

萬 有 文 庫

第一集一千種

王 雲 五 主 編

測 量 術

馮 雄 著

商 務 印 書 館 發 行





測 量 術

馮 雄 著

工 學 小 叢 書

編主五雲王
庫文有萬
種千一集一第

術 量 測

著 雄 馮

路 南 河 海 上
五 雲 王 人 行 發

路 南 河 海 上
館 書 印 務 商 所 刷 印

埠 各 及 海 上
館 書 印 務 商 所 行 發

版 初 月 二 十 年 二 十 二 國 民 華 中

究 必 印 翻 權 作 著 有 書 此

The Complete Library

Edited by

Y. W. WONG

SURVEYING

BY FUNG HSIUNG.

PUBLISHED BY Y. W. WONG
THE COMMERCIAL PRESS, LTD.

Shanghai, China

1933

All Rights Reserved

測量術

目次

第一章	緒論	一
第二章	外業	一〇
第三章	計算	一五
第四章	製圖	二一
第五章	誤差	二七
第六章	量距離法	四〇
第一節	總論	四〇

第二節	用卷尺量距離法	四二
第七章	量高度差法	五八
第一節	總論	五八
第二節	直接高度測量所用儀器	六五
第八章	高度測量	七九
第一節	水平儀之使用及校準法	七九
第二節	高度測量	八六
第九章	縱剖面測量坡度測量及橫剖面測量	九九
第一節	外業	九九
第二節	繪圖	一〇二
第十章	量角及方向法	一〇四
第一節	總論	一〇四

第二節	儀器	一一二
第十一章	工程師轉鏡儀之用法及校準法	一一九
第一節	構造	一一九
第二節	經緯儀之用法	一二六
第三節	儀器之校準	一二八
第四節	誤差	一三四
第十二章	用轉鏡儀及卷尺之測量	一四二
第一節	總論	一四二
第二節	輻射測線法	一四五
第三節	交叉測線法	一四六
第四節	折測線法	一四七
第五節	測定事物對於轉鏡儀之位置	一五三

測量術

第一章 緒論

測量 測量者決定在地面上或與地面相近之諸點之謂也。稍析言之，則凡計量地面上諸物間之距離，計量地面上諸線間之角，決定地面上諸線之方向，及憑前時決定之角及線而在地面上定諸點之位置，皆在測量法範圍之內也。

與實地計量相連屬者，則有種種算學上之計算，如是從計量所得之資料，而決定種種距離，角，方向，位置，面積，及體積等。測量所得智識，大多用繪圖法表明之，則又有製地圖，緊剖面圖，橫剖面圖，及示圖等事也。

故測量法可分爲兩部論之：

(一) 在目的地作種種計量，名曰外業。

(二) 在辦事處布算繪圖，名曰內業。

測量之分類 測量法可分爲三類。

(一) 最初之測量法爲決定土地界線者，即所謂土地測量是也。今日多數測量師，猶以此爲事。土地價值多寡懸殊，故土地測量之精密程度隨之而異也。

(二) 凡土木建築之工，恆先事測量，以爲設計之根據；又必由測量時在地面上決定線及點，以爲施工之根據。私家所作測量，除決定地界者外，幾全屬此類；而公家所作測量，亦多屬之。夫以工程種類極繁，而其範圍之廣狹所差又大，則此類測量之複雜，亦可見矣。

(三) 各國政府多設有測量局，測量廣大區域。其目的甚多。有決定國界及國內行政區域之界線，繪製海岸圖及水道圖，精密決定全國中若干點之位置，繪製地球磁場圖，繪製重要區域地形詳圖，繪製礦產分布圖等。大概此種由國家所辦之測量，性質複雜，須由諳練人員，用優良儀器，依精密方法爲之，異乎尋常測量矣。

雖然，此三類測量之間，實無嚴密之分界線。例如就建築鐵路言之，最初選定路線時，如有第三類地圖，可供參考，當甚覺便利；繼此決定鐵路中線，決定鐵路級度，計算土工，計畫橋梁，涵洞，隧道等，則須行第二類測量；其後在收用沿線土地之前，又須行第一類測量也。

地球 地球爲扁球體，其連接兩極之軸徑，較赤道軸徑爲略小。一八六六年，克拉克 (Clarke) 氏計算此兩軸之長度如下：

兩極軸徑

四一、七一〇、二四二英尺。

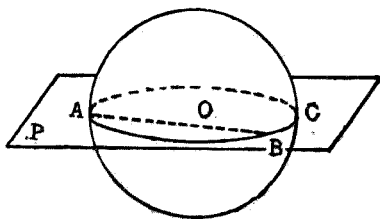
赤道軸徑

四一、八五二、一二四英尺。

觀此可知兩極軸徑短一四一、八八二英尺，即二六·八七英里。此與全徑相較，乃一極小之量，不及其〇·三四%也。

設定地面凹凸之處全除，則此球體之表面，乃一彎曲面，而其上任一處，與垂直線成直角相交。如此之表面，稱爲水平面。在海平面處之表面，則稱爲地球之平均表面。

假定有一平而P通過地球之中心O，如第一圖所示。此平面與水平面相交之處，成爲圍繞地



第一圖

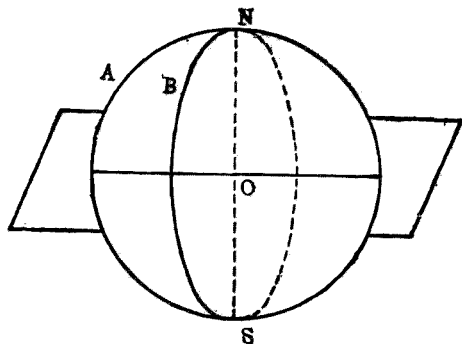
球之一線。此線上任一段，稱為水平線。此平面與地球之平均水平面相交之圓，則稱為地球之大圓，如 ABO 。地球上兩點，如 A 及 B 間之距離，乃經過此二點之大圓上一段弧之長度，而常較此弧所截之弦為略長。弧為水平線，而弦則真正之直線也。

A 及 B 點（第二圖）又將二平面間所包之體積取出，如第三圖所示。則在赤道處二子午線成平行。在赤道上及下，則二線趨於接近，而其間所包之角，愈近極點愈大。

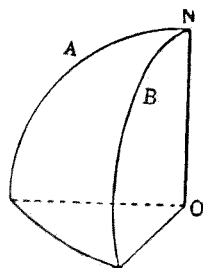
假定由此二平面作半徑線，如地球為完全球體，則諸線在

假定有一平面，通過地球之兩極及地面上別一點，例如 A （第二圖），

則水平面與此平面相交之線，名曰子午線。假定有此類平面二，經過地面上



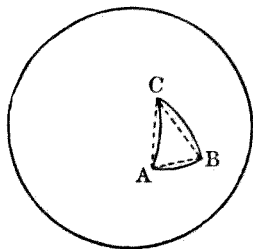
第二圖



圖三第

地球之中心點相交。諸線無論在此二平面中之一面上，或二面上，無成平行者。然諸線對於地球，為垂直線也。故知一切垂直線會於地心，無成平行者。惟嚴格言之，則此說尚非極確，因地球質量之分配微有不均，而扁圓體表面之垂直線，不會於一點故也。

設在地球之平均表面上有三點。今以此三點為一三角形之三頂點，如第四圖。三角形 ABC 中之表面，乃彎曲表面，而其三邊乃大圓之弧。故此三角形，即一球面三角形也。圖中虛線表示一平面三角形，其頂點亦為 A 、 B 、及 C 。球面三角形之角，較平面三角形之角為大。然如三點相距不遠，則所差甚微；而作一平面通過三點，與球面相離亦有限。如三點遠離，則所差不可忽略。若易三角形，為任何形式之多邊形，情形亦同。由此可知地球表面之角，乃球面角也。



圖四第

上述種種事實，平時可不計及。故尋常視在地面上連結兩點之線，為一直線；視諸垂直線為平

行線；視水平面爲平面；視水平面上之角，爲平面角也。

測量師，何時應視地爲球體，何時應視地爲平面，隨其測量之性質及範圍大小，與所需精密程度而異。

平面測量 行測量時，如視地球平均表面爲平面，易言之，卽不注意地球之爲球體者，其法名曰平面測量。在此法中，視水平線，卽在一水平面上之線，爲算學上之直線，視所測量範圍內任何一點之垂直線之方向，爲與任何別一點之垂直線之方向，完全平行，又視多邊形之諸角，爲平面角。

尋常所行測量，幾全爲平面測量。考在地面上長一一·五英里之弧，較其弦僅長〇·〇五英尺，而面積爲七五·五平方英里之三角形，其三球面角之和，與三平面角之和，二者相差，僅有一秒。由此可知，當在廣大區域上行精密測量時，始須計及地之爲球體也。

道路，鐵路，渠道，及別種土木工程，自決定計畫，以至實地施工，所作測量，俱屬平面測量。決定土地界線之測量，除關於國界省界等者外，大都亦爲平面測量也。

測定高度之事，通常亦視爲平面測量之一部。高度係從假定之球面計起。在此球面上任一點

處之切線，與在其點處之垂直線成正角相交。通常所取球面，即為平均海平面，謂之基面。測定高度時所用方法，已計及大地之為球體，而所得即為由基面計起之高度，無須更為換算也。

本書所述，大部分乃平面測量之法也。

大地測量 行測量時，如計及大地之形狀者，其法名曰大地測量。此類測量，俱極精密，恆及於廣大面積。如所測量之區域，尚不甚大，僅為一省，則可假定地球為球體，而得所需之精密程度。如其區域甚大，包括一國，即應計及地球之真正扁球體形狀矣。

定義 今述測量法中常用名詞若干之定義如下：

- (一) 水平表面 與地球之平均球形表面成平行之面也。靜水之表面，是其一例。
- (二) 地平面 與水平表面相切之平面也。
- (三) 地平線 與水平表面相切之線也。
- (四) 地平角 在地平面上二線相交之一角也。
- (五) 垂直線 與水平表面成直角相交之線也。

(六) 垂直平面 平面中含有垂直線者也。

(七) 垂直角 在垂直平面上二線相交之一角也。在測量法中，例以此二線中之一為地平線；而對於某點之垂直角，即為一垂直平面上，在向此點之線與地平面間所包之角也。

(八) 高度 在假定之水平表面上（或下）之垂直距離也。此種表面名曰基面。普通所用基面為平均海面，即海水當平潮位時之正則水平表面也。

(九) 高度差 二點間之垂直距離也。假定有二水平表面，分含有二點之一，則此二水平表面間之距離，即為二點之高度差。測定高度差之法，名曰高度測量。

計量之單位 角之單位為度，分，秒。分一圓周為三六〇度；分一度為六〇分；分一分為六〇秒。長之單位，有數種通用制度。（一）用公尺為單位。（二）用英尺為單位，不及一英尺者，以其千分數及百分數計之。（三）用碼，英尺，及英寸為單位。

面積之單位，亦有數種通用制度。（一）用平方公尺為單位。（二）用平方英尺及英畝為單位。一英畝等於四三、五六〇平方英尺。

體積之單位，亦有數種通用制度。(一)用立方公尺爲單位。(二)用立方英尺及立方碼爲單位。

測量之精密程度 測量之時，所得之量，不能毫無誤差；其大小隨所用方法，所用儀器及環境而異。欲求結果更加精密，則必多費時間與勞力，且結果愈精密，則所費時間及勞力，增加益多。故測量之精密程度，應視測量之目的定之，過高亦非所宜也。

測量之預備知識 平面測量之原理，並不艱深。測量師祇須通曉幾何學及平面三角學，略知物理學及天文學，並明瞭修整誤差之原理及方法，已足矣。作大地測量者，則須深通上述三事也。

第二章 外業

總論 外業可分數項述之。

(一) 較準儀器及整理外業用具。

(二) 選擇足為測量標識之木樁、石碑及別種物體，或特設之，並定其位置。

(三) 憑地平角及地平距離，以定物體之地平位置。

(四) 依高度測量法，定物體之高度。

(五) 取外業所得結果，記入外業手冊中，或直接依照比例，作成地圖。

儀器 測量儀器及用具，主要者如下述：

(一) 工程師轉鏡儀 用以量地平角及垂直角，並延長直線。具有望遠鏡，能在地平面或垂直面上旋轉。常附有磁針。裝置在三足架上。運用此器者，稱為轉鏡儀員。

(二) 工程師水準儀 乃望遠鏡，附有水準管，俱繞一垂直軸而旋轉。用以定高度之差。其

作業名曰高度測量。運用之者，稱爲水準儀員。

(三) 測桿 乃木桿或鋼桿。下端有鋼尖。桿身塗漆，紅白相間。於量角或距離時，用之照準。執此者稱爲測桿員。

(四) 測簽 乃鋼簽。長約一英尺。於用卷尺量距離時，以此插入地中，標明卷尺末端之位
置。

(五) 水平桿 乃分度之木桿。與水準儀連用，以測定高度之差。分度常以百分之一英寸爲準。桿長例爲十三英尺。執此者稱曰水平桿員。

(六) 卷尺及測鏈 卷尺乃鋼條或布條，畫分尺度。可卷成圓餅，便於攜帶。測鏈乃連合細鋼條所成。俱用於量定距離。其事名曰距離測量。司此者曰距離測量員。

名詞釋義 測量法中有常用之名詞數事，釋其義如下：

(一) 後視 (甲) 從水準儀中，觀測已知高度之一點也。(乙) 從轉鏡儀中，沿已知方向之線，向後方觀測一根據點也。

(二)前視 (甲)從水準儀中，觀測所欲量定高度之一點也。(乙)從轉鏡儀中，沿所欲量定方向之線，向前方觀測一點也。

(三)測點 安置轉鏡儀之點也。常取粗木椿一支，打入地中，頂與地面平。以釘一枚，釘入椿頂，以標明其點。

(四)測線 測點間之路線，沿之以量定距離者也。

(五)轉點 行高度測量時，安置測桿之點，先作前視，後作後視者也。

(六)高度標點 已知高度之點，行高度測量時，用作根據點者也。

測量之正確 行測量時，錯誤在所不免，故須有校證。校證所用方法，宜求與原法不同，庶易將錯誤察出。

測量之精密 測量宜求精密，然不宜過度，前已言之。不僅此也，作外業時，各種量度之精密程度，更須相稱。例如量距離時，許有一萬分之一之誤差，則量角時，可有二〇秒之相當誤差是也。

量角之時，如所得結果，係取其三角函數，用作計算者，則應視角之大小，及三角函數之種類，而

異其量角時之精密程度，以求所取三角函數精密程度之相稱。例如計算中用角之餘弦，而許有一萬分之一之誤差，則量六七度之角，誤差不能逾五秒，而量四五度之角，誤差不能逾二〇秒也。

信號 測量員作外業時，與其同人相隔頗遠，不能不定有用手勢之信號，以代言語。其多寡則視作業之性質及當地情形而異也。

儀器及用具之管理 測量儀器及用具，無論大小精粗，自保藏，攜帶，以至使用，均須處處謹慎，勿使受有損傷。

儀器之較準 測量儀器使用閱若干時，須加較準。其時之長短，視儀器之種類，管理之情形，及測量之精密程度等而異。尋常測量，每日一次，在外業開始以前，檢查儀器，而較準之，最佳。

外業記錄 測量員作外業時，須將所得數量，隨時記入測量記錄冊，佐以說明文字及草圖。並記時日，天氣，測量員及同人姓名，作業所在地名，及測量之性質等。記載須明白完備，條理井然，俾他人能據以布算繪圖。絕不可有恃作者之記憶力，始能了解之處。

測量紀錄冊恆用堅韌之紙製成，具有硬封面，大小以便於置入衣袋為準。每頁劃分橫直格，在

左面者直行疎，供記錄數量之用；在右面者直行密，供記錄說明文字及作景圖之用。

第三章 計算

總論 據外業結果而行計算，爲測量內業之一大部分。計算者須知外業之精密程度，及測得數量之誤差，對於計算所得結果之影響，又須熟悉種種計算方法，積長期經驗，方能勝任愉快也。

計算方法可分三種如下：

(一) 數字方法 用簡單數學方法，對數法，及三角函數法以作計算者也。

(二) 圖解方法 用合於比例且極準確之圖畫者也。

(三) 算器方法 用算尺及別種計算機械者也。

凡遇重要計算，應先將計算程序，籌畫周詳，務求明白而有條理，如此可以(一)省時間，(二)免錯誤，(三)使他人易於明瞭，(四)有適當校證，(五)使校勘者省事。

計算記錄 一切計算，應載入計算冊中。其冊可較測量記錄冊稍大。印有淺藍色小方格，以便書寫。每頁並記載測量之名稱，計算之種類，所據測量記錄冊之頁數，計算者及校勘者之姓名，計算

及校勘之日期等。

校勘 計算結果，必須經過校勘，而重要計算，並須用數種方法校勘之。

有效數字 所謂有效數字，乃指一數中諸位有意義之數字，易言之，即其價值為已知者也。數有兩種。一種為絕對準確者，如某果園中桃樹為三二五株，此三二五之一數毫無增減餘地是也。一種為隨計量之精密程度而異其誤差大小者，如以鋼卷尺約略計量某段距離之長度，為七六英尺，此數之有效數字為二位；所用方法稍密，則見其為七六·四英尺，此數之有效數字為三位；更精測之，則見其為七六·三七英尺，此數之有效數字為四位；然此數尚非絕對準確之數，且無論所用方法及儀器如何精密，而所得計量結果之中，仍不能無誤差也。

計量有直接與間接之別。直接計量乃以所計之量與所用之量器直接比較者也。如木匠執尺量板之長，是其一例。間接計量乃從與所計之量有關之量，而作推算者也。如由三角三邊之長，而算出其三角之大小，是其一例。作直接計量時，所得數量之有效數字位數，顯明可見。例如用分度至百分之一英尺之鋼卷尺，量得兩地距離為三七·四二英尺，則其有效數字為四位，絕無問題，是也。然

如距離加長，地面不平，用卷尺分數次量之，而得總距離為五二·六七英尺，則末位數字，是否準確，大有研究餘地，因此為間接計量，其間發生種種誤差，不免使得數之末一位數字，或末二位數字，成爲不準確故也。故遇計量結果，如未知其誤差之性質及分量，則不能逕言其有效數字有幾位也。

計量結果錯誤之程度，究爲如何，常不易決定；惟有時可估計其近似值，名曰或然誤差。凡一數之或然誤差，不及十單位者，則其數字悉爲有效數字；故如 745.68 ± 0.03 之有效數字計有五位，而 745.68 ± 0.10 之有效數字，則僅有四位也。由此可見，凡一數之末位，如有十單位之出入，則末位前一位，不能準確，而末位數字爲毫無意義矣。

計算之精密程度 計量所得數值與計算所得數值，兩者之精密程度，應相符合，故計量所得數值之誤差，對於計算結果之影響，必須注意。例如有田一塊，作三角形，一邊長百餘英尺，一邊長五十餘英尺，一邊長八百餘英尺，求其面積，而欲有四位有效數字，則量兩長邊時，可以十分之一英尺爲準，量最短一邊時，必須以百分之一英尺爲準，然後計算所得面積之值，乃能合於所需之精密程度也。

又設將上述三角形地繪成一圖，用一〇〇英尺等於一英寸之比例尺，其計算時，用正弦及餘弦兩種之角函數。按用此種比例尺時，繪出距離，僅能以一英尺為度，不能再求精密，故計算之值，有三位有效數字足矣。

三角函數表 使用三角函數時，應取若干位，多視其函數之值而異，但有時又視角之誤差而變化。如以角之誤差為準時，應取三角函數之位數，略如下表所列：

三角函數之位數	角之誤差之限度	
	正切及餘切	正弦及餘弦（尋常大小之角）
三位	二分以上	
四位	十秒以上二分以下	二十秒以上
五位	一秒以上十秒以下	五秒以上二十秒以下
六位		半秒以上五秒以下

如其角之大小異乎尋常，則所取正弦值及餘弦值之位數，應審察與角之誤差相當之精密比率而

定之。

對數法 計算之時，除加法，減法，及三位數字之乘法以外，凡乘法，除法，求平方，求立方，開方等，俱以使用對數法爲便。

計算之圖解方法 計算之圖解方法，大都爲校勘數字方法之用。例如量得三角形地之二邊及所包一角，則可依比例尺，將其繪出，而用尺量其第三邊，用量角器量其餘二角，是也。

計算之算器方法 用算器時，有爲避筆算之煩者，有爲作校勘筆算結果之用者。所用算器有下列數種。

(一) 計算尺 十英寸計算尺，使用最廣，可用以乘，除，求平方，求立方，開方，求對數，及作三角函數計算等，所得結果，有三位有效數字。使用此器，無異使用三位對數表也。

(二) 計算機 計算機所得結果，有效數字，在三位以上。用此機布算，甚爲捷速。惜其值太昂，尋常測量機關，無力購置耳。

(三) 量面積器 用以量定圖形之面積，極爲便捷，無論圖形如何不規則，皆可應用。所得結

果，有三位有效數字。

第四章 製圖

製圖 依測量結果，所製之圖，分爲地圖，縱剖面圖，橫剖面圖等三種，以下分述之。

地圖 地圖可依其用途，分爲二類。

(甲) 記載土地界限之地圖，如各縣土地局所製地圖是也。此種地圖應記明(一)各線之長度及方向，(二)交線間之角度，(三)土地與標準子午線之關係，(四)區域內測量標之地位及其與指引點之關係，(五)區域內所有道路，水路等之名稱，(六)四鄰業主之姓名，(七)與此區域界線相交諸界線之方向，(八)子午線之方向，(九)圖中一切符號之意義，(十)比例尺圖，(十一)全區域之面積，(十二)地圖之標題，所包括者，計有土地之名稱，製圖所用比例，業主之姓名，測量者之姓名，製圖者之姓名，時日等。

(乙) 供作研究資料用之地圖，如鐵路初測地圖，備作選定路線之根據者是也。其種類甚繁，故圖中應記明之事物，隨圖之性質而異。大概言之，其所記尺度極少，用之者恆須以量器定各線之

長度及各角之度數，故其圖之繪製，須極準確，而不可有錯誤。此類地圖，又分二種：

(子) 記載地面上河、湖、地界、各地種植情形、公私建築等。

(丑) 除記載上述種種事物外，更須繪出地面之等高線。

此兩種地圖，均須記明(一)子午線之方向；(二)所用符號之意義；(三)比例尺圖；(四)圖之標題，所包括者為圖之用途、區域之名、區域之所在、製圖所用比例、等高線之間隔、測量者之姓名、製圖者之姓名、時日等。

地圖投影 因地面為圓球面，而地圖為平面，故地圖所表示之地面事物，多少有些歪斜。如所表示區域不大，則可視地面為平面，而依直投影法製圖，所得之圖，尚不覺歪斜過甚。尋常平面測量術所製地圖，即採用此法。

地圖之區域加廣，則上法不能適用，須用別法，以減少地圖歪斜之影響。圖中標準點係用球面位標法繪出。因一點之球面坐標，為其緯度及經度，故通常將子午線及其平行線繪於地圖上。凡一國一省一縣之地圖，恆依此式。

平面測量之結果，又有參照前時大地測量所得標準點之地位而製圖者。即依特種投影法，將各標準點繪出，而依普通正投影法，將圖中細節繪出是也。

製圖比例 製圖所用比例，有三種表示法：

(一) 以圖中一單位長度，表示地面若干單位長度。例如五〇〇〇分之一地圖，即謂圖上一英尺，等於地上五〇〇〇英尺也。

(二) 以圖中一英寸表示地面若干英里。例如一英寸等於一英里之地圖，即謂圖中一英寸，表示地面一英里；此項比例以分數表示之，即六三、三六〇分之一也。

(三) 以圖中一英寸表示地面若干英尺。例如一英寸等於二〇〇英尺，即謂圖中一英寸，表示地面二〇〇英尺也。工程師所用設計地圖，多依此式。

地圖比例大小，視其用途而異。大概言之，工程設計所用地圖，比例自一英寸等於二〇英尺，至一英寸等於八〇〇英尺。土地分界圖，比例自六英寸等於一英里，至一英寸等於一英里。普通地形圖，比例自一〇、五六〇分之一至二五〇、〇〇〇分之一。地理圖比例自一英寸等於一英里，至一英

寸等於二〇英里。

地圖比例應繪為比例尺圖，作為地圖標題之一部分。其形式如第五圖所示。比例之數值，應同時記入。

子午線矢形線 子午線方向，係以矢形線表示之。其方向須極準確。大地圖之矢形線長可四英寸或五英寸；小地圖者長可二英寸至三英寸。真子午線常用全矢頭之線表示；磁子午線常用半矢頭之線表示。於二者之間，記入其相交之角度。矢形線應簡明，不宜有繁飾。

縱剖面圖 縱剖面圖，乃以地面之線，投影於垂直面而成。凡決定下水道、鐵路、道路、水渠等之坡度及路線時，估計掘土填土工作時，均用之。製縱剖面圖，係先沿一線（例如道路之中線）之若干點，其距離為已知者，測定其地面之高度，次依照比例，將其繪於

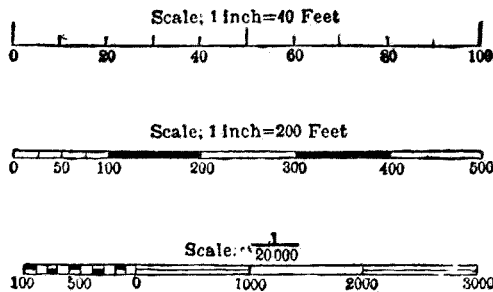


圖 五 第

紙上，用線連之。製縱剖面圖，常用特製印有水平線及垂直線之紙。紙有數種，最通用者，水平線之一英寸，分爲四格，而垂直線之一英寸，分爲二十格；其水平線每隔四行，線條加粗，而垂直線每隔十行，線條加粗。製圖所用比例，恰使紙上一格，表示適宜距離。例如在水平線比例爲一英寸等於四〇〇英尺時，每一水平格與地面一〇〇英尺相當；在垂直線比例爲一英寸等於二〇英尺時，則每一垂直格與高度一英尺相當也。

橫剖面圖 估計掘土填土工作時，用橫剖面圖，常覺便利。例如造鐵路時，於路旁開坑借其土，以造路基，計其體積，可沿與坑之縱徑相交之橫線，量定在取土前後地面之高度，繪於紙上，卽成坑之橫剖面；於是用量面積器計其面積，或割之爲三角形及長方形，而分別計其面積；然後由各橫剖面之面積及各段之長度，再計算坑之體積。橫剖面圖，常繪於特製之方格紙上。其水平線與垂直線之分格相同；每英寸分爲八格，十格，十二格，或十六格；每隔半英寸或一英寸，作一粗線。

圖字書法 地圖上之字，多用細筆宋體字，間有用仿宋體字者，而用普通書體字者則較少。無論用何體，要以用筆整齊清明爲要。同一之字，切不可書作異形。一排字中，各字間隔須一律。在一幅

地圖內，可用各體之字，以分別所註事物之種類。

標題 地圖標題，最應明顯。宜位於圖之下角。所佔地位之最長一邊，以得圖之長邊之五分之一為度，不可過大。其中之字，宜用同一字體，且皆當作垂直式。以字之大小，分別題字之輕重。

圖註 地圖之註釋，應簡潔而明瞭。一圖之構成，或為鈔襲舊圖，或為根據舊時測量記載，或為根據最新測量記載，俱應明白註出，俾用圖者知之。圖中所用符號，亦應以文字解釋之。

邊線 地圖之邊線應簡單。小圖可用單線，大圖則用雙線。

第五章 誤差

總論 測量所得數量，決不能免去誤差，從無絕對準確者。測量員之一項重要職務，則為視所作測量之性質及目的，在容許之誤差範圍以內，作種種計量。故測量員必須知誤差之根源，及其對於測得數量之影響，又須熟悉保持所需精密程度之方法也。

誤差之種類 各種誤差，列述如下：

(一) 結果誤差 某量之結果誤差，乃計量所得數量與其實值之差。如計量所得數量過大，則誤差為正數；如其過小，則誤差為負數。結果誤差乃由各種誤差合成，其中有使計量所得數量加大者，有使其減小者，性質不一也。

(二) 整齊誤差 整齊誤差，乃當事物之情形不變時，其大小不變且其正負符號亦不變者也。整齊誤差之變化，常遵守算學定律或物理學定律。

(三) 偶然誤差 偶然誤差，乃其值可為正，亦可為負者也。致此之原因，非測量員所能制

御，而其變化，未嘗遵守算學定律或物理學定律也。

(四) 常度誤差 常度誤差，乃整齊誤差之常具有同一分量及同一正負符號者。

(五) 錯誤 錯誤與誤差不同，乃由測量者心境混亂，於無意之中，發生者也。在校勘全部工作時，可發覺錯誤而消除之。

誤差之根源 誤差之根源有三：

(一) 測量所用儀器，每有疵病，例如卷尺過長，水準儀未曾較準等是。由此發生誤差，名曰屬器誤差。

(二) 人之視覺或觸覺，每有限制，例如視察轉鏡儀分度圓盤上之角度時，及估計鋼卷尺之牽引力時，不能絕對準確，由此發生誤差，名曰屬人誤差。

(三) 自然現象，如溫度，濕度，風力，重力，磁針偏差等，常有變化，影響及於測量儀器，例如溫度增減，則鋼卷尺之長度，亦有增減。由此發生之誤差，名曰屬天誤差。

整齊誤差 整齊誤差，當事物之情形不變時，常具同一分量及同一正負符號，故作某數之計

量時，其總整齊誤差之量，即為各單一計量之誤差之代數和。例如在用卷尺計量一線之長度時，如卷尺較短，則由此所生之整齊誤差，即與此線之長度成正比例。

某一量之整齊誤差，有由於甲種原因而為正值者，又有由於乙種原因而為負值者，而結果誤差，遂小於各誤差。亦有數誤差互相抵消，而結果誤差等於零者。

整齊誤差有為屬器誤差者，有為屬人誤差者，亦有為屬天誤差者。其與偶然誤差相較，孰為重要，視計量之性質，測量員之謹慎程度，及所用儀器所採方法等而異。大概言之，所用方法愈粗疏，則整齊誤差愈較偶然誤差為大。測量時，多採取適宜程序，使整齊誤差消滅，或減至極小。例如在量長度時，往往測定當時溫度，而計算鋼卷尺之長度變化，以校正測得之長度。

偶然誤差 偶然誤差，無法決定其值而除去之。例如計算長度時，在地面劃出卷尺末端之所在，每不能準確；又如在作高度測量時，在水準儀望遠鏡內，視察測竿上之尺度，亦常有誤差，此種誤差，皆無法消除者也。偶然誤差，可為正值，亦可為負值；而首次之值，不必與下一次之值相同也。

依算學或是率理論，偶然誤差，有隨誤差機會次數之平方根而增加之趨勢。例如用卷尺計量

距離時，每一次之偶然誤差爲 ± 0.01 英尺，如計量至一百次，則總計其偶然誤差，當不逾 $\pm 1.00 \times 0.01 = \pm 0.01$ 英尺。同大之整齊誤差，則將發生 $100 \times 0.01 = 1.00$ 英尺之總誤差矣。由是觀之，可知此際之偶然誤差，乃不及同量之整齊誤差之重要也。偶然誤差，雖不能消去，然用適當儀器及方法，能將其減爲極微小之數。

參差值 如某量經過兩次計量，而所得之值，前後不符時，二者之差，名曰參差值。作測量時，計量所得之值，常再作一次計量以校勘之。如前後兩次所得之值，參差甚微，則由此可知計量之時，並未發生錯誤，而偶然誤差，亦殊微小。惟整齊誤差之有無及其大小，却不能從參差值之大小見之耳。

或是率原理 作精密測量時，既注意於避免整齊誤差，則計量得之值，自隨所含偶然誤差之大小，而異其正確程度。故須憑或是率原理，以審定計量所得之值之或是值。或是率原理，卽制御一組相類計量之偶然誤差之定律，乃根據下列諸假設而成。

(一) 小誤差較大誤差爲常見。

(二) 誤差可爲正，亦可爲負。

(三) 極大誤差不易發生

(四) 依同一方法，計量某量，至無窮大之次數時，其平均值即為其實值。

欲通曉或是率原理，須研究最小二乘法，今惟就應用此原理以校正計量結果及決定或是值及或是誤差之規律言之。有當注意者，即此或是率原理僅可應用於偶然誤差也。

或是值 假定在計量所得之值中，已將種種整齊誤差，化除為可以忽略不計之數，則可依最小二乘法原理，校正其值；所得者名曰最近之或是值；其為正確之機會，乃較任何別一值為多也。

在同一情形中，計量同一量，至若干次，則諸次計量所得之值之平均數，為其最近之或是值。

在相類情形中，計量諸種相關之量，其總和應與某一算學之正確之量相等者，則由計量所得之值，除去在諸計量所得之值之總數與實值間之誤差之比例部分，是為其最近之或是值。

在相同情形中，計量諸種相類之量，其總和應與別一計量（亦在同一情形中）所得之量相等者，則將兩者之參差值，等分配在諸計量所得之值之間，乃得諸相關量之最近似或是值及等於其總和之單一量之最近似或是值。如校正之數，係加於相關諸量者，則由等於總和之量中減去；否

則反是。

計量所得單一數量之或是誤差 設已將某計量所得數量之一切整齊誤差除去，則僅餘一偶然誤差，惟此偶然誤差，既不能化除，亦不能精密決定其值。如對於單一數量，作相似或相關之計量一組，則所得之值或大或小，參差不齊。由諸值之變化，可以推定或是誤差之值。某一計量之或是誤差，祇為一算學的事項，表示其精密之程度，並不指明真正誤差為何，亦不指明最易逢之誤差為何也。

或是誤差乃一具有正號或是負號之量，真正誤差之發生，可在此範圍以內，亦可在範圍以外。易言之，即如將或是誤差加於所得數量上，又從所得數量減去之，則此數量之真正值，發生於所立範圍內之機會，與發生於所立範圍外之機會，乃屬相等。例如五·三四為數次計量所得值之平均數，而 $0 \cdot 12$ 為平均値之或是誤差，則真正誤差在 $5.34 - 0.12 = 5.22$ 與 $5.34 + 0.12 = 5.46$ 之間，其發生之機會，俱屬相等也。書寫或是誤差時，常於其數值前加正負符號（±）例如上所舉之量，則可書作 5.34 ± 0.12 也。

前已言及當某單一之量在同一情形中經過若干次計量並除去一切整齊誤差則所得數值之平均值，即為所求之量之最近似值。在推定或是誤差時，此平均值即取為真正值，而將各次計量所得之數值，與平均值之差數算出。此項差數名曰殘差。依最小二乘法定理，知或是誤差，乃諸誤差之平方之和之平方根之函數也。

單一數值之或是誤差，係以下式計算之。

$$E_s = 0.6745 \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}} \dots\dots\dots (1)$$

式中 M_s 為殘差之平方之和，而 n 為計量之次數。

若干次計量所得數值之平均值之或是誤差，係以下式計算之。

$$E_m = 0.6745 \sqrt{\frac{\sum v^2}{n(n-1)}} = \frac{E_s}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (2)$$

單一數值之或是誤差，又可以下式計算其近似值。

$$E_g = \frac{0.8453 \Sigma v}{\sqrt{n(n-1)}} \dots\dots\dots (3)$$

式中 M 取諸殘差，不計其正負符號，相加所得之和。

單一數值之或是誤差，又可以下式計算其近似值。

$$E_g = 0.8453 \sqrt{\dots\dots\dots} \dots\dots\dots (4)$$

(三)式及(四)式較(一)式為便。至於何時可用此種近似之式，則視計量之次數，殘差之分布，及所欲得或是誤差之數字位數等定之。

有當注意者，即上列種種公式，所根據者，有一假設，即單一之量，曾作極多次數之計量是也。然由實驗考得，如計量之次數不甚多時，應用此種公式，仍可得良好結果。若計量之次數，在十以下，則所得結果，未必符合矣。

分別輕重之計量 上述一切計量，乃假定為在同一情形中所作者。易言之，即假定其可信之程度相同者也。顧在測量時，常須將不在同一情形中所作之諸計量相合；此種計量之可信之程度

不等，自須另行設法以御之。例如計量聚於一點之諸角，除計量之次數有異外，其餘一切情形相同，結果爲 $A = 121^{\circ}16'00''$ （計量1次）， $B = 179^{\circ}14'27''$ （計量四次之平均值）， $C = 58^{\circ}58'53''$ （計量九次之平均值）。三角之和爲 $359^{\circ}59'20''$ ，其總誤差爲四〇秒。此誤差不能平均分配於三角之中，而必須研究各角所應攤之誤差部分也。

如假定作各次計量時，測量員之謹慎程度，與前後無異，則因B角乃四次計量之結果，其可信之程度，自爲A角之四倍；而C角之可信之程度，自爲A角之九倍。此四之一數及九之一數，表示可信之程度，特名曰輕重度。至於A之輕重度，則當然爲一也。輕重度祇爲比較數，非絕對值也。

諸計量之輕重度不同者，其平均值名曰分別輕重之平均值。

計量之輕重度，常有不依其觀測之次數定之，而由觀測者以己意決斷者。例如測量某高度，第一次在天朗氣清之日行之，第二次在寒風凜冽之日行之，則第一次量得數值之輕重度可取爲三，而第二次者可取爲一。是也。

分別輕重之計量之整理 測量外業，所遭情形常不同，故須視諸相關之計量之輕重度，而整

理之。

前已假定輕重度與計量之次數成正比例。又已言及或是誤差與計量次數之平方根成反比例。由是可知如作計量之時，測量員之謹慎程度不變，則輕重度乃與相當之或是誤差之平方成反比例。以公式表示之，即

$$W_1 : W_2 = 1/E_1^2 : 1/E_2^2$$

式中 W_1 及 W_2 為某二計量之輕重度，而 E_1 及 E_2 則相當之或是誤差也。故如算出諸計量之或是誤差，即可據以決定其相關輕重度，而用以整理其數值矣。

今舉一例，以明上述之法。設有聚合在一點之三角，各經過計量若干次。其平均值及或是誤差，如下所列。欲求三角之最近似值。

$$a \quad 121^{\circ}46'37'' \pm 02''$$

$$b \quad 179^{\circ}14'35'' \pm 04''$$

$$c \quad 58^{\circ}58'34'' \pm 06''$$

總計三角之和爲三五九度五九分四六秒，而其應有之和則爲三六〇度；故總誤差爲一四秒，而此數應分配於三角之中。設 a, b, c 三角之輕重度爲 W_a, W_b, W_c ，則知：

$$\frac{W_a}{\left(\frac{1}{2}\right)^2} = \frac{W_b}{\left(\frac{1}{4}\right)^2} = \frac{W_c}{\left(\frac{1}{6}\right)^2}$$

設 C_a, C_b, C_c 爲 a, b, c 三角應有之校正數。因其與相當之輕重度成反比例，故：

$$\frac{C_a}{(2)^2} = \frac{C_b}{(4)^2} = \frac{C_c}{(6)^2}$$

即 $C_a = \frac{C_b}{4} = \frac{C_c}{9}$

推 $C_a + C_b + C_c = 14$

故 $C_a = \frac{1}{14} \times 14 = 1''$

$$C_b = \frac{4}{14} \times 14 = 4''$$

$$C_c = \frac{9}{14} \times 14 = 9''$$

則三角之最近似值，爲

$$a \quad 121^{\circ}46'37'' + 01'' = 121^{\circ}46'38''$$

$$b \quad 179^{\circ}14'35'' + 04'' = 179^{\circ}14'39''$$

$$c \quad 58^{\circ}58'34'' + 09'' = 58^{\circ}58'43''$$

$$359^{\circ}59'46'' + 14'' = 360^{\circ}00'00''$$

誤差之關係 如 L_1 及 L_2 爲二長度，而 E_1 及 E_2 爲其或是誤差，則此二長度乘積所表示之面積之或是誤差，爲：

$$E_a = \sqrt{L_1^2 E_2^2 + L_2^2 E_1^2}$$

如 Q 爲計量所得之一數值，其或是誤差爲 E ， O 爲一常數或一已知數，則 Q 及 O 二者乘積之或是誤差爲：

$$E_p = CE$$

如 Q_1, Q_2, \dots, Q_n 爲若干獨立計量之數值，而 E_1, E_2, \dots, E_n 爲其相當或是誤差，則諸數值之和之或是誤差爲：

$$E_s = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2}$$

如 Q_1 及 Q_2 爲二獨立計量之數值，而 E_1 及 E_2 爲其相當之或是誤差，則二數值之差之或是誤差爲：

$$E_d = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

第六章 量距離法

第一節 總論

距離 所謂兩點間之距離，指其水平距離而言，不問兩點高低之比較爲如何也。在大地測量上，水平距離，係以在海平面上之相當數計之；在平面測量上，則不需如此改算也。

距離之量法有數種，隨各種情形而擇用之。計量距離之精密程度，在粗疏之初步測量，有百分之一已足；在大地測量，則有至二百萬分之一者。

以步數估量距離 此法堪用以約略校勘別種量距離之精密方法。在小比例尺之地圖中，可藉以測定細節。在初步測量，且常以馬行步數，估計距離也。

以步數估計距離，隨測量員之經驗及當地情形而異。有經驗者，在普通情形時，估計結果，其精密程度，不難至百分之一也。

常人每步約較二英尺半爲略大。以步數估計距離時，宜以二英尺半爲一步，如此則在地面不平之處，可將一步長度略予增加而不覺疲乏；且四十步卽爲一百英尺，換算甚便也。

計算步數，常用記數器，亦有用特製之步程計者，亦有用步數計者。步數計略與時表相似，帶於身上或繫於腿上，能自記步數。步程計與之相似，惟所記者則爲英里數也。

以輪轉數量距離法 此法與以步數量距離法相似。汽車之上，恆裝有速度計，由車之速度，卽可推知所行之距離。

有一種儀器，名曰輪轉次數計，安於車輪上，計量輪之旋轉次數。量定車輪周圍，卽由此及輪轉次數，推定其所行距離。此計所表示之距離，自較實在水平距離爲略大；惟除在山地以外，尋常用此器測定之距離，並不須加以校正。用平板儀測定小比例尺地圖上之細節時，每利用之。

視距測量 此法測量距離，甚爲捷速。其詳後將述之。其精密程度隨儀器，測量員，天氣情形，距離大小等而異；在普通情形中，約在三分之一與一千分之一之間。地形測量，用此法最宜。

直接計量 此法爲最準確而最通用之法。其所用儀器，今日概爲卷尺。其方法將於下節述之。

其精密程度隨測量者所用方法之粗細而異。在不平之地，草草量之，或不及用視距測量法者之精密，反是，如細心計量，除去一切誤差，則竟可將或是誤差，減至一百萬分之一以下也。

諸法比較 凡重要之線（如土地界線，大地圖中水平主線，工程計劃中之基線等）皆應用卷尺測量之。近年視距測量法之優點大著，而地圖上之線路，多由此法求之。各種方法，自有其適宜用途，及相當之精密程度，測量員應隨時酌定之。

第二節 用卷尺量距離法

卷尺 卷尺隨其材料，長度，及重量而分為數種。最常用者為鋼卷尺及銅筋布卷尺。用於極精密之測量者，為印發耳（Invar）合金卷尺。分述如次。

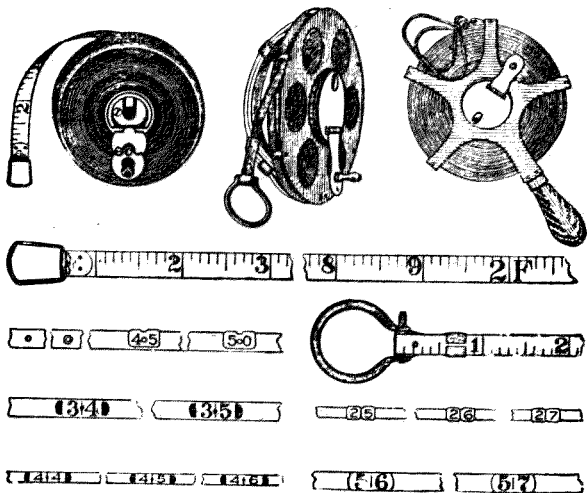
（一）鋼卷尺 測量之時，於重要之線，恆用鋼卷尺量其長度。鋼卷尺之長，大都為一〇〇英尺，但亦有較短或較長者。輕薄之卷尺，每一尺更細分為一百格；用藥水蝕出分度線及數字。厚重之卷尺，僅分畫為尺數，而於末端之一尺，細分為一百格；其分度線及數字，有就卷尺鋼面用藥水蝕出

者，有印於鋼片而附於卷尺上者。第六圖所示為數種鋼卷尺之式。

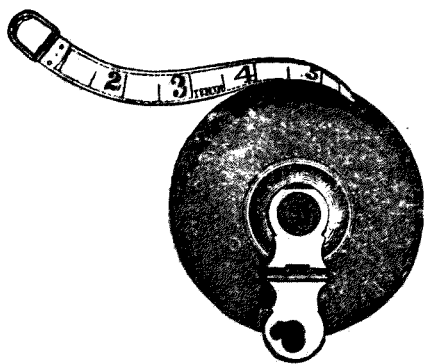
鋼卷尺甚易生鏽，故用後須仔細拭乾。用鋼卷尺時，極須注意，勿使糾纏成結，否則極易折斷也。

鋼卷尺有彈性，受牽引力則伸長。又當溫度變化時，其身長度亦隨之變化。廠家製造鋼卷尺時，常有牽引力及溫度之標準；其卷尺合乎此標準時，長度恰無增減。惟此種標準，各製造廠未必全同耳。較大之測量機關，應自置標準卷尺，以校正所用鋼卷尺也。

(二) 銅筋布卷尺 銅筋布卷尺如第七圖中之所示。其布帶乃用不透水纖維，雜以黃銅



第六圖 鋼卷尺



或青銅之細絲織成。其長常為五十英尺，依英尺畫分，更將每一英尺分為十分之一及二十分之一。銅筋布卷尺，大都用以定填土掘土之橫剖面積，及相類之工事。

圖

銅筋布卷尺

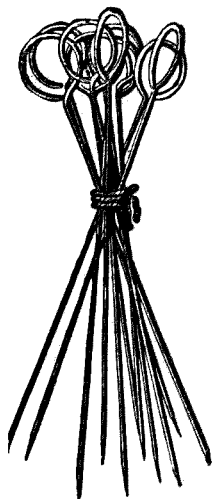
(三) 印發耳合金卷尺 印發耳合金乃鑲與鋼之合金，其膨脹率極微，僅得鋼之三十分之一。製為卷尺，能不因溫度之升降而使長度發生變化。此合金頗軟，故當使用卷尺時，應十分留意，勿令糾纏成結。此卷尺之價甚昂，故平常測量，未有用之者。

測簽 量距離時，如不止一卷尺之長，則以

測簽記歷次卷尺末端之所在。測簽長自十英寸

至十四英寸。每組計有十一支。其式如第八圖所

示。



第八圖 測簽

測竿 測竿用以表示點之位置，及線之方向。用木或鋼製之。橫剖面作圓形或八角形。下端尖銳，以便插入土中。長度常爲八英尺。竿面分段施漆，紅白相間，每段長一英尺。第九圖所示，乃測竿之一式。



第九圖 測竿

平坦地上量距離法 用卷尺量距離之方法，隨所需精密程度及測量目的而略異。今將合乎尋常精密程度（例如容許誤差爲五分之一者）之法，述之如下。所測距離，爲兩點間之距離。樹一測竿於遠處之點，以便辨認之。需用之器具爲長一百英尺之鋼卷尺一條，測竿一根或數根，測簽十一支。測量員二人，分執卷尺之二端。在前者曰前卷尺員；在後者曰後卷尺員。後卷尺員立於起點處，以一測簽插入起點之土中，前卷尺員執卷尺上有零點記號之一端，並攜測簽十支而前走。當其已行過約一百英尺之時，後卷尺員即呼『用尺量。』前卷尺員聞之，即時止步。後卷尺員乃執卷尺之一端，使其上之一〇〇英尺分度線，約與起點測簽符合；又向前瞭望，用手勢或言語，命前卷尺員移動其所執之一測簽，至入由起點至終點之一線上爲度。測簽既入此線，則後卷尺員告知前卷尺

員，而前卷尺員乃用右手將此測簽垂直插入線下離卷尺上零點稍後之處。其左手則將卷尺拉直，且令卷尺與測簽相觸。後卷尺員察其所執卷尺末端上一〇〇英尺分度線已與起點測簽完全符合，乃呼「好。」前卷尺員聞之，即將測簽拔出，移插於與卷尺零點相合之處，其簽上端略向線外傾斜。前卷尺員再將卷尺拉直，如見其零點，確與測簽與他面之交點相符，即呼「好。」於是後卷尺員，放鬆卷尺，而前卷尺員拖之前進，量線之第二段，一如上述。後卷尺員每次離開中間之點時，將測簽拔起。故地上常有一測簽，而後卷尺員手中測簽之數，即為自起點至地中有測簽一點間之百英尺數。

每量至一千英尺時，前卷尺員將最後一支測簽，插入地中，其手內已無餘簽。於是向後卷尺員索測簽，而後卷尺員乃攜所拔起之十簽，還交之。兩人檢點測簽，知無遺失。於是前卷尺員，將其數記入簿中。前卷尺員取得十簽後，乃依前法繼續量定所餘距離。

量至終點時，前卷尺員停止前進，而後卷尺員則前行至最後測簽處。前卷尺員執卷尺末端，使其零點恰與終點相對。後卷尺員將卷尺拉直，而察最後測簽與終點間之英尺數及其小數。如所用

卷尺僅在兩端各一英尺中分爲百度，則其察驗之法如下。先由後卷尺員將卷尺拉直，而察最後測簽與終點間之英尺數。次由後卷尺員移動卷尺，使其上較大之一英尺分度點與測簽相對；而由前卷尺員將卷尺拉直，察其末端一英尺處與終點間之英尺小數。此時後卷尺員所執卷尺處之英尺數，加前卷尺員所察出之英尺小數，減去一，即最後測簽與終點間之距離之英尺數。例如後卷尺員所執處爲八英尺，前卷尺員所讀出者爲〇・六七英尺，則自最後測簽至終點之距離，乃八七加〇・六七而減去一，即八六・六七英尺也。

不乎地面上或斜坡上平量距離法 在不乎地面上或斜坡上量距離法，與在平坦地面上，大略相同。測量之時，卷尺取水平位置，而卷尺員用垂直之線，藉令卷尺之末端，適與地面之測簽上下相對。如由坡上向下行，則前卷尺員將卷尺之零點，移於地面；如由坡下向上行，則後卷尺員依地面測簽之所在，以定卷尺上一〇〇英尺分度點之地位；如地面坡陀起伏無定，則兩卷尺員均須用垂直之線也。

在不乎地面上量距離，欲求結果之精密，與在平地上者相等，則須特別謹慎爲之。卷尺之是否

成水平，乃憑經驗以作斷定。卷尺之大部分，下無支承，故須增加牽引力，以抵消卷尺下垂之影響。

如地面之傾斜不急，每一百英尺，僅升降五英尺之譜，則前卷尺員每次前行，仍以一百英尺為準，而後卷尺員收其所插之測簽，法與前述者相同。若量距離係由高處向低處，則前卷尺員於所執卷尺已成水平時，取垂直之線，自卷尺上零點處下懸，至鉛錘離地數尺為度，拉直卷尺，由後卷尺員指揮之，令其恰位於所量之線上。當鉛錘已不動時，前卷尺員急弛繫鉛錘之繩，容鉛錘之尖端，陷入土中。乃移出鉛錘，而於其處插入測簽。又依法重為之，以作校對。若量距離係由低處向高處，則前卷尺員執卷尺之零點一端，與地面接觸，且適在所測之線內。後卷尺員提起卷尺之一〇〇英尺分度點一端，使全尺成水平，又取垂直之線，自此點下懸，並通知前卷尺員之手向前進或向後退，至垂直線之鉛錘，恰正於測簽上為度。於是前卷尺員插下測簽，又復測之，以作校對。

如坡度頗大，且係由高處向低處測量，則前卷尺員向前進行一百英尺，復退行至中間一點，執卷尺使成水平。於是在某一英尺分度點處，懸垂直之線，而由後卷尺員指揮之，使在所測之線內。前卷尺員乃於所選之處插一測簽。後卷尺員向前行，予前卷尺員以測簽一支，且所執卷尺，恰在前所

選定之英尺處，使與測簽相對。前卷尺員乃進行至別一點，在此點仍能執卷尺使成水平。後卷尺員執卷尺上之分度點，使與測簽相對。前卷尺員再插一測簽。如是反復爲之，直至前卷尺員已至卷尺上零點處爲止。在各中間點處，後卷尺員予前卷尺員以測簽一支，惟在適當卷尺全長之點處則否。依此法，卷尺之前進，恆以一百英尺爲單位，而後卷尺員在各一百英尺處所執之測簽數，卽表示上一次記載後，所量得之一百英尺數目。惟此法不免稍嫌遲緩耳。

在斜坡上斜量距離法 如斜坡之傾斜度一律，而無甚變化，則可依其斜量距離，而算出水平距離，惟須測定傾斜度或每隔一百英尺之高度差耳。在尋常精密程度之測量中，可用測斜器以量傾斜度，用手提水準器以量高度差。斜量距離之法，與量水平距離之法，幾於全同。

傾斜校正量 在尋常精密程度之測量中，當斜坡之傾斜度不大於二〇比一〇〇時，可依下列公式，求得傾斜校正量，加於所量得之斜距離，而得水平距離。

在第十圖中， s 爲斜距離， h 爲二點之高度差， d 爲水平距離， θ 爲傾斜角， C_h 爲傾斜校正量，則：

$$C_h = h^2 / 2s \dots\dots\dots (1)$$

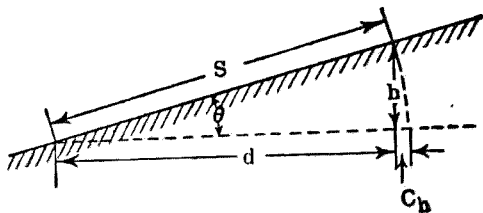
$$O_h = \frac{1.5(\theta^\circ)^2}{B} \dots\dots\dots (11)$$

$$O_h = a \text{ vers } \theta \dots\dots\dots (11)$$

(一)及(二)式為近似公式；(三)式為正確公式。

量距離之誤差 量距離時之誤差，可分別其原因如下。

- (一)卷尺之長度與標準不符 由此發生定常誤差，惟可憑校準卷尺長度而消除之。
- (二)卷尺斜出於正線以外 由此發生有變化之整齊誤差，無法消除，惟如卷尺員謹慎從事，可將其減至極小而能略去不計。
- (三)卷尺未成水平，或測定卷尺傾斜度未正確 由此發生與(二)相同之誤差。此種誤差，未易憑眼力發見，故為尋常量距離時所有誤差之一大部分。此種誤差，不能憑反覆計量而消除之；惟如用手提水準器或測斜器時，則可將其減至極小耳。
- (四)卷尺末端高舉時，與測簽不在同一垂直線上；觀察卷尺不準；插測簽不準 此皆偶然



第十圖 傾斜校正量

誤差，故其或是誤差與卷尺長度數之平方根成正比例。卷尺末端高舉時，與測筭不在同一垂直線上，發生誤差，較為重要。通常在不平坦之區域中，須將一百英尺距離，分作數段量之，則每卷尺長度之或是誤差，可至 ± 0.05 或 ± 0.1 英尺。如插測筭不準，或觀察卷尺不準，其每卷尺長度之誤差，約為 ± 0.01 英尺。此種誤差雖不能消除，然其對於結果誤差之影響，尚不重耳。

(五) 卷尺所受牽引力之變化。由此發生整齊誤差，而其量則隨所用測法及卷尺員之性習而定。其誤差大概可以略去不計。

(六) 溫度之變化。卷尺熱脹冷縮，由此發生誤差。如溫度有五十度之變化，則卷尺長度變化，可至每英里一·五英尺也。此種誤差，乃頗關重要也。

(七) 卷尺不直。在測量草地或叢莽時，每易發生卷尺不全在所測線上之弊，而發生誤差。此誤差乃整齊誤差。如前卷尺員能用心將卷尺拉緊，而注意驗其是否正直，則此誤差，乃不甚重要也。

(八) 卷尺下垂。如卷尺之受支承，非在其全部而僅在其數點，則在無所支承之處，因本身

重量而下垂。用長度恰爲一〇〇英尺而重爲三磅之重卷尺，在其兩端，施以十磅之力而牽引之，由下垂發生之整齊誤差，約爲每一卷尺長度〇・三五英尺。其牽引力增至二十磅時，誤差約爲〇・〇九英尺；增至三十磅時，誤差約爲〇・〇四英尺。

(九)牽引力 卷尺受牽引時伸長所發生之誤差，略與其下垂誤差相抵消。故上所述之重卷尺，受三十磅牽引力時，實在誤差，或者每一〇〇英尺僅有〇・〇三英尺也。用輕卷尺時，所用牽引力，如恰使所發生誤差，與下垂誤差相抵消，是爲正則牽引力。

尋常用卷尺量距離時，整齊誤差之量，常遠較偶然誤差爲大。故結果誤差，乃與卷尺計量次數成正比例，即與所量長度成正比例。

如極力設法消除此種整齊誤差，例如在精密量定根線時之所爲，則偶然誤差乃覺重要，此乃所以宜用特長之卷尺也。

卷尺下垂校正量 卷尺在兩點受支承而其中間下垂時，成垂曲線之式。下垂校正量即爲此曲線之弧與相當之弦兩者之差。在計算時，可視此弧爲拋物線，而校正量則如下式所示：

$$C_s = \frac{w^2 L^3}{24 P^2} = \frac{W^2 L}{24 P^2}$$

式中 w 爲卷尺之單位重量，以每英尺之磅數計，

W 爲卷尺在兩支點間之全重量，以磅計，

L 爲卷尺在兩支點間之長度，以英尺計，

P 爲卷尺所受牽引力，以磅計，

C_s 爲兩支點間之下垂校正量，以英尺計。

牽引力校正量 如卷尺所受牽引力，與其在校準時所受者不同，則卷尺隨之而有伸縮。牽引力校正量如下式所示：

$$C_p = \frac{(P - P_0)L}{AE}$$

式中 P 爲卷尺所受牽引力，以磅計，

P_0 爲卷尺在校準時所受之牽引力，以磅計，

L 爲卷尺之長度，以英尺計，

A 爲卷尺之橫剖面積，以平方英寸計，

O_p 爲每一卷尺長度之牽引力校正量，以英尺計，

E 爲鋼之彈性係數，在每平方英寸二八〇〇〇、〇〇〇至三〇〇〇〇、〇〇〇磅之間。

中垂影響之消除 將上述中垂校正量與牽引力校正量兩方程式之右項，列成相等式，則令由增加牽引力而生之伸長量，與由下垂而生之縮短量，恰相抵消。發生此項情形之牽引力，名曰正則牽引力，以 P_r 表示之，其量如下式所示：

$$P_r = \frac{0.204W \sqrt{AE}}{\sqrt{P_r - P_0}}$$

溫度校正量 鋼之受熱膨脹率，爲每華氏計一度，約 0.0000065 。如卷尺在 T_0 度時，

長度合乎標準，而用之計量長度時之溫度，爲 T 度，則溫度校正量，如下式所示：

$$C_x = 0.0000051 (T - T_0)$$

式中 l 爲量得之長度。

用卷尺量距離之精密程度 用卷尺量距離時，隨情形之不同，而異其精密程度，今分述如下：

(一) 通常在平坦之地，量定距離時，係用卷尺成水平量之；由卷尺屬於低地一端，依垂直線，將其末端分度點移於地面，遇地面過於不平時，則分段量之；卷尺所受牽引力，約略估計之；對於中垂及溫度等等引起之誤差，不加校正。所用卷尺，常長一〇〇英尺，而重二磅。測量結果之大誤差，不外下述：(一) 卷尺不成水平之誤差，每一卷尺長度，約爲負〇・〇四英尺；(二) 卷尺下垂之誤差，每一卷尺長度，約爲負〇・〇三英尺；(三) 溫度之誤差，每一卷尺長度，約爲正或負〇・〇一英尺；(四) 卷尺末端與測簽不在同一線上之誤差，乃偶然誤差，在一卷尺長度，約爲正或負〇・〇五英尺。假定測定之距離爲一千英尺，則併合此數種誤差而得之總誤差，爲負〇・四四英尺至負〇・九六英尺。相當之精密程度，即二千三百分之一至一千分之一也。

(二) 通常在平坦之地，量定距離，主要誤差爲溫度誤差及卷尺不平之誤差。假定安插測簽

時之誤差，爲每一卷尺長度正或負 0.007 英尺，卷尺不平之誤差，爲每一卷尺長度負 0.002 英尺，溫度誤差爲正或負 0.001 英尺，則相當之精密程度，約爲三千分之一至一萬分之一。通常在誤差爲五千分之一時，卽視爲良好結果，惟須常視溫度變化，而估計校正量耳。

(三)當在平滑表面，例如鋪砌之街道上量定距離時，如謹慎依此表面量之，則主要誤差，乃溫度誤差。如計算溫度校正量時，僅約略估計溫度，而不實測溫度，則溫度之誤差，可以對於每一 0.001 英尺有正或負 0.0006 英尺至正或負 0.0001 英尺。若夫牽引力之誤差及安插測簽之誤差，與此相較，皆甚微矣。在此種情形中，相當之精密程度爲一萬分之一至一萬五千分之一。

(四)在作精密程度甚高之測量時，須於卷尺附溫度計，以定溫度，又附彈簧稱，以定牽引力。所用卷尺，常取輕者。既從量得長度中，將卷尺下垂之誤差，卷尺不平之誤差等除去後，所餘誤差，大都屬偶然誤差矣。假設同一方向之一切整齊誤差，可以對於每一 0.001 英尺有 0.0004 英尺，而一切抵消誤差，可以對於每一 0.001 英尺有正或負 0.0007 英尺，則量一英里長之線時，其精密程度，可爲二萬分之一至三萬分之一。

(五) 量定距離，如所求之精密程度，高至十萬分之一或五十萬分之一，若用鋼卷尺，則須於夜間或陰天施行測量，以防卷尺溫度有不能確定之變化。此種測量中所用卷尺，常為長三百英尺而曾經校準者。若用印發耳合金卷尺，則溫度之誤差，可以減去不少。

錯誤 用卷尺量定距離時，常易發生之錯誤，有下列數項，須注意避免之。

(一) 多計或少計一卷尺長度。

(二) 多計一英尺。

(三) 誤認卷尺上某一點為零點或一〇〇英尺分度點。

(四) 認錯卷尺上數字。

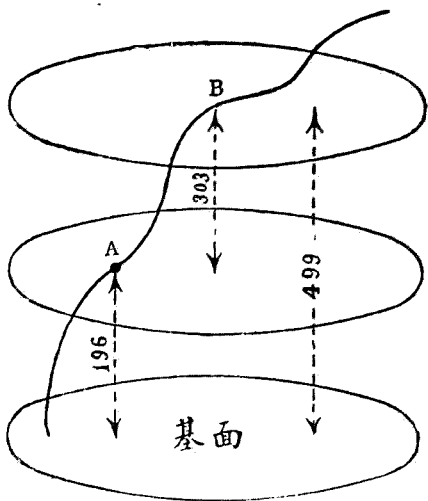
(五) 讀錯卷尺上有小數點或零之數字。

第七章 量高度差法

第一節 總論

定義 地面上兩點高度之差，乃存有此兩點之水平表面（或為實有之表面，或僅屬想像）間之垂直距離也。在第十一圖中，不規則之線，表示地球表面之剖面，在此表面上有A及B二點。有規則之曲線，所表示之剖面，則為想像中之水平表面，存有此二點者也。

圖中最下之曲線，所表示之剖面，則為所謂基面，乃任意假定之水平表面，而凡言及某點之



第十圖 高度之差

高度時，即指其點在基面上或基面下之垂直距離而言也。如A點對於基面之高度爲一九六英尺，而A與B間高度之差爲三〇三英尺，則B點之高度爲四九九英尺也。量高度之差，實即直接或間接測定垂直距離耳。其事特稱曰高度測量。

最常用之基面爲平均海平面。雖在小規模之測量，所選基面，每與海平面無涉。例如假定起測之點之高度爲一〇〇英尺，而以後諸點之高度，悉據此計算，是也。如僅欲知所有諸點間高度之關係，則所選基面與海平面之關係如何，自可不問也。

量高度差方法之分類 量高度差之方法，可分爲三，如下所述：

(一) 用氣壓計之高度測量。

(二) 間接高度測量。

(三) 直接高度測量。

地球表面之彎曲 前已言及，水平表面，乃處處與地心引力方向成垂直者也。與水平表面相切之線，名曰地平線，乃在切點處與地心引力方向成垂直者也。第十二圖中，最上一直線，與水平表

面相切，表示地球之平均表面。在地平線與地球之平均表面間之切線距離，乃計量地球弧度者。其值約略與自切點起之距離之平方成正比例。如有一道光線，自切點起沿此地平線發射，則略向下屈折；反是由離切點某長度處，在此地平線下發射之光線，則可於至此切點時而變成與地平線相合。此現象名曰空氣中光之屈折。故如在圖中 A 處視本在 B 處之物，則將見其在 O 處；而實在之視線，乃沿 A B 曲線也。

地球弧度及空氣中光之屈折兩事合併之影響，可以下列近似公式表之。

$$h = 0.57K^2 = 0.021M^2 \dots\dots\dots (1)$$

式中 K 為自切點起之距離，以英里計，

M 為自切點起之距離，以一千英尺計，

h 為地球弧度及空氣中光之屈折二者之影響，以英尺計。

用氣壓計之高度測量 地面上大氣壓力，與高度成反比例，故可憑氣壓以推測高度。錐柱氣

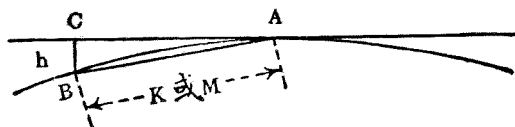


圖 二 十 第

壓計及空盒氣壓計，皆可應用，而以後者為便。在山巒起伏之地，高度差甚大，作初步測量，可用此法。所得結果，總有數%之誤差，蓋氣壓乃隨時變化，而無定值者也。

間接高度測量 第十三圖中，A點之高度乃已知者，B點之高度乃所欲測定者。今用間接高度測量法測定之。量 α 角，又量AD線長度。在尋常測量範圍內， $AD=AC$ 而 $\angle BCA=90^\circ$ 。故

$$h_b = AC \tan \alpha \dots\dots\dots (11)$$

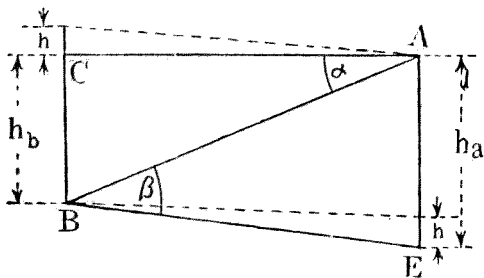
又由(一)式得，

$$h' = 0.02M^2 = 0.02 \left(\frac{AC}{1,000} \right)^2$$

式中A C以英尺計，

故高度差為

$$H = h' + h_b = AC \tan \alpha + 0.02 \left(\frac{AC}{1,000} \right)^2 \dots\dots\dots (12)$$



第 十 三 圖 間 接 高 度 測 量

如由B點向A點測定垂直角 β ，則

$$h_a = EB \tan \beta$$

在常常測量範圍內， $EB = AC$ 。故

$$h_a = AC \tan \beta \dots\dots\dots(四)$$

由此知高度差為

$$H = h_a - h' = AC \tan \beta - 0.02 \left(\frac{AC}{1,000} \right)^2 \dots\dots\dots(五)$$

將(三)式及(五)式相加，則

$$2H = (h_a - h') + (h_b + h') = h_a + h_b$$

$$H = \frac{h_a + h_b}{2} = \frac{AC}{2} (\tan \alpha + \tan \beta) \dots\dots\dots(六)$$

在尋常測量中，間接高度測量法，頗適於在山巒起伏之地，急速測定高度之用。

間接高度測量所遇之誤差大都為偶然誤差，其精密程度隨視線之長度所用之儀器及垂直角之大小等而異。如用轉鏡儀量角，則在尋常情形中，其誤差可不逾以距離英里數之平方根乘 0.4 英尺也。

直接高度測量 在第十四圖中，A 點之高度為已知，B 點之高度乃所欲測定者。今用直接高度測量法測定之。於中間一點 L，安設水平儀，先後置水平桿於 A 點及 B 點，而由水平儀中測定垂直距離 AC 及 BD。水平儀之視儀，在 E 點與水平線相切。

如以 H_a 表示 A 及 D 二點之高度差，以 H_b 表示 E 及 B 二點之高度差，則

$$H_a = h_a - h'_a \quad \text{而} \quad H_b = h_b - h'_b \dots\dots\dots (七)$$

式中 h_a 及 h_b 乃在 A 及 B 二點所測定之垂直距離，而 h'_a 及 h'_b 乃地球弧度及空氣中光線屈折二者對於地平距離 DA 及 LB 之影響。

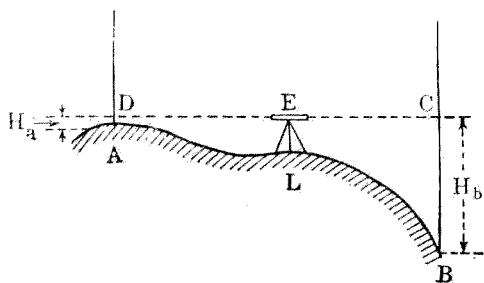


圖 四 十 第

如H爲A及B二點之高度差，則

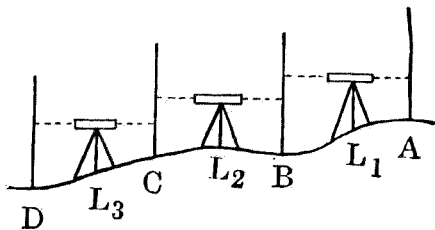
$$H = H_a - H_b = (h_a - h'_a) - (h_b - h'_b)$$

$$H = h_a - h_b - h'_a + h'_b \dots\dots\dots (八)$$

如後視線長 L_A 與前視線長 L_B 相等，則 $h'_a = h'_b$

$$H = h_a - h_b \dots\dots\dots (九)$$

如是，使後視線與前視線同長，則兩點間之高度差，即等於由水平儀中所察得此兩點之水平桿長度，而不須更考察地球表面之弧度，加以校正矣。在作直接高度測量時，進程序如第十五圖所示。A及D兩點之高度差，乃所欲測定者。先安置水平儀於 L_1 點，但取便利而已，其點不須在連接A及D之一線上也。由 L_1 點向後點作後視，又向一點B作前視。B點亦爲選取便利之點用之。於是移水平儀至 L_2 點，向B點作後視，向一C點作前視。如是次第爲之，以至終點焉。



第 十 五 圖

作精密直接高度測量時，於前視線及後視線長，以步數定之，或以視距量長度法定之。惟通常並不必令每一後視線與相當之前視線同其長度，但令在所測之起點及終點間，所有後視線長度之和，與所有前視線長度之和相等已足，而在事實上，兩者蓋有自然趨於相等之勢也。

在尋常直接高度測量，如儀器並無疵病，則例不計量後視線及前視線之長，亦不須注意於令其相等；蓋由此發生之誤差，為量甚微，可以忽略不計也。

用直接高度測量以定相離兩點之高度者，名曰高度差測量。

沿某有定徑路（例如鐵路，道路，洩水管之中線，）分為若干短距離，而用直接高度測量法，定各點之高度者，名曰縱剖面高度測量。

直接高度測量，用特別精密之儀器及方法為之，所得結果，特別精密者，名曰精密高度測量。凡定橫剖面，坡度，地面等高線等，亦用直接高度測量法為之。

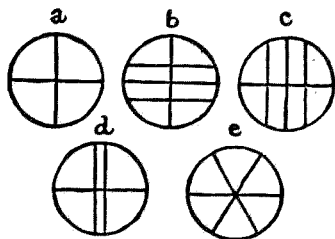
第二節 直接高度測量所用儀器

總論 直接高度測量所用之水平儀，最常用者為工程師水平儀。又有建築師水平儀，大體相同，而構造不及其精，乃供築屋時測定地面高低之用。又有手提水平鏡，甚便攜帶，堪供約略測定高度之用。轉鏡儀亦可借作直接高度測量之用。此外用具有水平桿，附屬於水平桿水平管，及轉點板等。

工程師水平儀 工程師水平儀之主要部分，為一望遠鏡，支於橫條之上，橫條則緊連於轉軸。另一水平管，安置在望遠鏡上，與之平行。水平儀之下，用螺線與木製之三足架相連。望遠鏡管中，有十字絲；從望遠鏡中窺測時，得見之，如第十六圖所示。

水平儀有二種相異之式。其望遠鏡連於橫條牢固不移者，名曰定鏡水平儀；其望遠鏡可以移動而支於Y形架上者，名曰活鏡水平儀。水平儀座常具水平螺旋四枚，但亦有具三枚者。今將水平儀各部分，分述如下。

(一) 水平管 乃一玻璃管，縱剖面成弧形。中盛醇或醚，而留一氣泡；當氣泡止於管之中點，

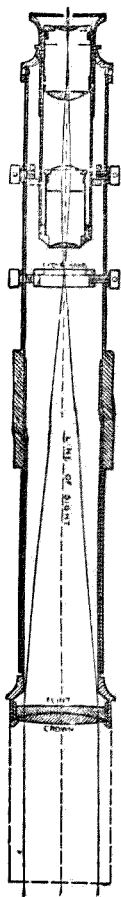


絲字十之中鏡遠望 圖六十第

即其最高點時，則管之軸，乃一水平線。

水平管成弧形，其半徑與其感應性有密切關係。半徑愈大，則感應性愈著。通常水平儀上水平管之弧線，半徑約為八五英尺。精密水平儀所有，則自三〇〇至一〇〇〇英尺。通常水平管上所分之格，恰令每一格與弧之中心角一秒相對，而水平管之感應性，與秒數（即管上分格之數）成反比例。故十秒之水平管（半徑約為一七〇英尺）之感應性，乃二倍於二十秒（半徑約為八五英尺）者也。

（二）望遠鏡 望遠鏡之主要部分，如第十七圖所示。光線由所窺望之物體來，經接物鏡A而屈折，成像於十字線平面B上。接物鏡裝在接物鏡管D之端，而D則包在望遠鏡管E內。F為螺



第十七圖 望遠鏡之縱剖面圖

旋，其在管內之端，有小齒輪，與接物鏡管所附齒條相合。接目鏡管在D及J兩環保持其位置，能前後移動。J環得憑螺旋轉動之，使十字絲之交點，現於視域之中心也。

視線乃以十字絲之交點與接物鏡之光心定之。望遠鏡之構造，恰使接物鏡之光軸，與接物鏡管之軸相合；易言之，即經過接物鏡光心之某有定光線，在望遠鏡管中，恆佔有同一位置，不因接物鏡移前移後而異也。

當使用望遠鏡時，先將接目鏡移前或移後，至所見十字絲十分清晰爲度。當從鏡中望物時，將接物鏡管移前移後，直至物像清晰爲度，此時物像應已入十字絲之平面上。如當人目稍移動時，見十字絲在物像上移動，則爲物像未落於十字絲之平面上之證，應將接物鏡管重新移動對準，至不復見十字絲在物像上移動始已。每望物一次，應將接物鏡移動對準一次也。

望遠鏡之接目鏡，構造有二種。一種所見之物爲正像。一種所見之物爲倒像。前者應用較便；後者見物較明。

望遠鏡中放大物像在人目中所支之角，與實物本身在人目中所支之角，兩者之比，名其曰放

大力優等之工程師水平儀，其放大力約爲三〇倍。精密之水平儀，放大力有大至五十倍者。

望遠鏡之放大力，應與水平管之感應性相稱。將望遠鏡瞄準一尋常距離之物體，當水平管中氣泡移動極小距離時，十字絲亦應有相當之移動；或當十字絲移動極小距離時，水平管中氣泡亦應有相當之移動。十字絲移動時能顯出之最小距離爲何，雖視物像之明暗程度等而異，而望遠鏡之放大力則與之最有關係也。

定鏡水平儀 第十八圖爲定鏡水平儀之全形。其望遠鏡連於橫條，固定不移。鏡之光軸與支橫條之轉軸之軸線成直角。水平管安置在望遠鏡下，亦固定不移，其軸與鏡之光軸，同在一垂直面上。轉軸裝在水平儀座之軸承中，得轉動自如。水平儀座則由水平螺旋節制之。轉軸之下端，有球窠關節，俾水平儀主體與下面底板之接合，有伸縮餘地。在水平儀座之上，有一箍及加緊螺旋，藉此得使轉軸緊束於水平儀座。當加緊螺旋已燃緊後，則藉切線螺旋，以節制水平儀對於垂直軸之微小轉動。

定鏡水平儀之接目鏡，常採視物作倒像者，而活鏡水平儀之接目鏡，常取視物作正像式者，故

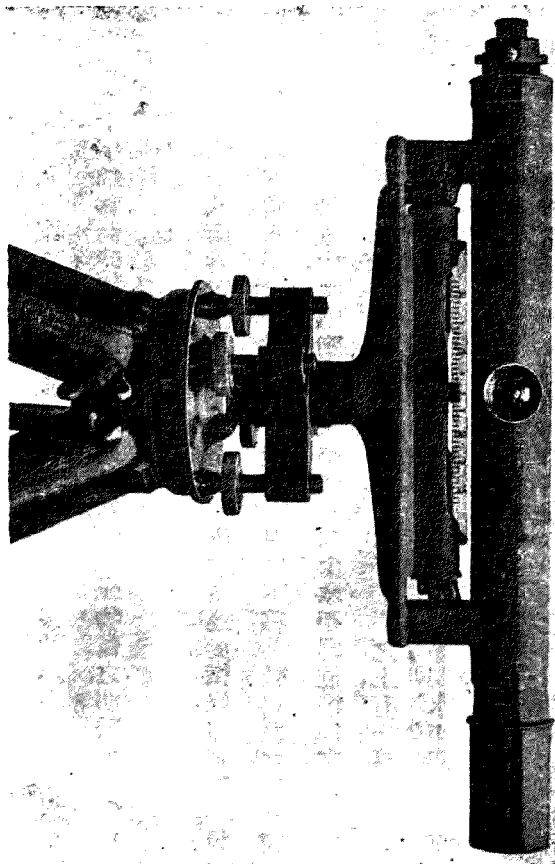


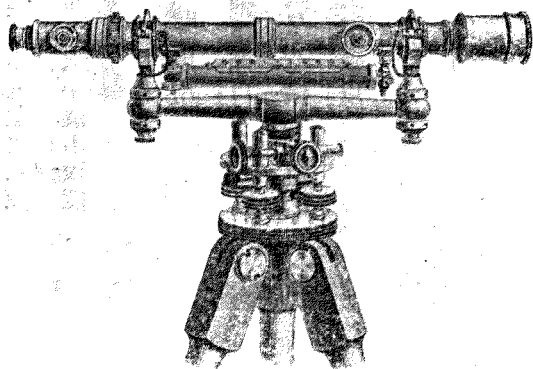
圖 八 十 第 一 種 水 準 定 鏡 用 望 遠 鏡

同一種放大力之水平儀，定鏡式者之望遠鏡管恆較短，定鏡式水平儀之優點，為構造簡單，受磨蝕

之部分較少，校準之事較少，而校準後能保持較長時間，不改原狀也。

活鏡水平儀 第十九圖爲活鏡水平儀之全形。望遠

鏡支於Y字形支座二件上。各Y字形支座之足則有螺旋紋，貫穿橫條之末端，而有螺旋帽以固定之。轉動螺旋帽，則使Y字形支座之一，升高或降低。望遠鏡在支座上，係以抱條固定之。如將抱條提起，則望遠鏡可在支座內旋轉，亦可由支座上提起，調易其首尾位置，而復置入支座內也。望遠鏡置在Y字形支座上起，周圍有環。連接兩環中心點之線，名曰望遠鏡環軸。鏡環之邊凸起，與支座之邊相抵，故鏡管不能向前後移動。當抱條已扣緊後，其一條上有突起，與望遠鏡上相當之環之凸邊相接，故望遠鏡不能繞其軸而轉動也。水平管附在望遠鏡之下，其在垂直面上及在水平面上之方向，俱可加以校準。此式水平儀之



第十圖 工程師用活鏡水平儀

其他細節，與上述定鏡水平儀多相似。

活鏡水平儀之特色，在其望遠鏡之能移動。此點無益於測量作業，惟頗能使校準一事，大加便利。但如Y字頭支座經使用而磨蝕以後，則此式水平儀不復能用常法校準，而校準之事，與定鏡水平儀同其煩難矣。

掌中水平儀 陸克式掌中水平儀，如第二十圖所示。粗測高度，用之最廣。主

體爲黃銅管，長約六英寸。水平管附於其上。主管在水平管氣泡下開口，內置三稜鏡，故氣泡之像，輕此反射至鏡管接目一端。在水平管之玻璃管下，有橫絲一道，此絲可藉螺旋以校準之；螺旋之頭突出於包圍玻璃管之水管之末端以外。接目鏡乃在一套管端之一小孔，而此管則套入主管內，憑摩擦阻力使之安定不移。套管在主管內之一端，右半部分，有半圓形放大鏡，將三稜鏡射來之氣泡像及橫絲形像放大。主管兩端，俱有平玻璃圓片護之，以防灰塵進入，而集於三稜鏡及放大鏡面。放大鏡之購準，係憑移動套管進出爲之。使用掌中水平儀時，執全管而令水平管在上，用目由管



第 二 十 圖 陸 克 式 掌 中 水 平 儀

之左半部窺察所測之物，同時又用此目由管之右半部窺察氣泡與橫絲之位置。將主管前端向下或向上移動，直至管中所見橫絲，平分氣泡爲止，蓋如此則視線成水平矣。

水平桿 水平桿乃分度之木桿，用以計量高度者。剖面爲矩形。其分度常爲英尺及其小數，亦有公尺及其小數者。桿之末端護以金屬片，以防磨蝕。分度之起點，大都卽在此處。用時執桿成垂直，故由水平儀望遠鏡中，所見桿上與鏡中十字絲之橫絲相符之尺度，卽置桿地點與視線間之垂直距離也。

水平桿之構造式樣可分二種，述之如下：

(一) 自讀水平桿 用自讀水平桿時，水平桿員之事，僅在執之使成垂直而已；而水平儀員則察水平儀中視線與桿相交之處，讀其尺度，而記錄之。故作業頗爲捷速，用之甚廣。

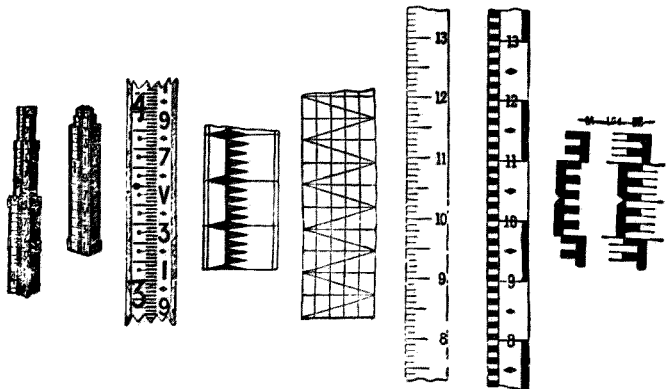
自讀水平桿之分度應明白清楚，在遠處易於辨認。第二十一圖所示，爲其數式。(甲)式最爲常見，白地間以黑條，英尺數用紅字，十分之一英尺數用黑字。視線長不逾五百英尺者適用之。(乙)式適用之距離，可至八百英尺。(丙)、(丁)、(戊)三式較複雜，遠近距離，用之俱宜。(己)式在

使用掌中水平儀時用之。

第二十二圖所示為數種自讀水平桿之全形。(甲)

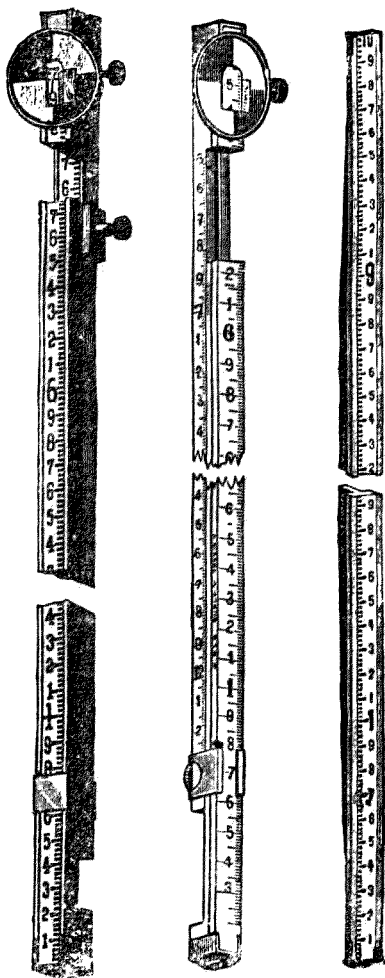
桿稱爲菲列得爾菲亞式水平桿，使用最廣。常附有視標，故亦可作視標水平標用。此桿全部長十二英尺，常分爲兩段，用二銅箍聯之。上箍附有螺旋，然緊之則兩段之相對位置即固定不移。凡所讀出高度不逾七英尺時，後段止於原來位置；如逾七英尺時，即將其儘量提起，斯時後段上前面之分度，乃繼前段而上也。圖中(乙)桿稱爲芝加哥哥水平桿，分爲三段，有套合之關節，全部長十二英尺。圖中(丙)桿稱佛羅里達水平桿，乃一整桿，長十英尺。背後有脊條，以便手執。

(二) 視標水平桿 用視標水平桿時，水平儀員



式之度分單平水讀自 圖 一 十 二 第

指示水平桿員移動桿上視標，至其被視線所平分，乃將視標螺旋旋緊，使視標固定不移。於是水平



形全桿平亦讀自 圖 二十 二 第

桿員或水平儀員，讀出視標所在之高度，或由兩人同讀之。視標上常附有微分尺，藉以計量桿上分

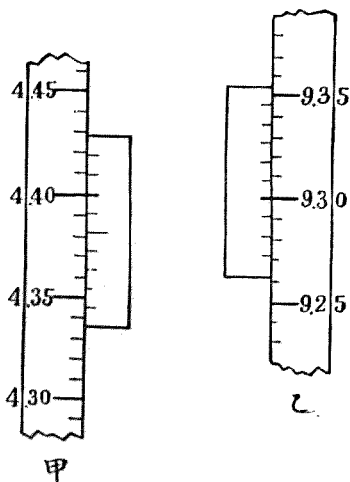
度一整度之分數，以免憑目力約值之有誤。作高度測量而遇有特別情形時（如視線極長時，如水平桿有一部分被掩蔽時），用此式水平桿，頗屬便利。惟在尋常之高度測量，則使用此式水平桿，未見能使結果加精密，而徒覺費時多勞耳。

第二十二圖所示之菲列得爾菲亞水平桿，雖本爲自讀水平桿，但亦可作視標水平桿用。桿之前段兩側有槽，與視標之突起部分相合。如所計量高度不及七英尺時，則僅用桿之前段，將視標沿桿側之槽，上下推移，而至所求位置。視標附有微分尺，藉此讀出此高度細數。桿之後段，在背面亦有分度，乃繼續前微分尺段自上而下者。上銅箍之背面，附有微分尺，於提起桿之後段時用之以讀出高度；即將視標置於桿之後段之頂，而將後段提起，直至視標被視線平分爲止，則藉後面微分尺讀出之高度，乃由桿底至視標之距離也。視標所能察出之最小限，乃一千分之一英尺也。

紐約水平桿爲視標水平桿之一種，大體與菲列得爾菲亞桿相似，惟桿面僅用線分度，而不以各色油漆繪出花紋，故不能作自讀水平桿用。

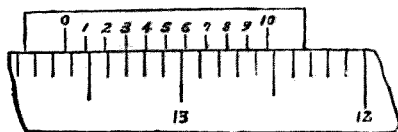
視標之微分尺有直接及倒數二種。（一）直接微分尺如第二十三圖所示，其全部長度分爲

中間之度數，此即所餘僅僅千分之一英尺數（例如在甲處桿面為〇・〇〇七英尺，在乙處桿背為〇・〇〇四英尺。）兩者相加，即視標高度之細數（例如在甲處桿面為四・三三七英尺，在乙處桿背為九・二六四英尺。）（二）倒數微分尺，如第二十四圖所示，其全部長度分為十度，與水平桿上十一度，即〇・一一英尺相當。定視標之位置，法與直接微分尺相似，所異者在計數微分



第十二圖 直接微分尺

十度與水平桿上相當九度即〇・〇九英尺相當。定視標之位置時，先由水平桿面，讀出微分尺零點所在之尺度，至百分之一英尺為止（例如在甲處桿面為四・三三七英尺，在乙處桿背為九・二六四英尺）。次在微分尺上，察出由其零點至其分度線與桿上分度線相符合之處，



第十二圖 倒數微分尺

尺上之分度數時，方向與水平桿上之分度相反，此其所以名也。

轉點座 作高度測量時，欲求結果精密，

宜用轉點座。此乃金屬製之釘或板如第二十

五圖所示，於轉點處打入地面，支承水平桿，以

免其陷入土中者也。

水平桿水平管 水平桿水平管，附於水

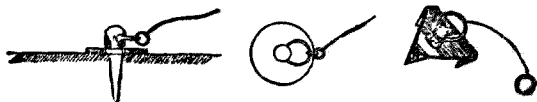
平桿，以驗其是否垂直。最常用者，式如第二十

六圖所示。乃金屬所鑄，銜鏈兩葉，各藏一水平

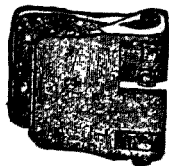
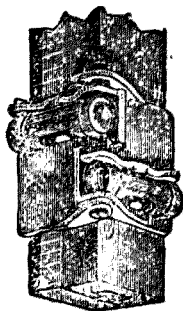
管。用時令其兩葉之平滑面與水平桿之相鄰

兩面完全貼合。見兩水平管之氣泡，俱在中心，

即知其桿已成垂直也。



第二十五圖轉點座



第二十六圖水平桿水平管

第八章 高度測量

第一節 水平儀之使用及校準法

水平儀安置法 取水平儀置於選定之地點，分開三足架之足，稍稍用力，將其壓下，使穩實不移。三足架上之水平儀座，須約略成水平。移望遠鏡管，至在一對水平螺旋之直線上，旋轉此二螺旋，使水平管中氣泡，移至管之中心。次移望遠鏡管，至在別一對水平螺旋之直線上，依同法令水平管中氣泡移至管之中心。如是反復爲之，至望遠鏡無論指向何方，水平管氣泡永止於管之中心，而不移動爲度。如水平儀乃已經校準者，則視線乃爲地平線矣。

讀水平桿分度法 作高度測量時，欲求結果稍精密，常將水平桿置於安定堅實之地，或用轉點釘或轉點板以支之。水平桿員執桿成垂直，乃以目力定之，或憑桿上水平管定之。水平儀員轉動望遠鏡，至見桿在視域中心爲度，移動接物鏡，令所見十分清明，乃細心轉動水平螺旋，使水平管之

氣泡，恰在管之中心，毫無偏差。如用自讀水平桿，則水平儀員察桿上分度與十字絲之橫絲相合之處，而記錄之。再視水平管氣泡及水平桿一次，以作校對。如用視標水平桿時，除水平儀員指示水平桿員安置視標以外，餘事相同。

如結果不求十分精密，例如所量高度之精密程度，僅至〇・一英尺者，則所作觀察往往不加校對，而於令水平桿之成垂直及水平管氣泡之止於中心等事，均可不如前者之極端審慎也。

定鏡水平儀之校準法 校準定鏡水平儀時之要點有三：

(一) 水平管之軸線應與視光軸及視線成平行。

(二) 當水平儀之望遠鏡管成水平時，鏡中十字絲之橫絲應存於地平面上。

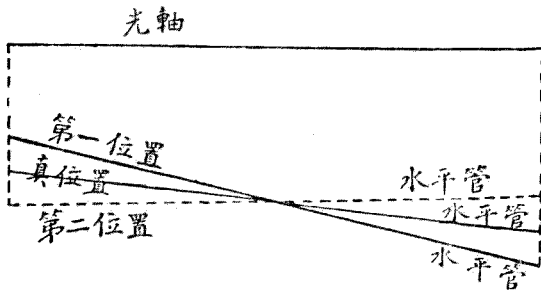
(三) 望遠鏡之垂直軸對於水平管之軸及視線，應成垂直。

儀器中能受校準之部分乃十字絲及水平管，校準之根據，乃垂直軸。今將較準之事，分述如下：

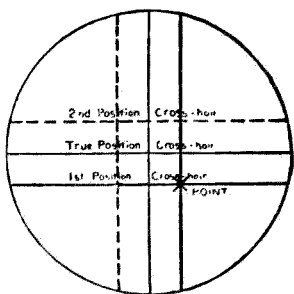
(一) 令水平管之軸與垂直軸成垂直（遂與光軸及接物鏡套管之軸成平行）。其法為先將水平儀安置穩妥。次第轉動各對螺旋，使水平管氣泡，約略止於管之中心點；次轉動一對螺旋，使

氣泡恰止於管之中點，不差毫髮。復次，轉動水平儀，使繞其垂直軸，行過一八〇度；如水平儀準確無差，則氣泡保持原位。否則氣泡移動，而其變化之量，乃表示誤差之兩倍，如第二十七圖所示。故轉動水平管一端之螺旋帽，使管端升降，藉令氣泡回復至離中心一半遠處。復次轉動水平螺旋，令儀器成水平。再依上法整理水平管。如是反復為之，至望遠鏡無論在何方向，水平管氣泡永在中心之時，即知儀器已經完全校準矣。

(二) 令十字絲之橫絲存於與垂直軸成垂直之平面上（即當望遠成水平時，此橫絲存於地平面上。）其法為從鏡中窺視，選取在橫絲上之遠方一點，作為目標，如第二十八圖中之×點。次使儀器繞垂直軸緩緩轉動。如此點祇見在橫絲上移動，則橫絲準確不差，無須校準。如此點離開橫絲，則旋轉十字絲環，直至再試之時，其點不離橫絲為度。



法準校管平水 圖七十二第



準儀之絲橫 圖八十二第

察，記明高度 a 。此時望遠鏡中十字絲將不可見，而視域甚小，不過一英尺之百分之一或二，故其中心點可以鉛筆尖指水
 平桿而決定之，所差多不過一英尺之千分之一或二而已。移
 水平桿至 B 樁處，依同一方法，測定高度 b 。移水平儀至 B 處，
 依前法安置，而測定高度 c 及 d 。

如 $C \parallel DE$ ，表示視線在 $A B$ 間之誤差，則先就水平儀

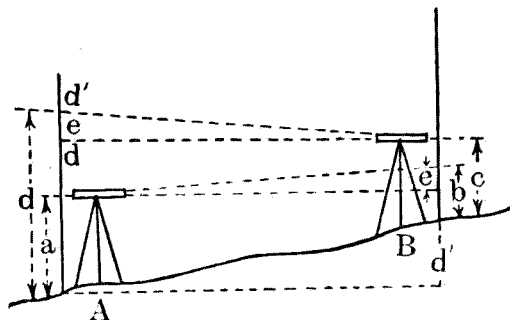
(三) 令視線與水平管之軸成平行。其法為在平坦地面，打
 下木樁二支，相隔二百至三百英尺。如第二十九圖所示。以水平桿

一支，置於 A 處木樁上。於 A

處安置水平儀，恰使接目鏡

在此水平桿前半英寸或不

及半英寸，由接物鏡向桿窺



準儀之線視 圖九十二第

在A處所作觀測言之，A及B二點間之真正高度差爲 $(p_1 - o_1)$ 。次就水平儀在B處所作觀測言之，A及B二點間之真正高度差爲 $(p_2 - o_2)$ 。合并兩式觀之，知真正高度差爲 $\frac{(p_1 - o_1) + (p_2 - o_2)}{2}$ 。如所測得A及B兩點之高度差，恰爲相等，即 $(p_1 - o_1) = (p_2 - o_2)$ ，則視線原屬校準無誤。如兩式之高度差不相等，則當置桿於A處而置儀器於B時，

$$p_2 = o_2 + \frac{(p_1 - o_1) + (p_2 - o_2)}{2}$$

校準水平儀時，將十字絲橫絲依垂直方向移動，直至視線在 d' 處與水平桿相交爲度。再依上述方法試之，以作校對也。

活鏡水平儀之校準法 校準活鏡水平儀時，要點有四：

- (一) 接物鏡套管，光軸，視線，Y字架軸，須相符合。
- (二) 水平管軸，應與Y字架軸，在同一平面上，且應成平行。
- (三) 當水平儀成水平時，十字絲橫絲應與地平線相合。

(四) 爲求作業便利起見，儀器之垂直軸，應與水平管軸及視線成垂直。

活鏡水平儀之接物鏡套管，僅能作縱向移動，而不能作橫向移動，其Y字架之軸，光軸，及接物鏡套管軸，係由製造廠於製造時，作成正當之位置關係，故在校準儀器時，對此即可不加注意。而其餘諸種關係，則須依下法校準之。

(一) 令水平管之軸與Y字架軸同在一平面上。其法爲先安置水平儀。提起Y字架之夾條，而得望遠鏡管在Y字架上轉動數度。如水平管氣泡不動，則有此關係存在。

如水平管氣泡移動，則轉動水平管一端之橫向校準螺旋，而令氣泡歸至水平管之中心。

(二) 令水平管軸與Y字架軸成平行。其法爲先謹慎使儀器成水平，提起Y字架夾條，將望遠鏡從Y字架上提起，易其首尾方向，而再置入架上。如氣泡不動，則有此關係存在。

如氣泡移動，則其變位之量，乃誤差之二倍。校準之法，係轉動水平管一端之垂直校準螺旋帽，使氣泡返行一半距離。次旋轉水平螺旋，使儀器成水平。如是反復爲之，至校準工作完全爲止。

(三) 令十字絲橫絲存於與垂直軸成垂直之平面上，易言之，即當儀器成水平時，橫絲與地

平線相合。此項校準法與定鏡水平儀所用者大體相似，所不同者惟在有數種儀器，可令望遠鏡在 Y 字架上轉動，以作校準，而不用令十字絲圈在鏡管內旋轉也。

(四) 令視線與 Y 字架軸相符合，遂與水平管軸成平行。其法為先提起 Y 字架夾條，在鏡中察十字絲交點與遠物相合之處，乃使垂直軸不動。旋轉望遠鏡，在 Y 字架上轉過一八〇度。如視線仍與所視一點相合，則有此關係存在。

如視線不與所視一點相合，則須整理十字絲環，至視線之位置，適在最初所視一點與將望遠鏡轉過一八〇度後視線所指一點二者之間。(參閱第二十八圖)如是反復為之，至得適當之關係為止。整理十字絲環，係憑相對之螺旋為之。先移一絲至適當位置，再移別一絲。

(五) 令 Y 字架之軸與垂直軸成垂直。其法為先將儀器作成水平，旋轉望遠鏡管，經過一八〇度。如水平管氣泡移動，其變位之半，是為誤差。於是旋轉被管理一 Y 字架之垂直位置之螺旋帽，而消除此誤差。

掌中水平儀之校準法 最簡單之法，係取一工程師水平儀，作成水平，而瞄準遠方一明顯物

體。次執掌中水平儀，與之同高，作成水平，亦瞄準此點。如掌中水平儀準確無誤，則此點應與其視線相合。

校準陸克氏掌中水平儀，係轉動水平管一端之螺旋，而令表示視線之十字絲升降。

第二節 高度測量

定義 (一) 高度標 是爲固定之點，多少有永存性質，其高度及其位置，乃經過測定者。高度標有爲特製之石塊或三和土塊，上嵌銅標者，有爲天然岩石者，有爲木樁者，有爲就樹根打入之鐵釘者，有爲就電桿上打入之鐵釘者，有爲在街道邊石上所作符號者。國家測量局及其他公私機關，在各地往往設有高度標，可以此作爲新測量之根據也。

(二) 高度測量 視立高度標之作業，名曰高度測量。

(三) 轉點 在兩高度標間之點，置水平桿而讀其高度之處也。轉點有用轉點釘或轉點板擊入地面，以求安定者，亦有利用天然安定之物，如岩石，街道邊石，鐵路鋼軌條等者。測量簿中常記

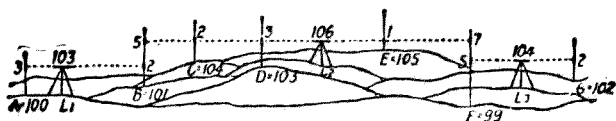
入轉點之性質，至其位置，則不問也。

(四) 後視 置水平桿於已知高度之點，如高度標或轉點，而讀出之高度。因讀此高度時，水平儀之望遠鏡，大概為沿測量進行之徑路，而向後視，故名。

(五) 前視 置水平儀於所欲測定高度之點，如將設立之高度標或轉點，而轉讀出之高度。

(六) 水平儀高度 當儀器成水平時，視線之高度。

高度測量之程序 在第三十圖中，高度標 A 之高度為已知，而高度標 G 之高度，乃今所欲測定者。首置水平桿於高度標 A 處，再置水平儀於沿兩高度標間徑路上之適宜之一點如 L_1 。由水平儀向高度標 A 測定後視。水平桿員前進，受水
平儀員指揮，沿兩高度標間徑路，在望遠鏡可望見之範圍內，相宜之處，擇定轉點 B 或 C 或 D。置水平桿於其上，由水平儀向之測定一前視。水平儀員於是移水平儀前進，至相宜之點如 L_2 ，而安置之。在此向轉點處水平桿測定一後視。水平桿員



圖十三 高度測量

又前進，擇轉點 E 或 F。如是反覆復爲之，至向高度標 G 測定前視爲止。

觀第三十圖，可知後視加後視點之高度，得水平儀之高度；由水平儀高度減去前視，得前視點之高度。將圖中所註高度標 A 之高度及各後視前視，次第加減之，即得高度標 G 之高度。又觀此圖，知一點之後視，與下一點之前視，兩者之差，即等於兩點高度之差；故在二高度標之間，一切後視之和與一切前視之和，二者之差，即等於二高度標高度之差也。

前視線與後視線之長度關係 前已言及，通常對於前視線與相當後視線之同長，不特加注意。而兩者是否經約略估計，並令其相抵，恆觀所需之精密程度定之。前已言及，如前視線與後視線相差並非特大，則由地球弧度及空氣折光引起之誤差，爲量甚微，可以不計，惟儀器錯誤差之影響，則每有不可忽略者。無論儀器之校準，如何精密，而視線與水平管軸之間，總未必絕對平行；如當水平管氣泡在管之中心時，視線恆不免微向上斜或下斜，而其誤差之量，則隨視線之長度爲衡。如一切前視線之和與一切後視線之和相抵，此誤差自能消除，明白可見。

在尋常高度測量，如知儀器確已校準，則不用注意於令一切前視線和與後視線和之相抵。在

平地上或稍有凸凹之地，上行高度測量時，視線之長，大都以望遠鏡之光學性質定之。當水平儀前進時，常憑步數或憑目力，估計視線長度之最大限；當水平桿員前進時，亦如之。

在斜坡向上或向下行高度測量時，視線之長，大都為坡度所限制。水平儀員選地安置儀器及指示水平桿員安置前視桿，慣令視線恰於低處水平桿近桿底處相交，而與高處水平桿近桿頂處相交。如是則儀器與高處水平桿之距離，必較其與低處水平桿之距離為小，易言之，即前視線與後視線之長度不等。若斜坡之坡度無變化，而前視線之和與後視線之和，不能相等；因之由視線與水平管軸不平行而引起之誤差，屬於前視線者，與屬於後視線者，不能相等，即不能恰相抵消。設在此斜坡上，兩高度標間距離甚長，則誤差之總量，每有甚大而出乎容許之範圍以外者。故遇有此類情形時，則不能不注意於令前視線長與後視線長約略相等也。

又地球弧度及空氣折光影響，有時雖可忽略不計，如前所述，惟過煩時所述情形，前後視線不同長，每次因地球弧度及空氣折光影響，發生誤差極微，而積之既多，則其總量往往甚大，未可忽略也。若再逢此種誤差，與因視線不成水平而生之誤差，適為同一符號，則誤差總量尤大矣。

由上所述，可知在精密測量中，兩高度標間前視線長與後視線長之應成相等，乃為必要之事；而在精密程度稍差之高度測量中，對於此事，亦應審度情形，而定其應否相等也。

高度測量記錄 作尋常高度測量，而不特別注意令前後視線長度相等時，其外業記錄之式，如下表所示。其中各數，係取自第三十圖之例。讀者可比較觀之。在高度測量記錄每頁之底，常將諸前視之和與諸後視之和，二者相減，驗其差數，與首一點高度與末一點高度之差數，是否符合。合則為一切計算無誤之證。惟觀察及記錄之錯誤，則不能由此發覺也。

高度測量之誤差 高度測量之誤差，可分析其原

測 點	後 視	前 視	地面高度	備 考
A	3		100	起點 A 之高度為 100 呎
L ²	5	2		
L ³	5	7		
G		2	102	
	+ 13	- 11		
	- 11			
	+ 2			

內如下：

(一) 水平儀未經完全校準 水平儀之校準，事有數端，而其與測量結果，有重要關係者，則為視線與水平管軸成平行一事。如兩者不完全平行，則引起誤差。其影響之輕重，上已論之。欲避免此誤差，除將水平儀不時校準外，須令前視線長度與後視線長度相等也。

(二) 視差 引起偶然誤差。瞄準時十分謹慎，可免發生視差。

(三) 地球弧度 此項僅當後視線與前視線不同長時，方引起誤差。在尋常情形時，二者不至有大差異，而所發生誤差，恆為偶然誤差，其影響不大，可以忽略。如後視線恆遠較前視線為長，或反是，則所發生誤差，乃整齊誤差，而分量積之頗大。其影響與視線向上傾斜者相同。其分量與水平儀與水平桿間距離之平方成正比例。欲避免此誤差，不僅應令前視線長度之和與後視線長度之和相等，且須令每一前視線長度與相當後視線長度相等也。

(四) 空氣折光 空氣折光引起誤差，與視線長度之平方成正比例，在尋常情形中，其量僅有地球弧度引起誤差之七分之一，且符號與之相反。惟此誤差又隨時變化，而在視線與地面相近

時尤甚。故雖令前後二視線長度相等，尙不能完全消滅此誤差。在尋常高度測量，此誤差可以忽略不計。在精密測量，則令視線離地至少二英尺，又令作後視後，即作前視，中間可省延攔，以免空氣折光發生變化也。此項誤差，歷時既多，爲偶然誤差，惟在短時間中，例如一日之內，則可爲整齊誤差也。

(五) 溫度變化 在日光之下，水平儀望遠鏡一端受照，一端不受照，則儀器各部分膨脹不
等，而其關係一時發生擾亂。在尋常測量，此層可無大影響，然在精密測量，則引起誤差，或竟不可忽視。誤差常爲偶然誤差，然有時或爲整齊誤差，防免此誤差，爲用陽傘掩蔽水平儀也。

(六) 水平桿之長度與標準不合 此項引起整齊誤差，與高度差成正比。可將所用之桿與標準長度比較，而將於測量結果，加以校正。

(七) 水平桿長度之伸縮 木桿因濕度變化及溫度變化，可有伸縮，發生整齊誤差。惟經過陳置且外有良好油漆之桿，其沿紋理之方向，因濕度變化而伸縮之量甚微，而其因溫度變化而伸縮之量亦甚小。故在尋常測量，此誤差可忽略不計。

(八) 水平桿不成垂直 此令讀出水平桿高度，較實數爲大。在斜坡向上或向下測量時，則

爲整齊誤差。在平地或坡陀起伏之地，則爲偶然誤差。其量與讀出之數成正比，又與傾斜距離之平方成正比。故水平桿員，務須避免其桿有顯然之偏斜。防止此誤差之法，爲用水平桿水平管，別一法爲由水平桿員執桿向前向後擺動，俾水平儀員讀出最大之尺度，因此乃桿成垂直時與視線相交之點也。

(九)轉點之地位不明顯 此使作後視時與作前視時，水平桿不在同一點，而發生偶然誤差。

(十)轉點或水平儀三足架下陷 如在作後視及作前視之間，水平儀之三足架下陷，則前視將過小，而測得前方轉點之高度，乃較實數爲大。如在作前視及作後視之間，轉點下陷，則由後視所算出之水平儀高度，乃較實數爲大。在尋常高度測量中，經過土壤柔軟之地，每有此類情事發生，其結果之誤差，乃整齊誤差，而測得之高度，遂恆較實數爲大。欲令轉點不下陷，事尙易辦，於擇定其位置時，稍加留意可也。惟在溼地以及正在解凍之地，安置水平儀，則三足架總不免漸次下陷；此際宜用二水平桿員分立於前後兩轉點處，以便作後視畢，即可繼作前視，時間既省，則三足架下陷之

度，自可減至極微矣。所餘微量誤差，尙可使化爲偶然誤差，卽於上一次安置水平儀時，先作後視，次作前視，而於下一次安置水平儀時，易其次序，先作前視，次作後視是也。

(十一) 視察水平桿時，水平管氣泡不在中心，引起偶然誤差，其量與水平儀與水平桿距離成正比。故視線愈長，則於令儀器成水平一事，愈當謹慎也。

(十二) 測量員讀水平桿之困難，及令視標恰與視線相合之困難，引起偶然誤差，其量與儀器，天氣，視線長度等而異，又隨測量員個人而異。若選擇視線得宜，則此項誤差可減至極小。

總觀上述各種誤差，可知在尋常情形中，如遵守適當程序行事，則其重要誤差，乃偶然誤差。是以結果誤差，諒與安置水平儀之次數之平方根成正比，卽與距離之平方根成正比。此層由經驗證明。故表示高度測量誤差限度，例以距離之平方根計之也。

高度測量之精密程度 在高度測量中，足以影響於其精密程度之事物極多，非別種測量所及。故不能立嚴密之規律，以求所需之精密程度。惟就經驗言之，在尋常情形中，用已經校準之水平儀及良好之水平桿，則最大誤差，可不逾下列限度。

(一) 粗疏高度測量 如在查勘路線或路線之初步測量中所行者。視線長至一千英尺。桿之讀數細至十分之一英尺。不加意於令前後視長度相等。最大誤差，以英尺計，爲

$$E = \pm 0.4 \sqrt{\text{距離之英里數}}$$

(二) 尋常高度測量 例如建築道路，鐵路，及他種工程時之測量。視線長至五百英尺。桿之讀數，細至百分之一英尺。在斜坡向上或向下測量而進行距離甚大時，令前後視長度，約略相等；惟在能令視線長度合乎常度時，則對此不特別注意。轉點在固定物體上。最大誤差，以英尺計，爲

$$E = \pm 0.1 \sqrt{\text{距離以英里計}}$$

(三) 稍正確之高度測量 例如測定城市中重要高度標時之測量。視線長至三百英尺。桿之讀數細至千分之一英尺。自視標桿或自讀桿。前後視長度，以步數計之，令其在兩高度標之間者，約略相等。桿之讀數大者，須將桿前後擺動。每次視桿時，須先察水平管氣泡，確在中心否。轉點號用金屬釘或板，或用固定物體上顯明之點。水平儀三足架安置在堅實地上。最大誤差，以英尺計，爲

$$E = \pm 0.05 \sqrt{\text{距離以英里計}}$$

(四)精密高度測量 例如用極精密方法，測定高度標，散布各處，相隔甚遠之測量。用極高等之水平儀，附有視距絲及氣泡極靈敏之水平管。每日謹慎校準儀器。不時將水平桿與標準長度桿比較。視線長至三百英尺。桿之讀數，取三絲之平均數；細至千分之一英尺。用陽傘掩水平儀，使勿受日光直射。轉點用金屬釘或板。水平桿員有二人。後視與前視急速連續定之。水平桿用水平管驗其垂直否。前後視長度，用視距定之，在兩高度標間，令其相等。水平儀安置於堅實之地。在空氣有翻騰甚劇時及大風時，停止測量。最大誤差以英尺計，為

$$E = \pm 0.02 \sqrt{\text{距離以英里計}}$$

上述各種誤差限度，乃最大誤差，而平均誤差，遠較此為小，此不可不知者也。

高度之校正 作高度測量時，進行徑路，每有復返於起始之高度標，以考驗誤差者。此往返之徑路，名曰高度測量圈。由測量記錄所算出起始點之高度，常不與原來已知之高度相符，其差乃真正之誤差，名曰圈路誤差。在高度測量圈上所有諸高度標，亦皆有誤差。今請述校正諸處高度之法。考高度測量之主要誤差，屬偶然誤差性質。故或是誤差，乃與安置水平儀之次數之平方根成正比。

例。在計算校正量時，可假設每英里中之安置水平儀次數，在圈路中前後各部分，皆屬一律。由是知或是誤差與距離之平方根成正比例。因各項觀測之輕重度與或是誤差之平方，成反比例，故在圈路中某一高度標測得高度之可信程度，乃與由起點至此高度標之距離成反比例。如 L 為高度測量圈之長； E_0 為此高度圈之圈路誤差； a, b, \dots, n 為高度標 A, B, \dots, N 與起點之距離； C_a, C_b, \dots, C_n 為應加於諸高度標高度之校正量，則

$$C_a = -\frac{a}{L} E_0; \quad C_b = -\frac{b}{L} E_0; \quad \dots \dots \dots C_n = -\frac{n}{L} E_0$$

今請舉例以明之，設在一高度測量圈中，起點高度標之高度為四七〇・四六英尺，高度圈長一〇英里。由測量記錄所得起點高度標之高度為四七〇・七六英尺。沿圈各高度標之測得高度及其與起點間之距離，如下表所示。

地	點與起點間距離(英里)	測得高度(英尺)	校正量(英尺)	校正之高度(英尺)

起點高度標	○	四七〇·四六	〇·〇	
a 高度標	二	七八〇·〇九	負 〇·〇六	七八〇·〇三
b 高度標	五	六六七·四一	負 〇·一五	六六七·二六
o 高度標	七	五四四·三二	負 〇·二一	五四四·一一
起點高度標	一〇	四七〇·七六	負 〇·三〇	四七〇·四六

$$E_c = 470.76 - 470.45 = +0.30 \text{ 英尺}$$

$$C_a = -2/10 \times 0.30 = -0.03 \text{ 英尺}$$

$$C_b = -5/10 \times 0.30 = -0.15 \text{ 英尺}$$

$$C_c = -7/10 \times 0.30 = -0.21 \text{ 英尺}$$

於測得各高度標之高度，加以相當之校正量，即得校正之高度，如表中所示。

第九章 縱剖面測量坡度測量及橫剖面測量

第一節 外業

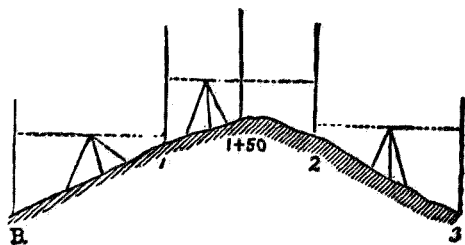
縱剖面測量 決定在一定線上相隔有定短距離諸點之高度之法，名曰縱剖面測量。凡道路，鐵路，渠道，下水道等，在定線及建築時，須作此種測量。常沿其徑路之中線，安置木樁或別種標記。木樁或別種標記之距離，例如一百英尺，或其簡單分數，如五十英尺，二十五英尺。其一百英尺之點，自路線之起點數起，名曰整數點；其餘諸點，名曰餘數點。每一木樁，記明其整數及餘數。例如離起點一六〇〇英尺之樁，記爲 1600 ，而離起點一六二五英尺之樁，則記爲 1625 。在各整數點及地面坡度變化顯明之處，測定地面高度，即可據此作成縱剖面圖。

第三十一圖，示縱剖面測量之程序。先將水平儀安置於一適宜之點，立水平桿於一高度標處（高度標 B₁，高度四三·三二），測得後視（四·三五），而算出水平儀高度（四七·六七），於

是移水平桿，次第樹於路線上各整數點及餘數點。因其點皆未知高度者，故桿之讀數，皆為前視。通常稱為中間前視，所以別於轉點或高度標點之前視也。從水平儀高度，減去諸中間前視，得諸點之高度。當桿移至不能再作前視之處，則選一轉點作前視，定其高度。於是移水平儀前進至別一適當之點，向頃所立之轉點作後視。又在諸點作前視，定高度如前。水平桿員遇坡度有顯著變化之處，則此以為餘數點，而樹桿也。餘數點與整數點之距離，係以步數計之，或以水平桿約略量之，或以卷尺量之，隨測量之精密程度而異。

縱剖面測量之記錄，示之如後：

橫剖面測量 作洩水、灌溉、土工、房屋等工程計畫時，常須知一方地或一段地之表面形式，此乃由橫剖面測量得之。即將全部面積，用縱橫線若干道分為方形若干，而決定諸角點之高度及傾斜度有變化處諸點之高度。方形每邊之長，恆取一百英尺，間亦有取五〇英尺或二五英尺者。縱橫



第三十一圖 縱剖面測量

測點	B. S.	I. S.	F. S.	I. H.	地高度	備考
B ₁	4.35			47.67	43.32	起點 B ₁ 之 高度 = 43.32
1	3.47		0.43	50.71	47.24	
1+50		2.01			48.70	
2	0.52		2.88	48.35	47.83	43.32
3			4.56		43.79	+0.47
	8.34					43.79
	-7.28					(校對)
	+0.47					

縱剖面測量之記錄

線之方向係用卷尺或轉鏡儀定之。其距離係用卷尺或視距測量定之。高度係用工程師水平儀或掌中水平儀定之。在諸方形之角點，打下木樁。由此測量之結果，可作成等高線圖。

路線橫剖面測量 作鐵路、道路、渠道之初步測量時，常沿所擬徑路，作一串測線，每隔一百英尺，作一測點，打下木樁，各測點之高度，依縱剖面測量法定之。在各測點，作與測線成直角相交之橫線，而測定其剖面形式，藉此以定測線兩側之地形，供定線研究及估計土工之用。大概在坡陀起伏之地，用掌中水平儀以定橫剖面之高度；在平坦之地，則用工程師水平儀定之。如橫線不

長，係憑眼力定其方向；如橫線較長，則用羅盤或轉鏡儀定之。樹水平桿於地面傾斜度變化之處，而後測定其與測點之距離。

第二節 繪圖

縱剖面圖 作縱剖面圖，通常係用特製之縱剖面圖紙，由其左方起向右畫之。其地平線及垂直線比例尺，隨圖之用途而定。如用以決定鐵路或道路之坡度者，地平線常用一英寸等於四〇〇英尺之比例尺，而垂直線則用一英寸等於二〇英尺之比例尺。如用以估計下水道之土工，則地平線可用大至一英寸等於四〇英尺之比例尺，而垂直線可用大至一英寸等於四英尺之比例尺也。

縱剖面圖乃依據縱剖面測量記錄製成。作一線通過繪出諸高度點，則得地面線。連接諸高度點，不可用直線；然亦不可將地面線上凸凹之處，作成過於圓整之段，蓋在縱剖面圖上，以地平線與垂直線比例相差甚大之故，此等凸凹處過覺尖銳，亦理所宜有也。

通常在縱剖面圖下方，作一路線圖，以便參考。其畫法係令此圖上各點，與其在縱剖面上之地

位，上下相當。此路線圖所表示者為直線，曲線，方向變化點等之位置。惟此圖僅表此種事實，而非真正之平面圖也。

橫剖面圖 計算土工所用橫剖面圖，常繪於特製之橫剖面圖紙上。所用比例尺，隨所需計橫剖面積之精密程度而定。大橫剖面圖，其地平線及垂直線，俱可用一英寸等於一〇英尺之比例尺。如橫剖面甚淺，則可將垂直線比例尺放大也。

橫剖面圖乃依據橫剖面測量記錄製成。作一線通過諸高度點，則得地面線。在第一測點之橫剖面圖，繪於紙之左上角。他點之圖，依次繪於其下；一行已畢，乃在右方作第二行。如是依定向右排列。每一圖下，記明測點之號數。

第十章 量角及方向法

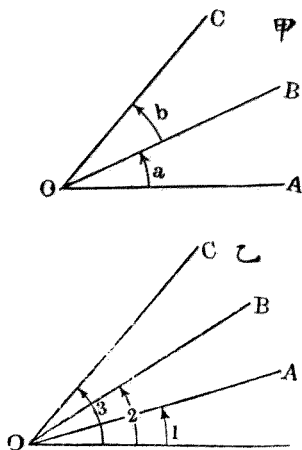
第一節 總論

引言 前嘗言及測量之目的，爲決定在地面上或與地面相近之諸點之相關位置。一點之位置，可以下列事之一定之：（一）此點對於一已知點之方向及距離；（二）其對於二已知點之方向；（三）其對於二已知點之距離；（四）其對於一已知點之方向，及其對於別一已知點之距離。如欲知數點在一地平面上投影點之相關位置，則測量之外業，爲計量地平距離（如第六章所述），及測定在水平面上之方向。如更欲知諸點之相關高度，則用高度測量法（如第七章至第十章所述）定之。

在水平面投影上，任何一線之方向，由計量此線與一參證線間之水平面角決定之。在垂直面投影上，任何一線之方向，由計量此線與地平面之垂直面角決定之。故在測量中，作角之測定，非地

平面角即垂直面角也。凡言及兩點間之角時，則恆指由第三點連結此二點之二線間所包之地平面角言之。凡言及對於某一點之垂直面角，則恆指此點出於地平面上或落於地平面向下之角言之。其角或為正角，或為負角，視其點之在地平面上或下而定之。本章則僅就地平面上之角及方向討論之。

角及方向 設有連接諸點之線於此，欲定其相關方向，可有數法。在第三十二圖甲中，有繞一點之數線。任何一線（如 OB ）對於一鄰線（如 OA ）之方向，由此兩線間之地平面角（如 a ）及旋轉方向（如鐘針旋轉方向）定之。任何一線（如 OC ）對於一不相鄰之線（如 OA ）之方向，不由量出之角直接決定，而為將其間之角（如 a 及 b ）相加計算得之。



第三十二圖 方向及角

第三十二圖乙中之線，與甲圖相同，非其角乃由參證線 OM 起量之。任何一線（如 OA ）對

於此參證線之方向，由二線間之角（如1）及旋轉方向（如鐘針旋轉方向）定之。任何二線間之角，不直接量出，而為將此二線之方向角相減計算得之（如角3減去角1，得AOC角。）

在上述第一法，係以一角表示一線對於相鄰一線之方向。在第二法，係以一角表示一線對於一固定參證線之方向。測量術之量角，不出二法之一也。

子午線 在測量術中，恆取南北方向之線，為上述固定參證線。此線名曰子午線。又分三種：

（一）假定子午線 如選擇子午線時，以意為之，並未證以羅盤，則名曰假定子午線。

（二）真正子午線 如選擇之子午線，為通過地球地理南北極之真正南北線，名曰真正子午線。此乃以天文觀測定之。在地球上任何一點，其子午線之方向，永無變化，廣大區域之測量，及精密之測量用之。

（三）磁性子午線 如選擇之子午線，與磁針所表示之地球磁力線方向成平行，名曰磁性子午線。因地球之磁性南北極，與地理南北極不同，乃時變易位置者，且與地理南北極不在一處，故磁針子午線之方向，亦時時變化，而與真正子午線非恰成平行。用磁性子午線為參證線，係在較粗

疏之測量中行之。

磁針 磁針乃有磁性之細長鐵條，當在其重心處受支承時，其方向與地球之磁力線成平行。故其在地平面上之投影，即依磁性子午線之方向，而其在垂直面上之投影，則在北半球者向北向下傾斜，在南半球者向南向下傾斜。此現象名曰磁針傾斜。磁針傾斜在赤道或其附近為 0° 度，向兩極近，逐漸增加，至磁極處則為 90° 度。為保持磁針成水平起見，恆於其一端加重物以壓之。

磁針偏差 真正子午線與磁性子午線間之角，名曰磁針偏差。如磁針之北極，所指在真正子午線之東者，稱曰偏東；如在西者，稱曰偏西。

磁性子午線之方向，常有變化，磁針偏差，隨之。此種變化有周期甚長者，有每年一周者，有每日一周者，皆不過數分之譜；又有不時發生者，則可大至一度也。

在磁針附近如有鐵礦，鋼鐵物品，及電線等，則磁針受其影響，而其偏差發生變化。在城市中，此種影響有時甚大，致令羅盤針失其效用。又使用羅盤針，隨身所攜鋼卷尺，鋼測簽，斧，小刀等物，須除去之，否則不免引起巨大誤差也。

方位銳角 任何一線對於某子午線之方向，可以此線與子午線間之銳角定之。例如在第三十三圖中，NS 為子午線，則圖中四斜線之方位銳角如下：

位銳角如下：

OA 北偏東三七度

OB 南偏東六二度

OC 南偏西五〇度

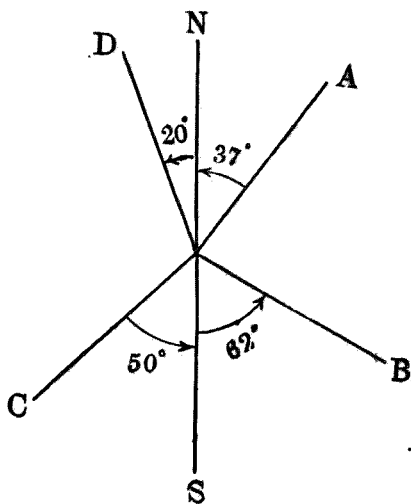
OD 北偏西二〇度

如有一線向北而與子午線平行，則其方位銳角為正北；如有一線向東而與子午線成

垂直，則其方位角為正東。

方位銳角隨所根據之子午線而有真正方位角，磁針方位角，及假定方位角之別。

方位銳角又有（一）實測方位銳角與（二）計算方位銳角之別。前者乃實地直接測量所



第三十三圖 方位銳角

得，而後者則由間接計算所得也。

方位角 方位角乃某任何一線對於某子午線之方向，又可以由子午線之南點（或北點）量起，依鐘針旋轉方向，計量此線與子午線間之角而定之。在天文觀測中，方位角恆由真正子午線之南點量起；惟在測量中，則可從所選子午線之南點量起，或從其北點量起，祇須在同一測量中，有一定標準耳。

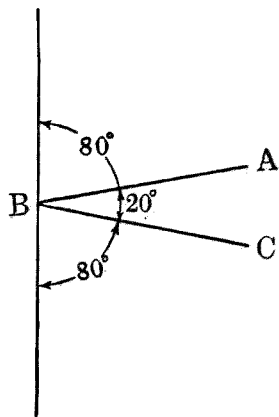
方位角亦有（一）正真方位角，（二）磁針方位角，及假定方位角之別。

方位角亦有（一）實測方位角及（二）計算

方位角之別。

因方位銳角及方位角，同以子午線為參證線而表示方向，故二者之換算，極為簡單也。

偏角 一線與其前一線之延長線間之角，名曰偏角。隨其在延長線之左右，而有向左向右之別。其例



第三十四圖 偏角

如第三十四圖所示。偏角可自 0° 度至 180° 度，惟通常在 90° 度以下。在任何閉鎖之多角形中，偏角之代數和，為 360° 度。如知連結諸線中任何一線之方位銳角，又測定諸偏角，則他線之方位銳角，即可算出；例如在第三十四圖中，A B線之方位銳角為北偏東 80° 度，則知B C之方位銳角為 180° 度減去 80° 度，又減去 20° 度，等於南偏東 80° 度也。

折測線 在測量進行徑路上，連接一串定點之曲折線，名曰折測線。諸點之距離，以量距離法定之。在折測線改變方向之處，則行量角法。如折測線成一閉鎖形，例如一段田之周界，則名曰閉折測線。如其不閉鎖，例如道路或鐵路之路線，則名曰開折測線。決定折測線之點，名曰折測線點。

大概言之，在折測線各點處方向之變化，如不及 90° 度，則測定偏角。凡鐵路、道路、渠道等定線時，幾於恆取偏角量之。在地形測量中，多量定方位角；如所作測量，係由折測線點起量定多數之角，以定物體位置者，亦然。在測定田地界線時，常量定折測線之內角，即在閉折測線內部之角也。折測線之方位銳角，罕見測定者，僅有用羅盤儀之粗疏測量中之行。

三角測量 如在測量中，測線連成三角形，測定其角，而由此諸角及已知一邊之長度，用三角

法計算其距離，其外業名曰三角測量。其連續而下之三角形，名曰三角系統。其已知長度之一邊，名曰根線。

在第三十五圖中，(甲)

為單三角形， AB 為根線， AC

及 BC 為長度未知之線。(乙)

為數個三角形連成三角系統。

AB 為根線。測定諸三角形中

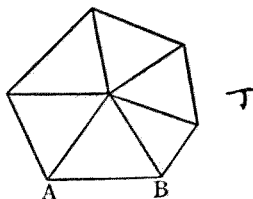
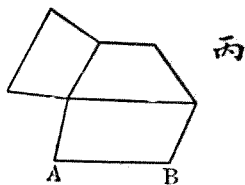
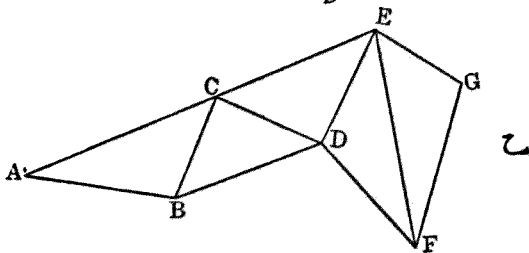
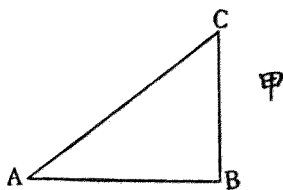
之各角。次第計算各線之長度，

直至 GH 。每一三角形中之三

角，可以其和校對之，惟計算所

得長度，除實測外無別法可以

校對。(丙) 為諸四邊形連續



第三十五圖 三角測量

而成。A B 爲根線。在各點測定其角。各線之長度，可由兩種獨立之計算得之，而有所校對。(丁)爲由三角形合成之多邊形。A B 爲根線。各線長度可由兩種獨立之計算求得，而有所校對。

簡單之三角形系統或四邊形系統，用以測定對河之點，最爲便利。成羣之多邊形，用以測量一段之地。廣大之三角測量，包括一縣一省或一國者，亦由簡單之三角形，四邊形，多邊形合成。三角測量較折測線測量爲優之處，在其所需測量距離之數較少，其較劣之處，則在計算之事較多也。

第二節 儀器

總論 量角及方向儀器，可分二類：

(一) 磁針羅盤。又分二種：

(甲) 懷中羅盤

(乙) 測量師羅盤

(二) 轉鏡儀。

今將磁針羅盤述之於下，轉鏡儀另設一章詳述之。

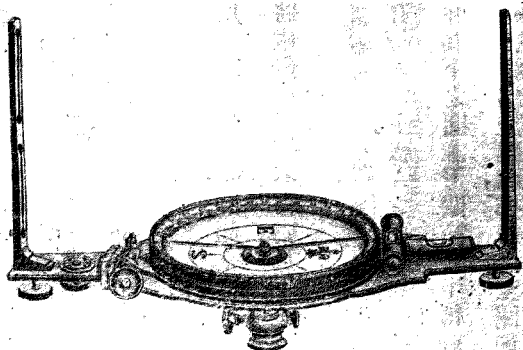
磁針羅盤 測量所用磁針羅盤，構造可分三要部：（一）羅盤盒，周圍刻度數，自南點及北點數起，由〇度至九〇度止，其東西兩點，互稍易位；（二）一道視線，依羅盤盒之南北二點方向；（三）磁針，可以提起，使離其座，又可將其抵住，令不移動。當視線指向所測一點時，磁針則表示磁針方位銳角。

懷中羅盤 懷中羅盤之視線由蓋內之線表示之。當使用之時，將蓋攤開，舉起全盒，而沿蓋內之線，以作觀測。當此視線已在適當位置時，令磁針靜止。然後將磁針提起，使不移動，放下全盒，即可讀出方位銳角。

測量師羅盤 此器如第三十六圖所示，有一羅盤盒，裝在板A之上。板A之兩端，裝有垂直之視縫片B及B'。板A當羅盤中心之下，與垂直軸相接。此軸能在其下之圓錐形關節C中轉動。D處為水平座，有球窩關節。E處為水平管。D處關節之上半部，有一拇指螺旋螺帽，擰緊之至關節中之球，為摩擦所阻，不能轉動為止。F處有一螺旋，乃令磁針升降者。H處有一螺旋，用以令垂直軸固定。

不動。羅盤圈上分度常至半度爲止。有種羅盤之構造，爲令羅盤圈能在其底板上轉動，如此則真正方位銳角，可以直接讀出。圖中羅盤，卽屬此式。當羅盤圈在其正常位置時，視線（係由視縫 A B 定之）與羅盤圈上之 N 及 S 點同在一線上，測得之方位銳角乃磁針方位銳角。如令羅盤圈轉過與磁針偏差相等之角，則測量之角爲真正方位銳角。如磁針偏東，則羅盤圈應對於底板作與方向鐘針旋轉方向相同之旋轉；偏西者反是。K 處有一分度弧及微分尺，藉此量準磁針偏差。迨羅盤圈轉過適當距離後，乃憑底板下之螺旋，令其固定不移。

用測量師羅盤測定一線之方向時，將羅盤安置在線上，令成水平。放鬆磁針，轉動羅盤，令線上測竿或別物，恰在兩垂直視縫中望見。俟磁針靜止時，乃讀出方位銳角。通常人目與磁針南端之視縫相接，而以磁針



第三十六圖 測量師羅盤

之北端，指示角度。

用羅盤作折測線時，僅須每隔點安設羅盤，而測定前後鄰點之方向。惟如逐點測之，則可發覺當地對於磁針之影響也。在羅盤測量中，任一線方向測量有誤差時，對於任何別一線之實測方向，不生影響。此乃轉鏡儀測量中所無之優點也。

羅盤測量之誤差 可分述如下：

(一) 磁針彎曲 引起定常誤差。讀磁針兩端所指之角度，而取其平均數，則將此誤差消除。

(二) 磁針樞彎曲 引起整齊誤差，其量隨視線方向而異。讀磁針兩端所指之角度，而取其平均數，則將此誤差消除。

(三) 視線平面不成垂直；羅盤分度圈平面不成水平引起整齊誤差。惟此項誤差常甚小，無大關係。

(四) 磁針不靈敏 引起偶然誤差，其量有時可甚大。如磁針之磁性減弱，可用磁石增強之。如磁針樞光變鈍，可細心磨之。

(五) 視察角度不準 視察磁針時，人目應過在磁針之上，且磁針須平。否則發生誤差，且在羅盤測量之各種偶然誤差中，此乃極重大者也。

(六) 磁性變化 此所引起之誤差，在羅盤測量之各種整齊誤差中，乃最重大者。此所以羅盤儀無論製作如何之精美，祇不過能供粗疏測量之用也。如在一點有他方磁性影響，則在此點所作之向前方位銳角及向後方位銳角，發生同量誤差。如一線自其後端所測定之向前方位銳角，與自其前端所測定之向後方位銳角，二值相等（假設無其他誤差），則此線之兩端或者均無他方磁性影響。在折測線中，如於各點向後向前測定鄰點之方位銳角，而發見各線之向前向後方位銳角有相合者，有不相符者，則可以相符之線為根據，而校正以下不相符諸線之方位銳角。例如在一折測線上有 A B C D 四點；測得 A B 為北偏東四五度，B A 為南偏西四五度，B C 為南偏東六〇度，C B 為北偏西六二度，C D 為南偏西三一度，D C 為北偏東三〇度。因 A B 與 B A 相符，故知 A 及 B 處無他方磁性影響。A B, B A, B C 之值皆無誤。因 C 點有他方磁性影響，而 C B 之值有誤差二度，故 C D 之值亦有誤差二度，其校正值應為北偏東三三度，而 D C 之值則應為南偏西三三度。

也。

測定子午線法 真正子午線，乃用天文觀測法定之。本書爲篇幅所限，僅能言其大略如次。作天文觀測時，任何種天體，祇須其位置爲已知者，即可用爲標準。惟測量師所用者則爲日及北極星，而尤以用北極星爲最簡便而普通。在尋常精密程度之測量中，所用儀器爲轉鏡儀。在羅盤測量中，爲測定磁針偏差之故，而測定真正子午線，乃在夜間行之。於適宜之高處，挂一線，線端有錘，錘尖向下，而與線上下相對。又以木椿一支，打入地面，椿頂有釘，與錘尖相對。在此垂直線南相距十五英尺至二十英尺之處，以木椿二支打入地面。估計通過垂直線下椿頂小釘之子午線，而將此二木椿，分列於其線之二邊。於二椿之頂，各下一釘。取一線繫於二釘之沿，而緊張之。從此緊張之橫線，挂一垂直線。當此北極星移近極東點或極西點，或極南點或極北點時，觀測者移動第二垂直線，使其常北極星通過極東點或極西點，或極南點或極北點時，與第一垂直線及星，同在一線之上。於是取一木椿，打在此第二垂直線下，而下一釘，與錘尖相對。如所觀測者爲北極星通過極北點或極南點之時，則連接二垂直線下木椿上二釘之線，卽表示真正子午線。如所觀測者爲北極星通過極東點或極

西點之時，則可由天文表上查出當時此星之方位角，而算出子午線之位置也。

測定磁針子午線，方法甚簡。先將羅盤安置於所定一線之一端，次用羅盤瞭望，估計線之他端之位置，打下一木椿，再用羅盤仔細觀測，以釘表明其精密之方向。次擾動羅盤，而再作觀測，下釘如前。屢次試之，而取其折中之點。以此點與前一點相連，即磁針子午線也。惟此種觀測，應於一日中磁針偏差適得中值之時行之。

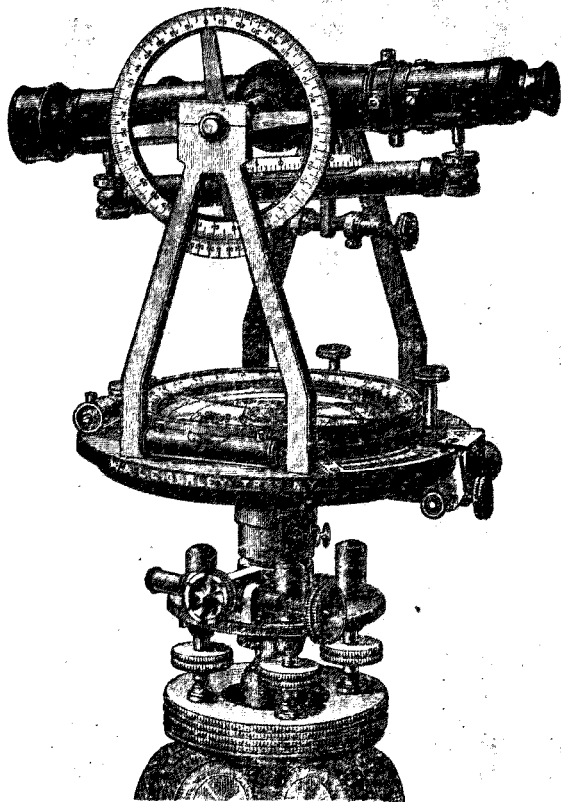
第十一章 工程師轉鏡儀之用法及校準法

第一節 構造

總論 工程師轉鏡儀或單稱曰轉鏡儀，如第三十七圖所示。大體分爲二部。上部爲上盤，又名微分尺盤，附有A字形支架，以承望遠鏡。下部爲下盤，有分度環。上盤連於內轉軸，下盤連於外轉軸。二轉軸之中線與微分尺盤及分度環之中心相合。外轉軸安於水平座之圓錐形窠之內。近水平座之最低處有一球窠關節，令儀器與底板相合甚緊，而仍能依關節爲中心而旋轉。當下盤旋轉時，外轉軸在水平座之窠中旋轉。藉下加緊螺旋之作用，可令外轉軸在任何地位固定不動，而地平分度環隨之。當下加緊螺旋既經撚緊以後，轉動下切線螺旋，得令地平盤作些微轉動。同理，當上盤旋轉時，如下盤已固定，則內轉軸在外轉軸之內旋轉。藉上加緊螺旋之作用，得令內轉軸緊附於外轉軸；此後轉動上切線螺旋，得令上盤作些微旋轉。轉軸依以旋轉之中線，名曰垂直軸。

轉鏡儀有轉盤

水平管二具，其一附於上盤面，別一附於兩A字形支架中之一。藉此二管，以令分度環之平面，在作觀測時，實成地平。有水平螺旋四枚，穿入水平座中，而下與底板相抵；當水平螺旋旋轉時，儀器依球窠關節而旋轉。當四枚水平螺旋一齊解鬆時，滑板與底枝間之壓力減小，故能將儀器在底板上左右前



第三十七圖 工程師轉鏡儀

後移動。在轉軸之末端，挂一細銅絲鍊，下懸一鉤。懸垂直線錘之線，即繫於此鉤。儀器支於三足架上，係以底板之螺旋與三足架頂之螺旋相合而連之。

兩A字形支座之上端，承一地平軸，望遠鏡安於其中點。鏡可繞此地平軸而旋轉。藉望遠鏡加緊螺旋，能令其鏡止於垂直面上任何位置，而固定不動。此後轉動望遠鏡切線螺旋，得令其鏡作些微旋轉。有垂直分度環，附於地平軸上，又有垂直微分尺附於兩A字形支座中之一。在望遠鏡之下，有望遠鏡水平管。

在上盤上，有羅盤盒，其詳細構造，與前述測量師羅盤相同。如羅盤環為固定者，其南北二點，與望遠鏡之視線，在同一平面上。有數種轉鏡儀之羅盤盒，其羅盤環能對於上盤旋轉，故可將磁針偏差在羅盤上表出，而直接讀真正方位銳角。在羅盤盒之側，有一螺旋，藉此將磁針提起，離其樞軸，而固定不動。

總括以上所述，可知轉鏡儀之特色，有下列十一事：

(一) 將水平螺旋放鬆，而將儀器向左右前後移動，則令儀器之中心點，與一定點上下相對。

(二) 藉盤水平管及水平螺旋，則令儀器成水平。

(三) 望遠鏡可依地平軸或垂直軸旋轉。

(四) 在將上加緊螺旋撻緊，而令望遠鏡繞垂直軸旋轉時，在微分尺盤及下盤間不復有相對運動。

(五) 在將下加緊螺旋撻緊而將上加緊螺旋放鬆時，如令望遠鏡依垂直軸旋轉，則微分尺盤旋轉而下盤固定不動。

(六) 在將上下二加緊螺旋俱撻緊時，望遠鏡不能依垂直軸旋轉。

(七) 望遠鏡可依地平軸旋轉，且可藉望遠鏡加緊螺旋及切線螺旋之作用，在一垂直面上，保守任何方向，固定不移。

(八) 藉望遠鏡水平管，得令望遠鏡成爲水平，故經緯儀可用爲直接高度測量之儀器。

(九) 藉垂直分度環及微分尺，得測定垂直角，故經緯儀可用於三角法高度測量之儀器。

(十) 藉羅盤，得測定磁針方位銳角。

(十一) 藉地平分度環及微分尺得測定地平角

經緯儀之全部構造，如上所述，今再將其各部分之詳細構造，分論於後。

水平管 經緯儀水平管之感應性之敏鈍，應與下盤分度之精粗及望遠鏡之光學性質相副。尋常經緯儀，其下盤分度，細至一分者，其盤水平管二具之感應性相同，管上每一度約為六〇秒。在精密之儀器，其與地平軸成平行之盤水平管，較別一水平管為靈敏。

望遠鏡水平管之感應性，自二〇秒至三〇秒，隨望遠鏡之放大率而異。

垂直微分尺水平管之感應性，隨微分尺之最小讀數而定；通常微分尺最小讀數為一分者，其水平管之感應性為三〇秒或四〇秒。

望遠鏡 經緯儀之望遠鏡，與工程師水平儀之望遠鏡相似。當經緯儀用於直接高度測量或三角法高度測量時，視線以接物鏡之光心及十字絲橫絲上之一點定之。當其用於定線、量角、測定方位銳角等時，視線以接物鏡之光心及十字絲豎絲上之一點定之。近年所造儀器，大都有視距絲，安置在十字絲之平面上。望遠鏡之放大率，自尋常儀器所有者之十八倍至精密儀器之三十倍。

分度環 垂直分度環，有相對之零點二。其度數自零度起，向兩方增加，至九〇度爲止。其分度常細至半度。當望遠鏡成水平時，微分尺之指示點，在〇度處。

地平分度環上度數之排列，有數種：

(一) 自〇度起，依鐘針旋轉方向，增加至三六〇度。

(二) 自〇度起，依鐘針旋轉方向，增加至三六〇度；又分爲四象限，各自〇度起，增加至九〇度。

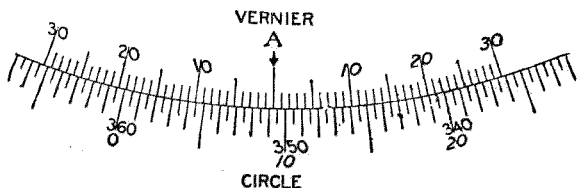
(三) 自〇度起，反向各增加至三六〇度。

地平分度環之分度，尋常細至半度。稍精密之儀器，細至二〇分或一五分。

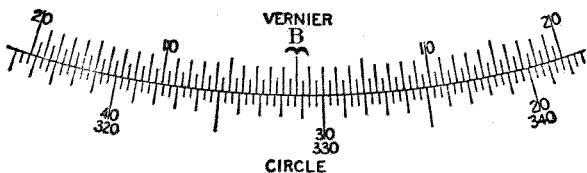
微分尺 經緯儀上所設辨認分度環上度分秒數之微分尺，原理與視標水平桿之微分尺，原理相同。其式樣有數種，而皆屬於直接式，如第三十八圖至第四十圖所示是也。

凡經緯儀均有微分尺二，以辨認地平分度環。兩尺之指示點相隔一八〇度。其一與上加緊螺旋及上切線螺旋相近者，通稱爲A微分尺；其相對之一尺，通稱爲B微分尺。儀器製造欠精，則兩尺

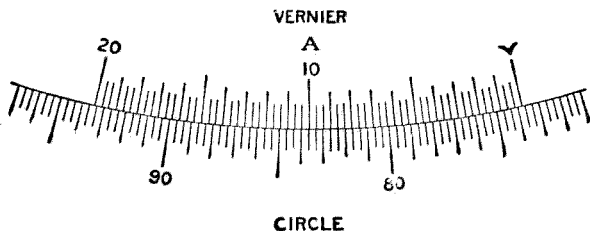
之指示點，相距不恰為一八〇度；儀器中兩轉軸磨蝕，則微分尺之中心，與分度環之中心不合。此二事皆令兩微分尺之讀數不符。如取兩尺讀數之平均數，則此項誤差可免。如僅是兩



止為分至數讀，尺分微接直向雙 圖八十三第



止為秒十三至數讀，尺分微接直向雙 圖九十三第



止為秒十二至數讀，尺分微疊摺 圖十四第

微分尺之距離不恰爲一八〇度，則量角時，始終單用一尺，可不發生誤差也。

第二節 經緯儀之用法

總論 本節敘述用轉鏡儀以定線量角之法。至於轉鏡儀測量之全部方法，則於下數章詳言之。用轉鏡儀測定磁針方位銳角之法，與用羅盤者同。用轉鏡儀以作直接高度測量，與用工程師水平儀者同。本節對於此二事，不再敘述。

將望遠鏡依地平軸旋轉，其事名曰翻轉望遠鏡。當望遠鏡之水平管在鏡下時，稱其鏡爲在正位；當水平管在鏡上時，稱其鏡爲在倒位。

安置轉鏡儀 轉鏡儀通常安置在一定點之上。於儀器下之銅鉤，懸一錘，以便令儀器與定點上下相對。先將儀器約略安置在定點上，整理三足架，俟三足架頭，近於成水平爲止。次將儀器連三足架一齊提起，不使三足之位置改變，再仔細將其安置在定點之上，將三足之尖，用力壓入土中；同時整理各足，俟重錘與定點距離不逾半英寸，而儀器近於成水平。復次，將相鄰之兩水平螺旋放

鬆，移動儀器，直至懸錘恰在定點之上。復次，將此螺旋撚緊，惟以與其支座抵實爲度，而勿過緊。復次，次第旋轉兩對水平螺旋，藉盤水平管爲標準，將儀器作成水平。

量地平角法 設欲量定之角爲 $A O B$ 。安置轉鏡儀於 O 點處。令上盤固定不動。旋轉上切線螺旋，令上盤兩微分尺中之一之指示點與下盤分度環之零點相對。移動望遠鏡，向 A 點瞄準。令下盤固定不動。旋轉下切線螺旋，令視線與 A 處所樹測竿或表示 A 點之物體完全相合。解鬆上盤。移動望遠鏡，向 B 點瞄準。撚緊上扣緊螺旋。旋轉上切線螺旋，令視線與 B 點完全相合。於是觀察本來指示 O 點之微分尺所在之處，而讀出其度數，卽所求角之度數也。

量垂直角法 安置轉鏡儀之法，與量地平角時同。移動望遠鏡，向所欲測定之點，約略瞄準。令地平軸固定不動。旋轉望遠鏡切線螺旋，令鏡中十字絲橫絲恰與測點相對。察垂直微分尺，讀出角度。如角度爲正數，反鐘針旋轉方向而讀微分尺；如角度爲負數，順鐘針旋轉方向而讀微分尺。

反復量角法 此爲量角之精密方法，乃將一角計量若干次，而求其平均值者也。設欲測定之角爲 $A O B$ 。安置轉鏡儀在 O 處。令微分尺指示點與 O 度相對；向 A 點瞄準；令下盤固定。解鬆上盤；

向B點瞄準。令上盤固定。讀出角度。不擾動微分尺，而解鬆下盤，向A點瞄準。解鬆上盤，向B點瞄準。此時之角，已二倍於前。如是繼續爲之，直至其量角之次數，已如所需爲止。由微分尺讀出角度，以量角次數，除讀出之角度，即得其角之值。以此與第一次讀出之數相較，而驗有無錯誤也。量角次數，通常以六次式以次爲度，因再多則未能增加精密程度也。

第三節 儀器之校準

總論 前論水平儀之校準法，大都亦適用於轉鏡儀。經過完全校準之轉鏡儀，其各部分間，應保有下列諸關係。

(一) 盤水平管之軸線，應存於與垂直軸線成垂直之平面上，於是當儀器成水平時，其垂直軸乃真正垂直，而測定地平角乃存於地平面上。

(二) 光軸線，接物鏡套管之軸線，及視線三者應相合爲一，無論接物鏡在何位置時均如此；且各線應在地平軸線之中點，對之成垂直。如是則當望遠鏡依地平軸線旋轉時，視線造成一平面，

不因接物鏡之瞄準近處或遠處而異，而此平面乃通過儀器之中心點。

(三) 十字絲豎絲應存於與地平軸線成垂直之平面上，如是則絲上任何一點均可用以量地平角及定線。

(四) 地平軸線應與垂直軸線成垂直，如是則當翻轉望遠鏡時，視線將作成一垂直平面。

(五) 望遠鏡水平管之軸線，應與視線成平行，如是則轉鏡儀可用於直接高度測量。

(六) 如轉鏡儀之垂直分度環有一固定之微分尺，則在盤水平管及望遠鏡水平管之氣泡皆在中心點時，此微分尺之指示點，應與分度環上零點相對；如是方能用以測定垂直角。如垂直分度環有一活動之微分尺，而此微分尺有一水平管以驗其平否，則在微分尺指示零點時，微分尺水平管之軸線，應與望遠鏡水平管之軸線成平行。

各種校準法 以下敘述各種校準法，俱係先假定接物鏡套管為不用校準者，即假定其製作十分完美，故光軸線與接物鏡套管之軸線相合，而對於地平軸線成垂直也。在事實上，儀器製作，未有能如此者；惟在多數近年所造者中，其參差亦甚微，在尋常測量可以不計，而在精密測量，則有法

以消除所生誤差也。

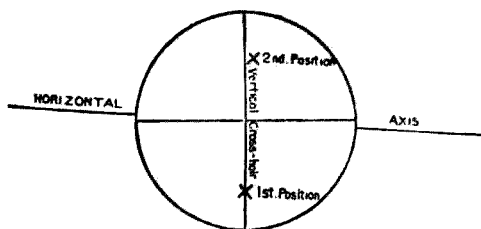
(一) 令十字絲豎絲存在於與地平軸線成垂直之平面上。

(甲) 試驗 向離儀器約二〇〇英尺一點瞄準。此點須十分明白。移動望遠鏡，經過一小垂直角，如是令其點在豎絲上行過。如此點之徑路，與豎絲完全相合，則豎絲存在於與地平軸線成垂直之平面上。

(乙) 校準 如其點不常在豎絲上，則將相鄰之兩螺旋解鬆，轉動望遠鏡管中十字絲圈，直至其點之徑路，與豎絲完全相合為止。終將螺旋擦緊。

(二) 令盤水平管之軸線與垂直軸線成垂直。

(甲) 試驗 令望遠鏡繞垂直軸線旋轉，至其水平管各與一對水平螺旋成平行。藉水平螺旋，令水平管氣泡止於管之中心點。移動望遠鏡，經過地平角一八〇度。如氣泡靜止不動，則兩水平管之軸



第 四 十 一 圖 十 字 絲 豎 絲 之 校 準

線，存在於與垂直軸線成垂直之平面上。

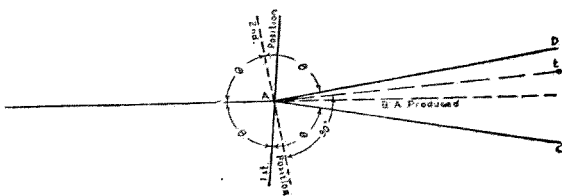
(乙) 校準 如水平管氣泡移動，則藉校準螺旋，令其返行一半遠。再藉水平螺旋，將儀器作成水平，而後驗之。

(三) 令視線與地平軸線成垂直。

(甲) 試驗 安置儀器，且令成水平。瞄準一點 A (見第四十二圖)，其點距儀器約五百英尺。翻轉望遠鏡，於儀器別一面，相隔約五百英尺，在視線上，立一點 B。移動儀器，轉過地平角一八〇度。復向 A 點瞄準。翻轉望遠鏡。如 B 點在視線上，則儀器合乎應有之關係。

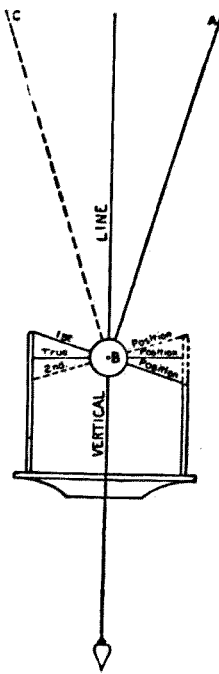
(乙) 校準 如 B 點不在線上，則在視線上定一點 C，與之相鄰。另定一點 D，在自 C 至 B 距離之四分之一處。藉相對之兩地平螺旋，校準十字絲之橫絲，直至視線通過 D。

(四) 令地平軸線與垂直軸線成垂直。



圖二十四 第 四 水 平 管 之 校 準

(甲) 試驗 安置轉鏡儀於一房屋或電杆附近。謹慎令其成爲水平，而使其垂直軸線真正垂直。向 A 點瞄準（見第四十三圖）。令下盤固定不動。將望遠鏡移向下，於地面定一 B 點。如地平軸線成真正地平，則 A 及 B 在同一垂直面上，因視線本與地平軸線成垂直故也。翻轉望遠鏡，令其轉過地平角一八〇度。再瞄準 A 點。再將望遠鏡移向下。如視線落於 B 點，則地平軸對於垂直軸成垂直。



圖三十四第 視線之校準

(乙) 校準 如視線不落於 B 點，則在視線 upper 上定一 O 點，與 B 相鄰。另定一點 D，在 O 至 B 距離之二分之一處。此點將與高處之 A 點，同在一垂直面上。將軸承帽之螺旋解鬆，於是起地平軸之可整理一端，或降低之，直至在望遠鏡繞過垂直弧時，視線經過 A 及 D 爲止。

(五) 令十字絲橫絲所定視線地位，與光軸線相符。

(甲) 試驗 於離儀器二十五英尺處及三百或四百英尺處，下樁二支。令地平軸固定不動，由望遠鏡中讀出遠處水平桿之尺度。不擾動地平軸，又由鏡中讀出近處水平桿之尺度。翻轉望遠鏡，移過地平角一八〇度。樹水平桿於近處，由望遠鏡視之，令十字橫絲恰與上次桿之讀數相合。移桿至遠處而視之。如此次桿之讀數，與前相同，則儀器保有應有之關係。

(乙) 校正 如兩次桿之讀數相差不少，則藉上下兩校準螺旋，將橫絲移動，直至其行距離，數倍於所見誤差。如此反復試之，前後桿之讀數，相差漸少，而橫絲移動之距離，亦逐漸改短，終至所見誤差化成零為度。當樹桿於近處時，桿之讀數，應十分細心察之；因橫絲在近處桿上之微小誤差，若見遠處桿上，乃甚巨也。

(六) 令望遠鏡水平桿之軸線，與視線成平行。

試驗及校正 法與校準定鏡水平儀之法相同；所異者在此時之校正法，係於令視線對準桿上之地平線讀數後，移動水平管，直至其軸線與地平線相合耳。

(七) 令垂直環當望遠鏡氣泡在管之中心點時，其讀數為零。

(甲) 試驗 先令盤水平管之氣泡，在管之中心點，故令望遠鏡水平管之氣泡，止於管之中心點，乃讀出垂直環之微分尺。

(乙) 校正 解鬆微分尺，移動之，直至顯有所需關係為止。

(八) 校準垂直環上微分尺輔助水平管，藉令其軸線在微分尺指示零點時，與望遠鏡水平管軸線成平行。

(甲) 試驗 令望遠鏡水平管之氣泡，止於管之中心點。藉切線螺旋，移動微分尺，至其指示零點為度。

(乙) 校正 移動垂直微分尺所附水平管，直至其氣泡止於管之中心為度。

第四節 誤差

總論 用轉鏡儀量角時之誤差，可分為(一)儀器誤差，(二)屬人誤差，及(三)自然誤差三類論之。

儀器誤差 此種誤差，由儀器本身不完美所致。可分下列數項：

(一) 盤水平管未曾校準，致量得地平角發生誤差。如盤水平管未經過校準，當其氣泡止於中點時，分度環不成水平而傾斜，故量得之角非真正之地平角。此際有一垂直面，包含傾斜之垂直軸線。假定此垂直面與此紙之平面相合，又假定垂直軸之位置，如第四十二圖所示。當視線存在於低之平面上時，地平軸乃真與地平線相合，而當翻轉望遠鏡時，視線將發生一垂直面，故不問所測之點之高度角大小如何，量得之方向，不發生誤差。當轉鏡儀繞垂直軸線旋轉時，其地平軸線漸成傾斜，當其與級之平面相合時，其與地平線間之角度臻最大限。此時視線發生之平面，與垂直面相交之角為最大，而與垂直軸線位置之誤差相等，而當視線傾斜為定角時，遂生出量定方向之最大誤差矣。垂直角愈大，則誤差愈大也。

(二) 盤水平管未曾校準，致量得垂直角發生誤差。此誤差顯然隨儀器所指之方向而異其大小。如垂直微分尺屬固定不動者，則注意所測垂直角之相當指示點誤差，可將此誤差化除。如微分尺屬活動而帶有水平管者，則令其氣泡止於管之中點，可將此誤差化除。

(三) 視線對於地平軸線不成垂直之影響 如在作前視與後視之間，未將望遠鏡翻轉，又前視與後視等長，不用時時移動接物鏡而瞄準，且如所測兩點同在通過望遠鏡之地平面上，則雖儀器未曾校準，其測定地平角，並無誤差。如在作前視與後視之間，將望遠鏡翻轉，則所生誤差，乃為儀器誤差之兩倍。若作兩次測定，一次之望遠鏡在平常位置，一次之望遠鏡在翻轉位置，而取前後結果之平均值，則此誤差可以化除。

(四) 地平軸線對於垂直軸線不成垂直之影響 如所測之點，在同一地平面上，則測得之地平角，不生誤差。如量角時，作兩次測定，一次之望遠鏡在平常位置，一次之望遠鏡在翻轉位置，而取前後結果之平均數，則此誤差可以化除。

(五) 視線與光軸線不符合之影響 在尋常轉鏡儀測量，此種誤差常甚微而可忽略不計。在精密測量，可作兩次測定，一次之望遠鏡在平常位置，一次之望遠鏡在翻轉位置，而取前後結果之平均數，則此誤差可以化除。

(六) 儀器偏心差之影響 用尋常良好儀器，作尋常測量，此種誤差不甚重要。在精密測量，

如讀出兩微分尺所指示之角度，取其平均數，則此誤差可以化除。

(七) 分度環及微分尺分度不精密之影響。此誤差僅在精密測量中始屬重要。如測定一角時，分數次爲之，歷次讀出之數，分配於全部分度環上及微分尺上，而取其平均數，則此誤差可以化除。

(八) 別種之儀器誤差。別種之儀器誤差如下：

(甲) 望遠鏡水平管之軸線與視線不成真正平行，在用儀器作高度測量時，發生誤差。

(乙) 垂直微分尺未校準，在測定垂直角時，發生誤差。如儀器有完全之垂直分度環，則作兩次測定，望遠鏡先在尋常位置，繼在翻轉地位，取前後讀數之平均值，即可將此誤差化除。

一切儀器誤差，皆爲整齊誤差，故可以設法化除之，或令其減至極小也。

屬人誤差。屬人誤差，由當安置儀器，及作觀測時，人目所見，非絕對正確而生。

(一) 安置儀器未恰在測點上之影響。此種影響，令在一點所測之角，均發生誤差，其量與視線長度成反比例。按在半徑爲三百英尺之圓弧，如中心角爲一分，則弧長一英寸。由此關係，可知

如有轉鏡儀，安置在五十英尺長線之末端，相離半英寸，則測得此線方向之誤差，約為三分；如線長六百英尺，則誤差僅有十五秒。大概如在安置儀器時，測量員細心爲之，則此種誤差，可以不越適當限度，而能忽略不計也。

(二) 盤水平管之氣泡不恰在管之中心 此誤差與盤水平管未經校準時同。

(三) 安置微分尺及視讀微分尺之誤差 此誤差隨微分尺之最小算量及分度環上及微分尺上分度線之明白程度而異。尋常轉鏡儀，最小算量爲一分者，其或是誤差小於三〇秒；較精密之儀器，最小算量爲三十秒者，其或是誤差約爲十五秒。

(四) 對於測點未瞄準 此誤差性質與前(一)項同。視線不長者，對此點應特別注意。尋常測量中，用測竿以表示測點，如測竿下段被草木或邱陵掩蔽不見，而測竿偏斜，則發生誤差頗大也。

(五) 瞄準不完全 此誤差常不能免，惟程度有深淺耳。

一切屬人誤差，皆屬偶然誤差，故無法化除之。在轉鏡儀測量之誤差中，此實其大部分也。

自然誤差 自然誤差之原因，有下列數種：

(一) 三足架之下陷。

(二) 空氣折光之差異。

(三) 望遠鏡各部分因溫度不同而起之變化。

(四) 風吹儀器令其震盪，且令錘線不能垂直。

大概言之，此種影響所引起之誤差，多屬偶然誤差性質，而在有特別情形時，可由此生成整齊誤差。在尋常測量中，不甚重要。惟在精密測量中，既設法將儀器誤差及屬人誤差，限制甚嚴，則自然誤差，增加其重要程度，須用特別方法，以化除其有整齊誤差性質者也。

量角之精密程度 量角之精密程度，受各種事物之影響甚多，故不能立一嚴密方法，以求必得某種精密程度。以下所舉之誤差範圍，聊示在普通情形中所常遇之最大誤差而已。

(一) 視線短。測點處樹測竿，其下段不明瞭。測竿以目力定其垂直與否。每每僅量一次。誤差自二分至四分。

(二) 視線長餘與(一)同。誤差一分至二分。

(三) 視線傾斜向上甚峻急。望見測點甚明瞭。不特別注意使地平軸線成真正地下。每角僅量一次。誤差一分至二分。

(四) 測點甚明瞭。視線不傾斜向上而峻。每有僅量一次。微分尺讀至分爲止。誤差三十秒至一分。

(五) 轉鏡儀良好且經完全校準。量角至半分。餘與(四)同。誤差二〇秒至三〇秒。

(六) 量角時二倍之而取其平均數。在作前後視之間。翻轉轉鏡儀。餘與(四)同。誤差十五秒至三十秒。

(七) 測點明顯而無掩蔽。視線不作峻急傾斜。微分尺讀至三十秒。每次量角。取二微分尺之平均值。轉鏡儀良好。且經完全校準。誤差十五秒至三十秒。

(八) 微分尺讀至十秒。安置儀器時十分細心。餘與(七)同。誤差十秒至十五秒。

(九) 測點明顯而無掩蔽。安置儀器時十分細心。視線不作峻急傾斜。儀器良好。微分尺讀至

三十秒。每角反復量之，在其中有六次，望遠鏡居尋常位置，在餘六次，望遠鏡居翻轉位置。誤差二秒至四秒。

(十) 微分尺讀至十秒。選擇適宜之時作觀測。餘與前同。誤差一秒至二秒。

以上所述為最大誤差。平均誤差，自遠較此為小。因誤差大都屬偶然誤差性質，故在測定一組之角時，其總和之結果誤差，乃隨所測角數之平方根而變化也。

有當注意者，即量角與量長度，有密切關係，故二者應保持適當關係。在尋常測量中，測量員往往過分注意於量角，而少注意於距離之測量，此應特別矯正也。

第十二章 用轉鏡儀及卷尺之測量

第一節 總論

總論 本章所述爲各種尋常精密程度之測量，用轉鏡儀以測定地平角而用卷尺以計量距離。如土地測量，城市測量，水道測量，道路及鐵路之定線測量等，皆適用其法也。

轉鏡儀組 轉鏡儀組，常由三人合成，即轉鏡儀員，前卷尺員，及後卷尺員是也。轉鏡儀員指揮全組，掌管轉鏡儀而使用之，又掌管外業記錄簿中一切記錄之事。前卷尺員之職務，前已述及，彼又受轉鏡儀員之指示而定線，又擔負測量距離一事求精密求捷速之責任。安置木椿時，椿上記字，亦其分內事也。後卷尺員之職務，前亦已言及，彼又受轉鏡儀員之指揮而設立後視點，並出力除去轉鏡儀員視域內之障礙物。

轉鏡儀組之設備 轉鏡儀組之設備，常有轉鏡儀一具，百英尺長鋼卷尺一支，測竿二支，木椿

袋一件，木椿，短釘，斧，或錐，垂直線錘兩三枚，外業記錄簿，測簽，及赭石筆。此外或更備絨布套一件，爲降雨時保護轉鏡儀之用。

轉鏡儀站 在測量中，任何安設轉鏡儀之點，名曰轉鏡儀站。表示此站之物，或取暫存者，或取永存者，而以用二英寸見方之木椿者爲多。木椿在此站打入地內，與地面齊平，於椿頭擊入一短釘，卽以此爲量角量距離之標準。

轉鏡儀站以號數記之。通常於站椿之旁，相距少許，打下木椿一支，椿身斜出地面，椿頂恰在站椿之上。椿厚四分之三英寸，寬三英寸。用赭石筆記站之號數於此椿向下一面，自上而下。

轉鏡儀線 連接轉鏡儀站之線，名曰轉鏡儀線。凡用轉鏡儀所作之線，組成折測線者，名曰轉鏡儀折測儀。若組成三角系統者，則名曰三角系統線；而其中安設轉鏡儀之點，則名曰三角測量站。在外業記錄簿及證椿上，用◎表示折測線站，用△表示三角測量站。

轉鏡儀站常用連續之數目編號記之。在精密之三角測量，範圍廣大者，其三角系統站，有時係用當地之名記之。

在連續之折測線，用卷尺量距離者，其距離常由起點數起，而於每一百英尺處打椿識之。此種一百英尺之點，名曰整數站。在其間之點，名曰餘數站。任何餘數站之距離，以其前一整數站之距離之一百英尺數加由此整數站至本餘數站之間距離之站，乃記作 $19+27.2$ 也。

轉鏡儀測量 用轉鏡儀作測量時，外業常可分為二部：

- (一) 憑量角法及量距離法，以定轉鏡儀站及轉鏡儀線。
 - (二) 測定各物各點對於轉鏡儀線之位置。
- 轉鏡儀測量之方法，可分為四種：

- (一) 輻射測線法。
- (二) 交叉測線法。
- (三) 折測線法。
- (四) 三角系統法。

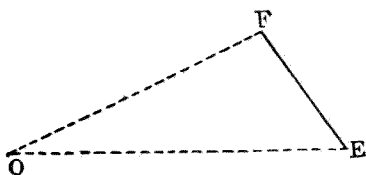
以下各節，就前三種方法分論之；至於三角系統法，因其特為精密，所用之儀器及方法與尋常

測量不同，故從略。

第二節 輻射測線法

方法 此法最簡單，而僅可施於小面積。選一轉鏡儀站，能望見一切欲測定之點者，安置轉鏡儀於其上。測定由轉鏡儀站至各點之距離，又測定相鄰各點間之角，或連接轉鏡儀站至各點之線之方位銳角或方位角。

用途 凡繪製地圖，僅求各點之位置時，用此法甚便，故在大範圍之測量中測定諸點詳細事物部位，恆用之。惟如兼求各線之長度及方向，則須用三角法計算，反覺便利。且如在第四十四圖中，由 O F 及 O E 兩線之長度及其所包之角，計算 F E 之長度，須用 F O E 角之正弦值，因此角甚小，故測量時，如有微差，則所算出 F E 之長度，即有頗大之誤差。此皆本法之缺點也。



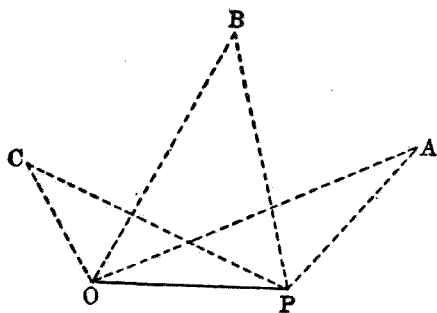
第四十四圖

第三節 交叉測線法

方法 在第四十五圖中，設A、B、C等點為所欲測定之點。設OP為一適宜之線，在其兩端，俱可望見諸點。OP名曰根線，其長度用卷尺量定。安置轉鏡儀於O點，測定諸點之角。其角可為方位角，或為方位銳角，或相鄰二點間所包之角。又於P點作同樣觀測。如是A、B、C等點，各成爲一三角形之頂點，而此三角形之一邊OP及相鄰之兩角乃已知者。故諸點之位置，遂確定矣。

此法中最當注意者，爲三角之形式。其角不可過大，亦不可過小。在重要測量中，有定一百五十度及三〇度爲角之大小限者。

用途 本法常不獨用，而多與折測線法並合行之，以測定細節事物之位置。在水道測量中，恆用此法以測定深度測點之位置。



第四十五圖 交叉測線

土地測量，如用此法，則計算界線之方向及長度殊為費事，故罕用之。

第四節 折測線法

方法 轉鏡儀折測線法，細別之有數種，大體相同。如測量目的，在測定地面原有之事物，則選定適宜之點為轉鏡儀站，以便測定之。如其目的在依預定之數量，以於地面上定出所需之點及線，則祇將此種預定之數量，於地面上列出耳。

今述作一道閉折測線之外業如下。設A及B二點，為最先選定之轉鏡儀站，而A、B為折測線之第一線。於此二點，打下站樁，用證樁表明之。安轉鏡儀於B點，地平微分尺指示某定量之角度，移望遠鏡向A處測竿瞄準，令下盤固定不動。用卷尺量定A、B線之長度，由轉鏡儀員指點前卷尺員，遵A、B線而進。記錄A、B線長度。次選定C點，打下站樁。解鬆轉鏡儀之上盤，移望遠鏡瞄準O點。令上盤固定不動。記錄角度。量定B、O長度，而記錄之。移轉鏡儀至O，向B點作後視；選定D點，向D點作前視，記錄角度。量定O、D長度，而記錄之。依此法，次第在E、F等點測之，直至復至起點A，而令折

測線閉合爲止。又爲校對起見，於折測線已閉合後，再安轉鏡儀於起點，而測定第一線與最後一線間之角，以定閉角誤差。如折測線不長時，常在記錄簿之右頁作略圖表示之，而測得數值，則記於左頁，自上而下也。

開折測線作法與上同，惟不能測定閉角誤差耳。如在折測線上，每隔一百英尺，下一木樁，其距離，係自起點計起。如折測線甚長，則在記錄簿上，可由下向上記之，而在右頁之略圖中，可以其中線爲折測線之地位。如是則作略圖極便，因記錄員背向起點執簿觀之，則圖上諸點與中線之關係，與地上諸點與折測線之關係，適相同也。

通常所用作折測線之方法有四：

(一) 偏角法

(二) 方法角法

(三) 內角法

(四) 由後線起之方位角法

量偏角之折測線法 (甲)方法 依次安置轉鏡儀於各測站。每次先將微分尺A移指零點，又將望遠鏡翻轉，乃作後視，向上一站瞄準。次將望遠鏡翻轉，恢復正常位置，移動上盤，向下一站作前視，讀出偏角。此種測量之記錄，在簿中係自下而上。上盤移動方向，與鐘針同者，其偏角名曰右偏角，與鐘針反者，其偏角名曰左偏角。測得偏角，以磁針方位銳角校勘之。

(乙)用途 本法在道路、鐵路、渠道、水管線等之定線測量中，用之最多。在土地測量及地形測量與水道測量，間有用之者。

量方位角之折測線法 (甲)方法 折測線第一段之方位角，以真正子午線或假定子午線為根據，俱無不可。次第安置轉鏡儀於各站，以已知方位角之線為根據，而測定由本站起之線之方位角。每至一站，先安置轉鏡儀，移A微分尺，與後線之後方位角相合，乃轉動望遠鏡，向上一轉鏡儀測站瞄準。令下盤固定不動。移動望遠鏡，向下一測站瞄準。此際A微分尺所指之角度，即前線之方位角也。

(乙)用途 本法在地形測量中廣用之，又在別種測量中，如從轉鏡儀站，憑量得之角及距

雖以決定多數物體之地位者，亦廣用之。此因本法有特具優點，即能將各段折測線方線直接表出，且在閉折測線，能令閉合誤差，自然呈露也。

量內角之折測線法 (甲)方法 本法之外業與量偏角法無大異。在各測站，將微分尺安置於零點處，向上一測站作後視。令下盤固定不動。移動望遠鏡，向下一測站瞄準，讀出內角。測量記錄，可與量偏角記錄相似。

(乙)用途 土地測量中用之。

量由後線起之方位角之折測線法 (甲)方法 在各測站，安置微分尺與零點相對。向上一站作後視。令下盤固定不動。移望遠鏡向下一站作前視。A微分尺所指示之與鐘針方向相同之角，即前線由後線起之方位角也。測量記錄與量偏角者大略相似。

(乙)用途 本法用者不及前數法之多。惟在作開折測線，從各測站，憑量得之角及距離，以決定多數物體之位置時，則用之；蓋此際本法不似量偏角法之易生錯誤也。

折測線測量之精密程度 折測線測量之精密程度，兼受量角誤差及量長度誤差之影響。在

尋常情形中，其量角誤差多屬偶然誤差性質；而其量長度之重要誤差，多屬整齊誤差性質。故轉鏡儀測站位置之精密程度，所受整齊長度誤差之影響，較偶然角誤差為多。除在極精密之測量外，其精密程度，常隨折測線之長度而異也。轉鏡儀測量之誤差限度，恆以長度精密程度比率（例如五分之一）表示之。

折測線若非閉合，或其起點及終點與先經精密測定之點相合，則其精密程度不能定；然如其外業遵守正當方法，而量得之角及長度，俱曾用別法校對之，則其精密程度當可不逾預定標準以外也。此種精密程度，隨測量之性質、目的、及範圍等而異，乃經精密研究而決定之。

在重要測量，或範圍廣大之測量，常由主任工程師，先製定外業之詳細方法，並測得結果與別法校勘測量結果兩者間相差之最大限度。如折測線為閉合者，則常決定角之閉合誤差及長度之閉合誤差也。

今將各種折測線測量精密程度之最大限度，分為四類論之如下：

（一）多種初步測量，普通比例尺之地形測量之前線測量，地價不過高之土地測量。量角細

至最近之分數。以測竿表示測點；其垂直與否，由人目定之。最大之容許角之閉合誤差，為以安置儀器次數之平方根，與一分三十秒相乘所得之積。距離以一百英尺長鋼卷尺量之。三%以下之傾斜度不計。在傾斜度在三%以上之地，或量定斜距離，依傾斜度加以校正，或令卷尺成水平，而以約略合於標準牽引力之力張之。測簽及木椿，不出卷尺末端○·一英尺以外。閉合誤差應不逾一千分之一。

(二)多種土地測量，道路鐵路等之定線測量。量角細至最近之分數。以測竿表示測點；謹慎使之成垂直。最大之容許角之閉合誤差，為以安置儀器次數之平方根，與一分相乘所得之積。如溫度與標準溫度相差逾華氏計十五度，則於量得距離，加以校正量。二%以下之傾斜度不計，在傾斜度在二%以上之地，或量定斜距離，加以校正，或令卷尺成水平，而以約略合於標準牽引力之力張之。測簽或木椿，不出卷尺末端○·○五英尺以外。閉合誤差應不逾三千分之一。

(三)城市測量，重要土地界線測量，廣大範圍地形測量之骨線測量。在量角時，每一角測定兩次，先令望遠鏡在正位置，後令其在翻轉位置。以垂直線表示測點，或用測竿表示之，而極仔細令

其成垂直。最大容許一角之閉合誤差爲以安置儀器次數之平方根，與三〇秒相乘所得之積。如溫度與標準溫度相差逾華氏計十度，則於量得距離，加以校正量。一切斜坡上距離俱加以校正量。如卷尺成水平時，其牽引力與標準牽引力，相差應不逾五磅。量得距離，應加以卷尺中垂校正量。測簽不出卷尺末端〇・〇五英尺以外。閉合誤差，應不逾五千分之一。

(四)精密之城市測量，及別種特別重要之測量。在量角時，每一角測定兩次，先令望遠鏡在正位置，後令其在翻轉位置；每次取A及B二微分尺讀數之平均值。微分尺讀至三十秒。儀器經過極精密之校準。最大容許角之閉合誤差，爲以安置儀器次數之平方根與十五秒相乘所得之積。如溫度與標準溫度相差逾華氏計五度，則於量得距離，加以校正量。一切斜坡上距離，俱加以校正量。如卷尺成水平時，其牽引力與標準牽引力相差，應不逾三磅。量得距離，應加以卷尺中垂校正量。測簽不出卷尺末端〇・〇五英尺以外。閉合誤差，應不逾一萬分之一。

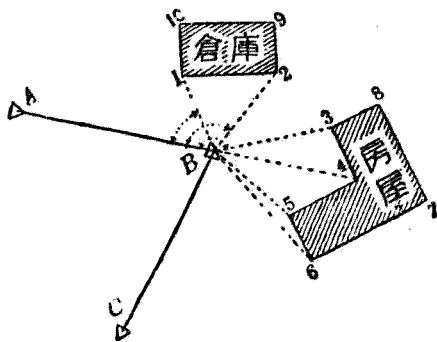
第五節 測定事物對於轉鏡儀之位置

總論 凡作轉鏡儀測量時，一部分之作業，為測定若干事物對於轉鏡儀線之位置。應測定事物之性質及數目，及其測量之精密程度，隨測量之目的，及當地之情形而異。大概言之，此種測量之精密程度自不及轉鏡儀線之高也。

量角常用轉鏡儀。其讀出之值，常細至一分為度；亦有僅細至五分為度者。

量距離常用一百英尺之鋼卷尺，或用銅筋布卷尺，或用望遠鏡中視線，或以足步，視所需精密程度而定。今將用轉鏡儀及卷尺測量物位之數種普通方法，分述於後。

據測點對於轉鏡儀點之角及距離法 此法如第四十六圖所示，在所測之物上，選定若干點，各以角及距離，定其位置。此法用者甚廣，尤以測量之地頗開闊，且所測之物僅轉鏡儀點不遠時為然。

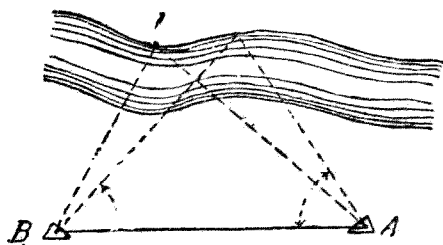


第四十六圖 據測點對於轉鏡儀點之角及距離法，定其位置

據測點對於兩轉鏡儀站之角法 此法如第四十七圖所示，由兩轉鏡儀站測定所欲知之點之角，藉以定其位置。此法之優點，為不量距離，外業簡便；其劣點為須計算，內業繁雜。又由其點及兩轉鏡儀站所成之三角形，不宜有近於零度或一八〇度之角，否則其點之位置不能確定矣。凡遠方物體，或不便量其距離之物體，但使能由兩轉鏡儀站望見之，即可用此法測定其位置，頗為便利也。

據測點對於轉鏡儀線上兩已知點之距離法 此法係由轉鏡儀線上兩整數站，測定所欲知點之距離，藉以定其位置。若求結果正確，則由其點及兩整數站所成三角形中，不宜有過銳或過鈍之角。在測量中，於折測線上每隔一百英尺下一整數樁者，用本法頗為相宜。

據測點對於轉鏡儀線之垂直距離法 此法係自測點至轉鏡儀線作垂直線，沿轉鏡儀線，量定至此垂直線之距離，又量定此垂直線之長度，藉以決定其點之位置。如在轉鏡儀線上，每隔一百



第四十七圖 據測點對於兩轉鏡儀站之角，以定其位置

英尺，下一木椿，則記明諸垂直線脚之整數站及餘數站，而不用前後諸垂直線間之距離也。此法在測定彎曲之界線，河道，道路等時，用之頗便。

據測點對於一轉鏡儀站之角及對於別一點之距離法。此法係自一轉鏡儀站，量定測點之角，又自折測線上之整數站，量定其距離，藉以決定其點之位置。此法用者較少，惟在不便直接測定距離時，用之頗便利也。

據房屋之邊隅繫線及隅角垂直線法。如所測定者為房屋，則除上述之法外，尚有簡便之法，即憑目力察出房屋邊線延長時與轉鏡儀線之交點，定此交點之位置，又定由此交點至房屋隅角之距離，藉以定全都房屋之位置。由此交點至房屋隅角之線，則名曰邊隅繫線也。

如不用邊隅繫線，則用隅角繫線或隅角垂直線。前者乃由房屋隅角至最近轉鏡儀線上整數站之線。後者乃由房屋隅角起，至轉鏡儀線之垂直線。以屋角為中心，執卷尺作圓弧與轉鏡儀線相切，距離為最小，此即屋角對於轉鏡儀線之垂直線也。

