

普通測量學講義

上 册

儲 鐘 瑞 編
刘 呈 祥

清 华 大 学 出 版 科 印

1 9 5 7

上册目录

第一編 測量学的初步知識

第一章 緒論	1—1
1-1 測量學的任务	1—1
1-2 測量學在社會主義建設及國防上的意義	1—1
1-3 測量學課程在有關專業中的地位	1—2
1-4 測量學和其他科學的關係	1—2
1-5 測量學發展簡史	1—2
1-6 蘇聯測量學的發展	1—3
1-7 我們古代人民對測繪學術的貢獻	1—4
1-8 近代中國測量學的情況	1—4
1-9 測量用的度量單位	1—4
第二章 以地球总的形狀為根據的地面點的位置	2—1
2-1 地球的總形和大小	2—1
2-2 地面點投影在地球總形上的位置、地面點的高程	2—2
2-3 地理坐標	2—3
2-4 地球曲率對水平距離和高程的影响	2—4
第三章 平面圖、地圖、地形圖	3—1
3-1 地球表面在球面上和平面上的描繪	3—1
3-2 比例尺	3—1
3-3 平面圖	3—2
3-4 地圖	3—3
3-5 地形圖	3—3
3-6 地形圖的慣用符號	3—3
3-7 用等高綫表示地形的概念	3—6
3-8 地形的主要類型及等高表示法	3—7
3-9 等高綫的特性	3—8
3-10 地形圖的編號	3—9
3-11 高斯投影及高斯平面直角坐標	3—12
第四章 測量工作的概念	4—1
4-1 測量工作的外業和內業	4—1

4-2 平面测量和高程测量	4—1
4-3 使用儀器來劃分测量的種類	4—1
4-4 控制测量和碎部测量	4—3
4-5 测量控制網的概念	4—3

第五章 誤差的概念 5—1

5-1 前言	5—1
5-2 誤差的種類	5—1
5-3 偶然誤差的特性	5—2
5-4 算術平均值	5—2
5-5 平均誤差，均方誤差（中誤差）	5—3
5-6 算術平均值的均方誤差	5—4
5-7 用似真誤差表示均方誤差	5—6
5-8 直接觀測值函數的均方誤差	5—8
5-9 觀測結果的權，權平均值	5—11
5-10 權平均值的均方誤差	5—12
5-11 容許誤差	5—14
5-12 相對誤差	5—15

第二編 基本測量工作

第六章 直綫丈量 6—1

6-1 地面上點的標誌	6—1
6-2 直綫定綫	6—2
6-3 直綫丈量的工具	6—4
6-4 鋼尺的檢驗	6—6
6-5 直綫丈量	6—6
6-6 在傾斜地面上丈量	6—7
6-7 直綫丈量的誤差及改正	6—9
6-8 直綫丈量精度的判定，容許誤差	6—11
6-9 測斜器	6—12
6-10 視距法量距離	6—14

第七章 直綫定向 7—1

7-1 定向概念	7—1
7-2 真方位角與磁方位角的關係	7—2
7-3 方位角和象限角的關係	7—3
7-4 根據兩個方向的方位角或象限角求它們之間的夾角	7—4
7-5 正、反方位角和正、反象限角	7—4
7-6 坐標方位角（方向角）	7—6

7-7 根據夾角計算坐標方位角(方向角)	7-7
第八章 羅盤儀	8-1
8-1 羅盤儀的構造	8-1
8-2 用羅盤儀測定磁方位角或磁象限角	8-2
8-3 羅盤儀的檢驗	8-3
第九章 水平角測量	9-1
9-1 量水平角的原理	9-1
9-2 經緯儀的構造	9-1
9-3 度盤和游標盤	9-4
9-4 游標原理和使用	9-4
9-5 度盤及游標的檢查	9-6
9-6 光學的讀角設備	9-8
9-7 管水准器, 水准管軸	9-8
9-8 水准管的分劃值和靈敏度	9-9
9-9 圓水准器	9-11
9-10 望遠鏡的構造及成象	9-11
9-11 十字絲、望遠鏡的對光、視差	9-13
9-12 望遠鏡的光學性能	9-14
9-13 內對光望遠鏡	9-17
9-14 經緯儀的檢驗和校正	9-18
9-15 儀器誤差對水平角觀測的影響	9-21
9-16 經緯儀的保養	9-24
9-17 光學經緯儀	9-24
9-18 經緯儀的安置和望遠鏡的使用	9-26
9-19 量水平角的方法	9-28
9-20 量角的精度	9-31
9-21 設角器	9-34

第三編 經緯儀測量

第十章 經緯儀測量的外業	10-1
10-1 經緯儀測量的概念	10-1
10-2 導線的種類和經緯儀導線測量的外業	10-1
10-3 間接測定距離的方法	10-3
10-4 導線和高級控制點的連接	10-3
10-5 測定碎部的方法	10-4
10-6 羅盤儀的應用場合	10-6

10-7 經緯儀測量的手簿和草圖	10-6
10-8 修建地區經緯儀測量的特點	10-7
第十一章 經緯儀測量的內業	11-1
11-1 經緯儀測量內業概念	11-1
11-2 閉合導線角度閉合差的計算和調整	11-1
11-3 閉合導線各邊方向角和象限角的計算	11-2
11-4 附合導線的角閉合差和方向角的計算	11-4
11-5 點子的直角坐標和兩點間的坐標增量	11-6
11-6 坐標增量的計算	11-7
11-7 直角坐標的正算和反算問題	11-8
11-8 閉合導線坐標增量閉合差的計算和調整	11-9
11-9 坐標的計算	11-11
11-10 附合導線坐標增量閉合差的計算和調整	11-13
11-11 結點導線的計算	11-13
11-12 導線錯誤的發現	11-15
11-13 根據導線點的坐標畫導線	11-16
11-14 根據邊長和象限角繪出導線(圖解法)	11-18
11-15 綫閉合差及其調整(平行綫法)	11-19
11-16 將地物畫在平面圖上	11-21
11-17 平面圖的整飾	11-22
11-18 平面圖的保管,圖紙變形	11-22
11-19 平面圖的縮放和描繪	11-22
第十二章 面積計算	12-1
12-1 一般概念	12-1
12-2 圖解法求面積	12-1
12-3 解析法求面積	12-2
12-4 定極求積儀	12-3
12-5 定極求積儀的原理	12-5
12-6 定極求積儀的檢驗	12-7
12-7 定極求積儀的使用	12-7
12-8 使用定極求積儀時應注意事項	12-8
12-9 薩維奇法	12-8
12-10 不同方法量面積的精度	12-9

第九章 水平角測量

9-1 量水平角的原理

測定地面點子的水平位置時，我們要測出點子間的水平角。兩個方面所夾的水平角是在同一水平面內它們的投影方向所夾的角。

假定圖 9-1 中 ABC 是地面上任意三點， $\angle ABC$ 是在傾斜面內的角。如果把 A, B, C 三點沿着鉛垂線方向投影到某一水平面 MN 內，我們就得到 a, b, c 三點。 ba, bc 就是 BA, BC 在 MN 面內的水平投影， $\angle abc$ 就是 $\angle ABC$ 的水平投影，也就是 BA, BC 之間的水平角。從圖 9-1 可以看出， $\angle abc$ 就是通過 BA 和 BC 的兩個豎直平面所夾的角，以平面角表示的兩面角。因為通過 B 點的鉛垂線 db 是這兩個豎直面的交線，所以在這條線上任何一點量出的兩面角都是相等的，而等於水平角 abc 。這樣，為了量出 abc 的角值，我們可以在垂線 Bb 上任何一點 o 放一個水平的度盤，並在度盤的邊緣上記出兩面角兩邊所截的弧長 pq ，這個弧長以度數表示就是圓心角 poq 的角值，也是水平角 abc 的角值。

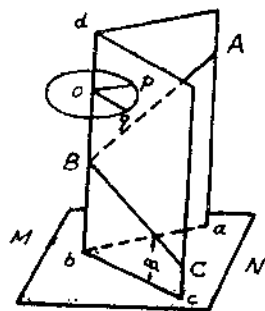


圖 9-1

從上面可知，為了量角，除了水平度盤以外，還要一個供瞄準目標用的豎直平面，稱為視准面。它必須通過度盤中心，並能圍繞豎軸 oB 轉動，這樣才能瞄準任何方向的目標。此外，把度盤中心 o 放在 B 點的鉛垂線上的裝置及使度盤水平的裝置也是量角所必需的。

9-2 經緯儀的構造

近代常用的量角儀器叫做經緯儀。圖 9-2 所示是簡單經緯儀。它具有望遠鏡 1 來瞄準地面上點子的方向，望遠鏡的視准軸繞着與它相垂直的水平軸（或橫軸）2 可在豎直的平面內旋轉而得出視准面。望遠鏡藉水平軸的支架 3 和一個圓盤 4 相連，這個圓盤叫做上盤，也叫游標盤，在它的邊緣上有讀取度盤讀數的設備。上盤的旋轉軸 5 又稱豎軸，套在下盤（即水平度盤）6 的套軸 7 里，可以自由旋轉。上下盤的中心軸應該鉛直地立在角頂的鉛垂線上，因此需要有三腳架 8 和懸掛的綫垂 9 來把儀器中心對準地面上的點子 10，而且需要用軸座 11 上的腳螺旋 12 來旋平上盤上的水准器 13，這樣使上下盤的中心軸處在鉛直位置，也就是說使水平度盤在水平位置。

普通測量工作中常用複測經緯儀（圖 9-3）。

複測經緯儀與簡單經緯儀相比較，在構造上的特點是：下盤（即水平度盤）的空心套軸不和軸座固定在一起，而是套在軸座的空心套軸內，使下盤在軸座內可以自由旋轉（圖 9-3）。這種構造既可使游標盤的軸單獨地在度盤的軸內套空心旋轉，以便進行量角工作；還可使它們

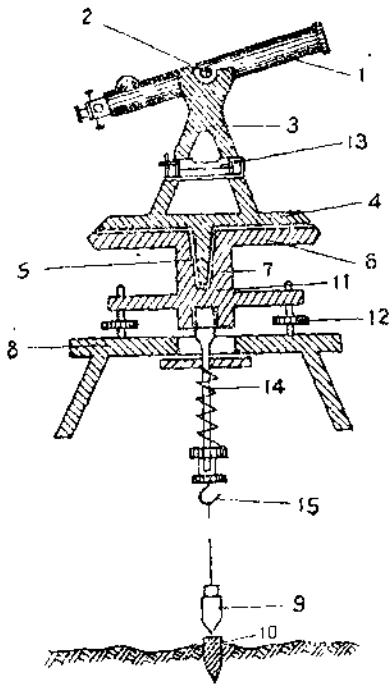


圖 9—2

- | | | |
|---------|----------|---------|
| 1. 望遠鏡 | 2. 水平軸 | 3. 支架 |
| 4. 游標盤 | 5. 豎軸 | 6. 水平度盤 |
| 7. 套軸 | 8. 三腳架 | 9. 垂球 |
| 10. 木椿 | 11. 軸座 | 12. 腳螺旋 |
| 13. 水准器 | 14. 中心螺旋 | 15. 垂球鉤 |

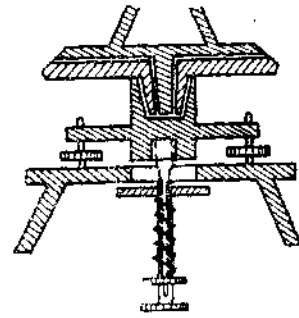


圖 9—3

共同在軸座的空心套軸內旋轉，以便按複測法量水平角（9—19，3）。

爲了控制游標盤的軸在水平度盤的軸內的位置，也就是控制游標盤和度盤的相互位置，儀器上設有上制動螺旋和上微動螺旋一套。上制動螺旋鬆開時，游標盤的軸可以在水平度盤的軸內自由轉動；上制動螺旋擰緊後，就不能動了，但還可以利用上微動螺旋使游標盤的軸有微小的轉動。同樣有下制動螺旋和下微動螺旋控制着水平度盤的軸在軸座內的位置。當上制動螺旋擰緊而下制動螺旋鬆開時，游標盤和水平度盤就可以共同地旋轉。這時，下制動螺旋和下微動螺旋就旋控制游標盤和水平度盤的共同位置了。

爲了控制望遠鏡在豎直面內的位置，在望遠鏡的水平軸一端的支架上也有一套制動及微動螺旋。這樣的複測經緯儀共有三套制動及微動螺旋。

很多現代生產的經緯儀，它不但可以用來測量水平角，由于在它的水平軸一端固連着一個豎直度盤，在支架上裝着游標，也可以用它來量豎直角。此外在游標盤的上面或者在支架上可以裝置羅盤，根據羅盤來測量直線的磁方位角或磁象限角。還有的在望遠鏡內裝置視距器，用來測定距離，這就叫做視距經緯儀。

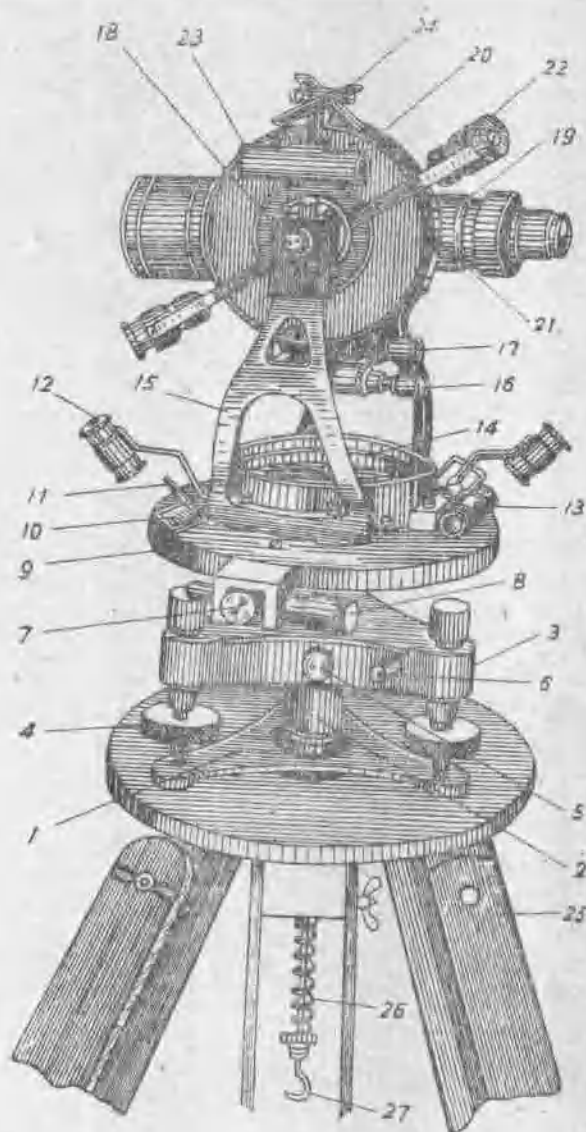


圖 9-4

- | | | |
|---------------|-------------|-----------------|
| 1. 三角片 | 2. 三脚座套筒 | 3. 三脚座 |
| 4. 脚螺旋 | 5. 水平度盤制動螺旋 | 6. 水平度盤微動螺旋 |
| 7. 游標盤制動螺旋 | 8. 游標盤微動螺旋 | 9. 水平度盤和游標盤罩子 |
| 10. 唸水平度盤讀數小窗 | 11. 反光鏡 | 12. 唸水平度盤讀數的放大鏡 |
| 13. 管水准器 | 14. 羅盤 | 15. 支架 |
| 16. 豎盤游標微動螺旋 | 17. 望遠鏡微動螺旋 | 18. 水平軸螺旋帽 |
| 19. 望遠鏡 | 20. 豎盤罩子 | 21. 唸豎盤讀數小窗 |
| 22. 唸豎盤讀數的放大鏡 | 23. 游標水准管 | 24. 反光鏡 |
| 25. 三脚架腿 | 26. 中心螺旋 | 27. 垂球鈎 |

9-3 度盤和游標盤

度盤是量角儀器的主要部分，它是金屬的圓盤（在光學經緯儀內則是玻璃的圓環），直徑在 5 至 16 cm 之間，在度盤的邊緣上刻着相等的分割。兩相鄰分割線在度盤中心所夾的角稱為度盤分割值。度盤分割值普通是 1° ， $30'$ ， $20'$ ， $15'$ 和 $10'$ 。圖 9-5 所示的度盤的分割值是 $30'$ 。



圖 9-5

度盤通常每隔 10° 註一數字，在水平度盤上多半依順時針方向增加，但也有一些度盤上同時也有逆時針方向增加的註字。在豎直度盤上註字的式樣也不相同，將在有關章節內談到。

在度盤上讀取讀數的設備，一般附在游標盤上。游標盤的旋轉中心與度盤的中心相重合，在游標盤上同一直徑的兩端刻有兩個指標線，沿指標線就可讀出度盤上的讀數。

如指標線偶然地和度盤上某一分割線相符合，用指標線就能讀出正確的讀數。不然的話，不足一分割值的讀數，只能約畧地估計。為了更準確地唸出這樣的讀數，可用各種讀數設備，其中一種就是游標。

9-4 游標原理和使用

游標是一個小標尺，標尺上有一段小圓弧，也和度盤一樣刻有分割，註着 0 的一條分割線就是游標的指標線。

游標上兩個相鄰分割線在游標盤中心所對的角值是游標的分割值。游標的分割值一般比度盤的分割值小，並且做得使游標上 n 個分割的弧長等于度盤上 $n-1$ 個分割的弧長。用 l 代表度盤的分割值， v 代表游標的分割值， t 代表 l 和 v 的差數，叫做游標的最小讀數，那末：

$$n \cdot v = (n-1)l, \quad v = \frac{n-1}{n}l;$$

所以

$$t = l - v = l - \frac{n-1}{n}l = \frac{l}{n} \quad (9-1)$$

上式說明：游標的最小讀數等于度盤的分割值除以度盤上和游標盤上弧長相等的游標格數。

讓我們舉一個簡單例子說明游標的作用。以圖 9-6 所示的游標為例， $l = 1^\circ$ ， $n = 6$ ，那末， $t = \frac{1^\circ}{6} = 10'$ 。因為游標的每一個分割比度盤的每一個分割小 $10'$ ，當游標的指標和度盤上 100° 的分割線（圖 9-6）重合時，游標上第一條分割線和度盤上次一條分割線相差 t ，即 $10'$ ；游標上和度盤上再下一條線相差 $2t$ ，即 $20'$ ；依此類推。相反，如果游標上第一條線和 101° 的分割線相重合時，指標就在 100° 的分割線左面 $1 \cdot t = 10'$ ；如果游標上第二條線和

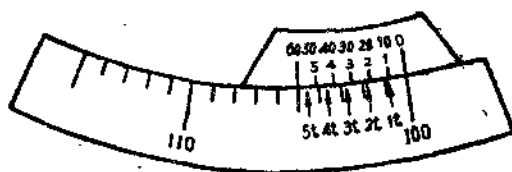


圖 9—6

102° 的分劃綫重合時，指標就在 100° 的分劃綫左面 $2t=20'$ (圖 9—7)；依此類推。顯然，這些就是指標應給出的小於一個分劃值的讀數。爲了便於唸數起見，游標的讀數 $1 \cdot t=10'$ ， $2 \cdot t=20'$ ……，直接註在游標上相應的分劃綫上，所以在唸出小於一個度盤分劃值的讀數時，只要找出游標上哪一條分劃綫和度盤上的分劃綫重合，並唸出它相應的游標註字即可*。圖 9—7 所示的讀數是 $100^\circ + 20' = 100^\circ 20'$ 。圖 9—8 所示的游標最小讀值是 $1'$ ，讀數是 $66^\circ 30' + 14' = 66^\circ 44'$ 。圖 9—9 所示的游標最小讀數是 $30''$ ，讀數是 $288^\circ 40' + 13' 30'' = 288^\circ 53' 30''$ 。

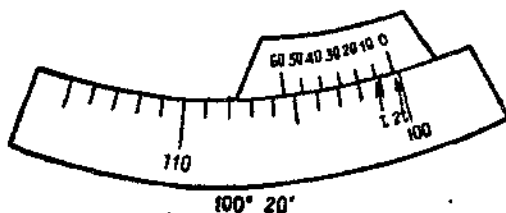


圖 9—7

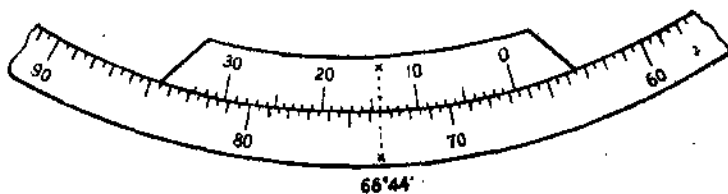


圖 9—8

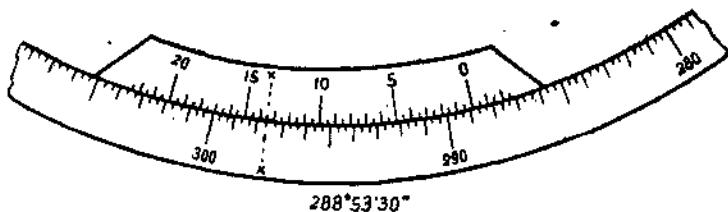


圖 9—9

* 由於游標的第一條分劃綫上面的註字是 $1 \cdot t$ (這個註字可以从其他分劃綫的註字求出)，所以从游標註字可以直接找出游標的最小讀值 t 。

讀游標時應該注意：

1. 經緯儀上的游標，有時是兩個相連而成，共用一個指標線。一個註字順時針方向增加，用來讀順時針方向的度盤刻劃；一個註字逆時針方向增加，用來讀逆時針方向的度盤刻劃；不可用錯，但一般多讀順時針方向的度數。

2. 讀游標前，先大約估計一下讀數，然後直接到估計讀數附近去找重合的分劃線，這樣，讀得快，又可避免唸錯。

3. 讀數時可用放大鏡，順着重合刻劃線來讀。某線重合時，其隣線必向左、右對稱地離開（因此爲了利用對稱，在游標兩端常刻有一二條額外的線，這類額外的線在決定游標最小讀值時不應計入）。如發現有二條線都相重合，可以讀取平均數。

利用游標唸讀數的最大誤差，一般認爲等于游標最小讀值 t 的一半。 $1'$ 的游標，讀數最大誤差約爲 $\pm 30''$ 。

9-5 度盤及游標的檢查

爲了正確地測量角度，度盤及游標的質量是很重要的，例如，度盤及游標的分劃應當正確，度盤及游標盤之間不應有縫隙，游標盤的旋轉軸應當垂直于度盤的平面及游標盤的旋轉軸應當通過度盤的中心等等。

(1) 度盤及游標的分劃應該是均勻的，正確的。

由于游標上 n 個分劃的弧長等于度盤上 $n-1$ 個分劃的弧長，所以可以利用游標上 n 個分劃的兩端的分劃線來檢查度盤的分劃是否均勻。爲此用微動螺旋使游標的零線和度盤上某一條分劃線重合，檢查游標上另一條分劃線（第 n 個分劃的分劃線）是否與度盤上相應的分劃線相重合。然後移動度盤上一個分劃，繼續檢查，直到度盤上全部分劃檢查完畢爲止。

用度盤上分劃正確的部分來檢查游標的分劃是否均勻。把游標上零點的一條分劃線對准度盤上一條分度線，檢查游標上零點前後相隣的分劃線是否對稱地位于度盤上相隣的分劃線。然後把游標上次一條分劃線對齊度盤上原來的分劃線，照樣檢查。同法檢查游標上的其餘分劃。

(2) 度盤和游標盤之間不應有縫隙，並且游標盤的旋轉軸應當垂直于度盤的平面。

當游標盤繞着它的旋轉軸慢慢轉動時，如果發現游標的平面在上下方向有時離開度盤邊緣，就表示游標盤的旋轉軸不垂直于度盤的平面。不論度盤和游標盤之間有縫隙，或者不在一個平面內，對於讀游標的精度都有影響。唸讀數時應使放大鏡的中心放到重合刻劃線的上方，順着重合線方向唸讀數。

(3) 游標盤的旋轉軸必須通過度盤的中心，否則，就有偏心。爲了消除游標盤偏心對讀數的影響，經緯儀的游標盤上設有兩個游標。

在圖 9—10 中 C_1 代表水平度盤的中心， C_2 代表游標盤的旋轉中心。設兩個游標的指標線 I—I 和 C_2 在同一條直線上。如果有偏心時，游標 I 及 II 的讀數爲 A_2 及 B_2 ；如果沒有偏心，正確讀數將是 A_1 及 B_1 。

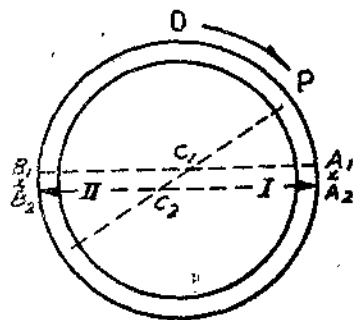


圖 9—10

。假定度盤的註記是順時針方向增加的，並且用 x 代表弧長 A_1A_2 和 B_1B_2 ，則：

$$A_1 = A_2 - x,$$

$$B_1 = B_2 + x.$$

但 $B_1 = A_1 + 180^\circ$ ，把它代入上式，得：

$$A_1 = A_2 - x,$$

$$A_1 = B_2 - 180^\circ + x.$$

由此二式得：

$$A_1 = \frac{1}{2}[A_2 + (B_2 - 180^\circ)] \quad (9-2)$$

$$x = \frac{1}{2}[A_2 - (B_2 - 180^\circ)] \quad (9-3)$$

從上面第 (9-2) 式可知：取有偏心誤差的兩個游標讀數的平均值（其中一個讀值減去 180° ），可以消除偏心誤差的影響。例如 I 游標讀數為 $68^\circ 17' .5$ ，II 游標讀數為 $248^\circ 18' .5$ ，其平均值為：

$$\frac{68^\circ 17' .5 + (248^\circ 18' .5 - 180^\circ)}{2} = 68^\circ + \frac{17' .5 + 18' .5}{2} = 68^\circ 18' .$$

從上面第 (9-3) 式可知：偏心誤差對讀數的影響 x 等于兩游標讀數的差數（其中一個游標讀值減去 180° ）的一半。但是這個數值並不是固定不變的，是隨着游標在不同位置而改變的。顯然，當 I，II 游標連線和偏心方向 C_1C_2 重合時，讀數誤差 $x=0$ ，當該兩線相互垂直時，讀數誤差 x 為最大，它的變化是一個正弦曲線（圖 9-11）。

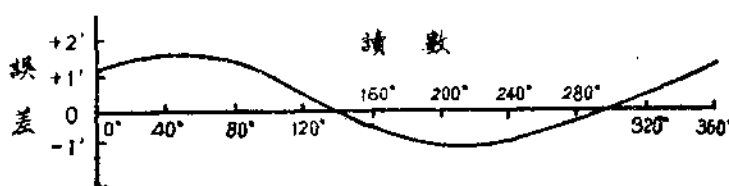


圖 9-11

好的儀器，游標盤的偏心誤差不應超過游標最小讀數的兩倍。

實際上兩個游標 I 和 II 可能和它們的旋轉軸 C_2 不在一條直線上，而 IC_2 及 C_2II 兩線所組成的交角和 180° 相差 y 角，這個 y 角對於讀數的影響一般可以認為是個常數。那末，兩個游標的平均值還含有 $\frac{y}{2}$ 的誤差。但因為在角度測量中，角度的數值等于觀測角度兩邊的兩次游標讀數的差數，所以 $\frac{y}{2}$ 的誤差對於測角的結果是沒有影響的。所以測角時總是唸出兩個游標讀數，並取其平均值。

9-6 光學的讀角設備

游標是屬於機械的唸讀數設備。另外也常用光學的唸讀數設備。例如(1)單指綫顯微鏡，(2)分割尺顯微鏡和游標顯微鏡，(3)光學測微器顯微鏡等等。

(1) 單指綫顯微鏡 在顯微鏡內可看到度盤分割的放大象，在成像面上有刻在玻璃片上的單指綫，用單指綫來唸讀數。圖 9—12(a) 中的度盤分割值是 $10'$ ，用指綫估讀到 $\frac{1}{10}$ 分割，即 $1'$ 。

(2) 分割尺顯微鏡 在度盤分割的成像面上有刻在玻璃片上的分割尺。分割尺全長和度盤上 1 分割的像長相等，分割尺的分割綫是來唸讀數的指標綫。圖 9—12(b) 中的分割尺分為 10 等分，每小格是 $2'$ ，用眼估計 $\frac{1}{10}$ 小格，即 $0.2'$ 。圖中讀數是 $20^\circ 40' + 3.6 \times 2' = 20^\circ 47.2'$ 。

如果需要唸兩個顯微鏡的讀數，再取其平均值，可以直接把唸出的兩個顯微鏡內分割尺的分格數相加，就得不足一個度盤分割值的餘數。例如，在兩個分割尺上各讀出 3.6 和 3.5 分格，零頭分數是 $3.6 + 3.5 = 7.1$ ，總讀數是 $20^\circ 40' + 7.1' = 20^\circ 47.1'$ 。

(3) 游標顯微鏡 在度盤分割的成像面上有刻在玻璃片上的游標。讀游標的方法與機械游標相同，但游標顯微鏡和其他顯微鏡一樣，由於放大倍數大，游標短，一眼能清楚地看到游標的全像，所以讀數快，眼睛也不累。

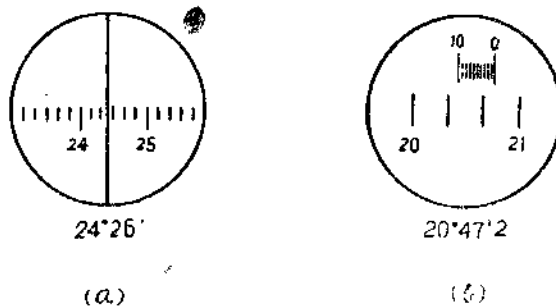


圖 9—12

(4) 光學測微器顯微鏡法常應用在光學經緯儀上，其中一種讀數方法將在光學經緯儀一節介紹。

9-7 管水準器，水準軸

水准器是用來幫助我們判斷儀器或工具的某一部分是否在水平位置或豎直位置。水准器有管水准器和圓水准器兩種。

管水准器(圖 9—13)是由一個玻璃管構成的，管子的內表面在縱斷面方向磨成一定半徑



圖 9—13

的圓弧。按不同用途，圓弧的半徑選在 2m 到 200m 之間。管內裝入易流動的液體，（酒精或乙醚），只空下很小一部份，形成一個氣泡。玻璃管裝在金屬管內（圖 9—14）。不論玻璃



圖 9—14

管是水平或體斜，氣泡中點總處在水准管內表面的圓弧的最高點，在這點所作的圓弧的切綫總是水平綫。

玻璃管外面對稱地刻着 2mm 間隔的分劃綫，分割的中點 O 稱為水准管的零點，在零點 O 和圓弧相切的直綫 HH（圖 9—13），稱為水准管軸。顯然，當氣泡中點和水准管零點重合時，即所謂氣泡居中時，水准管軸就一定在水平位置。

水准管軸具有特殊意義，在校正好的儀器上，水准管軸是平行于或垂直于儀器的某一部份的（這種校正是利用圖 9—14 中的校正螺旋 M 進行的），這樣，當水准管軸調整到水平位置，即氣泡居中時，這一部份就在水平位置或豎直位置了。

9—8 水準管的分划值和靈敏度

當水准管軸 HH 對於水平綫 H_1H_1 傾斜了 α 角時（圖 9—16），氣泡就從水准管零點 O 偏移了 n 個分劃走到 D 點。假如 C 是水准管圓弧的中心，R 是半徑，由圖 9—16 知：

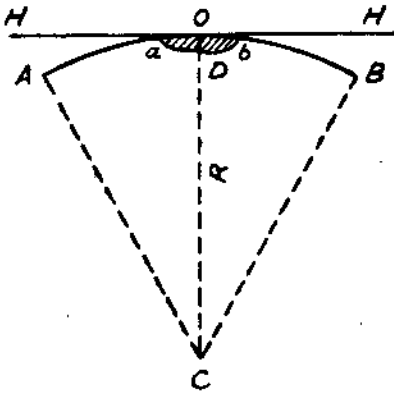


圖 9—15

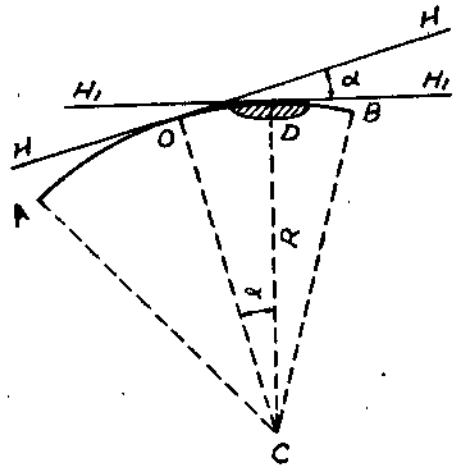


圖 9—16

$$HH \perp OC, \quad H_1H_1 \perp DC, \quad \angle OCD = \alpha。$$

所以

$$\widehat{OD} = R \cdot \alpha,$$

式中 α 以弧度計。

這個公式說明：氣泡移動的弧長（或格數）OD 與水准管軸的傾斜角 α 的大小成正比。當水准氣泡移動一個分割（2mm），水准管軸傾斜的角值叫做水准管的分割值，它實際上也是一個分割（2mm）所對的圓心角值。所以水准管分割值 τ 以秒計的式子是，

$$\tau'' = \frac{2\text{mm}}{R\text{mm}} \rho'' \quad \dots\dots\dots(9-3)$$

知道了水准管的分割值和氣泡偏離中央的格數，就可以計算水准軸對水平線的傾斜角。例如，分割值 = $30''$ ，氣泡偏離中央 2 格，水准管軸對水平線傾斜 $2 \times 30'' = 60''$ 。

測量儀器上所用的水准器的分割值在 $2''$ 到 $2' \sim 5'$ 。

水准器的分割值 τ 和圓弧半徑 R 成反比，半徑愈大，分割值愈小；分割值愈小，就愈能量出微小的傾斜角，就愈能更準確地用水准器使儀器的某部分成水平位置或豎直位置；或者說水准器愈靈敏。水准器的靈敏度或者說利用水准器使儀器某部分成水平位置或豎直位置的能力，主要取決于水准器的分割值；但也取決于其他因素，例如水准管內圓弧面琢磨的質量，液體的性質，溫度等等。

由于經緯儀或水准儀的水准管都與望遠鏡相連，所以可以採用下面的方法測定水准管的分割值*。

將望遠鏡大致固定在水平位置，在離儀器一段距離 d 的一點（圖 9-17），豎立一個尺

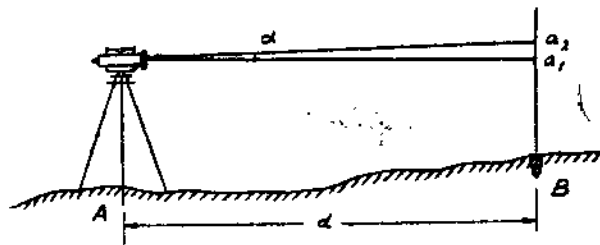


圖 9-17

子。當氣泡在 n_1 分割位置時，讀尺上讀數 a_1 ，當捻動腳螺旋使氣泡移動到 n_2 分割位置時，再讀尺上讀數 a_2 。這樣，氣泡移動了 $(n_2 - n_1) = n$ 格時，尺上讀數改變了 $(a_2 - a_1) = a$ 長度。望遠鏡視線移動了 α 角，由圖知：

$$\alpha'' = \frac{a}{d} \cdot \rho''$$

視線改變了 α 角即水准管軸改變了 α 角。由于氣泡移動了 n 個分割，所以一個分割值 τ'' 為：

$$\tau'' = \frac{\alpha''}{n} = \frac{a_2 - a_1}{n \cdot d} \cdot \rho'' \quad \dots\dots\dots(9-4)$$

此外當捻動螺旋時，氣泡應均勻移動，無跳躍現象，方合使用。

* 利用經緯儀來求上盤水准管的分割值的方法還有柯爾斯篤克方法，見苏联恩·阿·古塞夫著，方俊壽譯山和大地測量儀器學上冊 124 頁。

9-9 圓水準器

除了管水准器外，某些儀器上還常常備有靈敏度較差的圓水准器或稱球面水准器（圖 9—18）。圓水准器是一個密封的圓柱形玻璃圓盒。圓盒蓋的內表面磨成球面，其半徑在 0.5m 到 2m 之間。里面裝滿酒精或乙醚，只留一個小氣泡。玻璃圓盒裝在金屬盒內。

玻璃圓盒蓋面上刻有一個小圓，其圓心 O（圖 9—19）是水准器的零點。連 O 點和球面中心 C 的綫稱為圓水准器的軸。為了校正圓水准器使它的軸綫垂直于或平行于儀器的某一部分，圓水准器通常備有組成等邊三角形的三個校正螺旋。



圖 9—18

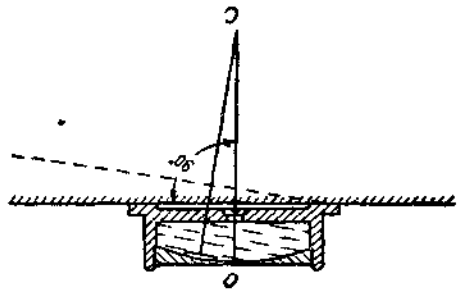
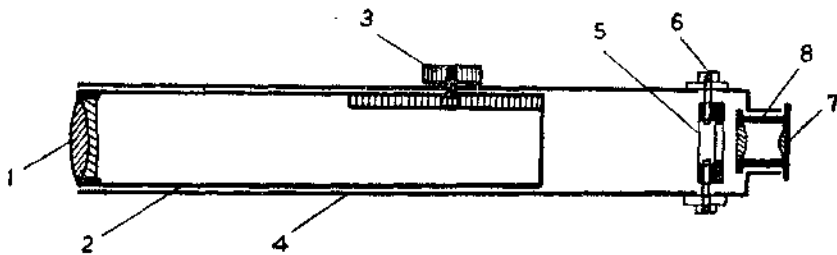


圖 9—19

9-10 望遠鏡的構造及成象

經緯儀上所用的望遠鏡是用來幫助我們清楚地看到遠處的目標，並且能夠準確地瞄準該目標。望遠鏡的主要組成部分是物鏡，目鏡和十字絲（圖 9—20）。



- | | | |
|-------------|--------------|------------|
| 1. 物鏡， | 2. 物鏡筒， | 3. 物鏡對光螺旋， |
| 4. 望遠鏡筒， | 5. 十字絲環及十字絲， | |
| 6. 十字絲校正螺旋， | 7. 目鏡， | |
| 8. 目鏡筒。 | | |

圖 9—20

圖 9—21 表示簡單望遠鏡構像的示意圖。

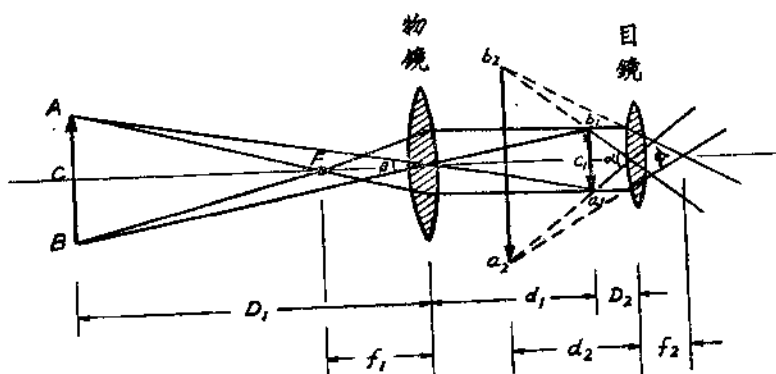


圖 9—21

由于用望遠鏡所觀測的物體 AB 遠在物鏡焦點 F 之外，因此通過物鏡得到的是 一個倒立而縮小的實像 a_1b_1 。即是 A 點成像在 a_1 ，B 點成像在 b_1 ，C 點成象在 C_1 。由物理學知，物距 D_1 和像距 d_1 之間的關係可以用下式表示：

$$\frac{1}{D_1} + \frac{1}{d_1} = \frac{1}{f_1}, \dots\dots\dots(9-5)$$

式中 f_1 是透鏡的焦距。

並且物體 AB 和像 a_1b_1 的大小關係是：

$$\frac{a_1b_1}{AB} = \frac{d_1}{D_1} \dots\dots\dots(9-6)$$

例題：設 $f_1=19.5\text{cm}$ ， $AB=1\text{m}$ 。當 $D_1=10\text{m}$ ， 20m …… 300m 時，求 d_1 和 a_1b_1 。
將給出的數據代入上列式子後，得下表：

D_1 (公尺)	10	20	50	100	200	300
d_1 (公分)	19.89	19.96	19.58	19.54	19.52	19.51
a_1b_1 (公分)	1.99	0.98	0.39	0.20	0.10	0.06

可以看出，在測量工作中 D_1 比 f_1 大得多，因而 d_1 很接近于焦距 f_1 ；當 $D_1=\infty$ ， d_1 就等于 f_1 。同時也可以看出， D_1 愈大，同一物體的像就愈小；在測量上，一般如果不用目鏡放大它，肉眼就看不出來。

爲了把倒立而縮小的物體實像 a_1b_1 放大，目鏡到 a_1b_1 的距離調第得小于目鏡的焦距 f_2 ，因而便得到放大的虛像 a_2b_2 。