

大地測量學

上卷 第三分冊

Ф. Н. 克拉索夫斯基 著
В. В. 达尼洛夫

測繪出版社

上卷第三分冊

目 錄

第九章 水平角觀測	559
§ 64. 水平方向觀測最有利的時間	569
§ 65. 觀測標光。回照器和回光燈的構造	563
§ 66. 高精度測角法	570
§ 67. 用複測法測角	81
複測法的要點。複測法中誤差的影響。複測法的誤差和正確的觀測配置	
§ 68. 方向觀測法和全周方向觀測法	586
一測回中觀測的配置。一點上的觀測程序。偏擺觀察鏡的應用。用不同構造的儀器觀測時記錄格式和示例。外國採用方向觀測法的某些特點	
§ 69. 史賴伯測角法	601
一點上用全組合法（高斯法）測角。最或然角度值的推算。測站平差結果表為一組方向值。史賴伯法——全組合測角法的特殊形式。換置度盤的計算。觀測程序，觀測表。應用史賴伯法的優點和缺點	
§ 70. 特別不利的情况下之角度觀測——各个方向与標誌方向的連測法	622
第十章 角度歸算至三角點的中心	625
§ 71. 歸心的種類及其元素	625
§ 72. 測定歸心元素的方法	627
圖解法。解析法	
§ 73. 三角測量的概略計算；測站點歸心和照準點歸心的計算	642
第十一章 高斯——克呂格投影概論	650

§ 74. 基本概念和定义	650
§ 75. 高斯——克呂格投影的必要公式及其應用；計算二等及低 等三角系時高斯——克呂格投影的應用	655
第十二章 三角網平差計算概論，測站平差	663
§ 76. 概說	668
必要觀測和多餘觀測。三角網中的條件方程式。三角網中平差計 算問題的一般形式。三角測量平差問題的形式對於三角點上觀測 程序的相依關係	
§ 77. 間接觀測平差值函數的權	679
§ 78. 以任意程序觀測時的測站平差	687
§ 79. 測站平差之簡化法，變形的不列顛法	696
§ 80. 求測站平差後方向或角度的權。赫爾默特法	704
一點上觀測結果可以表為一組方向的條件；烏爾馬耶夫教授的理 論；平差方向(或角)的權的推算。默爾默特法，應用此法確定二 等點上由於必要而將目標分組進行觀測的程序	
§ 81. 一個完全測回組觀測的平差	719
§ 82. 應用 §78 中公式於尋常史賴伯觀測法，觀測精度的估計	725
用史賴伯法觀測時角度和方向的最或然值之推算。按史賴伯法得 出的精度的四種估計方法。數值示例	
§ 83. 實際工作中常見的幾種測站平差的情形。Ф. H. 克拉索夫 斯公式	738
§ 84. 最適當地分配權時基綫網各點觀測程序的確定及測站平差	746
第十三章 按條件觀測法作三角測量平差	751
§ 85. 條件方程式之種類	751
圓形條件、圓周角條件和邊條件；基綫條件；坐標方位角條件； 方位角條件；和條件；固定邊條件；坐標條件	
§ 86. 條件方程式的數目	776
§ 87. 關於組成條件方程式的說明	779
§ 88. 三角網條件方程式中常數項的允許值	784
§ 89. 聯繫數法方程式的組成及其解算	790
§ 90. 二等基本網(自由網)按條件觀測法平差計算例	797

§ 91. 兩組平差法(克呂格法)	806
§ 92. 克呂格兩組平差法的应用	814
兩組平差法应用于按角度平差的單三角鎖: 烏尔馬耶夫教授法	
§ 93. 用烏尔馬耶夫——克呂格法平差之例	817
И. Ю. 普爾尼斯——普爾涅維奇的建議	
§ 94. 中點圖形和完全四邊形的平差	826
§ 95. 应用兩組平差法的補充說明。鎖插入在兩個已知點之間	838
§ 96. 博尔茲平差法或常數項展開式法	844
§ 97. 博尔茲展開式	851
§ 98. 博尔茲法平差之例	857
§ 98a. A. A. 依佐托夫提出的改变博尔茲法	863
§ 99. 安涅尔平差法	868
§ 100. 应用安涅尔法於非自由網平差概說; 補充網平差的某些其 他簡化方法的概念	871
§ 101. 白塞尔三角網平差法	873

第九章 水平角觀測

§ 64. 水平方向觀測最有利的時間

假想我們在一个夏季的晴天裏，把經緯儀的望遠鏡整天照準一个相当远的地面目标，來觀察該目标的影像在一整天中的状态和位置的变化。

在太陽剛出來的時候，目标的影像是明顯的、模糊的、而且晃動很大的；在此後一小時半至兩小時的時間內，影像在望遠鏡內不斷地和相当迅速地升高，越來越呈清晰的和平靜的状态；然後進入了極短的（不超過半小時）清晨影像平靜時期，在这一時期內，影像非常清晰，幾乎沒有左右移動，這對於用望遠鏡的蛛絲對它作精確的照準極其有利。这一時期過去之後，影像在望遠鏡內繼續上昇（因為是天文望遠鏡，所以實際上所觀測的目标的位置是下降的），又開始了左右和上下晃動，愈接近中午，影像的上下晃動愈慢，左右晃動愈加劇；正午前一小時，左右晃動變得如此顯著，以致用垂直絲照準成為不可能。目标影像這種顯著的左右晃動，以及朦朧和模糊的状态，一直繼續到下午兩點鐘；然後晃動開始安靜起來，影像越來越清晰和平靜，在下午三、四點之間，但通常是在四點附近，開始了傍晚影像穩定時期，在日落前一小時（或更少些）結束；在这一時期內，影像是完全清晰的（如果空氣澄清和透明），極其穩定的，且左右沒有變動，緩慢地在望遠鏡視野中下降。日落前一小時，影像還出現不大的晃動，其清晰度亦隨着減弱。正在日落前，影像還有一次平靜。

在陰天，影像在一天中的状态与位置的变化，一般也是如此，但上下移動和左右晃動非常微小，在滿佈雲層的天气尤其如此。上述的影像状态和位置的变化，完全是由於从远方觇标射來的光綫，通过接

近於地面的低大氣層；在太陽灼熱的作用下，或者更正確地說，在地面反射的熱綫的加熱作用下，這種低空氣層在上午隨着日光對地面愈晒愈熱而不斷地運動。大約在下午三點鐘，當地面受熱達到最大量的時候，接近地面的空氣層就處於均衡狀態；以後，低空氣層還隨着地面的冷卻而漸漸變冷，但是這自然不會破壞大氣的均衡；在夜間，地面通過放熱而繼續變冷，因此，接近地面的空氣層仍保持某些充分穩定的均衡狀態。

由此可見，從下午三、四點鐘開始，大約到日落前一小時為止，是觀測水平方向最有利的時間。在夜間，影像的左右晃動幾乎總是微不足道的，所以從日落後一小時開始，到日出前一小時為止，是夜間利於水平方向觀測的一段時間。

必須指出，影像的質量除了日間的各時刻不同之外，地區條件對它也有很大的影響。以上所講過的，都是就未被大片森林的平原地區或者稍有起伏的地區而言。在山區，光綫通過時高高地在地面之上，測量覘標的影像幾乎整天都是極其滿意的。同樣，在地貌起伏顯著的地區，遠方覘標的觀測條件要比平原地區有利得多。像在北高加索和卡查赫斯坦的草原地區，特別是在裏海低地，夏季一整天中往往只有兩小時甚至一小時的時間內可以進行觀測。在沼澤低地，為了等待令人滿意的影像，有時可能白白地浪費幾週的時間。

在有風的天氣，目標影響通常是充分良好的，但是在颶風時，覘標不十分穩定，當然可能妨礙觀測工作；在具有良好剛度的高標上，也只有有微風的時候才能進行觀測。在雷雨前和正好落雨後，影像的晃動很大。

視綫超出地面或森林的高度，具有很大的意義；在一等三角測量中，所有各點上視綫超出地面和森林的高度不得小於6—8公尺。

照準點的通視不佳和影像的晃動，會導致這樣的結果，即在一等三角測量和二等基本觀測量中，望遠鏡照準誤差成為許多其他觀測誤差中的主要誤差。在一等點上，如果沒有穩定和清晰的影像，就完全

不能觀測。

影响一等三角測量角度觀測結果的，除了經緯儀的精度和通視條件所引起的偶然觀測誤差以外，由於所謂旁折光作用所引起的系統誤差對該結果也有很大的影响。問題在於視綫只有通過光學上完全相同的介質時，它的行跡才能成一幾何直綫。實際上這種情形並不存在，因為地區的起伏，地表不同的照度，地面上各種不同的植物覆被，以及乾地、濕地和水面的熱容量不同等等，使得在視綫所通過的、接近地面的大氣層中，空氣的溫度和密度在視綫全長上產生極其不同的變化。因此，企圖以最短光程通過儀器和照準目標之間的光波，得出的行跡卻是不規則的曲綫形式。因為照準是沿着光綫行跡最末一段的切綫方向進行，所以觀測的方向由於所謂微折光差而發生誤差；這種折光差的垂直分量特別大，使得三角高程測量結果發生很大的誤差，而且也是幾何水準測量主要的誤差來源之一，這是大家都知道的。折光差的水平分量（即所謂旁折光）在水平角觀測時完全包含在觀測方向中，它限制着一等三角測量中角度測量的精度，這是現在已經查明了的。

如上所述，在接近地面的大氣層處於均衡狀態的時期內，影像是穩定和清晰的；在這樣的條件下，用垂直絲的平分綫瞄準照準點，其精度很高。但是在大氣均衡的時期內，視綫卻發生若干旁偏，這種旁偏長時間保持着，並且使一夜內或甚至有相同氣象條件的接連數夜內（或數日）所進行的觀測列發生系統誤差。這也就說明了為甚麼觀測某一角度時，在某一傍晚或某一夜間所進行的許多測回，彼此都很相近，但和其他時間所得的若干測回的結果卻相差2—3″，有時還差得更多。在夜間，當低空氣層冷卻時，接近地面的空氣層達成均衡的條件，較之在日間順利些。因此，可以預料，旁折光對方向值不利的影響，一般夜間要比晝間大些。蘇聯中央測繪科學研究所於1931年所作的研究，實際證明了在莫斯科近郊的條件下，旁折光對方向值的平均系統影響在晝間達到 $\pm 0''.46$ ，夜間達到 $\pm 0''.63$ （見B. B. 達尼洛夫

教授著的《高精度角度觀測法之研究報告》，1936年莫斯科出版）。

克拉索夫斯基計算各拉伯拉斯點上對向天文方位角觀測資料的結果，得出了獨立的數據，按這些數據，在夜間觀測時，此項誤差在 $\pm 0''.50$ 至 $\pm 0''.75$ 的範圍內變動，平均為 $\pm 0''.62$ 。

英國人於1933—1934年在印度所作的研究，完全証實了上述的事實（見印度測量局大地測量報告，1934年），這裏的緯度和自然地理條件是完全不同的。在德國的實際作業中，只有在白天才進行一等三角測量的長距離觀測，同樣也說明了這一點。因此，像美國幾乎完全在夜間進行一等三角測量的觀測，這樣的作業方法應該認為是沒有足夠的理由的。

但不應以為，由於上述的情況，一等三角測量的觀測主要必須在白天進行。上面提到的英國人的研究結果，証明了由於旁折光作用所引起的方向值的系統誤差，其符號在日間和夜間有相反的趨勢。實際上，假設觀測方向的右側有一沼澤低地；日間在它的上方形成了較冷的因而密度較大的空氣錐，則觀測方向在日間將偏左；在夜間，沼澤低地上方形成了較暖的因而密度較小的空氣錐，因此，這一方向在夜間偏右。從晝夜的兩組觀測取中數，可使旁折光所引起的誤差得到某些抵償。鑒於以上的研討，一點三角點上的觀測必須大致平均地分配在日間和夜間進行。由於同一原因，為了獲得良好的結果，一點上的觀測時間應該稍微拉長；德國在實際作業中至少歷時三晝夜，英國至少歷時兩夜一晝或反之兩晝一夜。美國却認為觀測一個一等點只要幾小時（甚至兩三小時）就足夠了。我們可以看出，美國的作業方法是不重視上述原則的。

1931年中央測繪科學研究所作出的研究，已經證明次之事實：由於通視條件和氣溫變化等等外界原因所引起的一等三角測量的偶然觀測誤差，小於由旁折光作用所引起的系統誤差，而卻大於儀器誤差，後一誤差是與現時一等三角測量中角度觀測所用的經緯儀的質量和效能相聯繫的。這一情況說明了外界條件（尤其是不利條件下的旁折光），

是一等點上角度觀測的主要誤差的來源。因此，觀測員估計外界影響的經驗就具有很大的意義。有時，不在影像完全平靜和清晰時進行觀測，而在影像微微晃動時觀測，倒還顯得有利，因為在這種情況下，空氣層發生混合，旁折光隨之相應地減弱。在不利的條件下，折光差的影响实际上有達 $5''$ 和 $5''$ 以上的情况。顯然，選點時，應顧及到通視條件和折光差的影响，在沼化谷地上方通過的方向如果過低，以及在水面上通過的方向如果使該水面過於偏向一方，都應當設法避免。如果按作業條件觀測員不能把全部觀測大致平均地分配在日間和夜間，甚至也不能分配在兩晝夜中，那末當觀測顯然不利的方向時，以及三角系的邊長在 40 公里以上時，都必須遵守將觀測分配在日間和夜間的要求。

§ 65. 觀測標光、回照器和回光燈的構造

20 公里以上的距離，甚至是大型的觇標，也只是在短時間內可以很好地看到；觀測以地面和森林為背景的遠處觇標尤其困難，因為這些觇標的通視情形，甚至在進行一測回的時間內往往變化很大，從一測回開始時通視良好，變到中途時通視極壞。除了通視不良以外，觀測照準圓柱和立方體等目標時，還會發生標相誤差，因為隨着太陽的移動，照準目標上明、暗部分的分界綫也發生位移，因此，觀測員在不同的觀測時刻所看到的照準目標的對稱垂直軸各有不同。標相誤差帶有系統性質，對方向的影响可能達到半秒和半秒以上。最後，當觀測實體目標時，望遠鏡照準精確與否，取決於支撐這些目標的觇標總的均稱性，它們的形狀由於照射度變更所產生的極大的易變性，以及照準目標背景的种类。所有這些原因，促使在現代的一等三角測量中一律觀測標光，標光是從平面鏡反射的日光（晴天），或者是人工光源，如乙炔光、電光以及石灰光等等（日間或夜間）；光源位於球面鏡、拋物鏡面或透鏡（有足夠的直徑）的焦點上，而向測站點的方向射出一束近乎平行的、稍微發散的光綫。在利用日光和人工光源的情

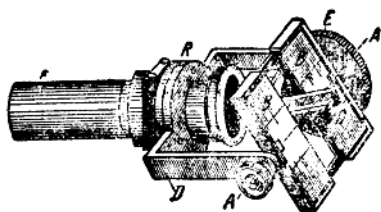


圖 243

況下，當通視條件良好時，在幾十公里處都可清楚地看見標光，且在望遠鏡內呈現為一等星的形式，這對精密照準極為適宜。甚至在通視困難的條件下，利用標光極易找到遙遠的照準點，消除了識別這些照準點的誤錯，而更主要地是完全保證達成了次之最重要的要求，即在水平角觀測中獲得高精度的成果，也就是說，在照準構成觀測角的兩方向上之左、右目標時，可能創造了更為一致的照準條件。

三角點上供反射日光之用的儀器稱為回照器。回照器是著名的高斯所首創，並在十九世紀的前半期用於甘諾維爾的三角測量中。此回照器由兩塊互成垂直的鏡子 BB' 和 C (圖243)組成，並嵌在同一框子上，該框子有一軸，通過叉形架 D 上的兩個小孔，軸的一端帶有輪盤 E ；叉形架 D 與套在照準筒 F 物端上的圓環 R 構成一個整體。

上述的高斯回照器應達成下列幾點要求：1)鏡框的軸 AA' 應與照準筒 F 的軸垂直；2)大鏡 BB' 的兩半應為平行的表面；3)兩鏡的表面應與鏡框的旋轉軸 AA' 平行；4) BB' 和 C 兩鏡的表面應互相垂直。

設在圖244上： BB' 為回照器的大鏡，沿 OT' 方向反射日光 OS ； CC 為回照器的小鏡，沿 OF 方向反射日光 SO 。因角 BOC 等於 90° ，則 $\alpha = 90^\circ - \beta$ ； $\angle SOF = 180^\circ - 2\beta$ ； $\angle SOT' = 2\beta$ 。換言之，角 SOT' 與角 SOF 之和為 180° ，即方向 OT' 與 OF 是一條直綫。由此可見，如果在從 M 點難以看見的 N 點上（三角點）置一回照器，而把回照器的照準筒對準 M 之後，旋轉鏡子，以使由小鏡 CC 反射的日光的中心在照準筒軸上，此時由大鏡 BB' 反射出的日光恰位於嚮向 M 點的方向 NM 上，所以由 M 點看大鏡，其形狀是一個明亮的光點。由於太陽的周日運動，從 BB' 鏡反射的光綫的方向也將不斷地變化，所以司光員要隨時

變動鏡子的位置。應用回照器時，先把照準筒對準 M 點，然後將套環 R 連同叉形架 D 一起轉動，以使來自輪盤 E 的暗影成一條綫；此時太陽位於輪盤 E 的表面上，亦即鏡框的軸與平面 SOF 垂直，此平面含有回照器的照準筒軸 OF (圖 244)，並通過太陽 S ，因而，鏡面此時將垂直於平面 SOF ；像這樣調整套環 R 以及和它一道的鏡面旋轉軸之後，再繞該軸轉動鏡子，直至太陽的影像與回照器照準筒視野中心重合時為止。

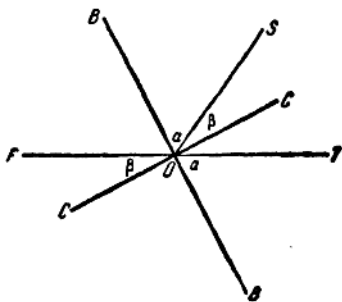


圖 244

蘇聯使用萬沙夫型的回照器，其裝置如下(圖 245)：在櫟木座 AA 上固定有鐵環 C ，其上附有十字絲 d 和中空的照準筒 e ，照準筒 e 可旋至上方，其底部有一小圓孔。在木座的另一端上有一鏡子 B ，其中心有小孔 K ，鏡子可圍繞互成垂直的兩軸旋轉。在木座 AA 的中央有一固定螺旋 f ，用以將回照器擰在規標儀器台面的中心上。軸釘 JJ 用來將回照器概略對準測站點，首先用 JJ 對準好，然後將照準筒 e 旋至上方，通過小孔 K 和鐵環 C 的十字絲再行照準，以資校正。整置回照器之後，將照準筒 e 旋至正常的位置，轉動平面鏡，使日影對準照準筒的底部，以至平面鏡中央的小孔 K 現一黑點於照準筒的中央(黑點的中心大約與照準筒 e 底部的小孔一致)。司光員應隨時窺視照準筒的裏面，一旦小孔 K 的黑點行至照準筒底面的邊緣時，就必須調整平面鏡的位置。螺旋 b 供調整回照器的高低之用。回照器的前面有座槽，供插入框子 H 之用，框子中可以插入調節回照器光度的減光片以及作為信號的彩色玻璃。當然，在長距離上很難辨別各種顏色的標光，因此，標光信號採取普通的白光，應用約定的符號或者用莫爾斯電碼連絡。如果太陽在後面，那末利用一輔助鏡 G ，此鏡固

定在覘標的欄杆上。

回照器在覘標儀器台面上的正確位置，利用軸釘 JJ 底端周圍在儀器台面上的輪廓綫标定出來。回照器的光綫可達 100 公里和更遠的距離。

在一等三角測量中，夜間用回光燈觀測。蘇聯最初使用乙炔回光燈（某些國家直到現在還在使用着），然而這種回光燈很不適用，因為它要求很好地照料，特別是在風天（因為玻璃常常薰黑，需要擦淨等等）。因此，蘇聯改用電光回光燈。圖 246 是目前內務人民委員部測繪總局所使用的劉卡司型電光回光燈；在金屬鏡（直徑 10 公分）的焦點上，裝有一個 4 伏特的燈泡（由電池供電）；光綫由鏡面反射，經回光燈前面的平行玻璃向着測站點的方向發出一束稍微發散的、近乎平行的光綫（成 $\frac{1}{2}$ 至 1° 的角度）。回光燈安裝在萬沙夫型回照器的木座上，以代替鏡子 B ，其安裝的位置使得鉄環 C 的照準筒 e 位於回光燈光束的縱軸上；顯然，回光燈鏡面焦點應位於 B 鏡的小孔 k 和

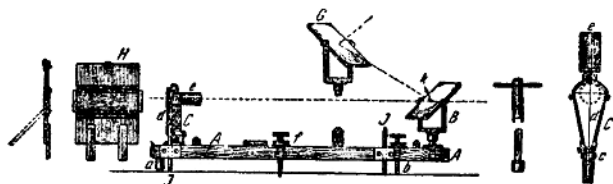


圖 245

照準筒 e 的小孔的連綫上。為了達成這樣的條件，在回照器前面幾公尺處設置遮光板。同時整置回光燈，使由照準筒 e 產生的黑影正好位於遮光板上光圓的中心；如果在遮光板的兩個不同位置（例如，遮光板距回照器 5 和 10 公尺）上都達成了這一條件，那末顯然，回光燈安置得正確。

回光燈標光的能視度，即使在光綫很強烈時，也高度地取決於大

气的情况。在良好的条件下，上述回光灯的标光能達 35—40 公里的距离，對於更远的距离則利用 6 伏特的灯泡。

德國在最近以前，日間使用上述的万沙夫回照器，而夜間和有雲的天則用蔡司电光回光灯。这种回光灯用 6 伏特的灯泡，置於直徑为 250 公厘的抛物鏡面的焦點上，由乾電池供电。在日間有雲時，蔡司回光灯的标光能達 30 公里，夜間可以更远一些。對於远距离則採用石灰光：电灯泡則被熾熱成氧焰或乙炔焰的白堊片代替；此种标光日間能達 50 公里，夜間能達 100 公里。目前德國一等三角測量的規測利用圖 247 所示的齊齊联合放光器。在直徑为 200 公厘的抛物鏡面的焦點上，裝置有 12 伏特（50 瓦特）的灯泡，其电源是用本茨發动机帶動的小型發电机。在回光灯框上連有一小望遠鏡，用來將回光灯調置到需要的方向上；在望遠鏡的鏡筒上也裝有一具普通的回照器；顯

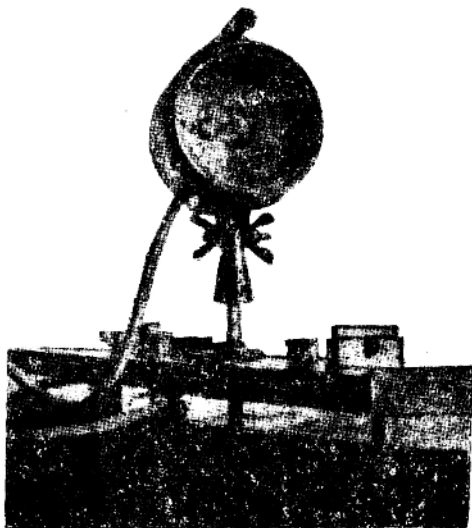


圖 246

然，望遠鏡的視軸和回照器及回光燈的軸應互相平行。齊齊回光燈甚至比用石灰光的蔡司回光燈還要強烈，而且在變化無常的天氣，它易於用回光燈來代替回照器或者相反。

美國、加拿大和瑞士使用（但不經常）自動回光燈，其中具有特製的鐘錶機構，於需要的時間（即觀測時間）自動地放光和斷光。1938年出品的瑞士回光燈，在110公厘拋物鏡面的焦點上裝有2.5伏特的燈泡，用蓄電池供電，以每天工作5—6小時計（日落前2小時以及日落後3—4小時），此電池可用五週，無需重新充電。回光燈連蓄電池的總重量為27公斤。這種回光燈日間可達30—40公里的距離，夜間可達50公里。為了標定回光燈的方向，在燈上裝有倍率為4×的望遠鏡。

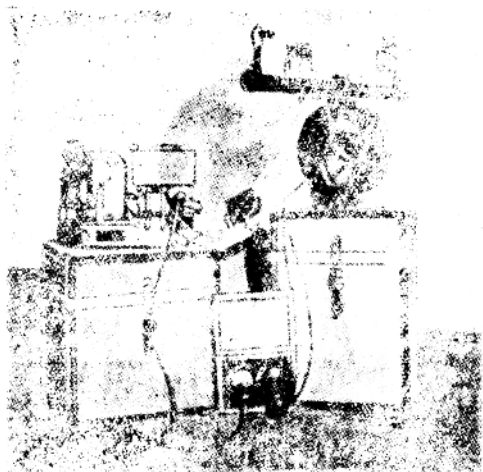


圖 247

1936年丹麥人在格陵蘭測量中最初使用的放光儀器有其值得注意的特點，它是電光回光燈（圖248），有一面直徑為70公厘的拋物鏡

和6伏特的灯泡（由蓄電池供电），为了延長蓄電池的使用時間，利用鐘錶機構有間歇地放光：放光4秒和間歇8秒，因此，蓄電池可以不間斷地使用12小時，這就是它的特點。幾付回光燈和回照器可以裝在同一鐵桿上，此鐵桿則固定在輕便的三腳架上，如圖249所示。兩付回光燈，兩付回照器、三腳架、蓄電池以及其他設備總共重達19.4公斤，這些東西一個人即可用背囊搬運。根據在丹麥的實驗，這種回光燈的標光在有陽光的中午可達40公里，在格陵蘭則達100公里。丹麥自己也開始採用了這種新式的回光燈，因為斷續的標光消除了認錯觀測方向的可能性。^①

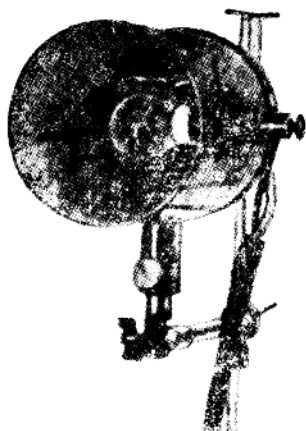


圖 249

和夜間回光燈的標光比較，通常日間回照器的標光有較好的能視度。只有在較少的情況下，回光燈的標光在夜裏呈現亮星的形狀，而在大多數情況下都是暗淡的光點：如果這種光點強烈地擴散而造成虧蝕的、不正確的影像，那末觀測便無法進行。應該指出：在蘇聯中緯度的地區上，夜間一點鐘以後，由於黎明前的輕霧，觀測不易成功。相反地，在南方只有在一點鐘以後，方能實施夜間觀測，因為前半夜影像過於晃動。除了影像晃動以外，標光微弱的能視度有時也妨礙着觀測，因為後者極不可靠。當標光十分微弱時，要適當地減弱交合系的照明，以使所觀測的標光看得較為清楚。總之，什麼時候可以進行觀測，什麼時候應該停止觀測，是一個複雜的問題，因此，要求觀測員有豐富的經驗。

① 蘇聯在1931年就已經進行過觀測斷續標光的實驗。

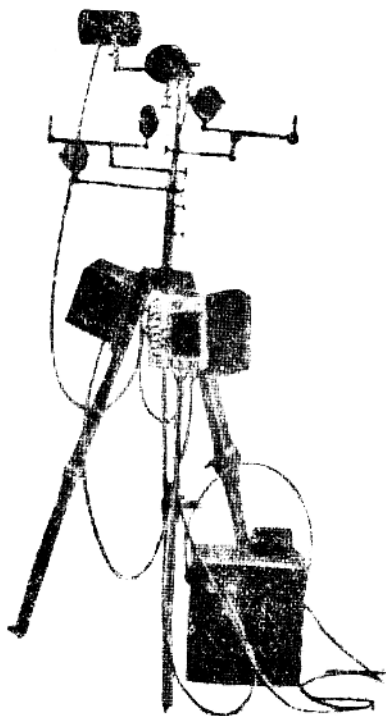


圖 249

測時（例如，當三角系跨過 250 公里的直布羅陀海峽時），要用特製的探照燈式的強烈燈泡放射標光。

§ 66. 高精度測角法

首先我們用觀測一角的情況為例，來研究近代使用精密測角儀器觀測角度的基本原則。設須在某點 C 上由左向右觀測 A 和 B 兩目標方向的角度。同時必須想到，近代一等三角測量中只採用方向經緯

應該想到，觀測標光要求鉅大的額外經費。在特別困難的山區裏，司光員在一些三角點上不能得到水和燃料的供應，即使在一等三角測量中，有時也要放棄觀測標光。在這些情況下，可以觀測實體目標，其形狀必須是平展的，例如，將兩個編織成的規板互相垂直地固定着，且對於照準點的鉛垂綫成對稱。英國人在印度的測量中就發生過這樣的情形。像這樣裝設的實體目標，其標相誤差很小。

使用標光時，應仔細考慮觀測員和司光員依次調動的計劃，並很好地安排他們之間藉標光信號連絡。

在稀有的情況下，當必須在相當遠的距離上進行觀

儀，其理由將於§ 67 中敘述。將經緯儀校正妥當，並對正 C 點中心之後，即將度盤中心安置至與 C 點位於同一垂線上，並導至水平位置之後，着手進行次之操作：(1) 在某一度盤位置上照準目標 A ，按水平度盤上所有各游標或顯微鏡讀數；(2) 鬆開照準部的制動螺旋，順時針旋轉照準部（此時度盤保持不動），照準右目標 B ，並按所有各游標或顯微鏡讀數；(3) 縱轉望遠鏡；(4) 度盤位置固定不動，逆時針旋轉照準部，依次照準 B 和 A ，並於每次用望遠鏡照準之後，按所有各游標或顯微鏡讀數。應該注意，在一切情況下，按游標或顯微鏡讀數均須遵守同樣的順序，例如：顯微鏡 A ，顯微鏡 B 。

(1) 和 (2) 兩項操作構成上半測回，而 (3) 和 (4) 兩項操作則構成下半測回；上、下半測回合在一起就構成測角的一個測回。我們可以看出，在這樣的測角法中，同一測回中兩半測回之間的差別，在於觀測目標的次序相反，而且照準部旋轉（粗動）的方向也相反。為了使偶然誤差得到充分的抵償，以及為了減弱度盤分割周期誤差對於最後結果的影響，一個角度往往觀測幾個測回（比方說，在一等網內觀測 10, 12 或 16 個測回），而且從一測回轉到另一測回時，度盤換置的角度為：

$$\sigma = \frac{360^\circ}{n \cdot m}, \quad (263)$$

式中 n 為游標或顯微鏡個數， m 為測回數。

通常，起始目標（在此情況下為 A ）在第一測回中的讀數近於 0° ，而在第二測回約為 σ° ，在第三測回約為 $2\sigma^\circ$ ，依此類推。為了在某測回中將方向經緯儀的度盤安置在需要的位置上，就必須照準起始目標 A ，固定照準部之後，鬆開度盤，並將其轉到第一顯微鏡得出所需要的讀數的那一位置上，然後把度盤固定在這一個位置上。

上述一測回的操作程序，也可以推廣到一測回中觀測兩個以上的方向，這樣的程序是基於下面的見解。

1. 上、下半測回之間縱轉望遠鏡，其目的在於：第一，由兩