

高等学校試用教科書



測 量 學

CELIANGXUE

上 冊

同濟大學測量教研組編

(修訂本)

人 民 教 育 出 版 社

高等学校試用教科书



測 量 学

CELIANGXUE

上 册

同济大学測量教研組編

(修 訂 本)

人 民 教 育 出 版 社



本书原系 1959 年同济大学郭祿光等合編的“测量学”教材(人民教育出版社出版),于 1961 年 4 月,經該校測量教研組作了部分修改(由郭祿光主編),作为高等工业院校的铁路、公路、水利类所属各专业的教材。

全书共分上下两册,上册分为测量学的初步知識,地物平面图的測繪,高程測量,地形測量等四篇,共包括十八章,內容有:緒論,地形图及其應用,測量誤差的基本知識;直綫丈量,直綫定向及罗盘仪,經緯仪构造及水平角觀測,經緯仪导綫及地物測量,小三角測量,交会定点,面积計算;水准測量,三角高程測量,气压高程測量,視距測量,平板仪測量,地图投影及地图分幅的概念,草測,航空摄影測量。下册分为路綫測量及施工測量二篇,共包括十一章,內容有:路綫勘測概念,天文方位角的測定,曲綫測設,路綫水准測量,水文測量;施工測量的基本知識,路綫施工測量,桥梁施工測量,隧道施工測量,水工建筑施工測量,变形及沉陷觀測等。全书教学时数为 120 学时左右。地质类各专业可采用本书的上册。

本书在这次修改时,吸取了唐山铁道学院、清华大学等校有关的教材內容。并在修改过程中,有唐山铁道学院、清华大学、华东水利学院、北京矿业学院、武汉測繪学院、哈尔滨建筑工程学院、西安冶金学院、杭州工学院等校代表参加研究和討論。

簡 装 本 說 明

目前 850×1168 毫米規格紙張較少,本书暫以 787×1092 毫米規格紙張印刷,定价相应减少 20%。希鑒諒。

測 量 学

上 册

(修 訂 本)

同济大学測量教研組編

北京市书刊出版业营业許可証出字第 2 号
人民教育出版社出版(北京景山东街)

上 海 市 印 刷 三 厂 印 装
新 华 书 店 上 海 发 行 所 发 行
各 地 新 华 书 店 經 售

統一書号 K15010 · 1056 开本 787×1092 1/32 印張 12 13/16 插頁 3
字數 325,000 印數 5,501—9,000 定价 (7) ¥1.20
1959 年 7 月初版
1961 年 7 月修訂第 2 版 1962 年 3 月上海第 3 次印刷

上册目录

第一篇 测量学的初步知識

第一章 緒論	1
§ 1-1 测量学的任务	1
§ 1-2 测量学在社会主义建設中的作用	1
§ 1-3 测量学的发展簡史	3
§ 1-4 解放后我国測繪事业的偉大成就	4
§ 1-5 度量单位	5
§ 1-6 地球的形狀和大小	7
§ 1-7 地面上的图形在球面和平面上的表示方法	8
§ 1-8 地面上点位的确定	10
§ 1-9 水平面代替水准面的限度	12
§ 1-10 地图、平面图和断面图	14
§ 1-11 比例尺	16
§ 1-12 地形图的慣用符号	21
§ 1-13 测量工作的組織原則	21
第二章 地形图及其应用	25
§ 2-1 地形在平面图上的表示方法	25
§ 2-2 地形元素的等高綫	29
§ 2-3 等高綫的特征	31
§ 2-4 按点的高程勾繪等高綫	34
§ 2-5 地形图的应用	37
§ 2-6 坡度及傾斜角比例尺曲綫	43
第三章 测量誤差的基本知識	45
§ 3-1 测量誤差的概念	45
§ 3-2 誤差的种类及其特性	46
§ 3-3 测量精度的衡量	48
§ 3-4 观测值函数的中誤差	50
§ 3-5 算术平均值及其中誤差	55
§ 3-6 由似真誤差求观测值的中誤差	56
§ 3-7 双观测值的中誤差	57
§ 3-8 权与单位权	59

§ 3-9 一般算术平均值及其中誤差	61
§ 3-10 单位权的中誤差	62
§ 3-11 观测值函数的权	64
§ 3-12 不同精度观测值单位权的中誤差	65

第二篇 地物平面图的測繪

第四章 直綫丈量	67
----------	----

§ 4-1 地面上点的标志	67
§ 4-2 直綫定綫	68
§ 4-3 直綫丈量的工具	71
§ 4-4 鋼尺檢驗及尺长改正	72
§ 4-5 直綫丈量	73
§ 4-6 測斜器	76
§ 4-7 直綫丈量的精度及应注意的事项	77

第五章 直綫定向及罗盘仪	81
--------------	----

§ 5-1 方位角与象限角	81
§ 5-2 正反方位角与正反象限角、方向角(坐标方位角)	83
§ 5-3 子午綫收斂角	85
§ 5-4 磁方位角与真方位角的关系	87
§ 5-5 罗盘仪的构造及其檢驗	88
§ 5-6 磁方位角和磁象限角的測定	91

第六章 經緯仪构造及水平角观测	93
-----------------	----

§ 6-1 水平角观测的原理	93
§ 6-2 經緯仪的构造	94
§ 6-3 讀数设备	98
§ 6-4 游标盘偏心	102
§ 6-5 望远镜的构造	103
§ 6-6 十字絲及望远镜的調节	107
§ 6-7 內对光望远镜	109
§ 6-8 望远镜的性能	110
§ 6-9 水准器	114
§ 6-10 水准管分划值及其測定	116
§ 6-11 經緯仪的安置	118
§ 6-12 經緯仪的檢驗与校正	120
§ 6-13 仪器誤差对水平角观测的影响	125
§ 6-14 經緯仪的养护	128
§ 6-15 水平角观测	129
§ 6-16 水平角观测精度	132

§ 6-17 光学经纬仪	138
第七章 经纬仪导线及地物测量	143
§ 7-1 平面控制的一般知识	143
§ 7-2 国家平面控制网的概念	145
§ 7-3 导线的布置	146
§ 7-4 经纬仪导线测量	147
§ 7-5 闭合导线的计算	151
§ 7-6 附合导线的计算	156
§ 7-7 导线测量的检查	160
§ 7-8 地物测量	162
§ 7-9 用反光定角器测设垂直线	164
§ 7-10 导线点的展绘	167
§ 7-11 地物平面图的绘制	170
§ 7-12 平面图的缩放	171
第八章 小三角测量	174
§ 8-1 一般知识	174
§ 8-2 三角锁推算边的精度	175
§ 8-3 基线丈量	177
§ 8-4 基线长度的计算	178
§ 8-5 角度观测	181
§ 8-6 偏心观测及归心计算	183
§ 8-7 三角锁的近似平差	188
§ 8-8 中心多边形的近似平差	192
§ 8-9 四边形的近似平差	198
§ 8-10 线形三角锁的平差	199
第九章 交会定点	207
§ 9-1 前方交会	207
§ 9-2 后方交会	209
§ 9-3 豪司布兰德“辅助符号”的介绍	215
§ 9-4 应用豪氏符号计算前后方交会	217
§ 9-5 导线与高级控制点的连接	221
第十章 面积计算	223
§ 10-1 图解法确定图形面积	223
§ 10-2 解析法计算图形面积	224
§ 10-3 极点求积仪的构造	225
§ 10-4 极点求积仪测定面积的原理	226
§ 10-5 求积仪的分划值和常数的测定	231

§ 10-6	求积仪的檢查及測定面积的精度	233
§ 10-7	用沙維奇法測定图形面积	235

第三篇 高程測量

第十一章	水准測量	237
§ 11-1	国家高程控制网的概念	237
§ 11-2	水准測量的原理	239
§ 11-3	地球曲率及大气折光的影响	242
§ 11-4	水准尺	243
§ 11-5	水准仪	245
§ 11-6	定鏡水准仪的檢驗与校正	249
§ 11-7	四等水准測量	251
§ 11-8	三等水准測量	254
§ 11-9	水准測量工作的中断及观测中应注意的事项	255
§ 11-10	水准測量成果的平差計算	256
§ 11-11	自动水准仪的构造与使用	261
§ 11-12	精密水准仪的构造与使用	263
第十二章	三角高程測量	268
§ 12-1	三角高程測量的原理	268
§ 12-2	經緯仪豎直度盘的构造	270
§ 12-3	豎直角观测及計算	272
§ 12-4	豎盘零位的校正	276
§ 12-5	三角高程測量	276
第十三章	气压高程測量	280
§ 13-1	概述	280
§ 13-2	气压高程測量的基本原理	281
§ 13-3	气压計及其应用	284
§ 13-4	气压高程測量	289
§ 13-5	气压高程測量在路綫勘测中的应用	292

第四篇 地形測量

第十四章	視距測量	293
§ 14-1	一般知識	293
§ 14-2	視距測量的原理	294
§ 14-3	視距常数的測定	296
§ 14-4	視綫傾斜时的水平距离及高差公式	299
§ 14-5	視距計算方法及工具	301
§ 14-6	視距經緯仪測量的精度	304

§ 14-7 視距测量的外业	306
§ 14-8 視距测量的内业	309
§ 14-9 双象視距仪	316
§ 14-10 自計視距仪	319
§ 14-11 无标尺測距仪	321
§ 14-12 視距测量在路綫勘測中的应用	321
第十五章 平板仪測量	323
§ 15-1 一般知識	323
§ 15-2 平板仪及其附件	325
§ 15-3 平板仪的檢查和校正	329
§ 15-4 平板仪的安置	331
§ 15-5 前方交会和側方交会定点	333
§ 15-6 后方交会定点	335
§ 15-7 图解三角网及其高差的計算	336
§ 15-8 平板仪導綫測量	341
§ 15-9 平板仪地形測量	342
§ 15-10 小平板仪与經緯仪合用法作地形測量	348
§ 15-11 几种地形測量方法的比較	349
§ 15-12 地形測图中的一些注意事項	350
第十六章 地图投影及地图分幅的概念	352
§ 16-1 地图投影的一般知識	352
§ 16-2 高斯投影的概念	354
§ 16-3 地图分幅及編号	358
§ 16-4 公里方格网的繪制	362
第十七章 草測	365
§ 17-1 草測的意义	365
§ 17-2 直綫方向的測定	365
§ 17-3 距离的測定	366
§ 17-4 高程的測定	370
§ 17-5 草測的方法	371
第十八章 航空摄影測量	373
§ 18-1 一般概念	373
§ 18-2 航空摄影測量的过程	374
§ 18-3 航摄像片的比例尺和地形高低所引起的象点移位	378
§ 18-4 航摄像片的判讀	380
§ 18-5 綜合法測图	382
§ 18-6 立体观察与量測	386

§ 18-7 象点的坐标及横视差	389
§ 18-8 微分法测图	392
§ 18-9 全能法测图	394
§ 18-10 地面摄影测量	395
§ 18-11 航空摄影测量在铁路勘测中的应用	399

第一篇 測量学的初步知識

第一章 緒 論

§ 1-1. 測量学的任务

測量学的任务：一方面是測定地球表面上某一地区的大小和形状，用一定的比例尺縮小繪到图紙上，而成相似的图形，作为工程建設和国防建設所必須的地形資料；另一方面是測定整个地球的大小和形状，作为測量計算的依据，同时用来研究地壳的升降，大陆的变迁，海岸綫的移动等。此外，根据建筑物的設計图，用測量的方法，把建筑物的位置在地面上确定下来，这个工作称为建筑物的放样。

測量学和其他科学一样是从人类生产的实际需要而产生，且随着人类生产的发展而发展。今天这門科学已經包括許多方面。在研究整个地球或广大地区的形状和大小时，必須考虑到地球曲率半徑問題，这是大地測量学的任务。关于測繪小区域的形状和大小的問題，則是地形測量学的内容，也是本书所要研究的主要对象。由于地球半徑很大，地球表面在小範圍內可以当作平面。至于研究在图紙上編繪大地区地图的方法，又是属于地图制图学的任务。

随着摄影学和航空事业的发展，广泛利用航空摄影象片測繪地图的方法称为航空摄影測量学。至于測量学在各种工程建設中的应用称为工程測量学。

§ 1-2. 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濟方面：例如鐵路和公路在建築之前，爲了確定一條最經濟最合理的路線，事先必須進行該地帶的測量工作，由測量的成果繪制該地帶的地形圖，在地形圖上設計路線，然後將設計的路線再測設到地面上，以便進行施工。在路線跨過河流時必須建造橋梁，在造橋之前也要測繪河流兩岸的地形圖，以及河流的水位、流速、流量和橋梁軸線長度的測定，以便在地形圖上確定橋梁和橋墩位置等，然後再將設計的位置測設到地面上。路線經過高山需要開挖隧道，隧道開挖之前，也必須在詳細測繪的地形圖上來確定隧道的位置，並由實測的數據來計算隧道的長度和方向。在隧道施工期間，通常是由隧道的兩端開挖的，這就需要經常測量開挖的方向，使之符合於設計的方向。如果沒有精密的測量工作相配合，由兩端開挖的結果將在中間不能相遇，因而造成時間上和經濟上的重大浪費。在水利電力建設方面，首先要測出不同比例尺的地形圖，作為流域規劃和建築施工設計的依據。由此可見，測量學在建築路、橋、水工建築物時占着非常重要的地位。

在工業與民用建築中，當進行初步設計和技術設計時也需要地形圖，把圖上設計好的建築物轉移到地面上去必須進行測量，在建築施工階段隨時需要測量，就是在工程結束後也需要進行竣工測量。近年來，特別在建築工程中裝配式的結構與預制構件的应用，施工過程中快速流水作業法的運用，工程建築的機械化，建築構件的標準化，這一切又給我們提出了新的測量研究課題。同樣，城市規劃，人民公社的土地整理和地下資源的勘探等等，也都是在測量的基礎上來實現的。因此，對於土建工程技術人員來說，不但要學會利用地形圖，閱讀地形圖，在地形圖上進行設計工作，而且要求能進行小地區的測繪工作和建築物的施工放樣工作。

在國防事業方面，測量學有着特別重要的意義。地勢是決定

作戰勝敗的因素之一，在良好的地勢上，不仅可以居高臨下射擊敵人，還可以掩護部隊不致遭受敵人的炮火。因此，統帥部必須根據詳細的地形圖來決定作戰計劃以及其他等等。此外，例如應用長射程的大炮射擊隱蔽的目標時，沒有測量學的知識就不能命中。

總之，測量學在社會主義建設和國防事業中的作用是非常巨大的。我們可以這樣說：測量是社會主義建設的尖兵，地形圖是工程師和統帥部的眼睛。

§ 1-3. 測量學的發展簡史

測量學是最古老的科學之一，遠在古埃及由於尼羅河泛濫後，需要重新劃定邊界，便促進了測量科學的發展。後來隨着文化和技術的進步，測量學在人類生活中的作用就日益增加了，測量學的任务也日益擴展了。在公元前一、二百年和公元後若干年代中，由於社會生產的發展，希臘有不少科學家已把測量學應用到天文方面，並且已經能用天文測量的方法初步測定地球的大小了。但是當時所用的儀器和方法，還是非常簡單和原始的。直到 1611 年發明了望遠鏡之後，測量的方法和速度才有了較大的改進。到第一次世界大戰之後，又採用了航空攝影測量方法，促使測量學獲得較大發展。

我國在測量學方面有着悠久歷史，不論過去和現在，我國勞動人民在測量學方面都有着不少寶貴的貢獻。約在公元前 2300 年夏禹治水時就應用了“准、繩、規、矩”四種測量工具。公元前四世紀，有人利用磁石制成了指南工具，稱為“司南”。這種工具直到 1180 年左右，才由阿拉伯人傳到歐洲。公元二世紀初（後漢）張衡製造了渾天儀，進行天文測量。公元三世紀（晉朝）裴秀總結了前人制圖經驗，擬訂了制圖準則，稱為“制圖六體”，包括：“分率”是按比例尺分成方格，例如一寸等於一百里；“准望”是指以一定方向

为根据的方位；“道里”是指距离；“高下”是指地面的高低；“方邪”是指地物形状的斜正；“迂直”是指道路或河流的曲直。刘徽总结古代立杆测影的方法，著“重差术”，指出以相似三角形的原理来测定山高、水深及城垣、河澗的宽广等九个典型性的测量问题，为世界上地形测量的先例。公元八世纪（唐代）张遂进行了世界上第一次子午线测量。公元十三世纪（元代）郭守敬拟定了测量全国各地纬度的计划，测定了纬度 27 点。清末制成皇舆全图，为世界上完成全国地图的先例。

苏联在伟大的十月社会主义革命胜利后，苏维埃政府颁布了列宁亲自签署的指令，设立了总的测量领导机构，统一了所有的基本测量工作，大量培养了人才，测量科学得到了飞跃的发展，并获得辉煌的成就。例如，1940 年在克拉索夫斯基教授领导下，推算出精确的地球椭圆体元素，对世界科学作出了巨大贡献。特别是载人的宇宙飞船的上天不仅为人类开始了宇宙航行的新纪元，并为进一步测定地球形状和大小，将获得更大的成就。

目前已处于原子时代，由于尖端科学的发展，新技术不断地应用到测量中来。近年来已应用雷达、光速及微波等测量距离，为测绘工作增添了新颖、丰富的内容和开辟了广阔的前程。

§ 1-4. 解放后我国测绘事业的伟大成就

自从 1949 年 10 月建国以来，我国的测绘事业在党的正确领导下，由于学习了苏联的先进经验和广大测绘工作者的共同努力，十一年来取得了很大的成就，从而根本上改变了过去的落后面貌。目前全国大部分地区完成了三角测量和水准测量，并进行了航空摄影测量，编制和出版了各种比例尺的地图，制定了各种测量规范和图式。1956 年成立了国家测绘总局，领导和组织了全国测绘工作。同年成立了测绘学院。在正规培养干部的同时，采取了两

条腿走路的方针，开办了许多短期训练班。到目前为止，全国测绘人员比解放前增加了上百倍，基本上满足了工农业大跃进的需要。

解放后，我国测绘工作不仅规模大，质量高，并且速度快。特别在1958年大跃进的形势下，测绘工作者和全国人民一样，破除迷信，解放思想，发扬了敢想、敢说、敢做的风格和实事求是科学分析的精神，在各项测绘事业中取得了巨大成就。在人民公社的土地规划、兴修水利方面，广大群众创造出各式各样的简易测绘仪器和简易测绘方法，群众性的测量工作遍地开花。在水利电力方面，进行了根治黄河、长江水利资源综合利用等测绘工作。在城乡建设方面，进行了旧城市的改建、扩建和新城市的兴建等各种规划设计的勘测工作。在铁道交通方面，进行了航空选线和完成了长江大桥等规模巨大的测设工作。在测量仪器的制造方面，解放前处于空白状态，解放后不仅生产了各种普通的经纬仪、水准仪和平板仪，并且已经试制成功了各种类型的精密仪器。特别自1958年以来，全国测绘工作者在党的总路线、大跃进、人民公社三面红旗的光辉照耀下，取得的成就更为辉煌。

§ 1-5. 度量单位

测量上常用的单位有长度、面积和角度三种：

(1) 长度

1 公里(km) = 1000 米(m)

1 米(m) = 10 分米(dm)

1 米 = 3 市尺

1 分米(dm) = 10 厘米(cm)

1 厘米(cm) = 10 毫米(mm)

1 公里 = 2 市里

(2) 面积

面积单位为平方米, 即 m^2 。

1 公亩 = 100 米²

1 市亩 = 6000 市尺²

1 公顷 = 100 公亩

1 公顷 = 15 市亩

(3) 角度

60 等分制:

圆周 = 360° (度), $1^\circ = 60'$ (分), $1' = 60''$ (秒)。

100 等分制:

圆周 = 400^g (新度), $1^g = 100^c$ (新分), $1^c = 100^{cc}$ (新秒)。

60 等分制与 100 等分制的换算:

$$1^\circ = \left(\frac{10}{9}\right)^g, \quad 1' = \left(\frac{100}{54}\right)^c, \quad 1'' = \left(\frac{1000}{324}\right)^{cc}.$$

(4) 弧度

以等于半径之长的圆弧所对的圆心角为一弧度, 并以 ρ 表示。

圆周的弧长为 $2\pi R$, 圆周角为 360° , 等于半径 R 的弧长所对的圆心角为:

$$\rho^\circ = \frac{180}{\pi} = 57^\circ.3,$$

或

$$\rho' = \frac{180}{\pi} \times 60 = 3438',$$

$$\rho'' = \frac{180}{\pi} \times 60 \times 60 = 206265''.$$

(5) 时间

$1^{\text{h}} = 24^{\text{h}}$ (小时), $1^{\text{h}} = 60^{\text{m}}$ (分), $1^{\text{m}} = 60^{\text{s}}$ (秒)。

§ 1-6. 地球的形狀和大小

測量工作是在地球表面上進行的，所以必須了解地球的形狀和大小。我們所看到的地球表面並不是完全平坦的，而是有高山、深谷、丘陵、平原、江河、湖泊及海洋等等的起伏狀態，這個表面稱為地球的自然表面。由於海洋占整個地球表面的 71%^①，而大陸高於海水面最大不超過 10 公里，因此地球總的形狀可認為是被海水面所包圍的球體。

當海洋或湖泊的水面在靜止的狀態下，設想穿過大陸和島嶼，而成為一個閉合的曲面。在這個靜止的曲面上，任一點的鉛垂綫都垂直於該點的曲面，這樣的曲面稱為水準面。因為各地方的高低不同，水準面可以作出很多，其中符合於靜止的海洋表面的稱為大地水準面。事實上，海洋表面受潮汐及風浪的影響，並非完全靜止，故取平均海水面作為大地水準面，並以這個面作為決定地面高程的起算面。

大地水準面的精確形狀還是相當複雜的，因為地球表層質量分布的不均勻，以致各處的地质引力也不同，這就引起鉛垂綫方向的變動，致使大地水準面成為一個複雜的曲面。如果將地球表面上的圖形投影到這個複雜的曲面上，在制圖方面和測量的計算上都是非常困難的。為了解決這個問題，而選一個非常接近大地水準面的一個輔助面，這個輔助面稱為橢圓體。用橢圓體代替大地水準面，雖然這兩個面不完全相同，其高差是非常微小的。

橢圓體是由橢圓 PQP_1Q_1 (圖 1-1) 繞其短軸 PP_1 旋轉而成，故又稱為旋轉橢圓體。旋轉橢圓體的形狀和大小是決定於下列三個元素，即：

長半軸(赤道半軸) a ，

① Б. И. 叶尔莫洛夫等著：大地測量，上冊，測繪出版社。

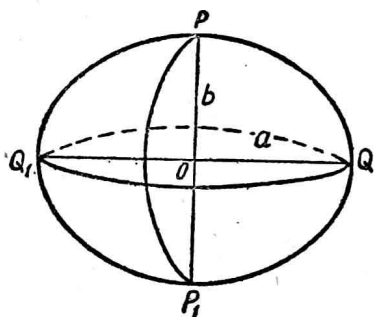


图 1-1

短半軸(地軸半軸) b ,

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

地球橢圓體的元素，科學家們曾觀測和計算出許多不同的結果，但以蘇聯測量學家克拉索夫斯基教授領導下所計算的為最精確。因此，我國現在也採用克拉

索夫斯基橢圓體元素作為測量計算的依據。該橢圓體元素的數據為：

$$a=6,378,245 \text{ 米},$$

$$b=6,356,863 \text{ 米},$$

$$\alpha=1:298.3.$$

由此可知：地球橢圓體的扁率很小，極接近於圓球體。在地形測量學中所討論的是地球表面上一個小區域的測繪工作，因此可認為地球相當於一個圓球，其半徑為 6371 公里。

§ 1-7. 地面上的圖形在球面和平面上的表示方法

我們知道，地球表面上各種地物和地形的輪廓，都是由一系列連續不斷的點子所組成，地面上圖形位置的確定，就是地面上圖形特征點位置的確定。

設地面上有一圖形 $ABCD$ (圖 1-2)， $A、B、C、D$ 各點位於不同的水平面上。我們設想在這個地區的下面，是一個相當於球面的水準面，從 $A、B、C、D$ 各點向下引鉛垂線與水準面相交，其交點 $a、b、c、d$ 即為地面上 $A、B、C、D$ 各點在球面上的投影。

水準面是一個曲面，在這個曲面上所獲得的圖形，若要用之於工程建設，最好展為平面，但不破裂不起皺是不能展開為平面