有以下几种:

(1) 闭合水准路线检核: 理论上闭合水准路线各段实测高差代数和值应等于零, 即 $\sum h_{\text{理}} = 0$ 。

(2) 附和水准路线检核: 理论上附和水准路线各段实测高差代数和值应等于两端已知高程的差值, 即 $\sum h_{\text{理}} = H_{\text{终}} - H_{\text{始}}$ 。

(3) 支水准路线检核: 支水准路线本身没有检核条件, 通常是用往、返水准路线测量方法进行路线检核。理论上往测高差与返测高差应大小相等, 方向相反, 即 $|\sum h_{\text{往}}| = |\sum h_{\text{返}}|$ 。

上述三种路线成果检核的具体计算方法在下一个任务水准测量的内业计算中详述。

任务四 水准测量的内业

水准测量外业工作结束后, 要检查手簿, 再计算各点间的高差。经检核无误后, 才能进行计算和调整高差闭合差, 最后计算各点的高程。否则应查找原因予以纠正, 必要时应返工重测。下面将根据水准路线布设的不同形式, 举例说明计算的方法、步骤。

一、闭合水准路线成果计算

如图 2-16 所示, 闭合水准路线 BM_A 、1、2、3、4, 各段观测数据及起点高程均注于图中, 现以该闭合水准路线为例, 将成果计算的步骤介绍如下, 并将计算结果列入表 2-3 中。

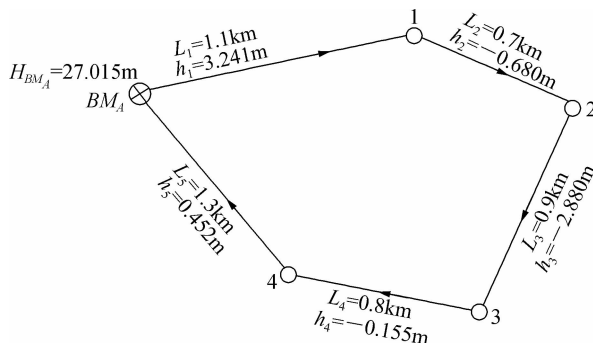


图 2-16 闭合水准测量

表 2-3 闭合水准路线成果计算

测量编号	测点	距离(km)	实测高差(m)	高差改正数(m)	改正后高差(m)	高程(m)	备注
1	BM _A	1.1	+3.241	0.005	+3.246	27.015	与已知高程相符
2	1	0.7	-0.680	0.003	-0.677	30.261	
3	2	0.9	-2.880	0.004	-2.876	29.584	
4	3	0.8	-0.155	0.004	-0.151	26.708	
5	4	1.3	+0.452	0.006	+0.458	26.557	
∑	BM _A	4.8	-0.022	+0.022	0	27.015	
辅助计算		$f_h = \sum h_{\text{测}} = -0.022 \text{ m}, f_{h\text{容}} = \pm 40 \sqrt{L} \text{ mm} = 40 \sqrt{4.8} \text{ mm} = 87 \text{ mm}$ $ f_h < f_{h\text{容}} \text{ 精度合格}$					

1. 高差闭合差

闭合水准路线各段高差的代数和理论上应等于零,即:

$$\sum h_{\text{理}} = 0$$

由于存在着测量误差,必然产生高差闭合差:

$$f_h = \sum h_{\text{测}} \quad (2-6)$$

2. 高差闭合差容许值

高差闭合差可用来衡量测量成果的精度,等外水准测量的高差闭合差容许值规定为:

平地: $f_{h\text{容}} = \pm 40 \sqrt{L} \text{ mm}$, L 为水准路线长度以公里计;

山地: $f_{h\text{容}} = \pm 12 \sqrt{n} \text{ mm}$, n 为测站数。

上例中,由于 $|f_h| < |f_{h\text{容}}|$,则精度合格,可进行高差闭合差的调整。

3. 闭合差的调整

在同一条水准路线上,假设观测条件是相同的,可认为各站产生的误差机会是相同的,故闭合差的调整按与测站数(或距离)成正比反符号分配的原则进行,即:

$$v_i = -\frac{f_h}{n(\sum D)}$$

高差闭合差的调整原则是:

- (1) 调整数的符号与高差闭合差 f_h 符号相反。
- (2) 调整数值的大小是按测段长度或测站数成正比例的分配。
- (3) 调整数最小单位为 0.001 m。

4. 高程计算

各测段实测高差加上相应的改正数,便得到改正后的高差。以上计算过程,见表 2-3。

二、附和水准路线成果计算

附和水准测量,如图 2-17 所示。附和水准路线成果计算,见表 2-4。

1. 高差闭合差的计算

$$f_h = \sum h - (H_B - H_A)$$

2. 高差闭合差容许值
同闭合水准路线。
3. 闭合差的调整
同闭合水准路线。
4. 高程计算
同闭合水准路线。

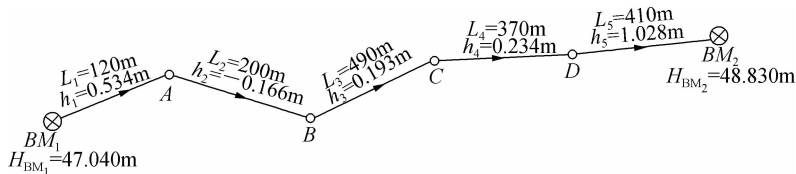


图 2-17 附和水准测量

表 2-4 附和水准路线成果计算

测量编号	测点	距离(m)	实测高差(m)	高差改正数(m)	改正后高差(m)	高程(m)	备注
1	BM ₁	120	+0.534	-0.002	0.532	47.040	已知高程相符
2	A	200	-0.166	-0.004	-0.170	47.572	
3	B	490	+0.193	-0.010	+0.183	47.402	
4	C	370	+0.234	-0.008	0.226	47.585	
5	D	410	+1.028	-0.009	1.019	47.811	
∑	BM ₂	1590	1.823	-0.033	1.790	48.830	
辅助计算		$f_h = \sum h_{\text{测}} - \sum h_{\text{理}} = \sum h_{\text{理}} - (H_{\text{终}} - H_{\text{始}}) = 1.823 - 1.790 = +0.033 \text{ m}$ $f_{h\text{容}} = \pm 40 \sqrt{L} \text{ mm} = 40 \sqrt{1.59} \text{ mm} = 50 \text{ mm} \quad f_h < f_{h\text{容}} \text{ 精度合格}$					

三、支线水准路线成果计算

1. 高差闭合差

如图 2-18 所示,已知水准点 A 的高程为 45.396 m,往、返测站各为 15 站,图中箭头表示水准测量往返测方向。理论上往测高差 $|\sum h_{\text{往}}|$ 与返测高差 $|\sum h_{\text{返}}|$ 应大小相等,方向相反。

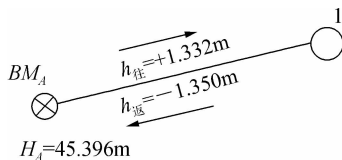


图 2-18 支线水准测量

由于存在着测量误差,必然产生高差闭合差,即:

$$f_h = h_{\text{往}} + h_{\text{返}}$$

上例中 $f_h = h_{\text{往}} + h_{\text{返}} = 1.332 + (-1.350) = -0.018 \text{ m}$ 。

2. 高差闭合差容许值

$$f_{h\text{容}} = \pm 12 \sqrt{n} = 12 \sqrt{15} = 46 \text{ mm}$$

由于 $|f_h| < |f_{h\text{容}}|$,则精度合格,可进行高差闭合差的调整。

3. 改正后高差计算

支水准路线,取各测段往测和返测高差绝对值的平均值即为改正后高差,其符号以往测高差符号为准。即:

$$h_{A1(\text{改})} = \frac{|h_{\text{往}}| + |h_{\text{返}}|}{2} = \frac{1.332 + 1.350}{2} = 1.341 \text{ m}$$

4. 计算待定点高程

$$H_1 = H_A + h_{A1(\text{改})} = 45.936 + 1.341 = 46.737 \text{ m}$$

注意:支水准路线在计算闭合差容许值时,路线总长度 L 或测站总数 n 只按单程计算。

任务五 微倾式水准仪的检验与校正

一、水准仪应满足的条件

根据水准测量原理,水准仪必须提供一条水平视线,才能正确地测出两点间高差。因此,水准仪应满足的几何条件是:

- (1) 圆水准器轴 $L'L'$ 应平行于仪器的竖轴 VV 。
- (2) 十字丝的中丝(横丝)应垂直于仪器的竖轴。
- (3) 水准管轴 LL 应平行于视准轴 CC 。

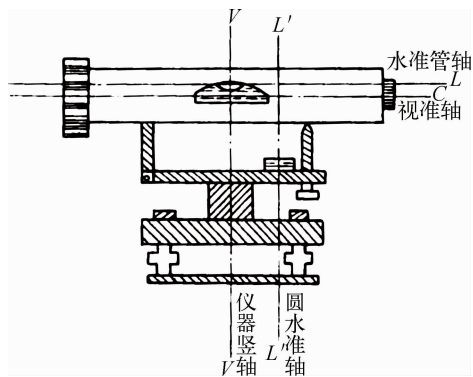


图 2-19 水准仪主要轴线

二、检验与校正

1. 圆水准轴平行于仪器竖轴的检验与校正

(1) 检验:如图 2-20 所示,用脚螺旋使圆水准器气泡居中,将仪器绕竖轴旋转 180° ,如果气泡不居中,表明圆水准轴不平行于竖轴,而离开零点弧长所对应的圆心角,为两倍的 δ 。

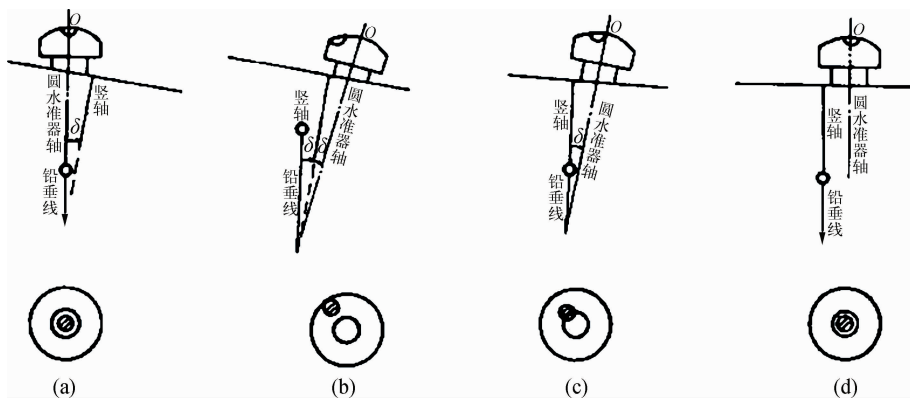


图 2-20 圆水准器的检验与校正

(2) 校正:调整圆水准三个校正螺丝,使气泡向居中位置移动偏离量的一半。校正工作一般都难于一次完成,需反复进行直至仪器旋转到任何位置圆水准器气泡皆居中时为止。如图 2-21 所示。

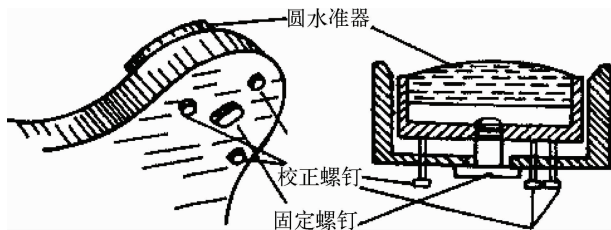


图 2-21 圆水准器的校正螺钉

2. 十字丝横丝应垂直于仪器竖轴的检验与校正

(1) 检验:安置仪器后,先将横丝一端对准一个明显的点状目标 P ,固定制动螺旋,转动微动螺旋,如果标志点 P 不离开横丝,说明横丝垂直于竖轴,否则需要校正。如图 2-22 所示。

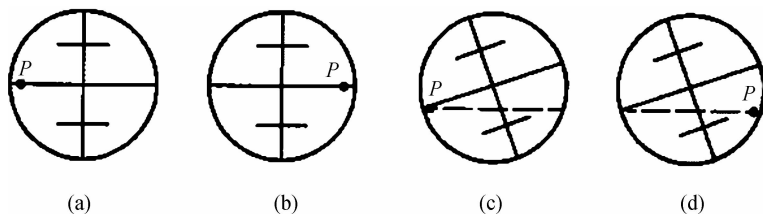


图 2-22 十字丝横丝的检验

(2) 校正:如图 2-23 所示,用螺丝刀松开分划板座固定螺丝,转动分划板座,改正偏离量的一半。

3. 视准轴平行于水准管轴的检验校正

(1) 检验:如图 2-24 所示,在 C 处安置水准仪,从仪器向两侧各量 40 m,定出等距离的 A 、 B 两点,打木桩或放置尺垫标志。

① 在 C 处用变动仪高法,测出 A 、 B 两点的高差。若两次测得的高差之差不超过 3 mm,则取其平均值 h_{AB} 作为最后结果。由于距离相等,两轴不平行的误差 Δh 可在高差计算中自动消除,故 h 值不受视准轴误差的影响。

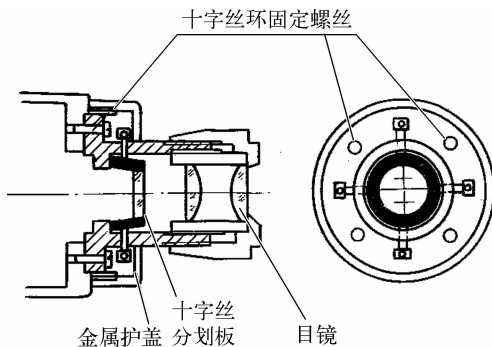


图 2-23 十字丝的校正装置

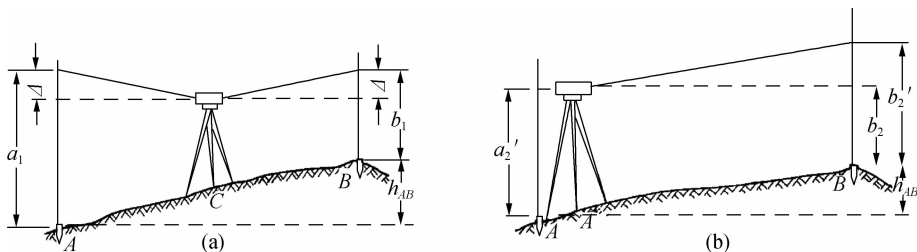


图 2-24 管水准器轴的检验

② 安置仪器于 A 点附近的 A' 处, 离 A 点 3 m 左右, 精平后读得 A 点水准尺上的读数为 a_2' , 因仪器离 A 点很近, 两轴不平行引起的读数误差可忽略不计。故根据 a_2' 和 A、B 两点的正确高差 h 算出 B 点尺上应有读数为:

$$b_2 = a_2' - h_{AB}$$

然后, 瞄准 B 点水准尺, 读出水平视线读数 b_2 , 如果 b_2 与 b_2' 相等, 说明两轴平行, 否则存在 i 角, 其值为:

$$i'' = \frac{\Delta h}{D_{AB}} \cdot \rho''$$

对于 DS3 级微倾水准仪, i 值不得大于 $20''$ 。

(2) 校正: 转动微倾螺旋使中丝对准 A 点尺上正确读数 $b_{\text{应}}'$, 此时水准轴处于水平位置, 但管水准气泡必然偏离中心。用拨针拨动水准管一端的上、下两个校正螺丝, 使气泡的两个半像符合。如图 2-25 所示。

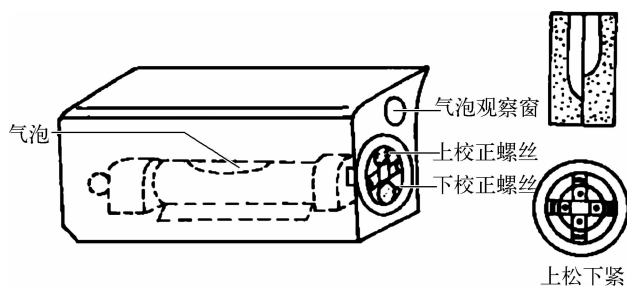


图 2-25 管水准器轴的校正

任务六 水准测量的误差分析

一、仪器误差

1. 仪器校正后的残余误差

i 角校正残余误差, 这种影响与距离成正比, 只要观测时注意前、后视距离相等, 可消除或减弱此项的影响。

2. 水准尺误差

由于水准尺刻划不准确, 尺长变化、弯曲等影响, 水准尺必须经过检验才能使用。标尺的零点差可在—水准段中使测站为偶数的方法予以消除。

二、观测误差

1. 水准管气泡居中误差

设水准管分划值为 τ'' , 居中误差一般为 $\pm 0.15\tau''$, 采用符合式水准器时, 气泡居中精度可提高一倍, 故居中误差为:

$$m_{\tau} = \frac{0.15\tau''}{2 \cdot \rho''} \cdot D$$

2. 读数误差

读数误差是指在水准尺上估读毫米数的误差, 与人眼的分辨能力、望远镜的放大倍率以及视线长度有关。放大倍率愈大、仪器到水准尺的距离愈短, 则读数误差愈小。不同等

级的水准测量对仪器望远镜的放大倍率及视线长度都有相应的规定。

3. 视差影响

当视差存在时,十字丝平面与水准尺影像不重合,若眼睛观察的位置不同,便读出不同的读数,因而也会产生读数误差。

4. 水准尺倾斜影响

如果读数时水准尺倾斜,将使水准尺上读数增大。当尺的倾斜角为 3° ,尺上读数为2 m时,将产生2.7 mm的误差。因此,立尺人应认真将尺扶直。

三、外界条件的影响

1. 仪器下沉

由于仪器下沉,使视线降低,从而引起高差误差。采用“后、前、前、后”的观测程序,可减弱其影响。

2. 尺垫下沉

如果在转点发生尺垫下沉,将使下一站后视读数增大。采用往返观测,取平均值的方法可以减弱其影响。

3. 地球曲率及大气折光影响

用水平视线代替大地水准面地尺上读数产生的误差为 c (图2-26),则:

$$c = \frac{D^2}{2R}$$

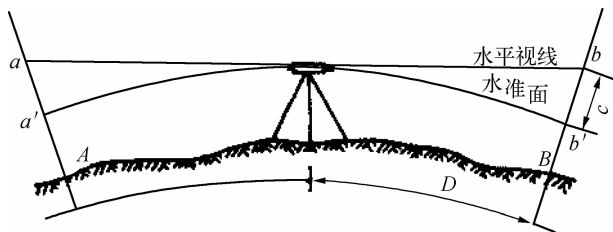


图 2-26 地球曲率的影响

如果前视水准尺和后视水准尺到测站的距离相等,则在前视读数和后视读数中含有相同的误差。这样在高差中就没有该误差的影响了。因此,放测站时要争取“前后视相等”,接近地面的空气温度不均匀,所以空气的密度也不均匀。光线在密度不均的介质中沿曲线传布。这称为“大气折光”。

总体上说,白天近地面的空气温度高,密度低,弯曲的光线凹面向上;晚上近地面的空气温度低,密度高,弯曲的光线凹面向下。接近地面的温度梯度大,大气折光的曲率大,由于空气的温度不同、时刻不同的地方一直处于变动之中,所以很难描述折光的规律。对策是避免用接近地面的视线工作,尽量抬高视线,用前后视等距的方法进行水准测量。

除了规律性的大气折光以外,还有不规则的部分:白天近地面的空气受热膨胀而上升,较冷的空气下降补充。因此,这里的空气处于频繁的运动之中,形成不规则的湍流。湍流会使视线抖动,从而增加读数误差。对策是夏天中午一般不做水准测量;在沙地、水泥地等湍流强的地区,一般只在上午10点之前作水准测量;高精度的水准测量也只在上午10点之前进行。

4. 温度对仪器的影响

温度会引起仪器的部件胀缩,从而可能引起视准轴的构件(物镜、十字丝和调焦镜)相

对位置的变化,或者引起视准轴相对于水准管轴位置的变化。由于光学测量仪器是精密仪器,不大的位移量可能使轴线产生几秒偏差,从而使测量结果的误差增大。

不均匀的温度对仪器的性能影响尤其大。例如从前方或后方日光照射水准管,就能使气泡“趋向太阳”,水准管轴的零位置就改变了。温度的变化不仅引起大气折光的变化,而且当烈日照射水准管时,由于水准管本身和管内液体温度升高,气泡向着温度高的方向移动,影响仪器水平,产生气泡居中误差,观测时应注意撑伞遮阳。

任务七 自动安平水准仪

自动安平水准仪亦称补偿器水准仪,它的构造特点是没有水准管和微倾螺旋,而是利用自动安平补偿器代替水准管微倾螺旋,即使望远镜筒倾斜,视准轴仍水平。

补偿器一般有两种,一种是悬挂的十字丝板;另一种是悬挂的棱镜组。如图 2-27 所示为前一种,十字丝悬吊在望远镜筒上,吊点位于物镜的光心。所以镜筒内的视准轴永远处于铅垂位置,两片反光镜的夹角严格等于 45° ,能把视准轴转 90° 后射出镜筒。

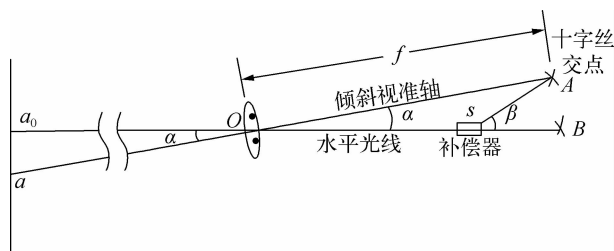


图 2-27 自动安平原理

两个直角棱镜是补偿器的摆动部分。镜筒倾斜时水平光线与其竖平面不正交,从而使光线在棱镜系统中产生折射,最后把水平光线导至十字丝中心。光线在棱镜系统中的多次折射可等效为一次折射。

如图 2-28 所示,为 DZS3 型自动水准仪的构造。

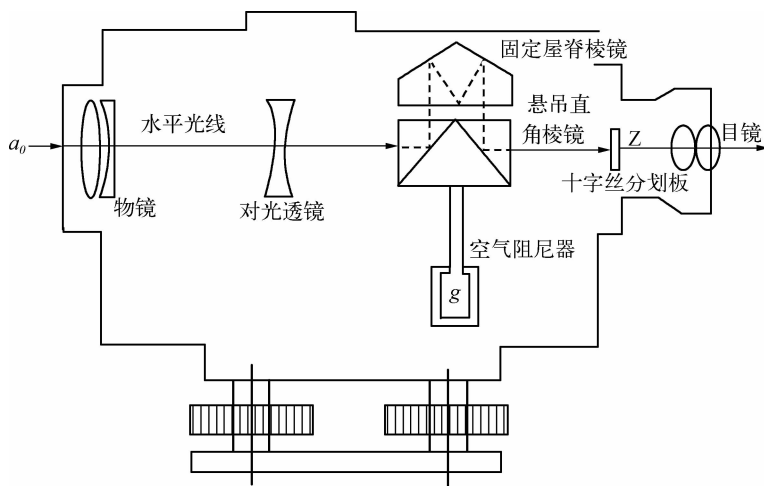


图 2-28 DZS3 型自动水准仪构造



目标检测

1. 设 A 为后视点, B 为前视点, A 点高程是 20.016 m 。当后视读数为 1.124 m , 前视读数为 1.428 m 时, 问 A 、 B 两点高差是多少? B 点比 A 点高还是低? B 点的高程是多少? 并绘图说明。
2. 绘图说明水准测量中后视读数、前视读数、高差之间的关系。
3. 何谓视准轴? 何谓视差? 产生视差的原因是什么? 怎样消除视差?
4. 水准仪上的圆水准器和管水准器作用有何不同? 水准测量时, 读完后视读数后转动望远镜瞄准前视尺时, 圆水准器气泡和符合气泡都有少许偏移(不居中), 这时应如何调整仪器, 读前视读数?
5. 水准管轴和圆水准器轴是怎样定义的? 何谓水准管分划值?
6. 望远镜由哪些主要部件组成? 各有什么作用?
7. 水准仪由哪些主要部件构成? 各起什么作用?
8. 转点在水准测量中起什么作用?
9. 水准仪的使用包括哪些基本操作? 试简述其操作要点。
10. 水准测量时, 注意前、后视距相等, 它可消除哪几项误差?
11. 试述水准测量的计算校核。它主要校核哪两项计算?
12. 水准测量测站检核的作用是什么? 有哪几种方法?
13. 何谓水准测量的高差闭合差? 如何计算水准测量的容许高差闭合差?
14. 水准测量时, 在什么立尺点上放尺垫? 什么点上不能放尺垫?
15. 调整下表中闭合路线等外水准测量观测成果, 试计算 Q, R, S 各点高程。

点号	测站数	实测高差(m)	改正数(mm)	改正后高差(m)	高程(m)	备注
A	2	-2.687			30.666	
1	1	+0.426				
2	3	+3.121				
3	1	+0.919				
4	2	-1.760				
A					30.666	
检核						

16. 水准仪有哪几条轴线? 它们之间应满足什么条件? 什么是主条件? 为什么?
17. 设 A 、 B 两点相距 80 m , 水准仪安置于中点 C , 测得点尺上读数 $a_1 = 1.321\text{ m}$, B 点尺上的读数 $b_1 = 1.117\text{ m}$; 仪器搬至 B 点附近, 又测得 B 点尺上的读数 $b_2 = 1.466\text{ m}$, A 点尺上读数 $a_2 = 1.695\text{ m}$ 。试问该仪器水准管轴是否平行于视准轴? 如不平行, 应如何校正?
18. 水准测量的主要误差来源有哪些? 采用什么方法予以消除或减弱。
19. 调整下表中附合路线等外水准测量观测成果, 并求出各点高程。

测段	测点	测站数	实测高差(m)	改正数(mm)	改正后高差(m)	高程(m)	备注
A—1	BM_A	7	+4.363			57.967	
1—2	1	3	+2.413				
2—3	2	4	-3.121				
3—4	3	5	+1.263				
4—5	4	6	+2.716				
5—B	5	8	-3.715				
	BM_B					61.819	
辅助计算							