

測繪資料汇编

第 1 集

第 5 册

水准測量

測繪出版社

測繪資料匯編

第 1 集 第 5 冊

水 准 測 量

測繪出版社

1957·北京

測繪資料彙編

第1集 第5冊

水準測量

出版者	測繪出版社
	北京宣武門外永光寺西街3號
	北京市書刊出版業營業許可證出字第051號
發行者	新華書店
印刷者	地質印刷廠
	北京廣安門內教子胡同甲32號

編輯：何炎文 技術編輯：張華元 校對：白叔鈞

印數（京）1—2,700冊 1957年8月北京第1版

開本31"×43¹¹/₃₂" 1957年8月第1次印刷

字數75,000字 印張3¹¹/₃₂

定價(10)0.45元

目 錄

中國古代的水平測量	蘇楚書 (4)
“三轉點”水准測量法	周俊卿 (8)
对“三轉點水准測量法”的一点意見	王澤毅 (13)
水准測量受地球橢圓形的影响	黃靜安 (16)
精密水平測量	李謙若 (22)
大規模水平網的調整	潘家鏞 (35)
水准測量之正高改正	沙鍾瑞 (44)
水平測量木樁檢查法及尺墊檢查法	李繼文 (48)
水平測量方法的改進	楊士炯 (53)
水平測量方法的再改進 (直讀活動塔尺)	張中和 (59)
水准測量單程測量法	李繼文 (65)
精密水准中綫三站測量法和三綫三站測量法	閔 韶 (70)
“水平測量方法的改進”的輔助說明	陳祖东 (85)

中國古代的水平測量

薛楚書

水平測量的方法，在我國古代早已應用。在歷史上戰爭的時候，常見引水灌城的故事。但是要用水攻，事先須測量出水源與被攻城市的高度，方才可以決定。本篇所述的方法，是取材於明朝萬曆年間，一員武將所著兵書“登壇必究”，從第二十七卷攻城篇中採集而來的。這部兵書的著作者為淮陰王鳴鶴，著作的年代，是明神宗萬曆二十七年，也就是公曆1600年。換句話講，這部書的著作時期，是在十六世紀末葉。茲將原文引述于下：

夫水攻者，所以絕敵之道，沉敵之城，漂敵之廬舍，坏敵之積聚。百萬之眾，可使為魚鱉。……（中略）若平陸引水，勞力費工，利害相半。智伯以水攻而亡，此又水攻者之宜戒也。今存其法焉。故兵法曰以水佐攻者穰。凡水因地而成勢，謂源高于城，本高于末，則可以過而止，可以決而流；或引而絕路，或堰以灌城，或注毒于上流，或決壅于半濟。其道非一，須先設水平，測度高下，始可用之也。

水平者，木槽長二尺四寸。兩頭及中間鑿為三池。池橫闊一寸八分（恐为一寸八分之誤——作者注），縱闊一寸三分。池間相去一尺五寸。間有通水梁，闊二分，深一寸三分。三池各置浮木，木闊狹微小于池箱，厚三分，上建立齒，高八分，闊一寸七分，厚一分，槽平轉為關脚，高下與三等。以水注之，三池浮木齊起。眇目視之，三齒齊平，則為天平准。或十步，或一里，乃至數十里，目力所及，置照版度竿。亦以白繩計其尺寸，則高下丈尺分寸可知，謂之水平。

照版形如方扇，長四尺，下二尺黑，上二尺白，闊三尺，柄長一尺，可握。度竿，長二丈，刻作二百二十千分，每寸內小刻其分。隨其分向遠近，高下其竿。以照版映之，眇目視三浮木齒及照版。以度竿上尺寸為高下，遞而往視，尺寸相乘，山崗溝澗水之高下淺深，皆可以分寸度之。

以上水攻的方法，以及儀器的製造及應用，讓我們用白話文來注解一下：水攻的方法，在智伯的時候已經應用了。水的性能，是隨地

形高低之势而流動的。如果水源高于被攻的城市，就可引而灌城。在事前須先做水平測量，測出水源及被攻城市的高度，才可知这个水攻方法是不是可以应用。

水平測量的儀器，有三種：就是（一）水平，（二）照版，（三）度竿（圖1圖2，均照原書原圖影印）。

水平的形式，是在一塊長形的方木上，鑿成三個小池，並將小池間開一道槽，使水可以溝通。每一個小池中，放一塊浮木。將池中注滿了水，浮木就浮起來了。在应用的時候，只要用眼睛看三塊浮木的頂，是不是同在一道直綫上，就可以知道是不是天然的水准綫。記載地形的高低尺寸，用的是一根白繩，在古代軍營中，做測量的人多半不能書寫，所以用繩來記載尺碼。这个水平儀的原理，与現代的水准儀是完全相同的。現代水平儀，經過改良之后，已經不用水，而

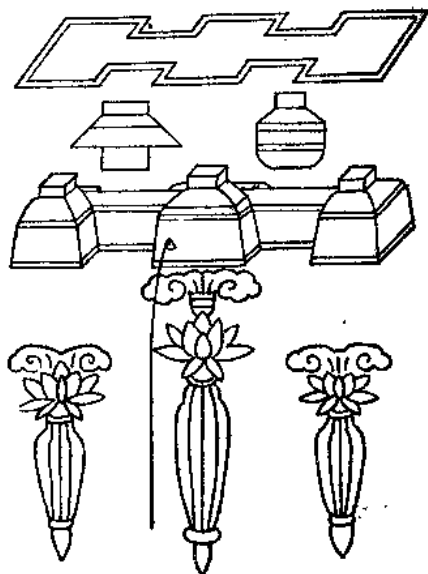


圖1. 水 平

用玻璃管中的酒精泡來代替了。筆者曾經按照規定的尺寸，依法仿制一具水平，贈与聖約翰大學博物館。在应用水平的时候，因为体積粗笨，未免不夠精確。但在原理上，則无可非議。

照版就是現代水平尺上的“標的”。在測量時，不容易看准水平尺上的尺碼，所以用照版來協助。這是一塊上半節黑色，下半節白色，旁邊開缺口的木板。如果这个缺口中，黑白分明交界的綫与水平上的三個浮木，用眼睛看了是在同一道水平綫上，再在缺口中，由另一個人去看放在就近的水平尺上的尺碼，就可很準確地將这个尺碼記下來。現代的“標的”已改良成中間孔的圓形物片。上面漆的顏色，采用的是紅白兩色。



圖 2. 照版与度竿

度竿就是現代測量用的水平尺。度竿的制造及用法，与水平尺完全相同。所謂“遞而往視”，就是先做一个“后視”再做一个“前視”的意义。“尺寸相乘”，就是將前后視相减的意思。所得的差数，就是兩处地形标高的高度。現代水平测量的原理，就在于测量出这个差数來。这样繼續的做下去，远在数十或数百里山崗溝澗中水的高度，与被攻城市的高度，究竟相差有若干尺，若干分寸，就可由此而得知其确数了。現代做水平测量的时候，水平尺及标的，都由一个人运用。因标的是安置在水平

尺上；而在古代照版与度竿分开，故由兩個人撑持，而同时运用。

根据以上的分析及解釋，我們可以得到下面几点結論：

（一）水平测量，在中國古代由于要引水攻城的动机，是常常采用的。“登壇必究”上所载的方法，无疑义地是从別的更古的兵書上抄錄而來。筆者因为没有很多很古的兵書，故不能确实指出其來源。至于是不是智伯所發明，亦很难确定。但是从歷史上看，远在春秋戰國时代，水攻法已被採用了。所以水平测量在中國为十六世紀以前所發明，是毫无疑义的，很可能远在唐宋以前就已發明。至于西方的水平测量方法，是不是由中國流傳过去，筆者却无从断定。

（二）水平测量，是由于軍事上的需要而逐步發展，并且流傳到后世。凡一切的工程建設及發明，在古代大都为軍事需要而起，随軍事而發展，中外皆同。故在古代只有軍事工程，而沒有非軍事工程，到了近代才有所謂土木工程，这一名詞在英文中叫作 Civil Engineer—

ing，意思就是說非軍事性的工程。譯作土木工程，似尚不恰當，如果保留原來意義，亦欠確切。

（三）水是人類最大的功臣，也是最大的敵人。如果我們細細想想，幾乎沒有一件工程不與水發生直接或間接關係。不用講治河等水利工程，與水有密切關係，其他如基礎、橋梁、發電設備、港埠、海塘等土木工程，都要利用天然形勢與人力去控制水的力量。所以史記上太史公在河渠書中，有“甚哉水之為利害也”的話，確可稱為有經驗的論斷。

（四）現代的水平測量，其精密性與準確性，殊非古代所能想像。而且天天還在進步，其品質與功用豈可同日而語；然我們固不可以古例今，傲然自滿，却也不應以今非古，卑視鄙棄；應該去闡揚古人發明之原理，証以今人創作之儀器，推陳出新，俾得青出于藍，精益求精，才能適應現代科學上日新月異的需要。

（轉載工程建設1950年總3期）

“三轉点”水准測量法

周俊卿

在平面測量中，不論是路綫測量城市測量或一个地区的地形測量，均需要精確地測出各个相当地方的高度，然后才能有根据地估計土石方及确定建筑物的位置，而定出整个工程的計劃。所以水准測量在平面測量中，占着非常重要的地位。

为了精密地測出各处高度，必須做好校对工作。所以作水准測量时，常是兩架水准仪同时進行，一架作正式施測，一架則作校对之用；或者在特别情形下，只有一架水准仪时，便先向前測一个相当段落（路綫測量常是一公里），而后回測到起点处，作为校对；如果校出兩次結果相差甚巨，那即表示本段測量一定出了錯，就必须重新再來。这是目前一般的測量情况，但是这种測水准的方法，实不能令人滿意，因为：

1. 如讀錯数字，或寫錯数字等，这一类的錯誤就不能随时發覺面加以糾正，因之即校出錯誤，也不知由那一点錯起，这样必須再从头來一次。錯誤一般是不易發見的，是覺察不出的。

2. 如球面差、視綫与縱軸不成垂直所生之差、折光差等这一类的自然誤差，就非常使測量者麻煩，甚至不能發覺，更說不上糾正了；这样，可能誤差愈積愈大。

作者此次参加中南公路局麻小測量隊水准組，只帶了一架仪器。因为时当炎夏，仪器时常出毛病，尤其过白塔河时（有六百公尺寬的沙灘）恰是中午，水泡既不标准，折光差又非常之大；在此种情況下，就非用双轉点法过河不可了。可是河床太寬，不但看不清楚，且兩岸高度懸殊，在此种尷尬情況下，偶然想起了現在的三轉点法。这是把双轉点法推广了一步，不过当时沒有將其系統化，僅在过河时一用；且原記載簿亦格格不入，直到回局后才逐漸整理出來。下面先提

一提雙轉點法，因為它是根據。

雙 轉 點 法

參考圖 1， b 點之高度已知，欲測出 a 點之高度。

假定有種種誤差存在，以致視線不能成水平，我們測時，先放水準儀于 b 尺附近，後視 b 尺得 bd ，前視 a 尺得 ac ；再放水準儀于 a 尺附近，仍以 b 尺為後視，得 bf ，前視 a 尺得 ae ，則每次高度差之和的二分之一，即為 a, b 二點真正高度差。

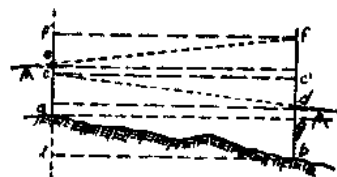


圖 1

$$\text{即} \quad \frac{(bd - ac) + (bf - ae)}{2} = bg$$

$$\text{或} \quad \frac{(Bs_1 - Fs_1) + (Bs_2 - Fs_2)}{2} = ELe_1 - ELe_2$$

因為儀器先後放在 b 尺及 a 尺附近，又因測時溫度、氣壓、距離等自然條件均相同，所以 dc' 等於 ef'

$$\begin{aligned} & \frac{(bd - ac) + (bf - ae)}{2} \\ &= \frac{(bg + gd - gd - dc') + (la + ae + ef' - ae)}{2} \\ &= \frac{(bg - dc') + (bg + ef')}{2} = \frac{2bg}{2} = bg \end{aligned}$$

于此可證明用雙轉點法可抵消一切誤差，而得到真正的結果。

此處所說的真正的結果，並非像幾何上所說的絕對正確的眞值，不過極近似而已，這在工程上言，已算滿意。再我們在應用時應注意的，就是在計算時，可一貫的以後視減前視，二者之差如為正就是上升，負就是下降，這樣可少些不必要的麻煩。以下是三轉點法。

三 轉 點 法

這可分兩種狀況討論：

A. 如果作精确的导线测量, 每点都应求出准确高度时, 可用下述方法(参考圖2及表1);

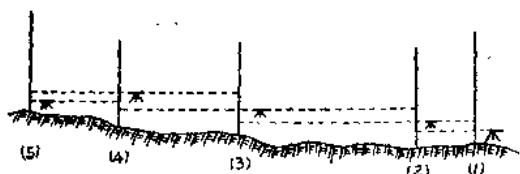


圖 2

表 1

測 點 (Station)	前視 (E.S.)	中視 (M.S.)	後視 (B.S.)	高度 (Elev.)	備註 (Note)
(1)		M_1	B_1	E_1	
(2)	F_2	M_2	B_2	E_2	
(3)	F_3	M_3	B_3	E_3	
(4)	F_4	M_4	B_4	E_4	
(5)	F_5	M_5		E_5	
.....					

仪器轉到測点(5)附近, 后視測点(4)得 B_4 , 中視測点(5)得 M_5 , 即告一段落。

計算: 測点(1)之高度(E_1)为已知。

$$\left. \begin{aligned} \text{測点(1)(2)第一次所測之高度差}(x_1) &= M_1 - F_2 \\ \text{測点(1)(2)第二次所測之高度差}(y_1) &= B_1 - M_2 \end{aligned} \right\}$$

$$\text{測点(1)(2)真正高度差} = \frac{M_1 - F_2 + B_1 - M_2}{2} = H_1$$

$$\therefore \text{測点(2)之高度} = E_1 + H_1 = E_2$$

測点(3)之高度(E_3)求法:

$$\begin{cases} x_2 = M_2 - F_3 \\ y_2 = B_2 - M_3 \end{cases}$$

$$H_2 = \frac{x_2 + y_2}{2}$$

測法: 測点(1)处高度(E_1)已知, 先放水准仪于測点(1)附近, 視測点(1)得 M_1 , 前視測点(2)得 F_2 , 再轉仪器于測点(2)附近, 后視測点(1)得 B_1 , 中視測点(2)得 M_2 , 前視測点(3)得 F_3 ; 再轉仪器于測点(3)附近, 后視測点(2)得 B_2 , 中視測点(3)得 M_3 , 前視測点(4)得 F_4 ; 以此类推, 如果最后一点是測点(5), 則

$$E_3 = E_2 + H_2$$

以后各测点高度求法，以此类推。

核算：本法可不必校对，如果校对，可用下法。

如核算测点 (1) (3)，则

$$\begin{aligned} E_3 - E_1 &= E_2 + H_2 - E_1 = E_1 + H_1 + H_2 - E_1 \\ &= \frac{M_1 - F_2 + B_1 - M_2 + M_2 + B_2 - F_3 - M_3}{2} \\ &= \frac{(M_1 + B_1 + B_2) - (F_2 + F_3 + M_3)}{2} \end{aligned}$$

或 后视之和减去前视之和之差之半，即该相当两点之高度差。

于此， M_1 之作用等于后视，所以核算时作为后视，而 M_3 之作用等于前视，所以核算时作为前视。

同理，如核算测点 (1) (5)，则如表 1，右上角诸数之和减去左下角诸数之和的差数之半，即该两点之高度差，表 1 中心之 M_2, M_3, M_4 已统统消去了。

B. 如果是路线测量，一般 20 公尺或 50 公尺一个樁，当然不能完全用上述方法，不过我们可与普通方法混合着用，即轉点水准标点用上法，中間点用普通法，参考表 2。

表 2

测点 Sta	水准高 H.T.	前视 F.S.	中視 M.S.	後視 B.S.	高 度 Ele.	備 註 Note
(1)	$E_1 + M_1$		M_1	B_1	E_1	
(2)		F_2			$E_1 + M_1 - F_2$	
(3)		F_3			$E_1 + M_1 - F_3$	
(4)		F_4			$E_1 + M_1 + F_4$	
(5)		F_5			$E_1 + M_1 - F_5$	
(6)						
(9)	$E_9 + M_9$	F_9	M_9	B_9	E_9	$= \frac{M_1 + B_1 - F_5 - M_9}{2}$
(13)		F_{13}	M_{13}		E_{13}	$= \frac{M_9 + B_9 - F_{13} - M_{13}}{2}$

表2所載除(1)(9)(13)為轉點需用三轉點法外，其他各測點均中間點，用普通測法。

优缺点

A. 缺点:

1. 因每點須多看一次，就需多用時間，在一般情形下，每日約可測四公里。

2. 計算較麻煩。

3. 須多一人拿水准尺，普通兩人，此需三人。

B. 优点:

1. 錯誤如前所述者，可以隨時發現，因為如表1所載($M_1 - F_2$)與($B_1 - M_2$)之值總差不多，在當場就可看出。

2. 誤差即或發生，亦可自動抵消；不致測了很遠距離後，因發現誤差，而不知從何處差起，引起必需從頭再測的麻煩。

3. 一架儀器已可勝任。

結語

表1表2所載之中視不是對中間點之視綫，乃因該點對前一點說是前視，對後一點說是後視，只好稱它為中視，以表明其特性。

三轉點法這名詞也是本人杜撰的，因為每點都需看三次，必需統一起來才能計算出其高度，名詞容有未當，尚待訂正。本文不過對測量工作上作了極簡單的改進，供測量者初步參考，希望各位先進予以更多的指正。

(轉載工程建設 1950 年總 10 期)

对“三轉点水准測量法”的一点意見

王 泽 毅

关于工程建設总第十期中所載“三轉点水准測量法”我有一点意見，現在提了出來供大家討論。

水准測量中主要消除誤差的方法，是使測时的前視与后視的距离相等。其原理为利用当时的自然条件及仪器差度皆等而使前視中的誤差与后視中的誤差相等；則由后視減前視时正好將誤差消除，如圖 1：



圖 1

仪器所在 C 点与 A 及 B 之距离相等，

$$AC = BC = l$$

ca 及 cb 为正常視綫（无仪器、折光等誤差时之視綫） ca' 、 cb' 为測时視綫（有仪器、折光等誤差）。

因为仪器及自然（折光，球面等）誤差全相同，所以使 ca' 及 cb' 所成之傾斜角相等，設等于 θ ，

則三角形 $aa'c \cong bb'c$ （因为此二三角形皆为直角三角形而 $ac = cb$ ， $\angle ac a' = \angle bc b'$ ），

所以 $aa' = bb'$ 即前視与后視中所生之誤差相等。

設 AB 二点之高度差为 h 。当視綫平时，

$$Bb - Aa = h.$$

但是实测时，則 A, B 之高度差为 $Bb' - Aa' = (Bb + bb') - (Aa + aa') = (Bb - Aa) + (bb' - aa')$

因为 $bb' = aa'$ $\therefore Bb' - Aa' = Bb - Aa = h$ 。

由此証明可以消除各种誤差而使測得之高度差无誤。

此法与实测时只要用步測前視、后視之距离量得大致相同即可，

因測量中的誤差值本屬不大，若前視與後視距離稍有不等，其影響亦極微，不致超出測量誤差之限度。

但有時限於測量時之地理環境，此法不能應用，如同三轉點法所講之過河測量，于前後視中間不能置放儀器，則必須用雙轉點法，此法之原理，亦不外即用等視距之原理（詳見三轉點測量法）使誤差消除。

三轉點法中最主要的缺點即是前後視的距離不能相等，如圖2（即

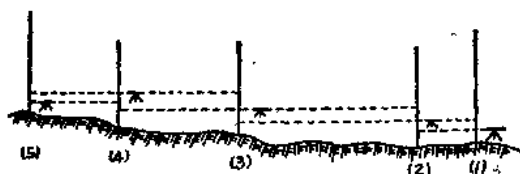


圖 2

之誤差并不能消除，證明如圖3。

先置儀器于A測(1)(2)得 M_1 及 F_2 再置儀器于B測(1)(2)得 B_1M_2 （詳見三轉點水准測量法）。

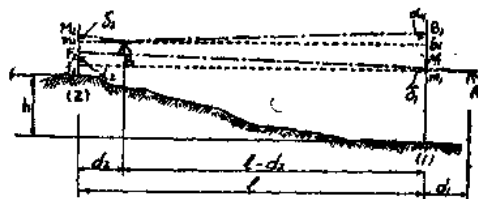


圖 3

第一次測得高度差為 $x_1 = M_1 - F_2$

第二次測得高度差為 $y_1 = B_1 - M_2$ 。

設 誤差 $M_1m_1 = \delta_1$ $M_2m_2 = \delta_2$

$$B_1b_1 = \alpha_1 \quad F_2f_2 = \alpha_2$$

則 $x_1 = (m_1 + \delta_1) - (f_2 + \alpha_2)$

$\therefore m_1 - f_2 = h$ （無誤差時視線）

$\therefore x_1 = h + (\delta_1 - \alpha_2)$

$y_1 = (b_1 + \alpha_1) - (m_2 + \delta_2) = (b_1 - m_2) + (\alpha_1 - \delta_2) \quad \because b_1 - m_2 = h$

$\therefore y_1 = h + (\alpha_1 - \delta_2)$

若取 x_1 及 y_1 之平均值為(1)(2)之真差則

$$\frac{x_1 + y_1}{2} = \frac{h + (\delta_1 - \alpha_2) + h + (\alpha_1 - \delta_2)}{2}$$

$$= h + \frac{(\delta_1 - \delta_2) + (\alpha_1 - \alpha_2)}{2}$$

若使誤差消除則須使 $\delta_1 - \delta_2 = 0$ (1), $\alpha_1 - \alpha_2 = 0$ (2), 若于測時使 $d_1 = d_2$ 还可能。

但是絕不能使 $l + d_1 = l - d_2$

若 $d_1 = l_2$ 則 $\delta_1 = \delta_2$ 則可滿足第一条件, 而第二条件 $\alpha_1 \neq \alpha_2$ 。

所以測得之高度差中仍含有誤差, $\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}$ 此值虽很小, 但諸次累積依可能影响測得的結果。

根据以上証明, 我提議將三轉点法每次置仪器的地位, 改为对称形 (如双轉点法) 这样可以使 $\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}$ 之誤差消除, 如圖 4。

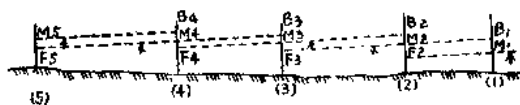


圖 4

不过如此測時, 除多用一水准尺外, 基本上已与双轉点方法相同。

(轉載工程建設 1951 年总 15 期)

水准測量受地球橢圓形的影响

黃 靜 安

我們在測量中使用的儀器，最主要的當然是經緯儀和水平儀。誰都知道在安平經緯儀的時候，必須使垂球對准椿頂小釘，也必須使水准管內的气泡居于中央。在安置儀器完善后，纔能開始施測工作。測驗以后所發現的閉合差，或用平差法，或用比例分配法予以修正。通常在 55 平方公里以上，始將地面認為球面，于是不屬於平面測量的範圍，而稱為大地測量了。普通大地測量，可以分為兩大類，一為三角測量就是大地測量的控制工作，來代替平面測量中的導線測量，則無論野外工作和室內計算，都是有其顯然的不同處。另一為水准測量，除在大地測量中大大提高其精密度，需用優良儀器，施測精密水准外，實與平面測量大同小異。因此可能存有模糊的概念，以為地球的橢圓形狀對於水准測量無甚影响，處處漠視，則將難免發生謬誤的情形，因此簡單的來談一談，希望讀者予以指正。

地 心 吸 力

在地面上決定垂球的方向，或使水准管的气泡居中，都是依靠着重力。所謂重力是由地心吸力和地球旋轉中的離心力所合成。

我們又知道萬有引力在於二質點之間，和質量成正比，和距離平方成反比的。

由於地球形狀接近圓球，故在近似法中，可按圓球計算。其次設想位在球面外，球面上或球面內各點，都受有圓球的質量吸力。

我們可依照基本假定，同質地殼的總共吸力，凡在球體以內的各點上等於零，在地球以外的或地殼面上的各點，則等於質點的吸力，並以地心點視為包含全部圓球質量所集中的質點。因為同質的圓球或任意同心排列成層的圓球作為同質球殼的總和來了解它。因此這種圓球