

# Research on the Principle and Application of Level and Level Measurement

Guangyu Deng

Gansu Institute of Engineering Geology, Lanzhou, Gansu, 730030, China

## Abstract

The measuring speed, operation and automation characteristics of the level make it recognized by users. However, the technical confidentiality of the level manufacturer, many technical issues need to be discussed. Based on the analysis of the basic principle, error source and operating procedure of the level, this paper analyzes the actual measurement results (two kinds of instruments compare the observation of the same line), and puts forward the basic conclusions of level and level measurement and the problems to be paid attention to.

## Keywords

level; level measurement; leveling route

## 水准仪及水准测量的原理、应用研究

邓广玉

甘肃工程地质研究院, 中国·甘肃 兰州 730030

## 摘要

水准仪的测量速度、操作及其自动化等特点,使其受到用户的认可。但是,水准仪生产厂商的技术保密性,很多技术问题需要探讨。论文在分析水准仪的基本原理、误差来源及作业规程规程的基础上,对用于实际测量的结果(两种仪器对同一条测线观测对比)进行分析,提出水准仪及水准测量的基本结论及注意的问题。

## 关键词

水准仪;水准测量;水准路线

## 1 水准测量原理

水准测量的原理是:根据已知点高程,利用水准仪提供的水平视线,测量已知点和未知点间的高差,从而推算出未知点的高程。

如图1所示,假定A点为已知点,其高程为要测量的B点高程,先在A、B两点上各立一根带有刻度的尺子(水准尺),并在两点间安置一台能提供水平视线的水准仪,通过观测就可计算A、B两点的高程,具体步骤如下。

### 1.1 测量A、B两点间的高差

通过水平视线在水准尺上的读数可知,A、B两点间的高差为:

$$h_{AB}=a-b$$

如果测量工作是从A点向B点进行的,则称A点为后视点,B点为前视点,a、b分别称为后视读数和前视读数。A、B两点间高差等于后视读数a减去前视读数b。当B点高于A点(即 $a > b$ )时,高差为正,反之高差为负。

### 1.2 计算高程

由于A点高程 $H_A$ 已知,根据所测高差 $h_{AB}$ ,可用高差法计算B点高程:

$$H_B=H_A+h_{AB}=H_A+(a-b)$$

式中,后视点高程与后视读数a的代数和就是视线高程,用 $H_i$ 表示,则B点高程还可用视线高法计算:

$$H_B=H_A+h_{AB}=H_A+(a-b)$$

视线高法只需安置一次仪器就可测出多个前视点的高程。此法常用于施工中。

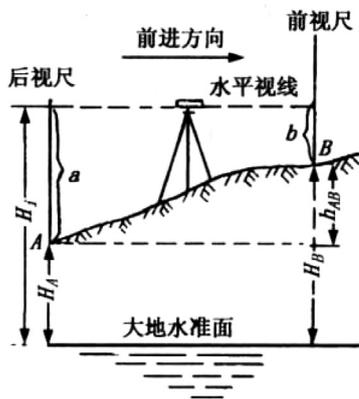


图1 水准测量原理

## 2 水准测量的仪器和工具

### 2.1 水准仪

图2为中国生产的DS3型微倾水准仪，它主要由望远镜、水准器和基座三部分组成。

1. 望远镜；2. 符合水准器；3. 物镜；4. 连接簧片；5. 支架；6. 目镜；7. 微倾螺旋；8. 符合水准器气泡观察孔；9. 圆水准器；10. 基座；11. 脚螺旋；12. 制动螺旋；13. 微动螺旋；14. 准星；15. 照门；16. 物镜调焦螺旋；17. 目镜调焦螺旋

#### 2.1.1 望远镜

望远镜的主要作用是使人们看清远处目标，并提供读数用的水平视线。望远镜由物镜、调焦透镜、目镜和十字丝分划板等组成。

图3为望远镜成像原理图，目标经过物镜形成一个倒立的实像，望远镜内安置一个调焦透镜，通过转动调焦螺旋改变调焦透镜的位置，可使远近不同目标的像都能清晰地落在十字丝分划板上。目镜的作用是将十字丝和目标像同时放大，十字丝的作用是精确瞄准目标。

如图3所示，十字丝由一条水平位置的横丝（中丝）、一条竖直位置的竖丝和上下两条短视距丝（用来测定距离）构成，横丝和竖丝互相垂直，十字丝中心与物镜光心的连线叫视准轴。

人眼通过目镜看到的目标像的视角与不通过望远镜看到目标的视角之比叫望远镜的放大倍数，DS3型微倾水准仪望远镜的放大倍数一般大于30倍。

为控制望远镜的左右转动，水准仪上都安装了一套制动水平和微动装置，当拧紧制动螺旋后，望远镜就不能转动，如要做微小转动，可以通过旋转水平微动螺旋进行调整，用以精确瞄准目标；制动螺旋拧松后，微动螺旋就不起作用了。为方便瞄准目标，望远镜上还安置了准星与照门作为寻找目标的依据<sup>[1]</sup>。

#### 2.1.2 水准器

水准器有圆水准器和长水准管两种，其主要作用是粗平仪器和使视线水平。

##### (1) 圆水准器

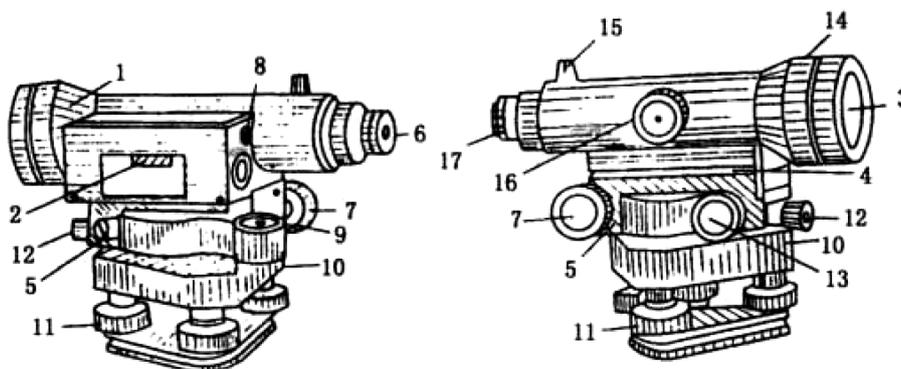


图2 DS3型微倾水准仪

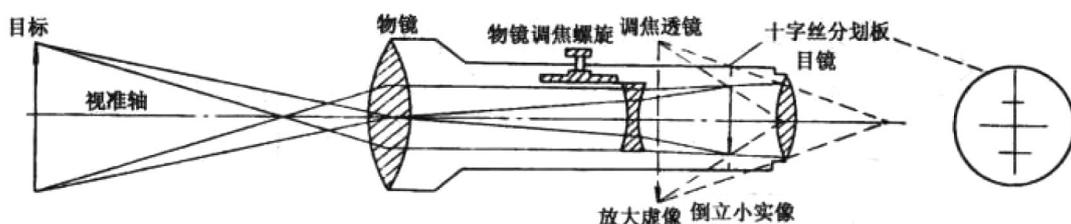


图3 望远镜成像原理

圆水准器用玻璃制成,其内装有酒精和乙醚的混合液,密封高温冷却后形成圆气泡。圆水准器顶面内壁为球面,球面中心刻有一个圆圈,通过圆圈中心的球面法线 $L'$ 叫圆水准器轴。

气泡居中时,圆水准器轴就处于铅垂位置,如图2-4所示,此时只要圆水准器轴平行于仪器竖轴,则仪器竖轴就处于铅垂位置。

气泡不居中时,每偏离2mm,圆水准器轴所倾斜的角度叫圆水准器分划值。DS3型微倾水准仪圆水准器分划值一般为872mm。

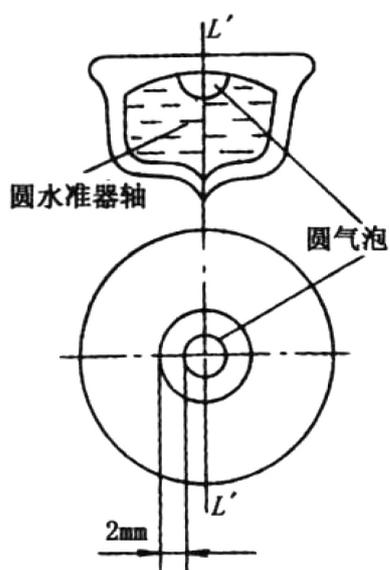


图4 圆水准器

## (2) 长水准管

长水准管是内壁纵向磨成圆弧状的玻璃管,其内装有酒精和乙醚的混合液,密封高温冷却后形成一个长气泡,管上对称刻有间隔为2mm的分划线,长水准管内壁圆弧中心点为长水准管的零点。

为了提高气泡居中精度以便于观测,在长水准管上方装有一组棱镜,将长水准管气泡两端泡头的一半影像反射到目镜旁边的气泡观察孔中。当气泡居中时,两个半泡影就符合在一起;若两个半气泡互相错开,则表明长水准管气泡不居中,此时通过旋转微倾螺旋可使气泡(即两个半气泡)符合。测量上将这种带有符合棱镜的水准器叫符合水准器<sup>[2]</sup>。

微倾螺旋的作用是在水准仪接近水平时,通过抬高或降低望远镜的一端,使符合气泡符合,从而使水准仪视线精确水平。

## 2.1.3 基座

基座主要由轴座、脚螺旋和连接螺旋组成。轴座用来支撑仪器上部,连接螺旋用来连接仪器与三脚架,通过调节脚螺旋可使圆水准气泡居中,从而整平仪器。

## 2.2 水准尺

水准尺是带有刻度的供测量照准读数使用的标尺。它用伸缩性小、不易变形的优质木材或玻璃钢制成。常用的水准尺有塔尺和双面尺两种,如图2-5所示。

### 2.2.1 塔尺

塔尺是由2~3节尺子套在一起形成的塔状水准尺。尺长3~5m,尺底部为0,塔尺上按1cm的刻度涂以黑白相间的分格,并在分米和米处标注数字。塔尺携带方便,但因存在接头误差一般用于较低精度的水准测量。

### 2.2.2 双面尺

双面尺又称红黑面尺,每两根组成一对,尺长均为3m。每根尺的黑面从0开始,按1cm的刻度涂以黑白相间的分格。每根尺的红面也按1cm的刻度涂以红白相间的分格,但起点不同,一根为4.687m,另一根为4.787m,这样注记是为了校核观测时的读数错误。双面尺一般用于精度要求较高的水准测量。

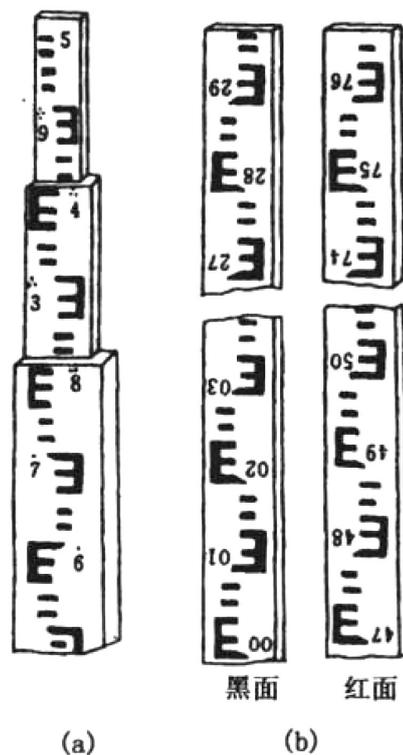


图5 水准尺

(a) 塔尺; (b) 双面尺

## 2.3 尺垫

尺垫用生铁铸成,一般呈三角形,如图 2-6 所示。中央凸出 1 个小半球,半球顶部用来支撑水准尺并作为转点的标志。尺垫下有 3 个支点可插入土中,以防止立尺点位移动和水准尺下沉。

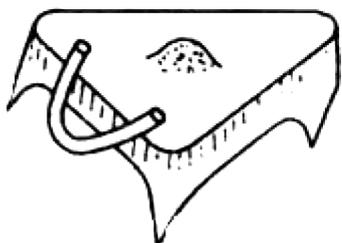


图 6 尺垫

## 3 水准仪的使用

水准仪的使用包括安置水准仪、粗略整平、调焦与瞄准、精平和读数。

### 3.1 安置水准仪

打开三脚架,调节架脚长度,使仪器高度与观测者身高相适应,目估架头大致水平,取出仪器放在架头上,用连接螺旋将其与三脚架连紧,踩紧脚尖。

### 3.2 粗略整平

粗平就是转动仪器脚螺旋使圆水准气泡居中,从而使仪器视线粗略水平。具体操作步骤如图 7 所示。当气泡未居中时,先任选一对脚螺旋,将圆水准器转至该两个脚螺旋的中间,双手分别握住脚螺旋做相反的等速转动,将气泡调至这两个脚螺旋连线的垂直平分线上,再调节第三个脚螺旋使气泡居中<sup>[3]</sup>。粗平过程中,应注意气泡移动方向与左手大拇指转动方向一致。

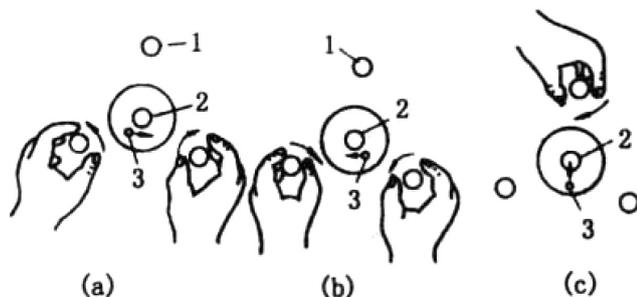


图 7 水准仪的粗平

1. 脚螺旋; 2. 中心圆圈; 3. 气泡

### 3.3 调焦与瞄准

调焦与瞄准的作用是使观测者能通过望远镜看清楚并对

准水准尺,以便正确读数。

(1) 目镜调焦。将望远镜照准远处明亮背景,旋转目镜调焦螺旋,使十字丝最清晰。

(2) 粗略瞄准。松开制动螺旋,转动望远镜,用准星和照门瞄准水准尺后,拧紧制动螺旋。

(3) 物镜调焦。转动调焦螺旋,使水准尺的像清晰地落在十字丝分划板上。

(4) 精确瞄准。转动微动螺旋,使十字丝竖丝大致照准水准尺的中间。

(5) 消除视差。由于调焦不准,水准尺的像并不落在十字丝分划板上,此时,眼睛在目镜旁上下移动,就会发现十字丝和尺像有相对移动,这种现象称为视差。视差的存在会影响测量结果的准确性,因此,测量中必须消除视差。方法是仔细地选择物镜调焦,如果十字丝没调到“最清晰”,则应先调好十字丝再进行物镜调焦,直到视差消除为止。

### 3.4 精平

精平是在读数前转动微倾螺旋使符合水准气泡符合,从而使视准轴精确水平。旋转微倾螺旋时,大拇指的运动方向与符合气泡中左侧半个气泡像的移动方向一致。当望远镜转到另一方向观测时,符合气泡不一定符合,应重新精平,待气泡符合后才能读数<sup>[4]</sup>。

### 3.5 读数

气泡符合后,应立即读取十字丝横丝在水准尺上的读数。读数前要清楚水准尺的注记方式,读数时要迅速准确。由于水准尺的像是倒立的,因此应自上而下、从小到大地读数,一般先估读出毫米数,然后报出全部四位读数。图 8 中水准尺的读数分别是 1.274m 和 0.560m。

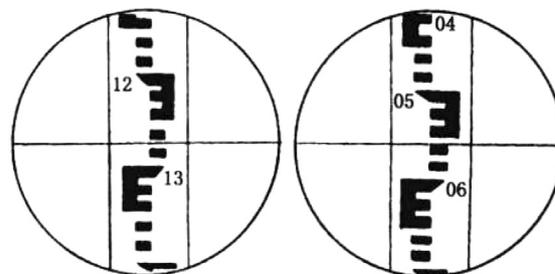


图 8 水准尺读数

水准测量中,精平与读数是两项不同的操作步骤,但具体作业时却把这两项操作视为一体,即精平后再读数。读数后要立即检查气泡是否仍然符合,只有这样才能获得准确的

观测成果。

## 4 普通水准测量

### 4.1 水准点和水准路线

#### 4.1.1 水准点

水准测量是从已知高程点开始的，中国测绘部门根据青岛水准原点，在中国范围内埋设了很多点，并用水准测量方法测算出这些点的高程以作为测量高程依据的地面点，这些点就是水准点，用BM表示。水准点按精度高低可以分为I、II、III、IV四个等级，中国等级水准点必须埋设水准标志，并绘出点之记，其埋设方法在《中国国家水准测量规范》中有明确规定。工程建设中进行的多为W等以下的普通水准测量，普通水准测量水准点的埋设如图2-9所示。需长期保存的永久性水准点一般用混凝土或钢筋混凝土制成并按规定埋设，不需长期保存的临时水准点可用木桩打入地面，桩顶打上铁钉作为标志，或直接选用地面上硬岩石作为水准点。

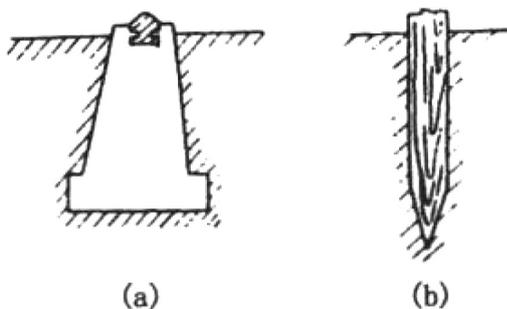
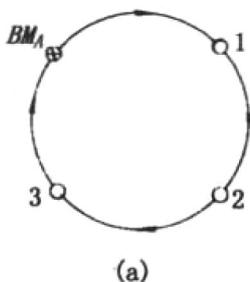


图9 水准点

#### 4.1.2 水准路线

水准测量所经过的线路叫水准路线。水准路线有单一水准路线和水准网两种。这里仅介绍比较简单的单一水准路线。单一水准路线有3种基本布设形式。

##### (1) 闭合水准路线



从某一已知高程水准点出发，沿若干待测高程点进行水准测量，最后又回到原已知点所构成的环形路线叫闭合水准路线，如图10(a)所示。

##### (2) 附和水准路线

从某一已知高程水准点出发，沿若干待测高程点进行水准测量，最后测到另一已知高程水准点所构成的路线叫附和水准路线，如图10(b)所示。

##### (3) 支水准路线

从某一已知高程水准点出发，沿若干待测高程点进行水准测量，既不闭合也不附和的路线叫支水准路线，如图10(c)所示。为了校核，支水准路线应进行往返测量。

(a) 闭合水准路线；(b) 附和水准路线；(c) 支水准路线

### 4.2 水准测量的方法与校核

水准测量时，当所测两点相距较远或高差较大时，不可能安置一次仪器就测出两点间高差，如图11所示。此时，必须先选若干个过渡点，将测量路线分成若干段进行观测，这些过渡点叫转点，用TP表示。显然，每安置一次仪器就可测出一段高差，根据式可得：

$$h_1 = a_1 - b_1$$

$$h_2 = a_2 - b_2$$

.....

$$h_n = a_n - b_n$$

将上述各式相加得：

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

高差测出后，根据起始点  $BM_A$  的高程，计算  $B$  点高程：

$$H_B = H_A + \sum h$$

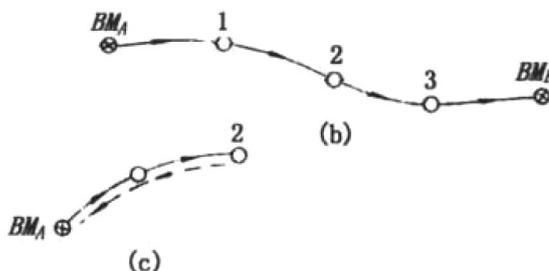


图10 水准路线

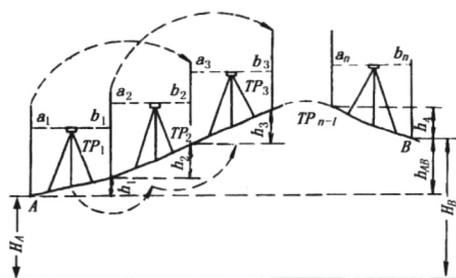


图 11 水准测量的方法

现仍以图 11 为例,介绍普通水准测量的观测方法、水准测量校核方法。

#### 4.2.1 观测方法

(1) 测站观测与记录计算。选好第一个转点  $TP_1$ , 在  $BM_A$  和  $TP_1$  两点间安置仪器进行第一站观测。测站观测步骤如下:

A. 安置并粗平仪器。

B. 瞄准后视点(A)上的后视尺,精平后读黑面中丝读数,记入表 1 中第 3 栏。

表 1 水准测量观测手簿

测站	点号	水准尺读数/m		高差/m		高程	备注
		后视(a)	前视(b)	+	-		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	$BM_A$	0.676				49.872	
	$TP_1$		0.343	0.333			
2	$TP_1$	1.265		0.573			
	$TP_2$		0.692				
3	$TP_2$	0.843		0.419			
	$TP_3$		0.424				
4	$TP_3$	1.002			0.494		
	$BM_B$		1.411			50.788	
计算		$\Sigma a = 3.786$	$\Sigma b = 2.870$	$\Sigma h = +1.325$	$-0.494$		
校核		$\Sigma a - \Sigma b = +0.916$		$\Sigma h = +0.916$	$\Sigma h = +0.916$		

C. 瞄准前视点( $TP_1$ )上的前视尺,精平后读中黑面中丝读数,记入表中第 4 栏。

D. 计算测站高差,并将结果记入表中第 5 栏或第 6 栏。

选好第二个转点  $TP_2$ ,将水准仪搬至  $TP_1$ 、 $TP_2$  两点的中间,  $BM_A$  点上的水准尺移至  $TP_2$  点,按上述测站观测方法进行第二站的观测、记录和计算工作(第二站的后视点为  $TP_1$ ,前视点为  $TP_2$ )。同时依次观测至终点结束。

(2) 高程计算。计算 B 点高程,记入表 2-1 中第 7 栏。

(3) 计算校核。水准测量要求每页记录都要进行计算校核,如表 2-1 中最后一栏的计算,先分别计算出  $\Sigma a$ 、 $\Sigma b$ 、 $\Sigma h$ ,若  $\Sigma a - \Sigma b = \Sigma h$  及  $H_B - H_A = \Sigma h$ ,则说明计算正确。

#### 4.2.2 水准测量校核方法

计算校核只能检查出计算有无错误,不能检查观测是否有误。因此,水准测量中还要采用一定的方法进行校核。

##### (1) 测站校核

为保证测量精度,在每站观测时都要进行测站校核。测站校核常用双面尺法和变动仪器高法。

A. 双面尺法。用双面尺的红、黑面所测高差进行校核,当这两个高差之差并不大于 5mm 时,取其平均值作为该站高差,否则应重测。

B. 变动仪器高法。若不用双面尺观测,可在测站上用不同的仪器高(高度相差 > 10 cm)观测两次高差,若这两个高差之差并不大于 5mm 时,则取其平均值,否则应重测<sup>[5]</sup>。

##### (2) 路线校核

测量工作不可避免地会产生误差,测站校核只能检查出每个测站的观测计算是否符合要求,对一条水准路线而言,有些误差在一个测站上反映不很明显,但随着测站数的增多,这些误差积累起来就有可能使整条水准路线的测量成果产生较大的差异。因此,水准测量外业结束后,还要对水准路线高差测量成果进行校核计算。

## 5 结语

水准测量直接影响着工程测绘。近年来,随着社会经济与信息科技的快速发展,水准测量技术逐渐被应用到社会发展建设的各个领域。水准测量已经成为城市工程、水土规划、地质勘测等建设中不可缺少的重要一环,几乎覆盖国家经济基础服务建设、国防军事、震害防御等各个事业领域。熟知水准仪和水准测量,才能更好地为工程测绘奠定良好的基础。

## 参考文献

- [1] 朱善铿. 精密水准测量中电子水准仪的应用[J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2013(18):1-6.
- [2] 孟凡影. 精密水准测量中数字水准仪应用探究[J]. 住宅与房地产, 2019(06):269.
- [3] 陈均. 浅谈数字水准仪应用对水准测量的影响[J]. 江西测绘, 2007(S1):59-60.
- [4] 肖进丽, 李松, 胡克伟. 几种数字水准仪标尺的编码规则和读数原理比较[J]. 测绘通报, 2004(10):57-59.
- [5] 赵瑞, 杨晋陵, 王海涛, 等. 数字水准仪 SPRINTER200M 的试验与评述[J]. 测绘技术装备, 2005(04):42-46.