

水準測量

T.Φ.亞歷山大羅夫著

張志文譯

人民交通出版社

水準測量

T. Ф. 亞歷山大羅夫著
張 志 文 譯

人民交通出版社

本書研討水準測量的方法，現代測量儀器的型式，進行Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ等水準測量的方法以及水準路線的平差法。

在書中同樣也解決了水準綫過河和過山谷及其他障礙時確定高差以及路線水準測量等問題。

本書原為蘇聯卡霍夫克水力發電站、南烏克蘭和北克里木運河的勘測人員而寫，可供我國勘測工程師和技術員之用。

書号：15044·2021-京

水 準 測 量

Г. Ф. АЛЕКСАНДРОВ

НИВЕЛИРНЫЕ РАБОТЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ УССР
КИЕВ 1952

本書根據蘇聯烏克蘭蘇維埃社會主義共和國技術出版社1952年

基輔俄文版本譯出

張 志 文 譯

人 民 交 通 出 版 社 出 版

(北京安定門外和平里)

新 華 書 店 發 行

公私合營慈成印刷工廠印刷

1955年6月北京第一版 1956年5月北京第二次印刷

開本：31"×43" 1/4 印張：3 1/4 張插頁1頁

全書：89,000字 印數：4801—3810冊

定價(10)：0.48元

(北京市書刊出版營業許可證出字第〇〇六號)

譯 序

本書在水准儀的構造和校驗，各種等級的水准測量、過河水准以及水准路線的平差，特別是精密水准測量中的四種方法方面，介紹得非常詳盡，足供我們水准測量工作者參考應用。但在Ⅱ等水准測量以及水准路線的平差等計算方面尚存在幾處數字與符號的錯誤。譯者曾復核計算，在第二次印刷時并經逐一加以改正。但由於譯者的業務水平有限，不妥或錯誤之處，恐難避免，尚望讀者批評指正。

在譯出過程中，承鍾以庄同志校閱了部分譯文，曾廣梁同志借給原書。并此志謝。

譯 者

1956年3月

目 錄

水準測量	1
關於設立全國性高程測量基點的一些基本原則	8
水準點	11
水準儀的構造和校驗	19
水準測量用的水準尺和尺墊	44
進行Ⅱ等水準測量	50
進行Ⅲ等水準測量	64
進行Ⅳ等水準測量	67
越過水道障礙或谷地時高差的測定	70
路線水準測量	74
藉水準儀來解答個別的問題	77
水準綫閉合差的許可限度	82
水準綫的平差	83

水 準 測 量

確定地面點高程的測量稱為水準測量。

地面點的高程決定於與海洋水平面的比較，而這樣的水平面是想像在大陸下面一直延伸着的。對於互相連通的大的水域所作的研究指出：在平靜狀態時各個地方的水平面是不一樣的。但互相連通的海中任何一個水平面的平均變化却不大。這樣，就給予我們一個基礎，在某一國家採取某一個海的平均高度作為計算高程的起始，即假定被採取的水域的平均水平面的標高或高程等於零。

在蘇聯計算高程的起點，是採用經過多年觀測的波羅的海的平均海平面高程。這個平均海平面標誌埋於喀琅施塔特花崗石橋台的水準尺上，並且稱為喀琅施塔特驗潮儀零點。

我們試想像一個曲面，這個曲面通過喀琅施塔特驗潮儀零點，並且平行於平靜狀態的海平面。這個想像在大陸底下延伸着的平面稱為水準基面（圖1）。在點 A 、 B 和 C 沿鉛垂綫引 AA_1 、 BB_1 、 CC_1 ，這些距離就稱為地面點 A 、 B 和 C 的絕對標高或絕對高程。

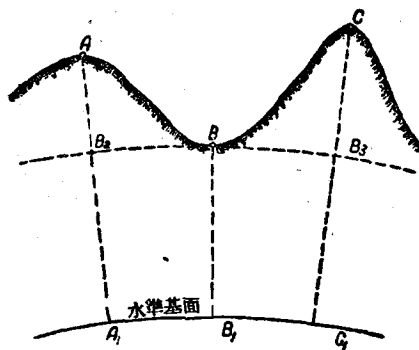


圖1 地面點的絕對標高

地面點的絕對標高可以是正的也可以是負的。例如，沿裏海低地就有負的標高。

地面點的高程可以與任何別的一個水準面相比較來確定。這些高程或者標高稱為假定的高程或標高(圖 2)。\$BB_1\$、\$CC_1\$、\$DD_1\$、\$EE_1\$ 等數值就是假定的標高，是以通過 \$A\$ 點的水準面作為基礎來計算的。

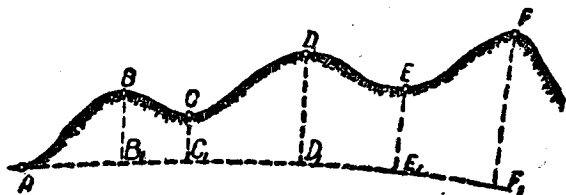


圖 2 地面點的假定(相對)標高

現在我們來研究計算地面點標高的方法。假定在圖 1 有地面的縱斷面，即地面和一個垂直平面的截面，那麼截線 \$AA_1\$、\$BB_1\$、\$CC_1\$ 便是地面點 \$A\$、\$B\$、\$C\$ 的絕對標高或者高程。此後我們將相應地用 \$H_A\$、\$H_B\$ 和 \$H_C\$ 來表明這些高程。

假使經過地面 \$B\$ 點引一個平行於水平面的平面(在圖上用虛曲線 \$B_2\$、\$BB_2\$ 表明)，那麼截線 \$AB_2\$ 和 \$CB_2\$ 便是各為 \$A\$ 點和 \$C\$ 點高出於 \$B\$ 點之上的高差，這個高程差為：

$$h_{BA} = H_A - H_B,$$

$$h_{BC} = H_C - H_B.$$

高差可以是正的也可以是負的，這要看 \$B\$ 點的地位是高於 \$A\$ 點及 \$C\$ 點還是低於 \$A\$ 點及 \$C\$ 點而定。

現在假定，我們已經知道 \$A\$ 點的標高，而 \$A\$ 點和 \$C\$ 點高出於 \$B\$ 點的高差也已測量出來。那麼 \$B\$ 點和 \$C\$ 點的標高將是：

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

$$H_C = H_B + h_{BC}.$$

很明顯可得出：

$$H_C = H_A - h_{AB} + h_{BC}. \quad (2)$$

因此，為了計算某一個最終點子的標高，應當知道其起點的標高和中

間的一些點子與另一點的高差。確定一個點位於另一個點之上的高差，是水准測量工作的基本內容。

水准測量有幾種方法：幾何水准測量、大地水准測量以及物理水准測量。

大地水准測量通常稱為三角高程測量或是視距水准測量，是以測量垂直角 α 和 AB 二點之間的距離 S 或 D 為基礎而進行的（圖 3）。高差 h_{AB} 可根據下列公式之一來測定：

$$h_{AB} = S \sin \alpha, \quad (3)$$

$$h_{AB} = D \operatorname{tg} \alpha. \quad (4)$$

我們採用帶有垂直度盤的儀器（視距經緯儀或萬能經緯儀）來測量垂直角。距離用量尺和視距儀來量取，或者利用該地的平面圖以圖解法求出。

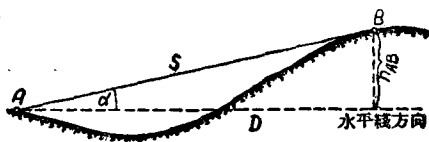


圖 3 用三角高程測量來測定高差 h

物理水准測量為了測定地面點間的高程差是用專門的儀器。依據這些儀器的性質，物理水准測量可分成三種：氣壓計高程，沸點氣壓高程以及液體靜力學高程。

進行氣壓計高程測量時，地面點間的高程差是根據這些點上的大氣壓力的大小和空氣的溫度來決定的。大氣壓力是利用各種不同型式的氣壓計（水銀氣壓計、空盒氣壓計以及微差氣壓計）來測定的。

沸點氣壓高程測量是在某些需要決定相互間高差的點子上測出其沸點來。為了測定沸點，我們採用專門的儀器——沸點氣壓計。

液體靜力學高程測量中應用的儀器（液體靜力水準）是二個聯通的容器。

所謂機械的高程測量是應用自動高程儀，它的動作或者是基於擺的鉛垂原理，或者是用聯通器皿的原理。

除了上面所列舉的測定高程差的方法以外，現代所進行的測量工作

廣泛地採用立體攝影測量的方法，這一方法是基於處理從二個不相同的點上所攝取的同一個地方的二張照片。

這種方法需要採用特殊的儀器，而在專門的測量機關中施行地形測量時流行很廣。

當在地面上進行平板測量時，地面點高差的測定多半用視距(三角高程)水準來進行。

上面列舉的高程測量方法，按其精確性來說，任何一種也不能與水準測量相比較，所以基本的高程控制點的測定務必要用水準測量的方法。然而，正如以後我們將要看到的，用這個方法，高程測定可以用各種不同的精確程度來進行。

水準測量無論在設立測量基點的高程或者在工程勘測方面都可以採用。用來設立測量基點的水準測量可分成幾個等級(8頁)。

在工程勘測中運用的水準測量，叫做工程水準測量。

工程水準測量可分成縱斷面水準測量、橫斷面水準測量以及面積水準測量。

縱斷面水準測量施測的目的，是爲了沿着地區任何路線測出其縱斷面。例如，縱斷面可沿任何建築物(道路、運河、堤壩等等)的中綫作出。藉橫斷面水準測量的幫助通常可以研究沿着建築物中綫的狹長地帶的地面地勢，並且作出其橫斷面圖來。設計工程建築物，計算土方體積，以及將工程建築物實地放樣，都需要縱斷面和橫斷面。在測定地面地勢的精度要求很高的一切情況下，都要進行面積水準測量。例如，面積水準測量就是建築場地、灌溉地帶、城市廣場等等的高程測量的方法之一。根據面積水準測量的結果製成高程圖。這張圖極便於解決面積的立面規劃的問題，也就是按照某一任務以改變地面的地勢的問題。

簡略地說一說水準測量的理論。假定有以木椿標出的 A 、 B 兩點(圖4)，在這兩點上垂直地置放二支有公分分割的水準尺。並假定分割計算的開端(零點)和尺底的下端相符合。試求 B 點高於 A 點的高差，即 h_{AB} 。

假定在某一點 C 上安置儀器——水準儀，給以水平綫方向 $A_1C_1B_1$ ，截水準尺於 A_1 及 B_1 。通過 C_1 、 A 和 B 作曲綫和水準基面相平行。那麼曲綫 $A_3C_1B_3$ ，在 C_1 點上和水平綫相切，交水準尺於 A_3 和 B_3 上。

假如 $AA_3=a_1$ 及 $BB_3=b_1$ 是水準尺上的讀數，那麼高差 h_{AB} 將是：

$$h_{AB}=a_1-b_1. \quad (5)$$

視線 $A_1C_1B_1$ 在其路途上遇到的空氣層的密度是不一樣的，因而發生彎曲，截水準尺於 A_2 和 B_2 點上。

截綫 A_3A_1 和 B_3B_1 為地球的曲率改正，用 k_A 和 k_B 來表明。截綫 A_2A_1 和 B_2B_1 稱為折光改正用 r_A 及 r_B 來表示。

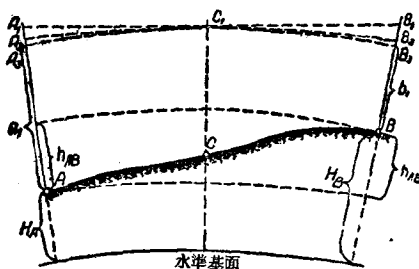


圖 4 用水準測量來測定高差 h

假定

$$AA_1=a'; BB_1=b'; AA_2=a \text{ 以及 } BB_2=b,$$

那麼

$$h_{AB}=a-b+(K_B-r_B)-(K_A-r_A). \quad (6)$$

如果水準儀安置在 A 和 B 點的中間，那麼 $K_A=K_B$ 。由此：

$$h_{AB}=a-b+r_A-r_B. \quad (7)$$

r_A-r_B 的數值稱為折光差。這個數值主要是隨高出於地球表面視線的高度差而變。當視線的高度相等以及在水準儀到兩水準尺的距離相等時， r_A-r_B 的數值可認為等於零，那麼公式 (7) 將採取如下的形式：

$$h_{AB}=a-b. \quad (8)$$

這樣一來，如果把 A 點上的水準尺當作後視，而把 B 點上的水準尺當作前視，並假定水準儀安置在它們的中間，則 B 點在 A 點之上的高差等於後視水準尺的讀數減去前視水準尺的讀數，或者通常稱為：高差等於“後視”減去“前視”。

在公式 (6) 中 $K-r$ 的數值稱為水準尺讀數中地球曲率和折光差改正，這數值可以按照下列公式來確定：

$$K-r=0.42 \frac{S^2}{R}, \quad (9)$$

式中: s ——從儀器到水準尺的距離;

R ——地球的半徑($R \approx 6,378 \text{ km}$)。

如距離等於 100 公尺, 按照這個公式來計算的改正數, 將不超過 0.7 公厘, 但因為在公式(6)中得出了這些改正差數, 所以改正對高差的影響將更小。例如當從 C_1 點到 A_1 和 B_1 點的距離差數等於 10 公尺時:

$$(K_B - r_B) - (K_A - r_A) \approx 0.1 \text{ mm.}$$

公式(8)主要是為中間水準測量法用的。

假定將水準儀轉移到 A 點(圖 5)。

那麼

$$h_{AB} = i - b_1 + (K_B - r_B), \quad (10)$$

式中: i ——視線高出於 A 點的高度。

這個方法稱為綫端水準測量法。顯而易見, 這裏完全保存着地球曲率和折光差的改正影響。以中間水準測量法和綫端水準測量法比較是有很多優點的。

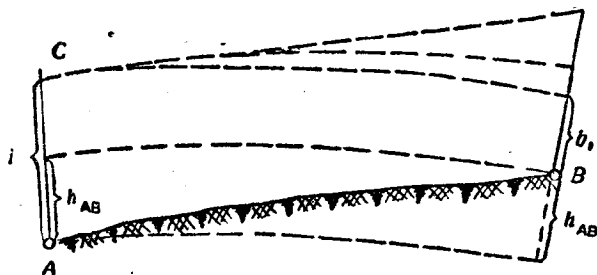


圖 5 用綫端水準測量法測定高差 h

測定一點高出另一點的高差用簡單水準測量時, 祇需要安置一次儀器(圖 6)。

假使按地勢情況, 或者由於 B 點遠離 A 點而不可能採取簡單的水準測量法時, 那麼高差 h_{AB} 需經過許多次的儀器安置(圖 7)才能測定。

從圖 7 可直接求得:

$$H_B = H_A + h_{AM} + h_{MN} + h_{NB}.$$

每一高差等於後視和前視水準尺上讀數的差數:

$$h_{AM} = a_1 - b_1,$$

$$h_{MN} = a_2 - b_2,$$

$$h_{NB} = a_3 - b_3.$$

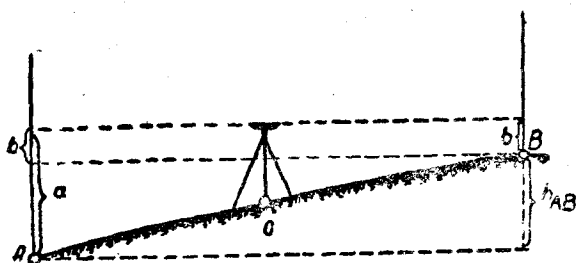


圖 6 用簡單的中間水準測量以測定高差 h

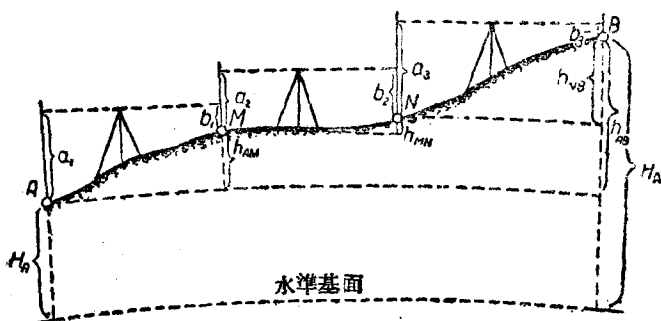


圖 7 用複雜的中間水準測量來測定高差 h

由此可得出：

$$h_{AB} = \sum h = \sum a - \sum b. \quad (11)$$

那麼：

$$H_B = H_A + \sum h = H_A + \sum a - \sum b. \quad (12)$$

這樣，當進行複雜的水準測量時，終點標高等於其起點標高加上所有中間點的高差總和，或者等於起點標高加上後視水準尺讀數的總和再減去前視水準尺讀數的總和。

關於設立全國性高程測量 基點的一些基本原則

水準測量工作對於確定海平面的高差、研究歷來陸地的變動、進行地形測量、擬定設計和建造各種不同的工程建築物(道路、運河、堤壩等等)是必需的。所有這些任務的解決要求在國家的領土上確立許多點子的絕對標高。這些網點的建立成為構成全國性高程測量基點的任務。

在蘇聯，這個問題是用水準測量來解決的。首先是設置較稀的網點，這些點子的高程是以最高的精密度來測定的；然後在它的基礎之上設立比較密的網點，它們的高程是用較小的精確度來測定的。

當設置全國性高程測量基點時，採用：Ⅰ等水準測量(高度精密的水準測量)，Ⅱ等水準測量(精密水準測量)，Ⅲ等水準測量(提高精確性的水準測量)和Ⅳ等水準測量(技術水準測量)。

Ⅰ等水準測量的路線是沿着鐵路線、公路綫來敷設的，組成長達幾百公里周邊的閉合多邊形。我們國家所有的領土之內滿佈了那樣的多邊形網。Ⅰ等水準測量的實施為的是：連接我國沿海驗潮儀到一個總的高程系統內；連接高程水準點——設立在不易受沉陷和移動地點的永久水準基點，並計算它們的絕對高程；測定設立在不穩固的地面部分的水準基點之絕對高程，以研究它的移動特性；以及保證以可靠的高程點供給隨後展開的Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ等水準綫網的需要。當Ⅰ等水準測量時偶然中誤差在1公里路線內不應該大於±1公厘，而系統中誤差在1公里路線內應不大於±0.2公厘。

Ⅱ等水準測量進行的目的，是要在Ⅰ等水準測量多邊形內部使高程點隨之加密。Ⅱ等水準路線與Ⅰ等水準路線組在一起成為閉合多邊形，其周邊長500~600公里。Ⅱ等水準路線敷設在沿鐵路、公路和改善土路上，同樣也可敷設在大河和海洋的沿岸。

當Ⅱ等水準測量時，它的偶然中誤差在 1 公里路綫內不應超過 ± 2 公厘，而其系統中誤差在 1 公里路綫內不應大於 ± 0.4 公厘。

要使高程點網繼續加密，就得敷設Ⅲ等水準綫。這一等水準測量的施測，是爲了在地形測量和進行各種不同種類的工程勘測時建立高程基點之用。

Ⅲ等水準路綫敷設在Ⅱ等多邊形水準測量之內，沿着土路和改善道路的方向，沿着河流和居民區的街道作爲單獨路綫的形式來敷設。路綫的兩端與Ⅰ等和Ⅱ等水準測量的水準點相連繫，或以系統路綫的形式和所

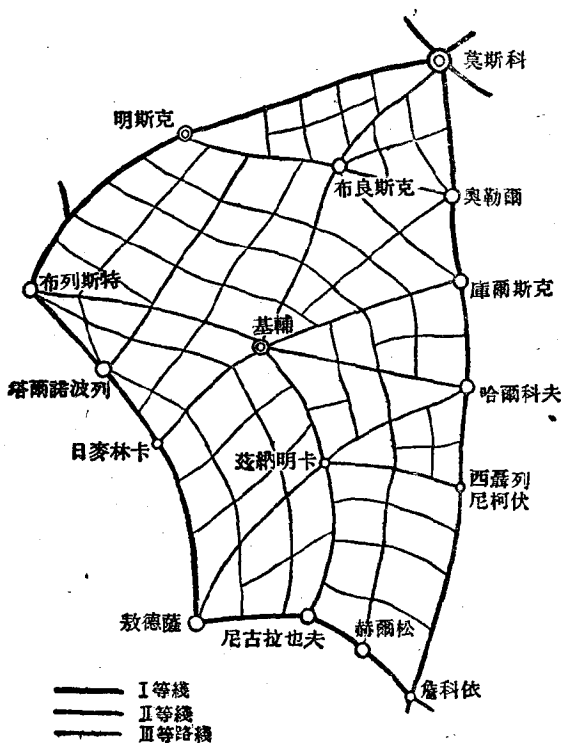


圖 8 用Ⅱ等和Ⅲ等水準測量來加密Ⅰ等水準網略圖

謂結點相連接。路線的長度和它的稠密程度決定於測量的比例尺和所採取的地形的等高距。測量的比例尺越大,以及等高距越小,那麼水準路線就應當越短。單綫的長度在Ⅲ等水準測量點子之間不應超越200公里,而當具有連鎖結點時,應該不大於100公里。

Ⅳ等水準測量的施測,是爲了建立地形測量和工程勘測所必需的高程據點。爲了保證供給所必需的高程點,沿着道路、河流、居民區的街道,要敷設Ⅳ等水準測量路線,它依附於Ⅰ、Ⅱ以及Ⅲ等的水準點組成附合路線,或者組成系統路線會集於結點上。單獨路線的長度不允許大於100公里;而在結點之間的長度不能大於50公里。

當工程勘測時,按照將來建築物的中綫敷設單獨的水準綫,其起點和終點要連接到較精確一等的水準上。

建立高程測量基點的略圖如圖8所示。

水 準 點

爲了使確定高程或標高的點子在一個很長的時期內保存在某一個地方，應於必要地點敷設水準測量路線用的固定水準點。固定水準點與永久的和基本的水準基點相連接，也和普通水準點即牆上和岩石水準標點、牆上和土中水準基點相連接。

水準點型式的選擇要依據它的用途、水準測量的等級、土壤的性質、隣近的基岩以及地區的氣候條件等等而決定。水準點要敷設在基岩的露頭上和缺少地下水的、遠離崩土的、石灰岩構成的高地以及地下的坑道等處。

I等水準路線用永久水準基點和基本土中水準基點以及普通水準點來敷設。永久水準點建立在地面最堅固的部分，其安設位置要特別仔細地選擇。基本水準基點有二種型式。第一種型式的水準基點是安設在沿路線每隔 100 公里處及在路線的交叉點上，而第二種型式的水準基點是敷設在其中間每隔 25 公里處。普通水準點除了臨近於每一個基本水準基點者而外，設立於每隔 6~10 公里的基本水準基點之間。

II等水準測量路線，是用第二種型式的基本水準基點敷設在每隔 100~150 公里處，並用普通水準點敷設在每隔 6~10 公里處。第二種型式的

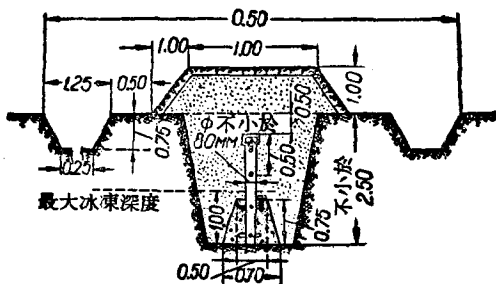


圖 9 II等水準測量基本土中水準基點的剖面圖

基本水準基點(圖 9),乃是一根直徑 80 公厘的管子,灌入混凝土根格。在管子的上面部分鉚上標點,這種標點乃是一塊圓的在中間有凸出的半球形表面的鐵板。

普通土中水準基點繪於圖 10,它是 60 公厘直徑的管子,灌入混凝土根格。以混凝土塊的基礎安置在離地面深 1.80 公尺處。在管子的上面部分鉚上標點。

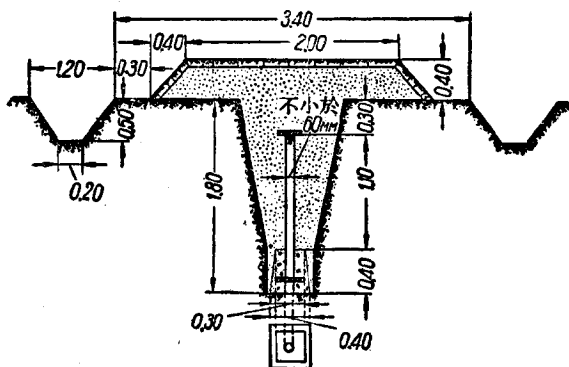


圖10 II等和III等水準測量普通土中水準基點的剖面圖

牆上水準標點(圖 11)和牆上水準基點(圖 12)敷設在堅實的工程建築物上或房屋上。水準標點和水準基點是遵照指示的尺寸圖用鍛鐵製成的。爲了埋置水準標點和水準基點,要在建築物的牆上挖掘一個洞眼,使得水準點的鐵板與牆面齊平。洞眼裏塞以 1:1 成份的水泥漿,然後將水準點壓入充滿沙漿的洞眼內,並使鐵板平面置於垂直位置。在埋置鐵板之後塗以地氈青。

位於鐵板中間的直徑爲 1.5~2.0 公厘的孔眼中心是用來確定水準標點的標高的。當工作時,在此孔眼中插入同樣直徑的小釐子,在釐子上面套上懸掛水準尺。

在牆上水準基點上面,爲要安放水準尺,故有一凸出處,其凸出處的側端是供安放水準尺的地方。

當選擇敷設牆上水準點的地點時,應該注意到要使得在水準標點上