

普通測量學講義

下 冊

儲 鍾 瑞 編
刘 呈 祥

清 華 大 學 出 版 科 印

1 9 5 7

下 冊 目 录

第四編 水準測量

第十三章 水準測量的基本知識	13—1
13-1 高程測量的目的和種類	13—1
13-2 幾何水準測量的原理	13—2
13-3 地球曲率和折光的影响	13—2
13-4 水准儀的構造和類型	13—3
13-5 水准尺和尺墊	13—5
13-6 定鏡水准儀的檢驗和校正	13—6
13-7 活鏡水准儀的檢驗和校正	13—8
13-8 水准點	13—10
13-9 水准測量的方法	13—11
13-10 水准測量的測站校核	13—13
13-11 水准測量的成果校核和調整	13—13
13-12 做水准測量時應注意的事項	13—14
13-13 水准測量的精度	13—14
第十四章 三四等水准測量	14—1
14-1 三四等水准測量的用途和精度	14—1
14-2 三等水准測量所用的儀器和水准尺	14—1
14-3 三等水准測量的外業	14—1
14-4 四等水准測量所用的儀器和水准尺	14—4
14-5 四等水准測量的外業	14—4
14-6 水准測量外業成果的初步整理和三四等水准測量的容許閉合差	14—6
14-7 單獨水准路綫的調整	14—7
14-8 具有一個結點的水准網的調整	14—8
14-9 巴波夫法水准網的調整	14—9
第十五章 路綫水准測量和面水准測量	15—1
15-1 路綫水准測量的概念	15—1
15-2 路綫水准測量的準備工作	15—1
15-3 曲綫元素和曲綫主點	15—2
15-4 路綫縱斷面水准測量	15—4

15-5 橫断面水准測量	15—6
15-6 在陡坡上的水准測量，X 點法和水平尺法	15—7
15-7 越過河流或山谷的水准測量	15—8
15-8 縱断面圖和橫断面圖的繪制	15—8
15-9 面水准測量的概念	15—10
15-10 用干錢法作面水准測量	15—10
15-11 用方格法作面水准測量	15—11

第五編 視距測量

第十六章 視距測量	16—1
16-1 一般概念	16—1
16-2 視距測量的原理	16—1
16-3 視距經緯儀及視距尺	16—4
16-4 視距常數的測定	16—4
16-5 量豎直角	16—6
16-6 豎盤游標和游標水准管的檢驗和校正	16—9
16-7 視距測量的精度	16—10
16-8 自計視距儀	16—11
16-9 視距測量的外業	16—13
16-10 視距表，視距圖，視距計算尺	16—15
16-11 視距測量的成果整理	16—18
16-12 地形圖的繪制	16—19

第六編 平板儀測量

第十七章 平板儀測量	17—1
17-1 一般概念	17—1
17-2 平板儀的構成部份和附件	17—2
17-3 平板和附件的檢驗和校正	17—4
17-4 照准儀的檢驗和校正	17—4
17-5 平板儀的安置	17—5
17-6 平板儀的前方交會和測方交會	17—7
17-7 交會法的精度和交角的限度	17—8
17-8 圖解三角網	17—9
17-9 圖解三角網各點高程的確定	17—10
17-10 圖解三角網各點差的調整	17—12
17-11 補點（傳遞點）	17—13
17-12 碎部測量	17—15

17-13 平板儀測量的精度	17—16
17-14 平板儀測量的優缺點和它的應用	17—16
17-15 平板儀同經緯儀，水准儀的配合應用	17—16
17-16 小平板儀同經緯儀的配合應用	17—16

第七編 低精度的平面和高程測量

第十八章 气压高程測量 18—1

18-1 一般概念	18—1
18-2 氣壓高程測量的公式	18—1
18-3 氣壓高程測量所用的儀器	18—2
18-4 空盒氣壓計的讀數的改正數	18—2
18-5 氣壓高程測量的外業	18—3
18-6 氣壓高程測量的成果整理工作	18—4
18-7 用一個氣壓計觀測的成果整理實例	18—5
18-8 氣壓高程測量的精度	18—8

第十九章 草 測 19—1

19-1 草測的意義和應用	19—1
19-2 距離的測定	19—1
19-3 直綫定向和角度的測定	19—2
19-4 高差和高程的測定	19—2
19-5 草測的作業	19—3

第八編 地形圖的应用

第二十章 地形圖的应用 20—1

20-1 讀圖和用圖	20—1
20-2 籍地形解決的某些問題	20—1

第九編 工程建築物的樁定工作

第二十一章 樁定的一般工作，圓曲綫的樁定，房屋，管道，

土壩及小橋的樁定 21—1

21-1 概念	21—1
21-2 樁定點子的方法和基本測量工作	21—1
21-3 極坐標法	21—1
21-4 直角坐標法	21—2
21-5 角度交會法	21—3
21-6 距離交會法	21—3

21-7 在地面上設置已知長度的直綫	21—3
21-8 在地面上設置已知角值的水平角	21—4
21-9 根據地面上已有的地物樁定新建築物	21—5
21-10 樁定圓曲綫	21—6
21-11 視線爲地物所阻時的樁定方法	21—10
21-12 樁定高程等于一定數值的點子	21—13
21-13 設出已給坡度的直綫	21—13
21-14 龍門板在樁定房屋時的應用及其設置	21—14
21-15 地下管道的樁定工作	21—14
21-16 小土壩的樁定工作	21—15
21-17 小型橋樑的樁定工作	21—16

第二十二章 樁定工作中的特殊問題 22—1

22-1 用捲尺設置直角	22—1
22-2 用捲尺從直綫外面一點作垂直綫	22—1
22-3 用捲尺求出角度	22—2
22-4 解析法測定建築物的高度	22—2
22-5 高程的傳遞	22—4
22-6 把一塊地面劃成水平面	22—5
22-7 把一塊地面劃成傾斜的平面	22—5

第十編 在水利技術方面用到的測量工作

第二十三章 方位角的測定 23—1

23-1 天球概念	23—1
23-2 定位三角形	23—1
23-3 天體的方位角和地面目標的方位角之間的關係	23—2
23-4 觀測太陽確定地面目標的真方位角	23—2
23-5 用 Φ . H. 克拉索夫斯基教授的方法測定方位角	23—5
23-6 同高觀測天體來測定方位角	23—6
23-7 用日圭法測定真子午綫方向	23—6

第二十四章 測定個別點子的坐標 (導綫和三角點或較高級導綫點的連結) 24—1

24-1 一般概念	24—1
24-2 間接法傳遞坐標	24—1
24-3 前方交會法	24—2
24-4 側方交會法	24—7
24-5 三點後方交會法 (三點問題)	24—7
24-6 兩點後方交會法 (兩點問題)	24—13

第二十五章 全國性的控制測量和小三角測量25—1

- 25-1 一般概念25—1
- 25-2 三角測量的選點，造標和埋石25—2
- 25-3 小三角測量控制機構25—3
- 25-4 邊長的精度25—4
- 25-5 小三角測量的基綫丈量25—6
- 25-6 小三角測量的測角工作25—7
- 25-7 小三角鎖的平差25—8

第二十六章 河道測量26—1

- 26-1 一般概念26—1
- 26-2 河流縱向水准測量26—1
- 26-3 水深測量26—1
- 26-4 河底地形及縱斷面的繪制26—3

第十一編 攝影測量

第二十七章 攝影測量27—1

- 27-1 概念27—1
- 27-2 航空攝影測量的一般過程27—1
- 27-3 像片的比例尺及像點的位移27—2
- 27-4 像片的判讀27—3
- 27-5 像片畧圖的編制27—4
- 27-6 像片平面圖的編制27—4
- 27-7 測繪地形圖的不同航測方法27—5
- 27-8 地面立體攝影測量27—7

第十編 在水利技術方面用到的測量工作

第二十三章 方位角的測定

23-1 天球概念。

在一個晴朗的晚上，我們可以看到天空中有無數個亮晶晶的物體，這些物體以及太陽和月亮（太陰）都稱為天體。這些天體看起來好像分佈在一個無窮大的球面上。以地球為球心，半徑等於無窮大的圓球稱為天球，因為地球的大小和天球的半徑比起來是無限小的數量，所以談到天球時，我們就把地球看成是一點。天體的位置是根據它在天球上的投影位置標明的。我們先把天體沿着天球的半徑投影到天球的球面上，得到天體在天球上的投影位置。正象地球上的點子用經緯度來標明一樣，我們也用天球球面上的兩個坐標來標明天體的投影位置。

通過球心的平面和天球相交的圓稱為大圓。將地面上一點的鉛垂綫（重力方向的綫）向上延長和天球相交在一點 Z （圖 23-1），稱為天頂；向下延長相交在一點 Z_1 ，稱為天底。通過球心，並垂直于鉛垂綫的平面在天球上交出的大圓 NS ，稱為地平圈。經過天頂和天底的大圓稱為地平經圈。如果在球心安置一個經緯儀，儀器整平後水平度盤就和包含地平圈 NS 的平面重合，這時望遠鏡的視准軸繞水平軸旋轉時在天球上描出的大圓就是地平經圈。從地平圈量到天體的弧長 $K\sigma$ ，以球心角 $KO\sigma$ 表示。稱為天體的地平緯度 h ，就是我們以前所講的豎直角。從天頂量到天體的弧長 $Z\sigma$ ，稱為天體的天頂距 z ，也以球心角表示， $z=90^\circ-h$ 。

從地球北極沿着地球的自轉軸向北延長和天球相交在一點 P ，稱為天北極；從地球南極沿着地球的自轉軸向南延長，得一點 P_1 ，稱為天南極。

通過地球上某一地點的天頂，天底和兩個天極的大圓 $NZSZ_1$ ，稱為地球上該點的真子午圈。真子午圈的平面和地平圈的平面相交在一條直綫 NS ，是地球上這點的真子午綫方向；和天球相交的兩點 N 、 S ，各稱為北點，南點。沿着地平圈從南點順時針方向量到通過天體 σ 的地平經圈的一段弧長 SK ，稱為天文方位角，天文方位角和測量上的方位角相差 180° 。

通過球心，並垂直于自轉軸的平面（就是包括地球上赤道的平面）和天球相交在大圓 $E E_1$ ，稱為赤道圈。通過天北極 P 和天體 σ 的大圓 $P\sigma P_1$ ，稱為赤經圈。從赤道圈到 σ 的一段弧長 $L\sigma$ ，稱為天體的赤緯 δ 。沿着赤道圈從真子午圈順時針方向量到赤經圈的弧長 $E_1 L$ ，也就是真子午圈的面和赤經圈的面之間的夾角稱為時角 t 。

23-2 定位三角形

用大弧（大圓上的一段弧）連接天頂，天極和天體得一球面三角形 $ZP\sigma$ ，這一三角形稱為定位三角

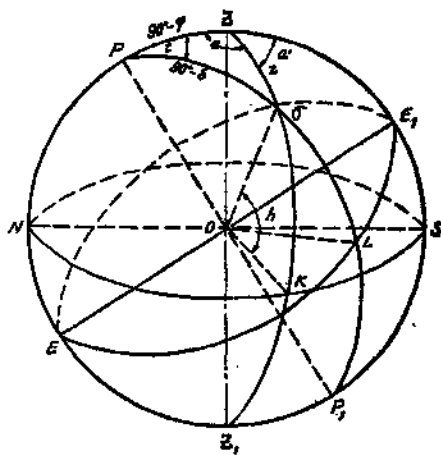


圖 23-1

形。用天文法則定經度，緯度，時間和方位角等需要用到定位三角形。定位三角形的邊和角度與要測定的數量有簡單的關係。如果觀測了某些邊和角，就可以在這個三角形中解得要測定的數量。我們在下面說明如何利用定位三角形來測定方位角。

圖 23-2 表示一個定位三角形，其中 $PZ = 90^\circ - \varphi$ ，以 Φ 表示，稱為餘緯； $Z\sigma = 90^\circ - h$ ，以 z 表示，稱為天頂距； $\sigma P = 90^\circ - \delta$ ，以 Δ 表示，稱為餘赤緯；與方位角有簡單關係的 $\angle PZ\sigma$ 以 a 表示。下面的球面三角公式就把 a 角和 z ， Φ ， Δ 的函數關係表示出來：

$$\operatorname{tg} \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{\sin(p-z) \sin(p-\Phi)}{\sin p \sin(p-\Delta)}},$$

式中 $p = \frac{1}{2}(z + \Phi + \Delta)$ 。

z 可以用經緯儀測出， φ 可以在地圖上找出，根據觀察測時的時間，就能從天文年曆表（中國科學院紫金山天文台編：天文年曆）查得 δ ，這樣就可以應用上面的公式計算 a 角。知道了 a 角，就可算出天體 σ 的方位角 α ：

當天體在子午線的西面時， $\alpha = 360^\circ - a$ （圖 23-2）；

當天體在子午線的東面時， $\alpha = a$ 。

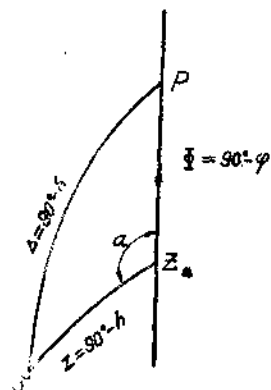


圖 23-2

23-3 天体的方位角和地面目標的方位角之間的關係

爲了求得地面目標的方位角 α_0 （圖 23-2），在觀測天體時，必須同時驗出當望遠鏡對着天體和地面目標時水平度盤上的讀數。用 M 代表望遠鏡對着天體時水平度盤上的讀數， M_0 代表對着目標時的讀數。

$$\alpha_0 = \alpha + M_0 - M。$$

如果把前一節中的兩個 α 的式子代入上式，我們還可寫成：

當天體在子午線東時， $\alpha_0 = a + M_0 - M$ ；

當天體在子午線西時， $\alpha_0 = 360^\circ - a + M_0 - M$ 。

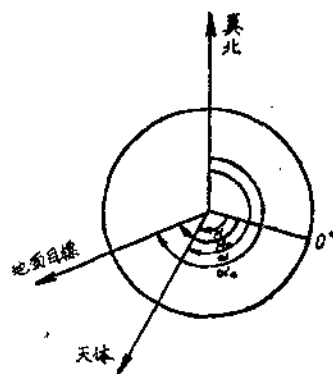


圖 23-3

23-4 觀測太陽確定地面目標的真方位角

觀測前必須檢驗和校正經緯儀。爲了避免強烈的太陽光損壞眼睛，必須用深黑色的稜鏡裝在目鏡上。否則，觀測時可以用一片燻黑的玻璃片放在目鏡和眼睛之間或把目鏡燻黑。

觀測時所用的時錶要和廣播電台所發的時號校對。因爲時間是用來從天文年曆中查出太陽的赤緯的，所以時間不必很準確祇要不差到 10 分鐘就可以了。

觀測工作 因爲用十字絲，交點瞄准太陽的中心是有困難的，觀測時，可以把太陽在相對象限內，並和十字絲相切，這樣水平度盤的讀數和豎直度盤讀數的平均值，就和在平均時間瞄

准太陽的中心時應有的讀數相同了。

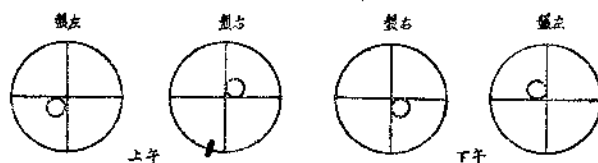


圖 23—4

觀測工作的步驟是：

1. 盤左瞄准地面目標，唸出水平度盤的讀數。
2. 盤左瞄准太陽，唸出時間，水平度盤和豎直度盤的讀數。這樣就觀測了半個測面。
3. 倒鏡望遠鏡，盤右瞄准太陽，唸出時間，水平度盤和豎直度盤的讀數。
4. 盤右瞄准地面目標，唸出水平度盤的讀數。

這樣就完成了一個測回的觀測。一般要觀測三個測回，而測回之間的水平度盤位置要改變 60° 。下面是一個測回的記錄格式。

觀測目標 名稱	豎 盤 位 置	時 刻	讀 數		附 註
			水平度盤	豎 盤	
地面目標 	盤 左	16 ^h 25 ^m	第 一 個 測 回		儀器：_____ 日期：_____ 三角點：_____ 觀測者：_____
			00° 04'		
			60° 11'	338° 27'	
			11	27	
地面目標 	盤 左	16 ^h 29 ^m	240° 17'	21° 37'	
			17	37	
			180° 04		
			04		

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 16^h 27^m & M_0 &= 00^\circ 04' & h &= \frac{1}{2}(21^\circ 37' + 360^\circ - 338^\circ 27') \\
 \Delta T_1 &= 8\ 00 & M &= 60\ 14 & &= 21^\circ 35' \\
 T_0 &= 8^h\ 27^m & & & z' &= 68\ 25 \\
 & & & & r &= 02 \\
 & & & & z &= 68^\circ 27'
 \end{aligned}$$

較合適的觀測時間是地方時 6 點或 18 點左右。因為這時太陽在上下方向的運動較快，所以當太陽高度（豎直角）改變了一定的角值後，它的方位角改變了較小的角度，那末，觀測中相同的豎直角的誤差將引起較小的方位角誤差。

計算 折光使觀測所得的天頂距 z' ($=90^\circ - h$) 太小了一個角度 r , r 可以近似地用下式計算:

$$r \text{ (以分爲單位) } = 0.95 \operatorname{tg} z'.$$

天文年曆中給出格林尼治每天民用時零時太陽的赤緯。查表前, 首先要把當地的觀測時間換算爲格林尼治時間。舊時代我國分成五個時區每個時區內的不同地點用一標準時間, 這些標準時和格林尼治的時間相差一定的時數。解放後, 除新疆和西藏用東經 90° 的標準時外, 其他各地暫用東經 120° 標準時。用 T_i 代表第 i 時區的標準時; T_0 代表同一刹那格林尼治的民用時; ΔT_i 代表第 i 時區的標準時和格林尼治民用時的差數, 東經是正, 西經是負, 每隔 15° 相差一小時; T_i 和 T_0 可用下式表示:

$$T_i = T_0 + \Delta T_i.$$

根據 T_i 求 T_0 的式子是

$$T_0 = T_i - \Delta T_i.$$

求得 T_0 後, 就可在天文年曆中用內插法求得觀測時太陽的赤緯 δ , 而餘赤緯 Δ 就等于 $90^\circ - \delta$ 。

從 1:100,000 或 1:200,000 的地圖上可以求得准到 $1'$ 的緯度 φ , 而餘緯 $\Phi = 90^\circ - \varphi$ 。

把 z , Φ 和 p ($p = \frac{z + \Phi + \Delta}{2}$) 代入下式,

$$\operatorname{tg} \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{\sin(p-z) \sin(p-\Phi)}{\sin p \sin(p-\Delta)}},$$

就可計算 a , 然後計算太陽的方位角和地面目標的方位角。

下面是一個測回的計算例子。

符 號	測 回			附 註
	I	II	III	
T_0	8 ^h 27 ^m			$\operatorname{tg} \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{\sin(p-z) \sin(p-\Phi)}{\sin p \sin(p-\Delta)}}$
z	68° 27'			
Φ	64° 57'			$p = \frac{1}{2}(z + \Phi + \Delta),$
Δ	113° 26'			
$2p$	246 50			1. 如果太陽在東方， $\alpha_0 = a + M_0 - M ;$
p	23 25			
$p-z$	54 58			2. 如果太陽在西方， $\alpha_0 = 360^\circ - a + M_0 - M$
$p-\Phi$	58 28			
$p-\Delta$	9 59			
$\lg \sin(p-z)$	9.91319			
$\lg \sin(p-\Phi)$	9.93061			
$-\lg \sin(p-\Delta)$	0.76105			
$-\lg \sin p$	0.07848			
$2 \lg \operatorname{tg} \frac{a}{2}$	0.68233			
$\lg \operatorname{tg} \frac{a}{2}$	0.34166			
$\frac{a}{2}$	65° 31'			
a	131° 02'			
α	228° 58'			
$M_0 - M$	-60° 10'			
α_0	168° 48'			

23-5 用 Ф. Н. 克拉索夫斯基教授的方法測定方位角

這一方法的特點是觀測北極星和附近一個輔助星之間的水平角，根據這個水平角和觀測地點的緯度，可以從特制的表查到觀測時北極星的方位角。觀測時還量出了地面目標和北極星之間的水平角，這樣就可求得地面目標的方位角。

23-6 同高觀測天體來測定方位角

恒星在天球上的視運動是和子午綫對稱的，因而當恒星在子午綫的東面和西面具有同高的時候，它的水平方向和子午綫方向夾着相同的水平角。如果我們在同高時觀測天體，並唸出水平度盤的讀數 a 和 b ，那末當水平度盤上的讀數等於 $\frac{1}{2}(a+b)$ 時，視准軸就在真子午綫的方向了。

安置經緯儀在導綫的一端，瞄準導綫的另一端，唸出水平度盤上的讀數 c 。把望遠鏡對着東方的一個恒星，念水平度盤的讀數 a 。不改變豎盤的位置，當恒星在西方同高時，再瞄準同一恒星，並唸水平度盤的讀數 b ， $c - \frac{1}{2}(a+b)$ 就是導綫邊的真方位角。

我們也可以對太陽進行觀測，不過太陽的赤緯每天都在改變。當水平度盤讀數等於 $\frac{1}{2}(a+b)$ 加上一個改正數 k 時，視准軸才指向南方。

$$k = -\frac{t \Delta \delta}{\cos \varphi \sin 15t},$$

式中 t 是兩次觀測時間的差數之半，以時為單位； $\Delta \delta$ 是太陽每小時赤緯改變的數值（可從天文年曆中查得） $15t$ 是把 t 換算為度數。

從 12 月 22 日到 6 月 21 日，太陽的赤緯是逐漸增加，讀數 b 就太大了，所以 k 的符號應該是負（-），從 6 月 21 日到 12 月 22 日，情形恰恰相反， k 的符號應該是正（+）。

一般要在上、下午各觀測幾次。根據相應兩次可以求出度盤讀數 $\frac{1}{2}(a+b)+k$ ，然後取平均值。

23-7 用日圭法測定真子午綫方向

根據同高觀測的原理，我們可以用圖解法測定真子午綫方向。在一塊已經整平的圖板上，釘一張圖紙，在圖紙中央選一點為圓心，作很多同心圓（圖 23-5）。在圓心上豎直地插一根長約 5—10 cm 的細針。當細針影子的端點經過圓周時，用鉛筆在圖紙上標出這點的位置，例如 $a, b, c, \dots, a', b', c', \dots$ 等。用直線連接同一圓周上的點子，平分這些弦綫的直綫就是真子午綫的方向。圖 23-5 是在夏至前、後觀測的情況。

這種方法的誤差在 $10'$ 左右，因此就不必考慮改正數 k 了。

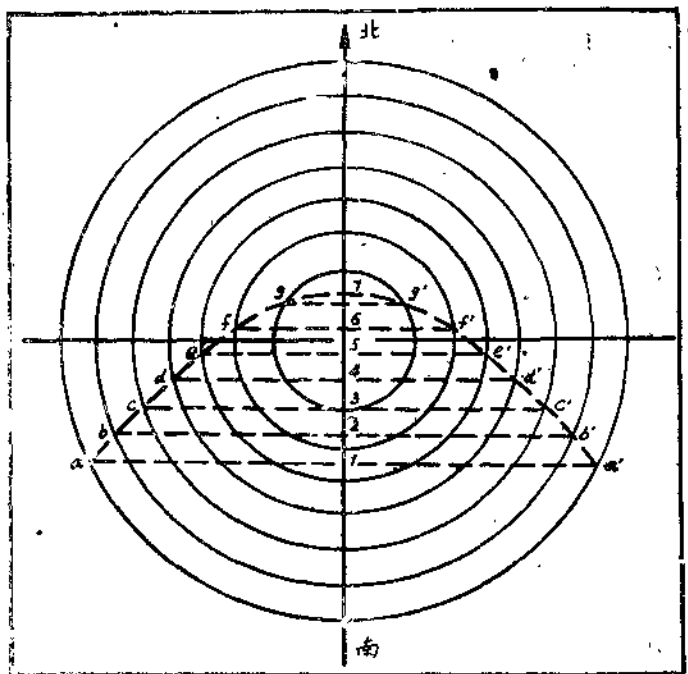


圖 23-5