

測量學講義

下 冊

沈陽農學院

下 册 目 录

第四篇 水准測量

第十三章 水准測量的基本知識	1
§ 93 高程測量的目的和种类	1
§ 94 几何水准測量的原理	1
§ 95 地球曲率和折光的影响	2
§ 96 水准仪的构造和类型	3
§ 97 水准尺和尺垫	5
§ 98 定鏡水准仪的檢驗和校正	6
§ 99 活鏡水准仪的檢驗和校正	7
§ 100 水准点	9
§ 101 水准測量的方法	11
§ 102 水准測量的測站校核	13
§ 103 水准測量的成果校核和調整	14
§ 104 用波波夫法調整水准网	15
§ 105 作水准測量时应注意的事项	17
第十四章 路綫水准測量和面水准測量	19
§ 106 路綫測量的概念	19
§ 107 路綫縱断面水准測量	21
§ 108 横断面水准測量	22
§ 109 在陡坡上的水准測量	24
§ 110 縱断面和横断面图的繪制	24
§ 111 面水准測量的概念	26
第十五章 曲綫测定	27
§ 112 曲綫元素和曲綫主点	27
§ 113 直角座标法测定圓曲綫	28
§ 114 偏角法测定圓曲綫	29

第五篇 視距測量

第十六章 視距測量	33
§ 115 一般概念	33
§ 116 視距法原理	33
§ 117 視距常數的測定	36
§ 118 三角高程測量的原理	37
§ 119 三角高程測量基本公式的變換	38
§ 120 視距測量用的儀器	38
§ 121 哈滿自計視距儀的使用和讀尺	40
§ 122 視距測量的計算工具	41
§ 123 視距經緯儀的豎直度盤	45
§ 124 豎盤零位和指標差。傾斜角的計算	46
§ 125 視距導線	49

第六篇 平板儀地形測量

第十七章 地形和它的等高表示法	51
§ 126 地形的主要類型	51
§ 127 用等高綫表示地形的概念	51
§ 128 等高綫的特性	53
§ 129 等高綫的繪制	54
§ 130 用等高綫表示的幾種基本地形	57
第十八章 平板儀地形測量	59
§ 131 地形測量的種類	59
§ 132 平板儀測量的概念	59
§ 133 平板儀的構造	60
§ 134 平板儀的檢驗和校正	60
§ 135 平板儀的安置	64
§ 136 平板儀測量的方法	65
§ 137 平板儀地形測量的控制網	68
§ 138 圖解三角網的高差計算和調整	71
§ 139 平板儀碎部測量	73

§ 140 平板仪与经纬仪、水准仪的配合应用	74
§ 141 小平板仪与经纬仪的配合应用	74
第十九章 地形图的应用及其复制	76
§ 142 地形图的分幅编号	76
§ 143 地形图元素	79
§ 144 图上数学元素的应用	79
§ 145 图上等高线的应用	81
§ 146 地形图的复制	84
§ 147 缩放仪的构造及其使用	86

第七篇 三角測量

第二十章 国家控制网的概念	89
§ 148 建立国家控制网的意义	89
§ 149 建立国家平面控制网的方法	89
§ 150 国家平面控制网的布置	90
第二十一章 小三角測量	93
§ 151 一般概念	93
§ 152 小三角測量的图形	93
§ 153 选点、建标和埋石	94
§ 154 基线丈量	94
§ 155 基线长度的計算	95
§ 156 角度观测	99
§ 157 三角鎖的近似平差	99
§ 158 中心多边形的近似平差	104
§ 159 四边形的近似平差	106
§ 160 线形三角鎖的平差	108
第二十二章 交会定点	112
§ 161 前方交会	112
§ 162 后方交会	114
§ 163 双点定位	118
第二十三章 天文方位角的測定	119
§ 164 天球概念	119
§ 165 定位三角形	120
§ 166 太阳高度法測定天文方位角	120

§ 167 同高观测天体来测定方位角.....	123
§ 168 用日圭法测定真子午线方向.....	124

第八篇 其 它

第二十四章 航空摄影测量的一般知识.....	127
§ 169 摄影测量的研究对象、分类及其优越性.....	127
§ 170 摄影测量在社会主义经济建设国防建设中的重要性.....	128
§ 171 航空摄影的种类及其特点.....	128
§ 172 航空象片的几何特性.....	129
§ 173 航空摄影测量的简要过程.....	132
§ 174 航空象片的判读.....	133
第二十五章 草 测.....	135
§ 175 草测的意义和应用.....	135
§ 176 直线定向和角度的测繪.....	135
§ 177 距离和高差的测定.....	136
§ 178 草测作业.....	138

第四篇 水准測量

第十三章 水准測量的基本知識

§ 93 高程測量的目的和种类

在經緯仪測量一篇里只談到地面点平面位置的測量問題，其結果仅可繪出平面图。但为了工程上的需要，往往必須說明某一地区的地面起伏的情况，这就需要高程測量，根据測量結果，繪出具有等高綫的地形图。有时需要說明沿着某一路綫的地面起伏情况，就需要測繪所謂断面图（縱断面图及橫断面图）。

高程測量归根到底是測出兩点間的高差，然后再根据一点的已知高程，就可計算另一点的高程。測定高差可以用各种不同的仪器和方法来进行，一般分为三种方法：

1. 几何水准測量：此法是利用水平視綫在水准尺上所截取的讀数来直接測定兩点間的高差，应用的仪器是水准仪，是高程測量中最精确的方法，也可以把它簡称为水准測量，它的基本原理将在下一节詳述。

2. 三角高程測量：它是根据兩点間的水平距离和傾斜視綫的傾斜角，利用三角学公式計算高差的一种方法。这一方法的精度較差，但一次就可以測出較远兩点間的高差，或較大的高差。

3. 气压高程測量：它是根据不同地点的气压求出高差的方法。应用的仪器是气压計。用这种方法不能得到很可靠的結果，因而只用于草測工作或精度要求不高的工作中。

为了滿足全国性的地形測量或修建各种工程建筑物的測量以及其他目的測量工作的需要，在全国範圍內建立統一的高程控制系統是非常必要的。

在全国範圍內高程控制点的高程是应用几何水准測量方法測定的。这些高程控制点称为水准点。国家水准点的高程，我国規定以青島的平均海面（黃海平均海面）作为起算面。全国性水准測量分为 I、II、III、IV 四个等級。它的精度，路綫长度，水准点的密度由国家測繪总局的測量規範来規定。

§ 94 几何水准測量的原理

水准測量所用的仪器是水准仪和水准尺。水准仪的主要部分是望遠鏡和水准器。当

水准气泡居中时，望远镜给出水平视线，利用水平视线念出立在两点上的水准尺读数，这样就可以比较出两点间的高差。

如图 161，欲测出 B 点超出 A 点的高差。在 A、B 两点上竖立水准尺，并在其中間安置水准仪。当视线水平时，讀出尺上讀数 a 和 b 。由图可以看出，高差

$$h = a - b \quad (57)$$

如果水准测量是根据 A 测出 B 对 A 的高差，则称 a 为后視讀数， b 为前視讀数。两点間的高差等于后視讀数减前視讀数。如所算得的高差为正号 (+)，即前視点高于后視点，如为負号 (-)，即前視点低于后視点。

如果 A 点的高程 H_A 为已知，B 点高程 H_B 为：

$$H_B = H_A + h = (H_A + a) - b \quad (58)$$

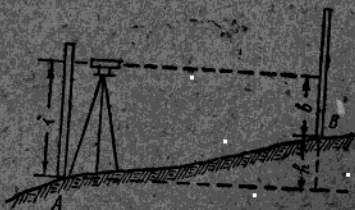


图 162

式中 $(H_A + a)$ 是仪器的水平视线的 高程，称为仪器高程。从这个式子可以看出，有两种方法计算高程：

1. 先算高差，再加已知点高程；
2. 先算仪器高程，再减去前視讀数。

把水准仪放在两点之間测高差的方法称为中間法。也可以把水准仪放在 A 点附近 (图 162)，量测出仪器

高 i (视线超出 A 点的高度，和仪器高程的意义不同。) 以代替中間法的后視讀数，这种方法称为向前或前視法，而高差

$$h = i - b \quad (59)$$

安置仪器一次测定两点間的高差称为简单水准测量，一般只能测出相隔 100~300 米的两点的高差。如果距离較远，需要进行多次的简单水准测量，称为复合水准测量。这种方法将在以后詳述。

§ 95 地球曲率和折光的影响

因为大地水准面是弯曲的面，只有按平行于这个面的视线，我們才能念出应有的讀

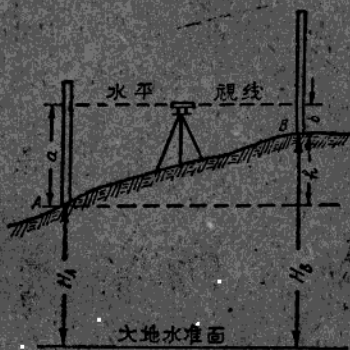


图 161

数。但如图 163 所示，根据水平视线念出的读数将包括误差 C ，而使读数过大了。误差 C 可以用 § 8 的公式

$$(3) \text{ 计算, 就是 } C = \frac{d^2}{2R}, \text{ 式中 } d$$

是两点间的距离, R 是地球的平均半径 (6371 公里)。

实际上由于折光的影响, 视线不是水平, 而是弯曲的。它的曲率半径

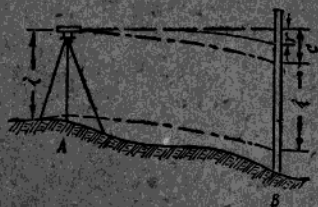


图163

R_1 比地球的平均半径大而等于 $\frac{R}{K}$, 此地 K 是折光系数, 在 0.1 到 0.22 之间, 在中午 K 的数值最小。一般采用 0.14。折光使念出的读数小了 r ,

$$\begin{aligned} \text{而 } r &= \frac{d^2}{2R_1} = \frac{d^2}{2\frac{R}{K}} = K \frac{d^2}{2R} \\ &= 0.14 \frac{d^2}{2R}. \end{aligned} \quad (60)$$

把两种误差合在一起, 用 f 代表, 我们有

$$f = \frac{d^2}{2R} - 0.14 \frac{d^2}{2R} = 0.43 \frac{d^2}{R}. \quad (61)$$

当 $d=100\text{m}$ 时, $f=0.7\text{mm}$ 。正确读数等于念出的读数减掉总误差 f 。

用 a 和 b 代表念出的后视读数和前视读数, f_a 和 f_b 代表后视读数的总误差和前视读数的总误差, 那末,

$$\text{高差 } h = (a - f_a) - (b - f_b) = (a - b) - (f_a - f_b).$$

显然, 当仪器恰好放在离两点等距离的地方时, $f_a = f_b$, 这样就能消除地球曲率和折光的影响了。

§ 96 水准仪的构造和类型

由水准测量原理知道, 水准仪的主要构造部分应有望远镜和水准器, 并且要求视准轴与水准管轴相互平行以便得到水平的视准轴。此外, 还有连接望远镜的支架, 仪器的竖轴, 基座和操纵望远镜水平旋转的制动螺旋与微动螺旋等。

水准仪的望远镜, 水准器和支架的相互位置和连系方式各不相同, 但主要可分为两种类型: 定镜水准仪和活镜水准仪。

活镜水准仪是望远镜可以在支架上活动的水准仪, 有的只能在支架上翻身旋转, 有的还可以调头安放。可以详细分为:

1. 水准管附在望遠鏡上的活鏡水准儀，如图 164-a 望遠鏡可在支架上翻身旋轉，並可以調頭安放。

2. 水准管附在望遠鏡上，但望遠鏡只能在支架上翻身旋轉 180° ，水准管是双面水准管。

3. 水准管附在支架上的活鏡水准儀，如图 164-b。望遠鏡可在支架上翻身旋轉，并可調頭安放。

定鏡水准儀是望遠鏡和與它相連的水准器不能在支架上翻身旋轉或調頭安放，如图 164-c 所示。

新式的水准儀都是水准器附在望遠鏡上的定鏡或活鏡水准儀。它的特点之一是備有一個圓盒水准器和使望遠鏡及管狀水准器同時傾斜的微傾螺旋。借水准儀的腳螺旋可以使圓盒水准氣泡居中，這時儀器的豎軸就大致在豎直位置了；此後借微傾螺旋可使視准軸很快地水平，因而加快了儀器的正平速度。

新式水准儀的另外一個特点是裝有符合水准器（图 165）。借一組稜鏡的折光作用，我們可以在目鏡旁的一個放大鏡內，或在目鏡視野內看到一半氣泡兩端的象（图 166）；左面的是一端，右面的是另一端。當利用微傾螺旋使氣泡端點的象符合時，如图 165-b 所示，氣泡就居中了；否則就不居中。這種構造不但使氣泡的位置便于觀察，而且氣泡兩

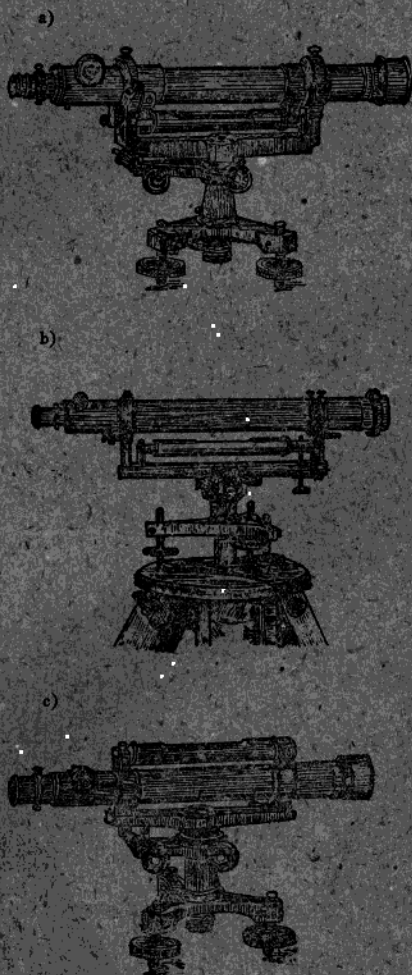


图164

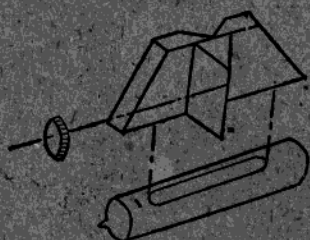


图165

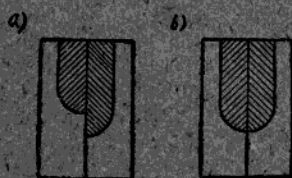


图166

端的象錯开的距离等于气泡偏离中央的距离的一倍，因而能提高气泡居中的精度。

§ 97 水准尺和尺垫

水准尺是用来量出从地面点到水平视线之间的竖直距离的尺子。水准尺通常是用于干燥的椴木或松木狭长板制成的。尺子长3—5m，宽8—10cm，厚2—3cm，尺底有铁



图167



图168



图169

片包住。有的水准尺还附有水准器，使我们能更准确地把尺子扶直。

尺子可以做成整体的（图167-a），折叠的（图167-b），或伸缩式的（图167-c），后两种是用于地面坡度较大的情况之下，这时要用更长的尺子，但精度较差。

尺子正面先涂上白漆，然后用手工或机器漆分划。三、四等水准测量要用双面尺，一面是黑色分划，另一面是红色分划，而两面分划线的注记相差一个常数，以便检查在两面念出的读数。

在土质较松的地区进行水准测量时要用尺垫（图168）或尺钉（图169），把水准尺放在上面，以免尺子下沉。

§ 98 定镜水准仪的检验和校正

水准仪应满足的主要条件是视准轴应和水准管轴平行。就严格的意义来说，它包括视准轴和水准管轴在同一个平面内并且互相平行。其次是十字丝横丝应垂直于仪器的竖轴，及水准管轴垂直于仪器的竖轴。最后一个条件对于装有圆盒水准器及微倾螺旋的水准仪来说，就变为：圆盒水准器的轴应平行于仪器的竖轴。

下面先谈一定镜水准仪的检验和校正。

1. 使水准管轴垂直于仪器的竖轴。

对于没有微倾螺旋的水准仪，这个检验和校正同经纬仪上盘水准器的检验和校正一样。初步正平仪器，然后转动望远镜使它平行于相对两个脚螺旋的方向（如果只有三个脚螺旋，就平行于相邻两个的方向），并用脚螺旋使水准管的气泡居中。将望远镜绕仪器竖轴转 180° ，如果气泡仍旧居中，表示这个条件是满足的；否则，就要校正。用校正针拨动水准管一端的两个螺旋帽，先松开一个，然后旋紧另一个，使气泡退回一半。重复检验和校正几次，直到条件满足为止。

对于有微倾螺旋的水准仪，就检验和校正圆盒水准器，方法仍旧相同。

2. 使十字丝横丝垂直于竖轴（也就是使它在垂直于竖轴的平面内）。

当这一条件满足之后，竖轴竖直时，横丝就水平了，这时根据横丝的任何部分念出的读数都是相同的，都是正确读数。它的检验和校正方法是将望远镜对着离仪器约50m的墙或电杆，这时仪器不必正常，用铅笔在墙上或电杆上标明十字丝所对的点子。慢慢转动望远镜，同时观察所标明的点子是否在横丝上移动。如果点子离开横丝，横丝就需要校正。松开十字丝环上相邻两个螺旋，转动十字丝环到这样的位置，当望远镜转动时，点子不离开横丝，然后拧紧螺旋。这种检验和校正常需要做几次才能得到满意的结果。请注意有些仪器不能做这种校正时，这个条件由仪器制造厂保证。

3. 使视准轴平行于水准管轴。

在地上选A、B两点，相隔约50m，并在这两点放尺垫或打木桩（图170）。把水准仪安置在中间，念后视读数 a 和前视读数 b 。如果视准轴不平行于水准管轴，那末气泡居中时所念出的读数就包含误差 x ，由图170可知， $x = D \tan \alpha$ ，式中 D 是仪器离尺子的距

角， α 是視准軸傾斜的角度。因為儀器放在 AB 兩點中間，讀數 a 和 b 也包含同樣的誤差。正確的高差 $h = (a - \alpha) - (b - \alpha) = a - b$ 。再把儀器搬到 A 點，使目鏡離開 A 點的水准尺不到 1cm，並且使目鏡對着這個尺子（圖 171）。正平儀器後，從物鏡一

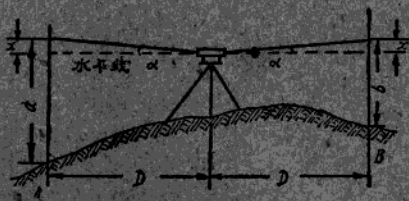


圖 170

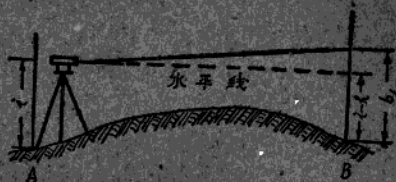


圖 171

頭從望遠鏡內看過去，用鉛筆指在尺上目鏡中心對着的一點，以 i 代表這個讀數。這時轉動望遠鏡，念出 B 點尺上的讀數，以 b_1 代表。如果 $i - b_1$ 等於剛才求出的 h ，表示條件是滿足的；否則，要校正視准軸，使前視讀數 $= i - h$ 。校正時，用校正針校正十字絲環的上、下兩個螺旋，先松其中的一個，再擰緊另一個。這種檢驗和校正要重複做幾次，直到 $i - b_1$ 和 h 相差不超過 1—2 mm 為止。

對於有微傾螺旋的水准儀，如果十字絲不能校正，可先轉動微傾螺旋使十字絲橫絲對着應有的讀數，然後校正水准器使氣泡居中。

對於精密的水准儀，還要作下一項檢驗和校正工作。

4. 使水准管軸與視准軸在同一个平面內。

置平水准儀，使望遠鏡轉在一個或一對腳螺旋方向，另外兩個腳螺旋在兩側。在望遠鏡前數十米處立水准尺，当水准氣泡居中時，讀尺上讀數。然後均勻地轉動左右兩個腳螺旋各兩轉，使水准管向一側傾斜，再轉動前、後方向的腳螺旋，使水准尺上的讀數保持原來的讀數。看水准氣泡是否仍居中或已偏向一方，記下水准氣泡的位置。重複這項檢驗，不過這次使水准管向另一側傾斜，再觀察氣泡的位置。如果兩次的氣泡位置都居中或偏向同一方向約等距離，表示條件是滿足的，否則，用水准管的左右兩個校正螺旋校正水准管。

有的儀器不能做這項校正，這個條件由儀器製造廠來保證。

這項檢驗和校正應放在第 3 項校正之前進行。

§ 99 活鏡水准儀的檢驗和校正

I. 水准管附在望遠鏡上的活鏡水准儀（單面水准管）

1. 使望遠鏡的視准軸和幾何軸重合。

把望远镜对着离仪器 40—50m 的墙或电杆，并固定仪器，用铅笔在墙上或电杆上标明十字絲中心对着的点。打开固定望远镜在支架上所用的销钩，然后把望远镜绕它的几何軸轉 180° （翻身）。如果这时十字絲中心不再和标明的点重合（图 172），就表示望远镜的視准軸和几何軸不重合，需要加以校正。校正时拨动十字絲环的上、下两个螺旋，使橫絲向标明的点退回一半。同样拨动左、右两个螺旋使豎絲也向标明的点退回一半。这种檢驗和校正需要重复做几次。



图 172

2. 使十字絲橫絲垂直于仪器的豎軸。

檢驗方法和定鏡水准仪的这一步檢驗和校正相同。

如需校正，应旋动支架上的望远镜的阻碍螺旋，使望远镜轉到正确位置。当缺少这种螺旋时，就校正十字絲环，但应把这项校正放在第一步。

3. 使水准管軸和望远镜的几何軸在同一平面內。

固定仪器使它不能繞豎軸旋轉。用脚螺旋使气泡居中，打开销钩，使望远镜在軸承內繞它的几何軸稍稍向兩側旋轉。如果气泡的位置保持不变或都是向同一端移动，那末条件是滿足的；否則，就要用水准管一端的兩側螺旋进行校正。

4. 使水准管軸平行于望远镜圓环的底部素綫。

用脚螺旋使气泡居中，把望远镜从支架上取出，調头放置。如果气泡不再居中，拨动水准管一端的上下两个校正螺旋，使气泡退回一半。

5. 使水准管軸垂直于豎軸。

檢驗方法和定鏡水准仪相同，但要用支架上的校正螺旋来校正。

6. 圓环（軸頸）直径应相等。

如果两个圓环的直径不相等，視准軸就不平行圓环的底部素綫，也就是不平行于水准管軸。檢驗工作和檢驗定鏡水准仪的第三項相同，这时把活鏡水准仪当作定鏡水准仪来观测。直径不相等的圓环只能送工厂修理。

I. 水准管附在望远镜上的水准仪（双面水准管）

这种水准仪的望远镜不能調头放置，而只能在支架上翻身旋轉 180° ，所以也叫轉鏡式水准仪。水准管是双面水准管，在制造时已使两个水准管軸綫相互平行。这类新式水准仪都具有微傾螺旋和圓盒水准器，并且双面水准管有棱鏡符合观测的裝置。

1. 使支架上圓盒水准器的軸平行于仪器的豎軸。

同定鏡水准仪的該項檢驗和校正。

2. 使望远镜的視准軸和几何軸重合。

3. 使十字絲橫絲垂直于仪器的豎軸。

这两个条件同上面談到的活鏡水准仪的这两个檢驗和校正一样。

4. 使水准管軸和視准軸在同一个平面內。

这项檢驗和校正方法同定鏡水准仪第四項校正。

5. 使水准管轴平行于视准轴。

安平水准仪，并在离它约 50m 处立水准尺，然后在水准管两个位置时在尺上念读数，念读数前水准气泡应居中。如果条件是满足的，两次读数应相等。不然的话，两个读数的平均值就是视准轴和水准管轴平行时应有的读数，利用微倾螺旋使十字丝横丝对这个平均读数上，然后校正水准管的上下两个校正螺旋，使气泡居中。

Ⅱ. 水准管附在支架上的活镜水准仪。

1. 使望远镜的视准轴和几何轴重合。

2. 使十字丝轴横丝垂直于仪器竖轴。

以上两个条件的检验和校正同水准管附在望远镜上的活镜水准仪的这两步检验和校正一样。

3. 使水准管轴垂直于仪器的竖轴。

这个条件的检验和校正固定镜水准仪的这一步检验和校正一样。

4. 使望远镜的支架彼此相等。

用脚螺旋使气泡居中，瞄准离仪器约 50m 处的水准尺，并念读数（图173）。调头



图173

放置望远镜，再念读数。如果两次所得读数不同，就必须用支架上的校正螺旋抬高或降低一个支架，使横丝对着两次读数的平均值。

5. 圆环直径应相等。

和水准管附在望远镜上的活镜水准仪（单面水准管）的这一步检验相同。

§ 100 水准点

水准测量的第一步工作是在测区内选定水准点。按照规范拟定各级水准路线的计划图，并按规定的密度设立永久性或临时性的水准点。全国性水准测量至少要每隔 6 至 10 公里设立一点，城市居住区每隔 1 至 2 公里设立一点。水准点位置选定后，要用以下方

口上，或把特制的尺子用铁钉挂在图178的中心孔上。

3. 临时性水准点可用大铁钉打入建筑物的凸出部分便于立尺的地方，有时仅用红漆画出立尺点的位置，连铁钉也不打。写出水准点号数及机关名称。当没有建筑物可利用时，可埋设木柱，顶上打入圆头大钉做为标志。如图179，在斜面上写机关名称及水准

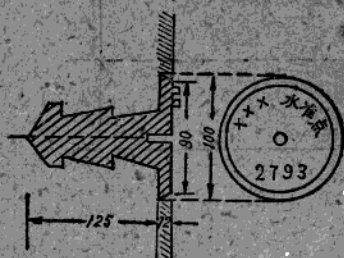


图178

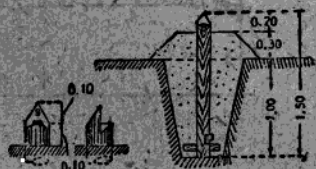


图179

点号数。

此外也容许利用永久性或临时性的平面控制点如三角点、导线点的中心标石作为水准点。

设立水准点后，应画图表示该点与附近地物的关系，注明号数及式样等。还应当委托地方机关保管。

§ 101 水准测量的方法

把简单水准测量方法重复进行多次，就叫做复合水准测量。一般简称为水准测量。

各级水准测量的工作细节虽不相同，但都是采用中间法的复合水准测量，因为当水准仪安置在两个水准尺的中间时（不一定在两尺点的直线上），（1）避免了水准仪主要条件（即视准轴平行于水准管轴）不满足的影响；（2）消除了地球曲率及折光的影响。

在图180中，设A点为水准点，其高程 H_A 为已知，欲求B点高程 H_B ，测量的方法是：

安置水准仪在1站，整平仪器后，念出后视尺上读数 a_1 ，前视尺上读数 b_1 ，然后搬仪器到2站，C点尺不动，把A点尺移到D点，再念后视尺读数 a_2 ，前视尺读数 b_2 。继续工作，直到路线终点B。

由图可以看出：

$$h_1 = a_1 - b_1,$$

