

高等学校教学用书

# 普通测量学

全国测量学选编小组选编



中国工业出版社

3

高等学校教学用书



# 普通测量学



中国工业出版社

本书原是1959年由北京矿业学院普通测量教研组李子明、李  
謙若等編著的出版教材。后于1961年4月，在中央教育部于上海  
召开的全国理工科教材选編會議上，由測量学选編小組按照选編  
原則加工修改，作为全国各院校的采煤，建井，建筑学，城市規  
划，地基基础等专业的測量学試用教科书。教学时数为56学时左  
右，凡教学时数相近的，其它工科或非工科的各专业均可选用。

全书共分十章，内容包括緒論，直綫丈量，直綫定向，經緯  
仪构造及应用，誤差概念，平面控制測量，高程測量，地形測量，  
地形图的应用，建筑工程中測量工作，气压高程測量及草測等。

本书考虑到上述各专业的需要，及教学时数較少等特点，內  
容力求簡明扼要，使學生容易接受和掌握。

#### 参加全国測量学选編小組院校：

同济大学，北京矿业学院，清华大学，唐山铁道学院，华东  
水利学院，武汉測繪学院，哈尔滨建筑工程学院，西安冶金学院，  
杭州工学院。

### 普 通 測 量 学

#### 全国測量学选編小組选編

（根据煤炭工业出版社紙型重印）

★

煤炭工业部书刊編輯室編輯（北京东长安街煤炭工业部大楼）

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路10号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

★

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $6^{15/16}$ ·插頁1·字数250,000

1959年12月北京第一版

1961年6月北京新一版·1965年5月北京第五次印刷

印数9,794—11,306·定价（科五）1.00元

★

統一书号：K15165·73(煤炭-1)

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第一章 緒論 .....                 | 5  |
| § 1. 測量学的研究对象与目的 .....       | 5  |
| § 2. 測量学在社会主义建設中的作用 .....    | 6  |
| § 3. 測量学发展簡史 .....           | 7  |
| § 4. 水准面、大地水准面及水平面 .....     | 8  |
| § 5. 球面可以作为平面的限度 .....       | 9  |
| § 6. 地球的形狀和大小 .....          | 11 |
| § 7. 确定地面上点的位置的因素——坐标 .....  | 12 |
| § 8. 地球表面上一点的絕對高程与假定高程 ..... | 14 |
| § 9. 比例尺 .....               | 15 |
| § 10. 地图、平面图、地形图及断面图 .....   | 17 |
| 第二章 直綫定綫与丈量 .....            | 19 |
| § 11. 地面上点的标志 .....          | 19 |
| § 12. 定概略直线的方法 .....         | 20 |
| § 13. 丈量直线的工具 .....          | 22 |
| § 14. 鋼尺的检定 .....            | 24 |
| § 15. 用鋼尺丈量直线距离 .....        | 24 |
| § 16. 測斜器 .....              | 30 |
| 第三章 直綫定向 .....               | 31 |
| § 17. 直线定向的意义 .....          | 31 |
| § 18. 标准方向的种类 .....          | 31 |
| § 19. 一直线的眞方位角与眞象限角 .....    | 33 |
| § 20. 用罗盘仪定一測綫的磁方位角 .....    | 37 |
| § 21. 确定正北方向的概念 .....        | 39 |
| 第四章 經緯仪的构造及应用 .....          | 39 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| § 22. 用途概說 .....               | 39  |
| § 23. 經緯儀的主要構成部分 .....         | 39  |
| § 24. 角度測量的原理 .....            | 48  |
| § 25. 經緯儀的構成條件 .....           | 49  |
| § 26. 經緯儀 .....                | 50  |
| § 27. 經緯儀的檢驗與校正 .....          | 54  |
| § 28. 經緯儀的安置與望遠鏡的使用 .....      | 65  |
| § 29. 用經緯儀測量水平角的方法 .....       | 67  |
| § 30. 用經緯儀測量豎直角的方法 .....       | 70  |
| 第五章 誤差概念 .....                 | 71  |
| § 31. 緒言 .....                 | 71  |
| § 32. 誤差的種類和來源 .....           | 71  |
| § 33. 最或是值 .....               | 73  |
| § 34. 均方誤差(中誤差)——偶然誤差的量度 ..... | 74  |
| § 35. 用最或是誤差表示均方誤差 .....       | 75  |
| § 36. 相對誤差 .....               | 76  |
| § 37. 容許誤差(極限誤差) .....         | 78  |
| 第六章 平面控制測量 .....               | 78  |
| § 38. 控制測量的意義 .....            | 78  |
| § 39. 平面控制測量的方法 .....          | 79  |
| § 40. 經緯儀導線測量的概念 .....         | 81  |
| § 41. 經緯儀導線測量的外業工作 .....       | 83  |
| § 42. 經緯儀導線測量的內業工作 .....       | 85  |
| § 43. 小三角測量概述 .....            | 101 |
| § 44. 小三角測量的外業工作 .....         | 102 |
| § 45. 小三角測量的內業工作 .....         | 103 |
| § 46. 線形鎖測量 .....              | 105 |
| 第七章 高程測量 .....                 | 107 |
| § 47. 高程測量的一般概念 .....          | 107 |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| § 48. 水准测量原理 .....                  | 108 |
| § 49. 地球曲率及大气折光的影响 .....            | 111 |
| § 50. 水准仪和水准尺 .....                 | 113 |
| § 51. 水准仪应满足的主要条件、定觇水准仪的检验和校正 ..... | 115 |
| § 52. 高程控制网的一般知識 .....              | 108 |
| § 53. 水准测量的方法 .....                 | 119 |
| § 54. 水准测量的誤差和閉合差的限度 .....          | 120 |
| § 55. 三角高程測量 .....                  | 123 |
| 第八章 地形測量 .....                      | 124 |
| § 56. 緒言 .....                      | 124 |
| § 57. 等高线測繪法 .....                  | 127 |
| § 58. 視距測量的概念 .....                 | 131 |
| § 59. 視距法的原理及計算 .....               | 132 |
| § 60. 視距測量外业工作 .....                | 137 |
| § 61. 平板測量的概念 .....                 | 142 |
| § 62. 平板仪的构造 .....                  | 144 |
| § 63. 平板仪的安置和应用 .....               | 147 |
| § 64. 平板測量的作业 .....                 | 153 |
| § 65. 視距仪結合小平板照准器測碎部法 .....         | 153 |
| § 66. 碎部測量方法的比較 .....               | 164 |
| 第九章 地形图的应用 .....                    | 164 |
| § 67. 緒言 .....                      | 164 |
| § 68. 图上两点間长度的确定 .....              | 165 |
| § 69. 图上直线象限角的确定 .....              | 166 |
| § 70. 高程問題 .....                    | 166 |
| § 71. 断面图問題 .....                   | 166 |
| § 72. 等傾斜线問題 .....                  | 168 |
| § 73. 面积問題 .....                    | 169 |
| 第十章 建筑工程中的測量工作 .....                | 169 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| § 74. 路线测量 .....    | 169 |
| § 75. 测設工作 .....    | 169 |
| 附录一、气压高程测量及草测 ..... | 201 |
| 二、测量上常用的单位 .....    | 208 |
| 三、視距測量及視距表 .....    | 210 |

# 第一章 緒 論

## § 1. 測量学的研究对象与目的

### (一) 測量学的研究对象

測量学是研究地球表面各个部分以及地球整体的形状和大小的应用科学，也可以說是用量角度（水平的和豎直的）和丈量距离（水平的、豎直的和傾斜的）来决定地面上各点相互位置的一种技术。它对于国民經济建設、国防和各种科学研究都有非常重要的作用。

測量工作按照作业的程序分为外业和內业：

(1) 外业的主要工作是用各种仪器和工具在現場上直接測量所需要的地面上各点間的距离和各綫間的角度，并記錄在測量手簿中。

(2) 內业是室內工作，可分为計算和繪图两种工作：

計算——根据測得的角度和距离計算出各点在地面上的位置。

繪图——將計算出各点的位置用縮小和相似的方法画在紙上，成为地形图。

### (二) 測量学的目的

根据上述測量学的研究对象和測量工作的实質可以看出，測量学的目的是：

- (1) 测定地面上各点的相对位置或绝对位置。
- (2) 將所測量的地面繪制成地形图。
- (3) 测定地球的形状和大小。



## § 2. 測量学在社会主义建設中的作用

在社会主义建設中，測量学对于加速社会主义工业化起着重大的作用。

在工程建設和国民經济方面：例如铁路和公路在建筑之前，为了确定一条最經濟最合理的路綫，事先必須进行該地带的測量工作，由測量的成果繪制該地带的地形图，在地形图上設計路綫，然后将設計的路綫再測設到地面上，以便进行施工。在路綫跨过河流时必须建造桥梁，在造桥之前也要測繪河流两岸的地形图，以及河流的水位、流速、流量和桥梁軸綫长度的測定，以便在地形图上确定桥梁和桥墩位置等，然后再將設計的位置測設到地面上。路綫經過高山需要开挖隧道，隧道开挖之前，也必須在詳細測繪的地形图上来确定隧道的位置，并由实测的数据来計算隧道的长度和方向。在隧道施工期間，通常是由隧道的两端开挖的，这就需要經常測量开挖的方向，使之符合于設計的方向。如果没有精密的測量工作相配合，由两端开挖的結果将在中間不能相遇，因而造成時間上和經濟上的重大浪費。

在社会主义建設中，要大量的开发地下資源。在寻找地下資源时，从普查、勘探、建井直到开挖的全部采矿过程中，都必须进行測量工作。

在城市规划上，如交通路綫網的布置，工厂及居民区的布置，給水和排水管道的布置等，要取得它們在地面上的合理位置，也必须根据測繪的地形图来解决。

同样，森林的調查与經營，农垦区的土地整理及划分，水利灌溉，堤壩建筑等等，也都是在測量的基础上来实现的。因

此，我們很难指出，任何一种工程建筑是不需要测量工作的。

在国防事业方面，测量学有着特别重要的意义，地势是决定作战勝敗的因素之一，在良好的地势上，不仅可以居高临下射击敌人，还可以掩护部队不致遭受敌人的炮火。因此，統帥部必須根据詳細的地形图来决定作战計劃以及其他等等。此外，例如应用长射程的大炮射击隐蔽的目标时，沒有测量学的知識就不能命中。

总之，测量学在社会主义建設和国防事业中的作用是非常重大的。我們可以这样說：测量是社会主义建設的尖兵，地形图是工程师和統帥部的眼睛。

### §3. 测量学发展簡史

测量学是很古的科学，起源于紀元前2000年。当初称为几何学，意义是土地丈量。土地划分在古代人类生活中占最重要的地位，因而它的发展最早。随着文化以及有关的科学技术，如天文学、数学、光学、仪器制造学等的发展，测量学已經发展成为一門复杂而精密的科学。

俄国十月革命以前，德、法、英、美等国都进行了全国性的大地测量，当时，帝俄較为落后。然自十月革命勝利后，苏联测量事业在国家統一领导下，在最新的高度科学水平基础上，規模之大和发展之快已远远超过其他欧美各国。

我国远在4700年前已經发明了指南車，且天文历書在我国古代也已經应用。1718年(清康熙年間)我国亦測繪了較精密的全国地图(皇輿全图)，可惜后来未能繼續发展，所有測量标志亦早已泯灭。解放后，党和政府对于測量事业十分重视，除国务院設有国家測繪总局，专司全国性的測量事宜外，各生产部

門因生产建設之需要，也設有測繪机构。

十几年来，我国在广大的国土上进行了大量测量工作，这就保证了我国經濟建設和国防建設的需要。在党的总路綫的光輝照耀下，測量工作正在繼續加速前进。無論在大地測量、地形測量和仪器制造方面，都得到了飞速的发展。

#### §4. 水准面、大地水准面及水平面(图1)

水准面——地面受着重力的影响，任何地点的自由水面当其靜止时，必与該面上每点的重力方向成正交，这种成正交的曲面叫做水准面。水准面以其在地面上的高低的位置不同，而有无限多个。由于这些表面必須与重力方向成正交的緣故，而重力的方向集中于地心，于是如将某水准面无限扩张起来，就自然成一閉合的曲面了。



图 1

1—水平面；2—水准面。

大地水准面——在上面所講的这些无限多的水准面中，有一个特殊曲面，假定它与靜止的平均海面相合，穿过大陆与島嶼，閉合起来就可代表地球的形狀和大小，叫做大地水准面。这个大地水准面，我們在实际工作中，是以在海滨設立驗潮所測定水位的高低，經過若干年取一个平均数来确定的。

大地水准面是大范围測量的惟一的基准面，这种大范围内

的一切測量成果都应換算到这个面上，然后才能將它們統一起来。

水平面——水准面上的某点的切面叫做該点的水平面，它只有在切点处才与重力方向正交。由于地球的半径很大，这一水平切面在切点的周围很大地区的表面，几乎与它相合，于是我們可以把某一限度的地球表面看作一平面，是沒有多大差异的。这样，在測量过程中，就可以把这一测区的中点的水平切面当作基准面，于是就將以大地水准面为基准面的技術問題和理論問題大大簡化了。以大地水准面为基准面来处理一切大規模的測量問題的，属于大地測量或高等測量的范围；以某一地区的中点的水平切面为基准面来处理一切小范围的測量問題的，属于普通測量的范围。

### § 5. 球面可以作为平面的限度

在測量过程中可以把多大的面积当作平面而不发生过大的誤差呢？这可用以下的关系来确定。

設  $B'AB$  是水准面(图2)， $AC$  是  $A$  点的水平面。水准面上的距离  $AB$  与水平面的距离  $AC$  是对着同一个地心角  $\theta$ 。因此，把  $AB$  当作  $AC$  时的距离誤差  $\Delta l$  可用下式表示：

$$\Delta l = AC - \widehat{AB} = R \tan\left(\frac{\widehat{AB}}{R} \rho''\right) - \widehat{AB}, \quad (1)$$

式中  $R$ ——地球半径； $\rho'' = 206265''$ 。

若令  $\Delta h$  是  $B, C$  两点的高程誤差，則

$$\Delta h = R \left( \sec \frac{\widehat{AB}}{R} \rho'' - 1 \right), \quad (2)$$

假使令  $R = 6371$  公里， $\widehat{AB}$  給予各个不同的值，則可計算

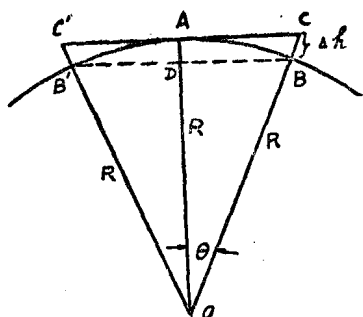


图 2

出距离误差和高程误差来，如下表所示(表 1)。

用平面代替球面的误差表

表 1

| 距离 (公里) | 距离误差 $\Delta l$ (厘米) | 高程误差 $\Delta h$ (米) |
|---------|----------------------|---------------------|
| 1       | 0.0008               | 0.08                |
| 10      | 0.82                 | 7.8                 |
| 25      | 12.83                | 49.0                |
| 100     | 821.20               | 784.8               |

从上表可以看出，把 1 公里半径的水准面当作平面时，距离误差极小，但如半径愈大，距离的误差也愈大。假使把半径 25 公里的地面当作平面时，距离误差为 12.80 厘米。如果按照地图的比例尺缩小 1000 倍，绘到图上，此项误差在图上的影响仅是 0.13 毫米，小于绘图时的容许误差 0.2 毫米。因此，我们认为测绘比例尺为 1 : 1000 的地图时，半径不大于 25 公里的水准面(地表面)可以当作平面。高程误差是相当大的，即使距离很短，也必须加以改正。

## § 6. 地球的形状和大小

近百年来因测量科学的发展，我們得知大地水准面（即地球的表面）近于球形。如图 8 所示，半径  $R$  約为 6371 公里，更近于椭圆体而有长短半径的不同。长半径为由地心至赤道的长度，短半径为由地心至北极或南极的长度。美国学者海佛德于 1909 年发表了如下的数据：

长半径  $a = 6378388$  米；

短半径  $b = 6356911.946$  米；

$$\text{扁率} \alpha = \frac{a-b}{a} = 1:297.$$

这是在 1929 年以后到解放以前，我国测量工作所采用的地球要素。但根据最近的資料已經可以断定这个椭圆体的长半径值过大。

苏联以克拉索夫斯基教授命名的椭圆体的有关几何要素，如图 3 所示。在推算时应用了世界各国其他学者們的丰富資料，故可以

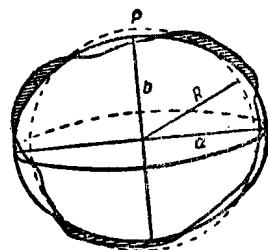


图 3

地球要素表

表 2

| 測 算 者  | 測定日期 | 长半径 $a$ (米) | 短半径 $b$ (米) | 扁率 $\alpha$ |
|--------|------|-------------|-------------|-------------|
| 白 塞 尔  | 1841 | 6,377,397   | 6,356,079   | 1 : 299.2   |
| 克 拉 克  | 1880 | 6,378,249   | 6,356,515   | 1 : 293.5   |
| 海 福 特  | 1909 | 6,378,388   | 6,356,912   | 1 : 297.0   |
| 克拉索夫斯基 | 1940 | 6,378,245   | 6,356,863   | 1 : 298.3   |

認為是現代最可靠的橢圓體要素值。我國現已採用這些要素作為我們測量的基礎。

## § 8. 確定地面上點的位置的因素——坐標

在我們選定了測量的基準面以後，我們就要進一步研究如何在該面上定出一點的位置。確定一點的位置的因素就是該點的坐標。坐標可分為平面坐標系統和球面坐標系統，無論在平面上或球面上定出一點的位置都需要先有一原點及一標準方向。

### (一) 平面坐標系統

在平面坐標系統中，普通我們把這原點設置在測區的中央，即水平面對於球面的切點處。至於這一標準方向，本可是任意的，但為了便於統一起見，我們採取通過原點的正南、正北方向為標準方向。

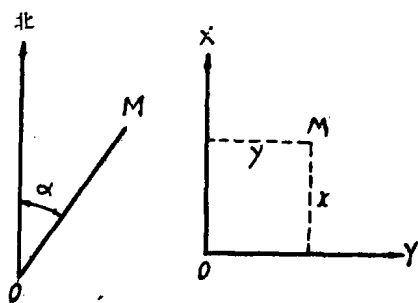


圖 4

有了原點及標準方向，我們定一點的平面位置就需要測點與原點間的距離。如圖 4 的  $OM$  及連接這二點的直線與正南正北方向間的夾角，如圖 4 的  $\alpha$ 。這叫做極坐標法。

如果以通過  $O$  的正北方向為  $X$  軸，通過  $O$  的正東方向為  $Y$  軸，於是測點  $M$  的位置又可由其距  $OX$  與  $OY$  的距離  $(x, y)$  來決定。這叫做直角坐標法。

## (二)球面坐标系統(地理坐标)

当測区很大，必須以大地水准面为基准面，那么我們的坐标系統就变为球面坐标系統。

地球是一个旋轉橢圓体(图5)。地球自轉軸 $P_{北}-P_{南}$ 叫做地軸，它的两端叫做北极和南极。垂直于地軸通过地心的平面叫做赤道面。該面和地球表面的交綫叫做赤道。

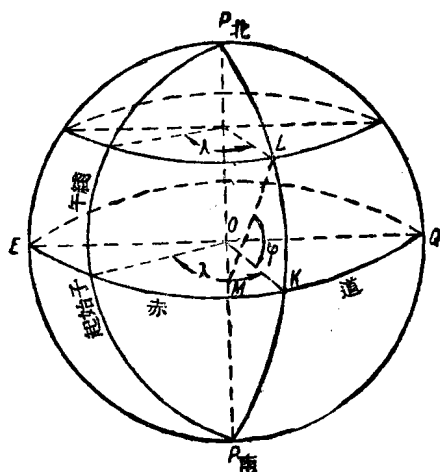


图 5

通过地球表面一点 $L$ 和地軸的平面 $P_{北}LKP_{南}$ 叫做子午面，它和地球表面的交綫叫做子午綫或經綫。

世界各国公認英国格林威治天文台的子午面叫做起始子午面，即經度起算的标准面。 $L$ 点的子午面和起始子午面所夹的三面角 $\lambda$ 叫 $L$ 点的經度，在起始子午面以东叫东經，在它的西面叫西經，最大各到 $180^\circ$ 。

过 $L$ 点的鉛垂綫和赤道面的交角 $\varphi$ 叫做 $L$ 点的緯度，緯度



从赤道起向北和向南计算，分别叫做北纬和南纬，最大各到  $90^\circ$ 。

地球表面上一点的地理位置可以用经度和纬度来决定，所以经度和纬度也叫做点的地理坐标。各点的地理坐标可以用天文测量来确定。为了完全确定一点的位置，除了地理坐标外，尚须测定该点的绝对高程（第三个坐标）。

### § 8. 地球表面上一点的绝对高程与假定高程

地面是高低起伏不平的。要决定地面一点的空间位置，除其平面位置外，还必须要知道这一点的高程，否则这地面点是不能确定的。

一点的高程通常是由大地水准面（平均海面）起算的，因此某点高出于它的垂直距离叫做该点的绝对高程。如图6中  $A, B$  各为地面上一点， $P_0, P_0$  为平均海面，则  $A, B$  二点高出于  $P_0, P_0$  的  $H_A, H_B$  即各为  $A, B$  二点的绝对高程了。

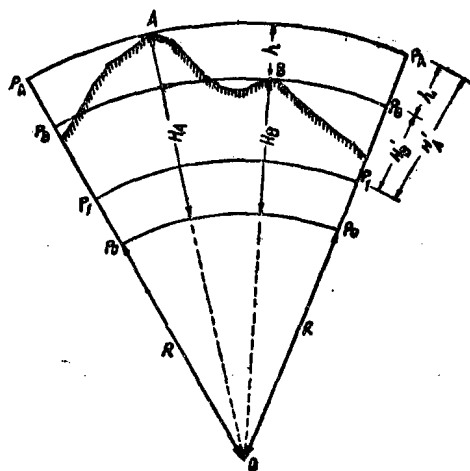


图 6