

普通測量學講義

上 冊

儲 鐘 瑞 編
刘 呈 祥

清 華 大 學 出 版 科 印

1 9 5 7

15(3)

17.20

編者：清華大學土木系儲鍾瑞編
天津劉景祥

發行者：清華大學出版科發行組

印刷者：清華大學出版科印刷所

北京市海澱區清華園

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

第一編 測量學的初步知識

第一章 緒 論

1-1 測量學的任務

測量學是量地的技術科學。它的基本任務包括下列兩方面：

1. 測量一塊或整個地球表面的形狀和大小，並按縮小的比例尺繪制成圖。這一方面的任務常常還包括面積和體積的測定；
2. 核定建築物或機器的設計位置，也就是把設計所決定的建築物位置在地面上核定出來。

測量學在很久以前主要應用在農業地區的土地劃分上，因此它是從人類實際需要所產生的科學。測量學的內容隨着人類歷史的發展而逐漸得到充實。到現在為止，人們把它分為各種專門科學來研究；關於決定整個地球的形狀和大小的問題（及其他目的）是高等測量學的任務；關於測繪地球表面不大地區的形象問題是地形測量學的任務；而研究在紙上編繪廣大地區地圖的方法和步驟，則屬於地圖制圖學的任務；此外，為了實現工程建築物或農業上的計劃而作的測量和核定工作，則屬於各種工程測量的任務。

隨着攝影和航空事業的發展，利用航空攝影來測圖的方法已被廣泛採用，這是航空攝影測量所研究的內容。

1-2 測量學在社會主義建設及國防上的意義

測量學在我國國民經濟各部門中有很大的實際意義。

在祖國偉大的社會主義建設初期，全國正進行着大規模的地下資源的勘探和調查工作。某一種地下資源一定蘊藏在與它有關的地質的地層里，而地形又與地質發生密切關係，這就說明：根據地形圖了解地形對勘探地下資源的重要性。已經發現的地下資源的地位和蘊藏量也必須測量出來，並表示在地形圖上。

任何一個建築物是先後經過勘測、設計、施工三個階段建成的。測量是勘測工作中不可缺少的部分。只有根據精確的地形圖和其他必要的勘測資料才有可能設計出完善、經濟的建築物。在施工之前和施工過程中要用測量方法把設計所要求的位置核定出來。就是在施工之後還要測出建築物的變形和變位。

例如鐵路、公路、運河、灌溉系、油管、上下水道等路線的設計，必須以詳細精確的地形圖為依據，才能使建築費用最小，而同時建築物的效用又最高。

進行河流規劃以及確定水工結構的位置和類型也需要地形圖。

在修建工業和民用建築時，我們要根據地形圖選擇最合適的位置，使給水、排水、燃料、運輸等問題得到最合理的解決。

城市規劃、綠化計劃、住宅區的改善等工作都需要利用地形圖和空中照片。此外，土地整

理和林業管理方面也需要測量工作。

設計好了，如果樁定工作做得不精確甚至有錯誤，就會造成很大的損失。隨着社會主義建設事業的不斷發展，對樁定測量工作的要求也愈來愈高。在工業建築中車間牆壁的鋼架的平面位置要准到公分，高程要准到 0.4 公分。上下水道中心線的縱向相對誤差不得超過 $\frac{1}{20000}$ ，橫向誤差不得大於 5 公分。有些灌溉干渠的落差每公里是幾公分，而定出的坡度線的落差誤差每公里不得超過 0.5 公分。此外，安裝機器也需要進行精確的測量工作。以渦輪機為例，它的平面位置要准到 0.2 公分，高程要准到 0.1 公分。安裝自動化聯合操作的機器時，測量精度要求也很高。至於測定建築物的變形和變位就需要更精確的測量工作，有時要測出不到 0.1 公分的變位，這一問題的圓滿解決還有待於測量工作人員的繼續研究。

在國防建設方面，工事修建同樣用到測量。作戰時地圖就是軍隊的“眼睛”。指揮員要根據地圖來擬訂作戰計劃，佈置行軍路線和軍隊駐紮地點。射擊目標的位置要在地圖上求出，有時還需要在作戰過程中用測量方法測出。

1-3 測量學課程在有關專業中的地位

測量工作的應用既然很廣，因此，除了測繪學院各專業的學生需要學習測量外，其他學院如地質學院、礦業學院、石油學院、土木、建築及水利類的工程學院、農業學院、林業學院等非測量專業的很多學生也要學習測量。當然，不同專業對測量的要求應有所不同，學時也有多有少，但學生學到的應該是一門科學，而不祇是一些零星的知識和技術。

對於土木、建築及水利各專業的學生來說，他們應當：

1. 學會閱讀已有的圖，並利用圖來作工程設計。爲了很好地利用圖，還應當具備一些高等測量及制圖學的基本知識。

5. 在設計進行中可能需要比原有的圖更詳盡的地形圖或其他測量資料，他們必需學會利用各種測量儀器，獨立地進行小地區的測量及制圖工作，同時應當有一定的技術操作訓練。

3. 爲了把設計的建築物轉移到實地上，他們應會做簡單的樁定工作。

攝影測量方法及攝影測量所得的資料將愈來愈廣泛地應用到工程建設方面，因而他們有必要具備一些攝影測量的知識。

1-4 測量學和其他科學的關係

測量學象其他科學一樣是由於實際需要而產生的。測量學和其他科學有着緊密的聯系。測量學用到數學、物理、天文、地質、地貌等方面的知識。數學是做測量計算工作和成果整理工作所不可缺少的工具。測量儀器必須應用光學原理來設計。有些測量工作必須以天文觀測的結果爲依據。一個測量工作者如果掌握足夠的地質、地貌知識，就能更準確地、更迅速地測出地形來。顯然，這些科學的發展一定會推動測量學的發展；相反地，其他科學也常常用到測量所得的成果。測量學在它的發展過程中曾向其他科學提出了許多特殊要求，這就推動了這些科學的發展。總之，各門科學之間有着密切的聯系，而科學愈發展，這種聯系將愈密切。

1-5 測量學發展簡史

由於人們在經濟上，政治上和文化上的需要，測量學很早就建立起來，並不斷向前發展。

古代埃及的尼羅河每年洪水氾濫，消滅了土地的邊界，每年就要進行土地測量，劃分土地的邊界。古代希臘人也很早就掌握土地測量的方法，測量學按希臘文的意義就是土地劃分。中國也早就進行土地測量。

在十一世紀中，俄國人沿水面跨過克爾欽海峽量先塔曼尼城和克爾奇城之間的距離。

中國人發明的磁針解決了測量工作的定向問題，在十字軍東征期間（1099~1294）傳到歐洲。在 1616 年左右發明了望遠鏡，為測量工作帶來了極有用的工具。此後人們不斷創造和改進測量儀器，提高了測量工作的效率，但總是停留在手工業式的階段。在第一次世界大戰期間，由於軍事上的需要，航空攝影測量得到應用。戰後應用於普通的測量工作，這就開始了測量工作的機械化時代。航空攝影測量在蘇聯有了空前的發展，很多學者改進和發明了很多航測儀器。使航空攝影測量成為測圖的主要方法之一。

最近對於利用無線電和光來量距離所進行的研究工作收到很好的效果。用無線電量幾百公里的長度可以准到幾公尺。現在已製造出不同類型的光電測距儀，能用來量 10 公里至 30 公里的距離，精度在 $\frac{1}{70000}$ 和 $\frac{1}{200000}$ 之間。這些方向的進一步發展將改變測量工作的面貌，同時需要研究相適應的計算方法。

由於各種原因，測量的觀測結果中總包含誤差。在 19 世紀初，勒戎德爾和高斯先後發表了處理誤差的方法，稱為最小二乘法。

地球的形狀和大小在測量學上一直佔着很重要的地位。最初人們認為地面是平的。大約在紀元前 540 年比達哥拉斯提出地球是球形的說法。埃拉托芬（紀元前 276~195）用正確的方法測定地球的大小。他用天文法測定同一子午綫上兩點在球心的夾角，再根據這兩點之間的距離推算出地球的半徑。這一方法迄今還是測定地球大小的標準方法之一。以後，各種觀測結果証明，地球更接近一個橢圓球，但到底是長橢圓體（兩極較長）還是扁圓體（兩極較短）的問題爭執很久。為了解答這個疑問，法國皇家科學院派人到上魯進行弧度測量（1735~1743），結果証明地球是扁橢圓體。最近 150 年來很多測量學者對地球的形狀和大小進行研究和推算，以蘇聯科學家克拉索夫斯基所得的結果最為精確。地球的形狀和大小還要繼續研究，在這方面，我國廣大國土的測量成果對推算更精確的結果將起很重要的作用。

1-6 苏联測量學的發展

蘇聯的測繪事業，在十月革命以後得到蓬勃發展。鑑於測繪事業對於發展國家生產力的重要性，列寧在 1919 年 3 月 15 日簽署了成立國家測繪總局的命令。30 餘年來，蘇聯的大地測量工作滿足了科學研究和測圖工作的需要。到 1950 年為止蘇聯已測一、二等三角鎖 150,000 公里以上，重力點一萬個以上。在蘇聯大地測量學家克拉索夫斯基教授的領導下，根據極豐富而廣泛的大地測量資料，採用了先進而嚴密的計算方法，推算出最精確的地球形狀和大小。從 1930 年起，蘇聯採用了航空攝影測量方法，並在方法上和儀器上，有很多創造。

在 1928 年建立中央天文、大地測量、航空測量及制圖研究所。該所的科學家曾對測繪理論、測繪方法及測繪儀器方面做出了不少貢獻。

蘇聯培養測繪干部的學校有高等學校和中等技術學校。高等學校有專門學院，某些學院的測量系以及物理系和地理系中的有關專業。

不論是測繪事業和測繪科學方面，還是培養測繪干部方面，蘇聯今天已超過資本主義國

家，從而，我們測繪工作者，對社會主義制度的優越性，得到了具體的體會。

1-7 我國古代人民對測繪學術的貢獻

中國的測繪學術發展得很早。在公元前約 1000 年的著作周髀算經中已記載測定不可到達一點的距離和高度的方法，稱為重差法。公元前 200 年至公元 600 年之間的書籍里載有計算各種平面形的面積公式和各種立體形的體積公式。

西晉裴秀（公元 224~271）。訂出制圖的準則，稱為制圖六體，就是分率、准望、道里、高下、方邪、迂直。分率是按比例尺分成方格，例如，每寸代表一百里。准望是指以一定方向為根據的方位。道理是指距離。高下是指地面的高低。方邪是指地物形狀的方斜。迂直是指道路或河流的曲直。這些準則規定了繪圖的比例尺，點子的距離和方向，地物的形狀和地形的情况，這完全合乎科學原則的。裴秀是世界上最早奠定了制圖工作的科學基礎的人。

公元 727 年唐朝南宮說在河南用繩墨放在水平位置量從滑州經汴州、許州到豫州的距離，並量出滑州、開封、扶溝、上蔡四個地方的緯度，這樣就可算出子午綫 1° 的弧長。雖然精度不高，但他是世界上第一個實測子午綫 1° 的長度的人。

公元前 3 世紀就有司南的記載。司南是磨成勺形的天然磁石，勺底是球形。公元 11 世紀有指南魚的記載，這是由天然磁石的司南改進為人工磁石的指魚。中國人發明的磁針直到現在還是測定方向的重要工具。磁針用在航海上也是中國最早，是在 12 世紀初期。在 16 世紀末就有人用水平，度桿和照板來測兩點的高差，這個方法的原理和現在的幾何水准測量一樣。水平是支在木桿上的木槽，在槽的兩端和中央有比槽稍寬的方形小木池，彼此貫通，池中放木浮子。池中貯水後，木浮子就浮在水面上，這時眼睛沿着三個木浮子表面瞄視出去的視線就在水平位置了。

早在公元前 3 世紀就有地圖，但 12 世紀初的圖是最早保存下來的圖。大禹時代已用輿圖徵收田賦。明太祖派員丈量土地，整理地籍，制成有名的魚鱗圖冊。清康熙年間，即進行了三角測量工作，並在 1718 年完成皇輿全圖。

1-8 近代中國測量學的情況

清朝末年和國民黨政府時期，雖都設有國家測量局，但所做的工作很少，合乎精度要求的工作更少。

1949 年新中國成立後，我國的測繪事業完全改變了舊有的面貌。在短短的幾年內，由於社會主義建設的需要，以及黨和政府對測繪事業的重視，我國測繪事業有了迅速的發展，各項測繪工作都大大超過了國民黨時期的工作。現在已確定了，以北京原點和青島平均海面作為全國測量工作的依據。

在 1956 年成立了國家測繪總局和武漢測量制圖學院，同時科學院的測繪繪研究機構也相應地擴大。這些都為我國測繪科學在 12 年內趕上國際水平，創造了有利的條件。

1-9 測量用的度量單位

(1) 長度的單位

國際通用的長度單位是公尺。在我國除了用公尺外，在日常生活中還以市尺為長度單位。

1 公尺 (m) = 10 公寸 (dm) = 100 公分 (cm) = 1000 公厘 (mm)。

1 公里 (km) = 1000 公尺。

1 市尺 = 10 市寸 = 100 市分 = 1000 市厘。

1 市里 = 500 公尺。

1 公尺 = 3 市尺， 1 公里 = 2 市里。

(2) 面積的單位：

面積的單位是平方公尺。大面積用公頃，公畝，我國也用市畝。

1 公頃 = 100 公畝 = 10000 平方公尺。

1 市畝 = 6000 平方市尺。

1 公頃 = 15 市畝， 1 市畝 = $6\frac{2}{3}$ 公畝。

(3) 角度單位：

測量上常用的角度單位為六十等分制的度。一圓周分為 360° 。 $1^\circ = 60'$ ， $1' = 60''$ 。

在公式推導中有時也用弧度表示角度的大小。角度以弧度計等於弧長與半徑之比，即

$$\widehat{\alpha} = \frac{\text{弧長}}{\text{半徑}}。$$

某一角度的度和弧度的關係如下：

$$\alpha^\circ = \frac{180^\circ}{\pi} \widehat{\alpha} = \rho^\circ \cdot \widehat{\alpha}；$$

$$\alpha' = 60 \cdot \rho^\circ \cdot \widehat{\alpha} = \rho' \cdot \widehat{\alpha}；$$

$$\alpha'' = 60 \cdot \rho' \cdot \widehat{\alpha} = \rho'' \cdot \widehat{\alpha}。$$

$$\widehat{\alpha} = \frac{\alpha^\circ}{\rho^\circ} = \frac{\alpha'}{\rho'} = \frac{\alpha''}{\rho''}。$$

$$\rho^\circ = 57.29578^\circ， \rho' = 3437.747'， \rho'' = 206264.8''。$$