

河道观测

上册

武汉水利电力学院

1975·12·

第一章 水准仪及其使用

第一节 水准测量概念

毛主席教导我们：“人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然界得到自由。”兴建各种水利工程，首先是利用水的一个重要规律：“水往低处流”。因此掌握地面的高低起伏情况，是

水利水电建设中十分重要的一环，而水准测量则是精密测定地面点高程的主要方法。

什么是地面点的高程呢？为了便于比较高低，地面点的高程，应从统一的起算面计算，一般是采用平均海水面作为高程起算面。如图

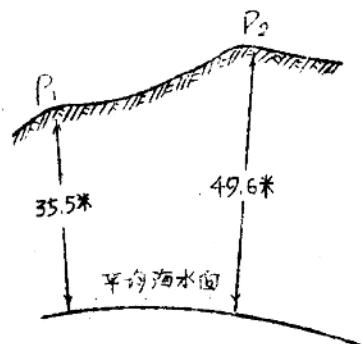


图 1-1

1-1所示， P_1 点离开平均海水面的垂直距离为35.5米，即 P_1 点的高程为35.5米； P_2 点离开平均海水面的垂直距离为49.6米，即 P_2 点的高程为49.6米。所以地面某点的高程就是该点到平均海水面的垂直距离，而两点高程之差称为高差。

平均海水面是在海边设立验潮站，长期观测海水水位的涨落，取其多年观测的平均值而确定。我国于1956年国家测绘总局规定以黄海平均海水面作为全国的高程起算面。但在过去也曾以长江吴淞口等处的平均海水面作为高程的起算面，故在使用高程资料时，应注意

其起算面问题。

各旧高程系统与黄海高程系统的换算见表 1-1。

表 1-1

旧起算基准面的名称	将旧系统化成黄海新系统应加入的改正数(米)
1954年黄海平均海水面	+ 0.083
吴淞零点	- 1.807
坎门平均海水面	+ 0.237
废黄河零点(新)	- 0.063
大沽零点	- 1.296

注：各旧高程系统与 1956 年黄海高程系统的差数不可能是一个常数，这是因为观测误差及平差后误差的影响，故其数值将随地区而各异。对普通水准测量而言，按上表近行换算，其精度一般可满足要求。

解放后，我国已用精密水准测量方法在全国各地测设有永久保存的已知高程的点，即国家水准点，以满足各种工程建设和科研的需要。这些水准点均以黄海平均海水面为起算面。如在某些偏僻地区，

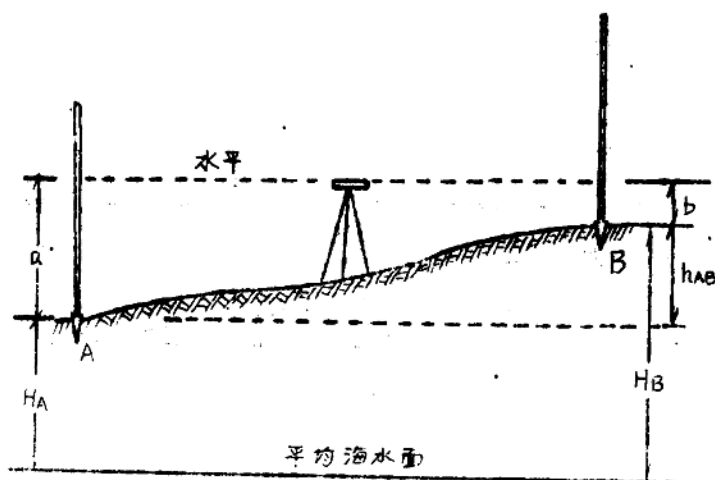


图 1-2

附近没有国家水准点，我们也可假定某一点的高程作为高程起算点。为了区别，在测量上规定：从平均海水面起算的高程称为绝对高程；由假定高程点起算的高程称为相对高程。

地面点的高程如何测定呢？广大劳动人民在生产实践中创造了许多测定地面点高程的方法，其基本原理可以图1-2来说明。

在图1-2中，假定地面点A的高程 H_A 为已知，需要测定B点的高程 H_B 。我们可在A、B两点间安置一个能够提供水平视线的仪器，并在A、B两点竖立尺子，然后根据水平视线在A点尺上读得读数 a ，在B点尺上读得读数 b ，从下面两式即可分别算出A、B两点的高差 h_{AB} 和B点的高程 H_B ：

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

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (1-2)$$

由上可知，要测量地面点间的高差，关键在于如何获得一条水平视线。下面介绍的水准仪就是根据这个要求而制成的。

第二节 水准仪和水准尺

一、水准仪的构造

解放前我国所用的水准仪全靠进口。解放以来，在毛主席“独立自主，自力更生”的方针指引下，目前我国已能大批生产各种类型的水准仪。图1-3a是上海光学仪器厂生产的CSZ-1型水准仪的外形，图1-3b是这类水准仪的构造示意图。

水准仪主要包括下列几部分：

1. 望远镜 望远镜由物镜、对光透镜、十字丝分划板和目镜等

部分组成(图1-3b),其中十字丝交点和物镜光心的连线称为望远镜的视准轴,也就是用以瞄准和读数的视线。由于要瞄准的目标高,望远镜的远近不同,借转动对光螺旋使对光透镜在镜筒内前后移动,可使目标成象清晰。利用目镜则可使成象放大。因此望远镜的作用,一方面提供一条瞄准目标用的视线,另一方面将远处的目标成象放大,提高瞄准和读数的精度。

2 水准器 水准器是用以整平的器具,分为管水准器和圆水准器两种。管水准器亦称水准管,是用一个内表面磨成圆弧的玻璃管制成(图1-3a和1-3b),装在金属套内。管内盛满乙醚等液体,仅留一个气泡,管内圆弧中点处(圆弧最高点)的切线称为水准管轴。当气泡居中时,即表示水准管轴处于水平位置。从图1-3b可知,水准仪上的水准管是与望远镜连在一起的,而水准管轴与望远镜的视准轴又是互相平行。我们转动微倾螺旋可使望远镜连同水准管绕微倾轴作微小的俯仰,当水准管的气泡居中,视线也就水平了。因此,水

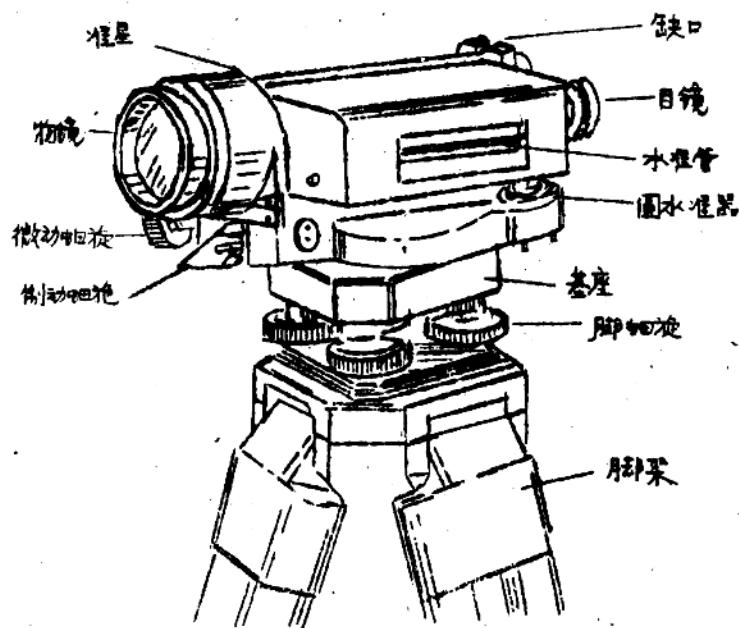


图 1-3(a)

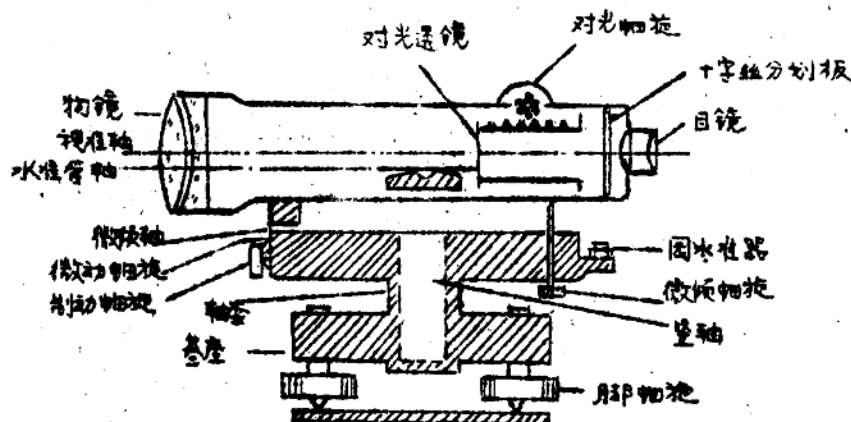


图 1-3(b)

水准管和望远镜是水准仪的主要部件，水准管轴与视准轴互相平行是水准仪构造的主要条件。

圆水准器如图 1-4 所示，它是用一个玻璃圆盒制成，装在金属外壳内。玻璃的内表面磨成球面，中央刻有一小圆圈，圆圈中点与球心的连线叫做圆水准轴。当气泡位于小圆圈的

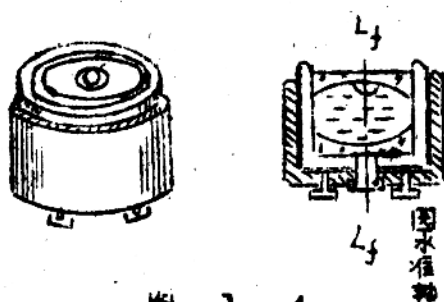


图 1-4

中央时，圆水准轴处于铅垂位置。圆水准轴是与仪器的竖轴互相平行的，所以当圆气泡居中时，表示仪器的竖轴基本垂直。由于圆水准器的精度较低，它主要用于水准仪的粗略整平。

3. 基座 基座包括轴套、脚螺旋及制动螺旋和微动螺旋（图 1-3 b）。仪器的竖轴插入基座的轴套中，使仪器能在水平方向旋转，利用制动和微动螺旋可控制仪器的旋转，借以瞄准目标。转动脚螺旋可使圆水准器的气泡居中，将仪器粗略整平。

二 水准尺和尺垫

水准尺是水准测量中重要工具之一，常用干燥而良好的木料制成，一般长度为3至5米，尺的形式如图1-5所示。

尺垫又称尺台。测量时为了防止尺子陷入土中，常常将尺垫放在地上踩稳，然后把水准尺竖立在尺垫的圆球顶上（图1-5）。

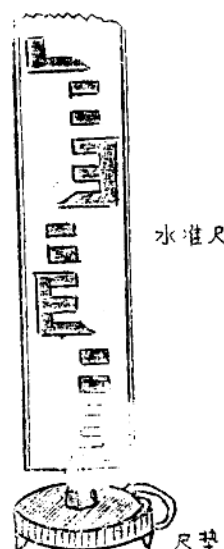


图 1-5

三 水准仪的使用

“一切客观事物本来是互相联系的和具有内部规律的”。上面我们已分别介绍

了水准仪各部分的构造和作用，下面我们将各部分联系起来，论述水准仪的使用。

1. 安置和整平仪器 支开三脚架，将三脚架插入土中，并令架头大致水平。利用连接螺旋使水准仪与三脚架固连，然后旋转脚螺旋使圆水准器的气泡居中。其方法如下：

如图1-6a，气泡不在圆水准器的中心而偏到1点，这表示脚螺旋A一侧偏高，此时可用双手按箭头所示的方向旋转脚螺旋A和B，即降低脚螺旋A，升高脚螺旋B，则气泡便往脚螺旋B方向移动（气泡总是随着左手拇指移动的方向而移动），直至2点位置为止。再旋转脚螺旋C，如图1-6b所示，使气泡从2点移到圆水准器的中心，这时仪器的竖轴大致竖直，亦即视线大致水平。

2. 瞄准 当仪器整平之后，松开望远镜的制动螺旋，利用望远镜上的缺口和准星粗略地瞄准水准尺，然后转动目镜使十字丝的成像清晰，再转动对光螺旋，使水准尺的分划成像清晰。对光完毕后。

如发现望远镜的十字丝还未准确对准水准尺，则可利用微动螺旋使十字丝的竖丝对准水准尺（图 1-7）。

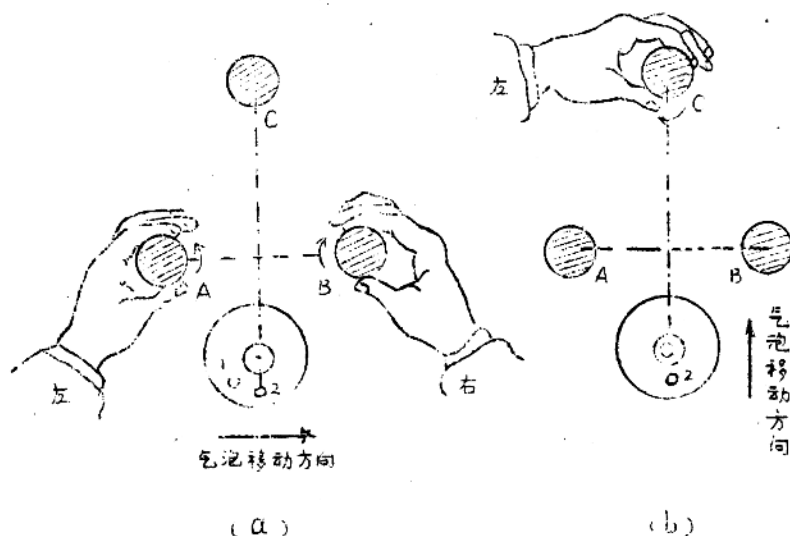


图 1-6

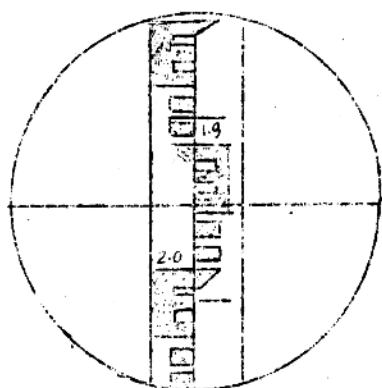


图 1-7

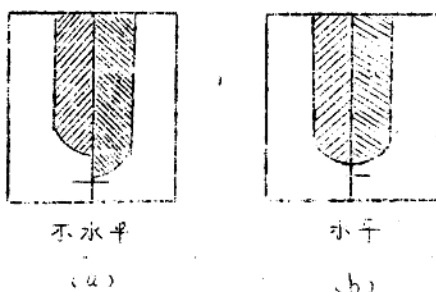


图 1-8

3. 读数 在读数之前应转动微倾螺旋使水准管的气泡居中。目前生产的水准仪，其水准管一般带有棱镜装置，称为符合水准器。我们从望远镜旁的小孔中可观察到气泡是否居中，如两个弧段未连成光

增的圆弧。说明气泡尚未居中(图1-8a)；当两个弧段吻合成圆弧(图1-8b)时，则说明气泡已居中了。水准器的气泡居中后，应立即利用十字丝的中丝读取尺上读数。因为水准仪的望远镜一般是倒象，所以水准尺倒写的数字从望远镜中看到的是正写的数字，同时看到尺上刻划的注记是从上至下递增的。在图1-7中，从望远镜中读到的读数为1.948米。

第三节 水准测量的基本方法

毛主席教导我们：“马克思主义的哲学认为十分重要的问题，不在于懂得了客观世界的规律性，因而能够解释世界，而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。”前面我们介绍了水准测量的原理和水准仪的构造，本节主要解决如何利用水准仪来测定地面点之间的高差问题。

如图1-9所示，欲测定A、B两点之间的高差，在一般情况下，A、B两点相距很远，必须分段进行测量。我们首先将水准仪安置在A点与TP₁点之间，按照上节介绍的水准仪的使用方法，瞄准A点的水准尺，转动微倾螺旋使气泡居中，读取后视读数 a_1 ，接着瞄准TP₁点的水准尺，再转动微倾螺旋使气泡居中，读取前视读数 b_1 。这样便求得A点和TP₁点之间的高差 $h_1 = a_1 - b_1$ ；然后将水准仪安置于TP₁点与TP₂点之间，以同样方法读取后视读数 a_2 和前视读数 b_2 ，求得TP₁与TP₂两点间的高差 $h_2 = a_2 - b_2$ ，如此继续下去，直至B点为止。

由图1-9可以看出：

$$h_1 = a_1 - b_1$$

(1-3)

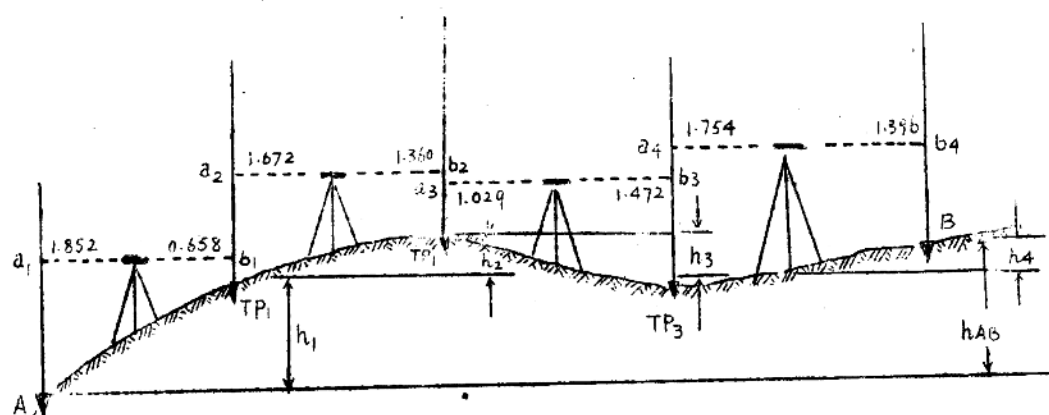


图 1-9

$$h_2 = a_2 - b_2$$

$$h_3 = a_3 - b_3$$

$$h_4 = a_4 - b_4$$

取上列各式的总和即得 A、B 两点高差：

$$\begin{aligned} h_{AB} &= h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = \sum h \\ &= (a_1 + a_2 + a_3 + a_4) - (b_1 + b_2 + b_3 + b_4) \\ &= \sum a - \sum b \end{aligned} \quad (1-4)$$

从上式可知，A、B 两点的高差等于其中各段高差的总和，亦即等于“后视读数总和”减去“前视读数总和”。如 A 点的高程 H_A 已知，则 B 点的高程 H_B 可按下式求得：

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (1-5)$$

什么叫后视和前视读数呢？在水准测量中，按照测量的前进方向，背向者为后视；顺向者为前视。如图 1-9，由 A 点向 B 点方向观测，当仪器安置在第一站时，已知高程点 A 在前进方向的背后，故其读数 a_1 称为后视读数；待测点 TP_1 在前进方向的前面，其读数 b_1 称为前视读数。依此类推。

从上例中可知，除TP₁、TP₂……等点外，起始点从A点起测到B点，他们起着传递高程的作用，故TP₁、TP₂……等点称为转点。对于转点必然既有前视读数，也有后视读数。

在实际作业中，应按照一定的记录格式随测、随记、随算。图1-9中观测的数值分别记在表1-2中，并算出其高差和高程，在计算高差时应注意其正负问题，后视读数大于前视读数时，则高差为正，反之为负。

表1-2 水准测量记录

测站	测点	后视读数(米)		高差(米)		高程(米)	备注
		前视读数(米)		+	-		
1	A	后	1.852	1.194		71.632	高程以黄海零点起算。
	TP ₁	前	0.658			72.826	
2	TP ₁	后	1.672	0.312			
	TP ₂	前	1.360			73.138	
3	TP ₂	后	1.029		0.443		
	TP ₃	前	1.472			72.695	
4	TP ₃	后	1.754	0.358			
	B	前	1.396			73.053	
计算 的核	和	Σ后	6.307	1.864	0.443	73.053	
		Σ前	4.886	2.0443		71.632	
			+1.421	+1.421		1.421	

表中“计算的校核”是校核计算是否有误，是根据(1-4)式计算的。

即： $(\Sigma \text{后视} - \Sigma \text{前视}) = \Sigma \text{高差} = (\text{终点高程} - \text{始点高程})$

第四节 四等水准测量

在上节我们介绍了水准测量的基本方法，还未谈及水准测量的精度问题，但实际上，因用途不同，对水准测量的精度要求也不同。自

国家水准测量分为四个等级。其中一、二等水准测量精度要求高，使用的仪器和施测方法也比较精密，称为精密水准测量。大多用为高级控制及科研之用。三、四等水准测量精度稍低，在中、小型水利工程中，应用比较广泛。本节将着重介绍四等水准测量。

一、四等水准点

水准测量是要测定一些点子的高程，并且往往要求把这些点子固定和保存下来。在测量之前，应选好这些点子的位置并埋设标石。用四等水准测量的方法及其相应的精度来测定高程的点子，称为四等水准点。

永久性的四等水准点，要长期保存，因此多用木桩或水泥桩埋入地下（图 1-10 a）。桩顶嵌入金属标志，其顶部为半圆球形。水准点的高程是指圆球顶的高程。为了保护桩顶，在其上加上护盖，并注明水准点的等级。如图 1-10 b 中，BM₁₁₋₁ 表示三等水准点第 1 号。

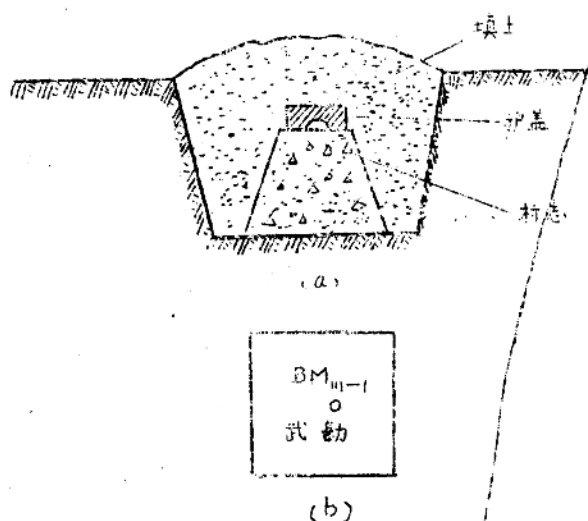


图 1-10

临时水准点可以选在坚固的岩石、桥墩等固定地物上，刻上记号。两水准点的间距，根据工程需要而定。一般在 1—2 公里左右。

二 四等水准测量所用的仪器

四等水准测量一般使用普通水准仪，如第二节介绍的上海光字仪器厂生产的CSZ-1型等水准仪即可。为了检查读数的错误和提高测量精度，水准尺一般采用双面尺，一对双面尺的黑面起始读数均为零，红面起始读数一把为4.687米，另一把为4.787米。

三 四等水准测量施测方法

四等水准测量方法与上节介绍的水准测量方法比较起来，主要区别是：由于采用双面水准尺，因此，在每个测站上除读出前、后尺的黑面读数外，还要读出前、后尺的红面读数，以供校核；另一方面，由于四等水准测量要求仪器至前、后尺的距离大致相等，其差数不得大于3米，所以在每个测站上还要测定仪器到水准尺的水平距离。水平距离的测定，一般利用水准仪十字丝分划板的上丝和下丝（该二丝是专供测距用的，称视距丝）进行。方法是：仪器安置好后，瞄准水准尺，读取下丝和上丝的读数，则：

仪器到水准尺的水平距离 = $100 \times (\text{下丝读数} - \text{上丝读数})$ 。

其中上、下丝读数之差称为“视距间隔”，100是仪器的“视距常数”。其原理将于第三章介绍。

现将四等水准测量的观测和计算方法略述如下：

1. 一个测站上的观测顺序：

(1) 瞄准后视尺黑面，读取下丝、上丝和中丝读数，分别记入表1-3第①、②、③项。

(2) 瞄准前视尺黑面，读取下丝、上丝和中丝读数，分别记入表格第④、⑤、⑥项；

(3) 瞄准前视尺红面，读取中丝读数，记入表格第⑦项；

(4) 瞄准后视尺红面，读取中丝读数，记入表格第⑧项。

在观测时应当注意：在读取视距丝读数时，气泡不必要求很严格居中，而读取中丝读数时必须注意使气泡严格居中。仪器至水准尺的距离一般不应大于100米。在观测过程中，记录员应随即进行计算并及时校核。

2 测站上的计算及校核

(1) 视距部分

四等水准测量要求仪器到后尺和前尺的距离大致相等，其差数不得大于3米；各测站的累积差数不大于10米。因此，应根据视距丝读数计算后距、前距、后、前距差 d 及后、前距差累积值 Σd 。即：

(①项-②项) $\times 100$ =后距，记入第⑮项；

(④项-⑤项) $\times 100$ =前距，记入第⑯项；

⑮项-⑯项=后、前距差 d ，记入第⑰项(应不大于3米)；

首站的后、前距差累积值 Σd =本站的后、前距差 d ，记入第⑱

项；

第二站以后的后、前距差累积值 Σd =前站的⑱项+本站的⑰项(应不大于10米)。

(2) 高差部分

四等水准测量采用双面水准尺，因此应根据红、黑面读数进行下列校核计算：

(a) 同一把水准尺的黑面读数+ K 值减去红面读数为零。即：

前视尺 ⑥项+ K -⑦项=⑨项；

后视尺 ③项+ K -⑧项=⑩项。

其中 K 为水准尺红、黑面起始读数的差值。系一常数。在本例中46号尺 $K=4.687$ 米；47号尺 $K=4.787$ 米。由于测量有误差，⑨项和⑩项往往不为零，但其不符值应小于 ± 3 毫米。

测站编号	点号	后尺下丝	前尺下丝	方向及尺号	水准尺读数		K+黑减红	高差中数	高程
		后尺上丝	前尺上丝		黑面	红面			
		后距	前距						
		后前距差d	累积差Σd						
		①	④		③	⑧	⑩	⑭	
		②	⑤		⑥	⑦	⑨		
		⑬	⑯		⑪	⑫	⑬		
		⑰	⑱						
	BM ₁	1.571	0.744	后 47	1.384	6.171	0	+0.8325	43.578
		1.197	0.358	前 46	0.551	5.239	-1		
	TP ₁	37.4	38.6	后-前	+0.833	+0.932	+1		
		-1.2	-1.2						
2	TP ₁	2.121	2.201	后 46	1.934	6.621	0	-0.0745	
		1.747	1.816	前 47	2.008	6.796	-1		
	TP ₂	37.4	38.5	后-前	-0.074	-0.175	+1		
		-1.1	-2.3						
3	TP ₂	1.919	2.053	后 47	1.726	6.513	0	-0.1405	
		1.534	1.676	前 46	1.866	6.554	-1		
	TP ₃	38.5	37.7	后-前	-0.140	-0.041	+1		
		+0.8	-1.5						
4	TP ₃	1.965	2.141	后 46	1.832	6.519	0	-0.1745	
		1.700	1.874	前 47	2.007	6.793	+1		
	TP ₄	26.5	26.7	后-前	-0.175	-0.274	-1		
		-0.2	-1.7						

(2) 高差部分

四等水准测量采用双面水准尺,因此应根据红、黑面读数进行下列校核计算:

a. 同一把水准尺的黑面读数+K值减去红面读数应等于零。即:

前视尺 ⑥项+K-⑦项=⑨项;

后视尺 ③项+K-⑧项=⑩项。

其中K为水准尺红、黑面起始读数的差值,系一常数。在本例中46号尺K=4.687米;47号尺K=4.787米。由于测量有误差,⑨项和⑩项往往不为零,但其不符值应小于±3毫米。

(b) 用黑面尺测得的高差与用红面尺测得的高差应相等。即：

$$\textcircled{9} \text{ 项} - \textcircled{6} \text{ 项} = \textcircled{11} \text{ 项} \quad (\text{黑面尺高差});$$

$$\textcircled{8} \text{ 项} - \textcircled{7} \text{ 项} - \textcircled{12} \text{ 项} \quad (\text{红面尺高差}).$$

因为两把尺的红面起始读数各为 4.687 和 4.787 米，两者相差 100 毫米，所以在⑫项上加或减去 100 毫米之后与⑪项之差应为零，但由于测量有误差，往往不为零，其不符值应小于 ± 5 毫米，并记入第⑬项。即：

$$\textcircled{13} \text{ 项} = \textcircled{11} \text{ 项} - [\textcircled{12} \text{ 项} \pm 100 \text{ 毫米}]$$

表中第 13 项除了检查用黑、红面测得的高差是否符合要求外，同时也用作检查计算是否有误。这是因为：

$$\textcircled{13} \text{ 项} = \textcircled{11} \text{ 项} - [\textcircled{12} \text{ 项} \pm 100 \text{ 毫米}]$$

$$= \textcircled{10} \text{ 项} - \textcircled{9} \text{ 项}.$$

当以上计算合格后，再按下式算出高差中数：

$$\text{高差中数} \textcircled{14} \text{ 项} = \frac{1}{2} [\textcircled{10} \text{ 项} + (\textcircled{12} \text{ 项} \pm 100 \text{ 毫米})].$$

这一站的观测与计算工作结束后，方可把仪器搬到下一站进行观测。以后各站的观测程序和计算、校核与上相同。

第五节 水准测量的校核方法和闭合差的调整

在水准测量中，测得的高差总是不可避免地含有误差。那么，我们怎样判断测量的成果是否符合要求呢？

“有比较才能鉴别”。测量成果是否正确也是采用比较方法来鉴别的。例如在上节介绍的四等水准测量中，利用红、黑面水准尺测得的结果进行比较，就是校核方法之一。

水准测量的校核方法分“测站校核”和“路线校核”两种。

一、测站校核

1. 双面尺法

如上述所述,采用双面水准尺,在每个测站上,读取后视尺的黑面读数和前视尺的黑、红面读数进行下列两项校核:

(1) 同一把水准尺的黑面读数和红面读数的差数应是一个常数 K ,与常数 K 的差数在四等水准测量中不得超过3毫米;对五等水准测量不得超过5毫米。

(2) 用黑面尺测得的高差与用红面尺测得的高差应相等,其差数在四等水准测量中不得超过5毫米;对五等水准测量不得超过8毫米。

如误差在容许范围内,则取其平均值作为观测成果。

2. 改变仪器高法

在每个测站上,测出两点间高差后,重新安置仪器(升高或降低仪器10厘米以上)再测一次,两次测得的高差应相等,其不符值在四等水准测量不得超过5毫米;五等水准测量不得超过8毫米。

测站校核可以校核本测站的测量成果是否符合要求,但对于整个路线测量结果是否存在错误则不能发现。例如,假设迁站以后,尺子没有立在同一个转点上,这时每个测站成果虽然符合要求,但整个路线的测量成果却存在差错,因此还需进行路线校核。

二、路线校核

1. 闭合水准路线

如图1-11,从三等水准点 $BM_{111}-A$ 出发,测定水准点 BM_1 、 BM_2 ……等的高程,最后再回到 $BM_{111}-A$ 组成闭合水准路线,这时闭合水准路线的高差总和在理论上应等于零,即:

$$\sum h_{理} = 0 \quad (1-6)$$

但由于测量含有误差,往往 $\sum h_{测} \neq 0$ 而存在高差闭合差,即: