

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 測量學的任務	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響	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	平面測量和高程測量	4-1
4-3	使用儀器來劃分測量的種類	4-1
4-4	控制測量和碎部測量	4-3
4-5	測量控制網的概念	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	水准管的分割值和靈敏度	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	導綫的種類和經緯儀導綫測量的外業	10-1
10-3	間接測定距離的方法	10-3
10-4	導綫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	閉合導綫角度閉合差的計算和調整	11-1
11-3	閉合導綫各邊方向角和象限角的計算	11-2
11-4	附合導綫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	閉合導綫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	附合導綫坐標增量閉合差的計算和調整	11-13
11-11	結點導綫的計算	11-13
11-12	導綫錯誤的發現	11-15
11-13	根據導綫點的坐標畫導綫	11-16
11-14	根據邊長和象限角繪出導綫(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

第二章 以地球总的形状为根据的地面点的位置

2-1 地球的总形和大小

當決定地球表面上點子的位置時，通常是求出這些點對於地球的總形的關係。地球的總形，是想象為處在平靜狀態的海洋面延續後所包圍的形體。這種假想是恰當的，第一因為海洋水面佔全球面積的 71 %，第二地球表面的高低起伏比起地球的大小來，仍是非常微小的（珠穆朗瑪峯的高程是 8882 m，太平洋關島附近的深度是 10863 m）。

平靜的海洋水面或湖泊水面所組成的一個曲面都有一個特點，就是在這個曲面上的任何一點所作的鉛垂綫（和重力方向一致的綫）都垂直於這個曲面。凡是滿足這個條件的面，叫做水准面。和水准面相切的平面，叫做水平面。水平面內任何方向的直綫都是水平綫。

水准面有無限多個，其中一個包括平均海洋水面的，叫做大地水准面。

以大地水准面當做地球的總形，並在它上面決定地面點的位置，本來是很恰當的，但是因為地球內部的質量分佈不均，使大地水准面變成一個很複雜的面，而它的精確形狀又不易得到。所以為了測量上的計算和制圖上的便利，目前我們採用一個和大地水准面很接近的數學面來代表地球的總形。這個數學面是一個扁形旋轉橢圓體，它是由橢圓 $PQ P_1 Q_1$ （圖 2-1）繞其短軸 $P P_1$ 旋轉而成的。這個橢圓體叫做地球橢圓體。圖 2-2 表示地球實際表面、大地水准面和地球橢圓面的相互位置的示意圖。

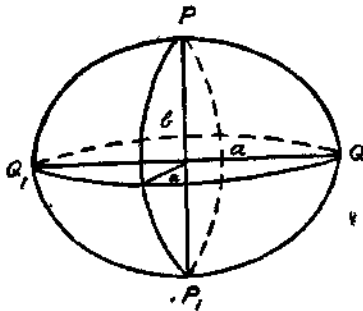


圖 2-1

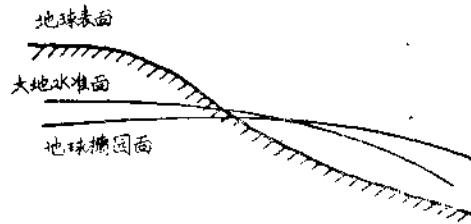


圖 2-2

關於地球橢圓體的大小，歷來有很多學者曾對它進行研究和推算。在下表中我們列出五種較精確的地球橢圓體的大小，其中以克拉斯夫斯基橢圓體為最精確。斯大林獎金獲得者 Ф. Н. 克拉斯夫斯基教授廣泛採用了全世界的天文和大地測量資料以及蘇聯的天文、大地、重力測量資料，在他的領導下，推算工作差不多進行了十年，由於資料多、質量高，才得出最精確的結果。蘇聯從 1946 年起就採用了這個橢圓體。人民民主國家和中國（1951 年）也採用了這個橢圓體。

推算者	年代	長半徑 a (m)	短半徑 b (m)	扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$
法國得隆布爾 (Delambre)	1800	6375653	6356564	1 : 334.0
德國白塞爾 (Bessel)	1841	6377397	6356079	1 : 299.2
英國克拉克 (Clarke)	1880	6378249	6356515	1 : 293.5
美國海福特 (Hayford)	1909	6378388	6356912	1 : 297.0
蘇聯克拉索夫斯基 (Красовский)	1940	6378245	6356863	1 : 298.3

在精度不高的測量中，可以把地球橢圓體當作球體看待，它的半徑等於 6371.11 公里。

2-2 地面點投影在地球總形上的位置、地面點的高程

以大地水准面為根據來標明地面點的位置的意義，就是以大地水准面當作我們的坐標面，這和在直角坐標系中用三個坐標來標明空間一點的位置相類似，只是前者利用一個曲面當作坐標面，而後者是用一個平面。首先我們把地面點沿着鉛垂綫方向投影到大地水准面上得一投影點，這個投影點在這個面內的位置一般用兩個坐標、稱為經度和緯度來確定。還有一個坐標是沿着鉛垂綫方向從水准面到地面點的距離。

圖 2-3 表示地面一點 A 在大地水准面內的投影位置 a 和它的另一個坐標 H。圖 2-4 表示地面點 A, B, C, D, E 在大地水准面的投影位置 a, b, c, d, e。

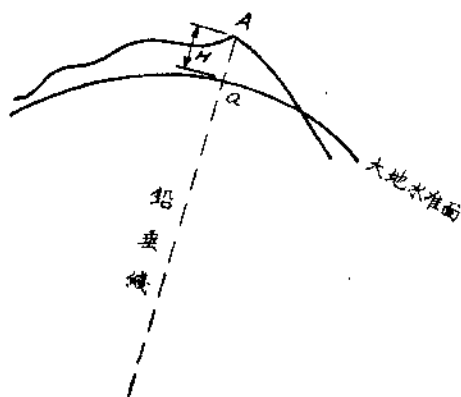


圖 2-3

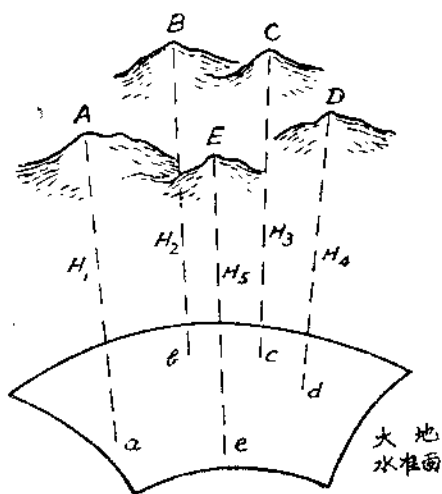


圖 2-4

地面點的高程 假如我們採用大地水準面為坐標面，則從大地水準面沿着鉛垂線方向到地面點的距離叫做絕對高程。高於大地水準面的點子具有正號的高程，低於大地水準面的點子具有負號的高程。有時在測量工作中也以其他水準面為根據來計算高程，也就是把這個採用的水準面內各點的高程看做是零，根據這樣假定所得的地面點的高程叫做相對高程或假定高程（圖 2—5）。

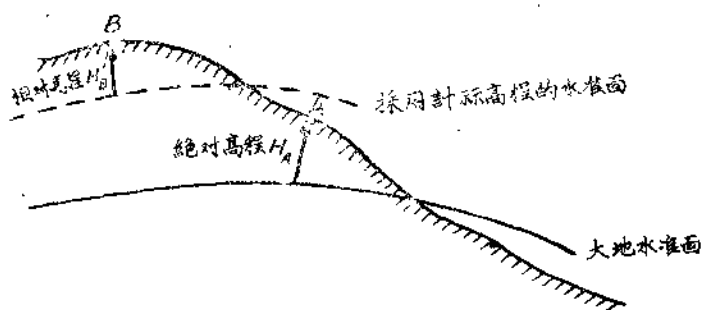


圖 2—5

2-3 地理坐標

相當平面上的縱橫坐標軸，在地球面上通常採取通過英國格林尼治的子午面和赤道面為標準，地面上任一點 A（圖 2—6）的坐標是經度 λ 和緯度 φ ；前者是通過 A 點的子午面和通過格林尼治的子午面之間的夾角，後者是 A 點的鉛垂綫 AO 和赤道面的夾角。經度由格林尼治向東或向西計算，各由 0° 到 180° ；向東計算的稱為東經，向西計算的稱為西經。緯度是由赤道向北或向南計算，各由 0° 到 90° ；向北計算的稱為北緯，向南計算的稱為南緯。在中國領土內各點的經度是東經，緯度是北緯。緯度和經度稱為地理坐標。

地面上每一點的地理坐標可單獨用天文觀測來決定，這時就稱為天文地理坐標。

天文測量以鉛垂綫方向（垂直於大地水準面）為根據，所以天文地理坐標可以認為是在大地水準面上測定的。由於大地水準面的變化複雜，地面點子間的相對位置，單獨用天文觀測方法測定，不易得到精確的結果，所以常常採用大地測量方法測定，這時稱為大地地理坐標。大地地理坐標是在地球橢圓體上推算的，因之，天文地理坐標和大地地理坐標間是有微小的差異的。

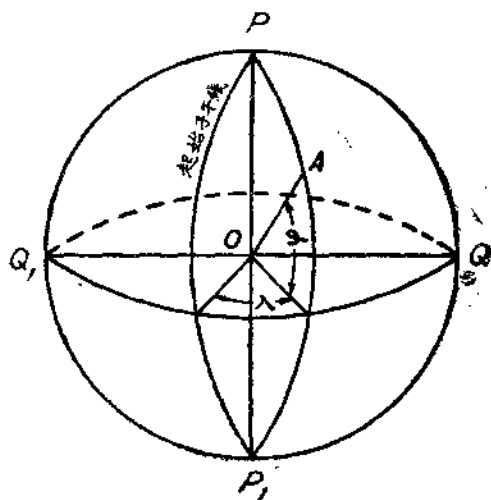


圖 2—6

2-4 地球曲率對水平距離和高程的影響

地球表面上的點子的位置，一般是以大地水准面當作我們的坐標面來決定的。但是當測量範圍不大時，是否可以拿水平面來代替大地水准面呢？這主要看對測量的精度要求而定。下面就兩方面來研究。

1. 地球曲率對水平距離的影響，為了說明這個問題方便起見，我們可把地球看作一個球體，地面點沿鉛垂綫投影到測區範圍內的大地水准面上及與它相切在 C 點的水平面上（圖 2-7）。

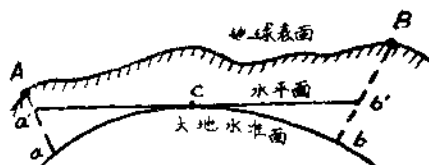


圖 2-7

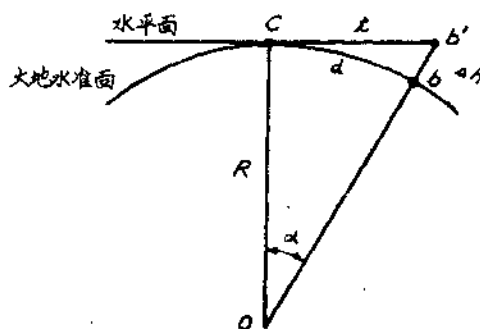


圖 2-8

例如地面點 B 在平面上的投影為 b'，在水准面上的投影為 b。假如（圖 2-8）切綫長 t 與弧長 d 的差數和弧長之比很小，比測量距離要求的相對誤差還小，我們就可以假定水准面是個水平面。

$$\begin{aligned} \text{水平距離誤差 } \Delta d &= t - d = R \cdot \operatorname{tg} \alpha - R \cdot \alpha \\ &= R(\operatorname{tg} \alpha - \alpha), \end{aligned}$$

式中 α 是相當弧長 d 的圓心角，以弧度表示。為了把上式變成可以計算的式子，我們把 $\operatorname{tg} \alpha$ 的級數式子代入，

$$\begin{aligned} \Delta d &= R \left(\alpha + \frac{1}{3} \alpha^3 + \frac{2}{15} \alpha^5 + \dots - \alpha \right) \\ &= R \frac{\alpha^3}{3} = R \frac{d^3}{3R^3} = \frac{d^3}{3R^2} \circ \end{aligned}$$

採用 $R=6371 \text{ km}$ ，我們得下表：*

d(km)	$\Delta d(\text{cm})$	$\Delta d/d$
10	1	1 : 1000 000
25	13	1 : 190 000
50	102	1 : 49 000
100	814	1 : 12 000

從上表可以得出結論：做精度很高的距離測量時，在半徑等於 10 公里的圓面積內可以不考慮地球曲率的影響。當做精度較差的測量時，半徑還可放寬到 25 公里或更大一些。

2. 地球曲率對高程的影響 由圖 2-7 中可以看到：地面點 B 的高程如果不從水準面算起，而從水平面算起，則 B 點的高程將帶有 $bb' = \Delta h$ 的誤差。從圖 2-8 得：

$$\Delta h = Ob' - Ob = R \sec \alpha - R$$

把 $\sec \alpha$ 的級數式子代入，（級數中的 α 以弧度表示），

$$\begin{aligned} \Delta h &= R \left(1 + \frac{\alpha^2}{2} + \frac{5}{24}\alpha^4 + \dots \right) - R \\ &= \frac{R\alpha^2}{2} = \frac{R}{2} \left(\frac{d}{R} \right)^2 = \frac{d^2}{2R} \end{aligned}$$

式中 d 是 cb 間的水平距離。

採用 $R = 6371$ 公里，得：

d(km)	0.5	1	2	3	4	5
$\Delta h(\text{cm})$	2	8	31	71	125	196

在工程建築中對高程測量的要求很高，甚至在每公里內高程誤差不能超過 1—2 公分。所以做高程測量，儘管範圍很小也不能忽畧地球曲率的影響。

*1. 實際上丈量距離可以認為是沿著水準面進行的，然後把量得的距離按比例尺畫在平面的紙上。在這種情況下，量距的相對誤差 $\frac{\Delta d}{d}$ 最多也不過是表中所列數字的 $\frac{1}{2}$ 。（參看維特柯夫斯基塔列輔民課地形測量學上冊，第一章第三節）。

*2. 我們還可以把 bb' 看成是半徑等於 d 和圓心角等於 $\angle b'Ob$ 的一段弧度。這樣

$$\Delta h = d \times \frac{\alpha}{2} = d \left(\frac{d}{2R} \right) = \frac{d^2}{2R} \circ$$