

高等学校教学用书

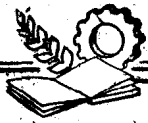
测 量 学

武汉测绘学院测量学教研组编著



中国工业出版社

高等学校教学用书



测 量 学

武汉测绘学院测量学教研组编著

中国工业出版社

本教材系根据武汉測繪学院1960年拟訂的“測量学教学大綱”以原出版的“地形測量学”为基础进行修訂重編而成。

本书以 1:1000、1:2000 和 1:5000 大比例尺地形測量及 1:10,000、1:25,000 和 1:50,000 中比例尺地形測量为中心内容。对于平板仪白紙成圖与航測綜合法成圖的有关知識作了介紹，对于地形圖精度方面的知識也进行了分析。内容注意了結合生产实践和科学理論的分析。在章节安排上与文字叙述上注意了配合教学进程，由淺入深，便于学习。書中对于地形測量及其他有关知識作了必要的介紹。力求反映当前測量科学的發展水平和生产实践的需要。

本书可作为測繪院校天文大地測量、工程測量和航空攝影測量專業的教材和非測量專業的教學参考書，并可供測繪工作同志进修学习之参考。

測 量 学

武汉測繪学院測量学教研組編著

中国工業出版社出版（北京佟麟閣路丙10号）

（北京市書刊出版事業許可証出字第110号）

北京市印刷一厂印刷

新华書店科技發行所發行·各地新华書店經售

开本 787 × 1092 ²/₁₆ · 印張 24 ¹/₂ · 插頁 1 字数 569,000

1961年8月北京第一版·1961年8月北京第一次印刷

印数 0001—3,537 · 定价(10—6) 2.90 元

統一書号: 15165 · 288 (測繪-5)

前 言

我国測繪事業十多年來在中国共产党领导下和全国測繪工作同志共同努力下已取得空前的發展与輝煌的成績，測繪教育工作也得到飞躍的前进，測繪队伍日益壯大。我院于1959年在院党委领导下采取师生結合的形式編写了“地形測量学”一書。出版以来为应各方需要連續印刷多次，并蒙有关方面提供了宝贵的意見，这一切給予我們很大的鼓舞。該書經几年来的使用与在教学中的实践，深感其取材已不能滿足当前需要，趁此再版之际特作了重大的修改，删除了一些不必要的內容，增加了新材料，对原書章节也作了調整。

我們在这新版中增加了“工程水准測量”、“面积計算”及“航測綜合法測圖”三章。对“几何水准測量”及“誤差理論的一般知識”兩章进行了充实，希望能对水准測量提供較多的知識。为了配合当前不断提高成圖質量的需要，本書增加了“圖根測量的精度”及“碎部測圖的精度”二章。这是我們初步嘗試，無論在內容取材、理論分析、以及結合生产实践方面一定存在着很多問題。本書內容方面比从前作了較多的变动，涉及的范围也較广，故决定將書名改称为“測量学”。

这次改版与修訂工作虽在院党委具体指导下在短期內得以完成，但因我們政治水平与業務水平所限，加以時間倉卒，存在的問題一定很多。为此特希望各方面仍繼續給予我們热情幫助和提供宝贵的意見，使本書能得到不断的充实与提高。来函請寄武汉市珞珈山武汉測繪学院測量学教研組。

武汉測繪学院測量学教研組

1961年5月

目 录

前言

第一章 緒論 7

- § 1-1 測量学的任务及其在社会主义建設中的作用 7
- § 1-2 測量学的發展簡史 8

第二章 測量学的基本知識 11

- § 2-1 測量上常用的度量單位 11
- § 2-2 地球形状和大小的概念 12
- § 2-3 地面点位置的确定 13
- § 2-4 用水平面代替水准面的限度 14
- § 2-5 平面圖、地圖、地形圖、地物圖和象片平面圖 16

- § 2-6 比例尺 16
- § 2-7 測量工作概述 18

第三章 直綫丈量 22

- § 3-1 地面上点的标定和直綫定綫 22
- § 3-2 直綫丈量的工具 24
- § 3-3 直綫丈量 26
- § 3-4 鋼尺的檢驗和鋼尺長度不正确的改正 31
- § 3-5 鋼尺丈量的誤差及其精度 31
- § 3-6 直綫丈量时应注意之事項 33

第四章 定向、罗盤仪 34

- § 4-1 直綫定向 34
- § 4-2 方位角和象限角 34
- § 4-3 子午綫收斂角 36
- § 4-4 坐标方位角(方向角) 37
- § 4-5 罗盤仪 37
- § 4-6 罗盤仪的檢驗与校正 39
- § 4-7 用罗盤仪測定磁方位角或磁象限角 40

第五章 經緯仪及水平角觀測 41

- § 5-1 水平角觀測原理 41
- § 5-2 游标經緯仪 41
- § 5-3 望远鏡 42

- § 5-4 水准器 48

- § 5-5 度盤和游标 50

- § 5-6 光学經緯仪 52

- § 5-7 經緯仪的对中、整平与瞄准 54

- § 5-8 水平角觀測的方法 55

- § 5-9 經緯仪应当滿足的条件 58

- § 5-10 經緯仪的檢驗和校正 59

- § 5-11 仪器誤差对水平角觀測的影响 62

- § 5-12 水平角觀測的精度 64

- § 5-13 經緯仪的养护 65

第六章 經緯仪导綫測量 66

- § 6-1 經緯仪导綫的概述 66

- § 6-2 經緯仪导綫点的選擇和标定 67

- § 6-3 經緯仪导綫的施測 67

- § 6-4 經緯仪导綫的連接 68

- § 6-5 經緯仪导綫的内業計算概述 69

- § 6-6 角度閉合差及其分配 69

- § 6-7 导綫边的坐标方位角之計算 72

- § 6-8 点的直角坐标与坐标增量 72

- § 6-9 坐标增量之計算方法 74

- § 6-10 坐标的正算和反算問題 75

- § 6-11 导綫坐标增量閉合差及其分配,

- 导綫点坐标的計算 77

- § 6-12 导綫計算举例 78

- § 6-13 閉合差不容許时的錯誤寻找 82

- § 6-14 經緯仪定綫, 不能直接丈量的

- 边長之測定 83

第七章 經緯仪交会及綫形三角鎖 84

- § 7-1 概述 84

- § 7-2 前方交会 85

- § 7-3 側方交会 90

- § 7-4 后方交会 90

- § 7-5 綫形三角鎖 97

第八章 几何水准測量 105

- § 8-1 高程測量的概念 105

§ 8-2 几何水准测量原理	105	§ 11-11 具有一个结点的水准网平差	163
§ 8-3 水准测量实施方法	107	§ 11-12 等权代替法	164
§ 8-4 地球曲率和大气折光的影响	108	§ 11-13 多边形平差法	171
§ 8-5 水准仪的类型	110	第十二章 三角高程测量	175
§ 8-6 水准仪应满足的条件	111	§ 12-1 三角高程测量概述	175
§ 8-7 水准仪的检查	111	§ 12-2 竖盘的指标差与始读数	175
§ 8-8 定镜水准仪之检验与校正	114	§ 12-3 竖角的测定	181
§ 8-9 具有符合水准管与倾斜螺旋 的水准仪	115	§ 12-4 竖盘的检验与校正	181
§ 8-10 具有倾斜螺旋的水准仪之 检验与校正	116	§ 12-5 地球曲率与大气折光的影响	182
§ 8-11 自动水准仪	118	第十三章 视距原理及普通视距仪	184
§ 8-12 水准尺及尺垫	120	§ 13-1 视距测量概述	184
§ 8-13 水准尺之检验	121	§ 13-2 视距测量的原理	184
第九章 三、四等水准测量	131	§ 13-3 视距尺	187
§ 9-1 全国性高程控制	131	§ 13-4 视距常数的测定	188
§ 9-2 三、四等水准路线的布设	131	§ 13-5 用普通视距仪测定高差的公式	189
§ 9-3 三、四等水准路线的设计、选点 和埋石	131	§ 13-6 计算水平距离和高差的辅助 工具	190
§ 9-4 水准点	132	§ 13-7 普通视距仪的精度	194
§ 9-5 三、四等水准的观测	134	§ 13-8 普通视距仪的缺点	195
§ 9-6 观测记录及检查	136	§ 13-9 哈默视距仪	196
§ 9-7 水准测量的误差	138	第十四章 精密视距仪及视差法测距	201
§ 9-8 过河过谷水准测量	140	§ 14-1 概述	201
§ 9-9 水准测量内业计算概述	140	§ 14-2 横置视距尺的应用	201
第十章 工程水准测量	142	§ 14-3 光学楔镜视距仪	202
§ 10-1 概述	142	§ 14-4 自动改正的光学楔镜视距仪	206
§ 10-2 路线水准测量	142	§ 14-5 对数光学楔镜视距仪	207
§ 10-3 横断面水准测量	145	§ 14-6 貝林青型视距仪	211
§ 10-4 面水准测量	147	§ 14-7 视差法测距	212
第十一章 误差理论的一般知识	150	第十五章 地形及等高线	215
§ 11-1 观测误差	150	§ 15-1 地形要素	215
§ 11-2 偶然误差的特性	150	§ 15-2 表示地形的办法	215
§ 11-3 精度的衡量标准	152	§ 15-3 用等高线表示地面起伏的形状	216
§ 11-4 误差传播定律	153	§ 15-4 等高线的特性	220
§ 11-5 算术平均值原理及算术平均 值中误差	155	§ 15-5 等高距	221
§ 11-6 观测值中误差	157	§ 15-6 地形的阅读	222
§ 11-7 权	158	§ 15-7 地形图的应用	222
§ 11-8 带权平均值及其中误差	160	第十六章 碎部测量	227
§ 11-9 单位权中误差	161	§ 16-1 概述	227
§ 11-10 单一水准路线的平差	162	§ 16-2 视距导线	227
		§ 16-3 碎部测量	228
		§ 16-4 视距测图成果整理	234
		§ 16-5 直角坐标格网的绘制	235

§ 16-6	导线点的展繪	237	§ 20-6	象片平面圖測圖	318
§ 16-7	碎部点的标繪	237	§ 20-7	單張象片測圖	321
§ 16-8	根据点的高程在平面圖上 勾繪等高綫	239	§ 20-8	綜合法測圖中几种主要的作業 方案	325
第十七章	圖的分幅編号、高斯投影的 概念、高斯-克呂格 坐标		第二十一章	圖根測量的精度	327
§ 17-1	圖的分幅編号	242	§ 21-1	一般知識	327
§ 17-2	高斯投影的概念	246	§ 21-2	經緯仪导綫的精度	328
§ 17-3	高斯-克呂格坐标	251	§ 21-3	解析法前方交会精度	331
§ 17-4	坐标格網及圖框的整飾	255	§ 21-4	解析法后方交会精度	332
第十八章	平板仪及平板仪交会	256	§ 21-5	綫形三角鎖精度	336
§ 18-1	概述	256	§ 21-6	圖解網的精度	338
§ 18-2	平板仪和平板仪的附件	256	§ 21-7	平板仪复規导綫的精度	340
§ 18-3	平板仪及其附件的檢驗和校正	259	§ 21-8	平板仪單規导綫的精度	342
§ 18-4	平板仪的安置	260	§ 21-9	三角高程傳遞的精度	344
§ 18-5	小平板仪	263	§ 21-10	視距高程导綫的傳遞精度	348
§ 18-6	前方交会和側方交会	264	第二十二章	碎部測圖的精度	351
§ 18-7	后方交会(三点題)	265	§ 22-1	概述	351
§ 18-8	白塞尔法	266	§ 22-2	地物点測定的精度	351
§ 18-9	李曼法	269	§ 22-3	等高綫位置誤差的来源	352
§ 18-10	透明紙法	273	§ 22-4	三角高程測量測定測站点高程的 精度	353
第十九章	大、中比例尺地形測量	274	§ 22-5	測定地形点高程的精度	355
§ 19-1	概述	274	§ 22-6	內插、勾繪和描繪等高綫的精 度	356
§ 19-2	圖根控制	275	§ 22-7	等高綫位置的精度	357
§ 19-3	測角圖根網	275	§ 22-8	地形点的密度	359
§ 19-4	經緯仪导綫	276	第二十三章	面积計算	360
§ 19-5	旁点交会法	280	§ 23-1	概述	360
§ 19-6	圖解網	281	§ 23-2	圖解法	360
§ 19-7	經緯仪圖解法	283	§ 23-3	解析法	361
§ 19-8	平板仪导綫	285	§ 23-4	机械法	363
§ 19-9	圖根点高程的測定	288	§ 23-5	大区域面积的計算	373
§ 19-10	圖根控制的結束工作和檢查	292	第二十四章	气压高程測量	374
§ 19-11	測圖前的准备工作	293	§ 24-1	概說	374
§ 19-12	測站点	295	§ 24-2	气压計	374
§ 19-13	地形測圖	296	§ 24-3	气压計測高公式及計算用表	379
§ 19-14	經緯仪配合小平板仪的測圖	299	§ 24-4	气压高程測量作業的一般介紹	385
第二十章	航測綜合法測圖	300	§ 24-5	簡便气压測高法	386
§ 20-1	概述	300	§ 24-6	临时固定站法	387
§ 20-2	航攝象片的基本知識	301	§ 24-7	气压高程測量在工程勘測中的 应用	389
§ 20-3	航測綜合法的一般要求	305	§ 24-8	空盒气压計的簡便应用	389
§ 20-4	象片联測	306			
§ 20-5	象片判讀与調繪	311			

第一章 緒 論

§ 1-1 測量学的任务及其在社会主义建設中的作用

測量学是一門研究地球形狀和大小的科学。如果研究的对象仅是地球表面上一个小区，因为地球的半徑很大，当我們將这个小区的形狀和大小投影到球面上进行研究时，可以把投影面作为平面看待而不考虑地球的曲率。研究这类小区地球表面形狀和大小的測量科学称为**地形測量学**（简称**測量学**），它的最終目的是把研究所得成果縮小若干倍描繪到圖紙上而形成与相应地面保持相似形狀的圖。当研究的对象是地球表面上一个广大的区域甚至整个地球的形狀和大小时，則必須考虑到地球曲率。这种研究广大地区之形狀和大小的測量科学称为**大地測量学**。大地測量学的基本任务是研究整个地球的形狀和大小并建立国家大地控制網为地形測量进行施测时的根据。此外与地球形体性質有关的科学問題，如地壳的升降运动、陆地的变迁、海岸綫的移动，以及地極的周期性运动等，也都需要大地測量学来协助解决。

由于摄影技术和航空事業的發展，利用摄影象片进行地表面形狀和大小的測量科学也适应需要而产生了，这就是**摄影測量学**。地表面的象片可以在地面攝得也可以从空中攝得，由于摄影方式的不同，摄影測量又可分为**地面摄影測量学**与**航空摄影測量学**。为了满足城市建設、各种大型工矿企業、农田水利等方面的需要而發展成專为某种專業服务的測量科学称为**工程測量学**。利用測量所得的成果，研究如何編制、印刷和出版各种地圖和特种圖的科学称为**制圖学**。在我們这門課程里，主要是討論小区内地面形狀和大小的測定方法，介紹进行这种測量工作时所用仪器的構造和使用方面的知識，以及小区域測量成果的整理和圖的繪制方法等。至于前面提到的大地測量学，航空摄影測量学，工程測量学及制圖学等，將有專門的課程进行討論。

在我国社会主义計划經濟的条件下，有辽闊广大的地区需要建設，無窮無尽的天然資源需待開發和利用。測量学在解决这些任务和加速我国的社会主义經濟建設中是起着十分重要的作用的。为了社会主义經濟建設的需要，必須合理地配置国家的生产力；例如居民地的布置，交通路綫的选擇和建設，大面积的水利灌溉工程和各种大型建筑工程的建設，地下宝藏的开采，农業中的土壤植物考查，土地的规划和整理，森林調查及經營等等，無不需要測量学的帮助。我們很难指出，哪一种工程建筑是不需要測量工作的。

測量学对祖国的国防建設事業也具有特別重要的作用，指揮員在考虑总的战略和指揮作战时，必須要有詳細而准确的地形圖作为依据。各級指揮員也必須清楚地了解作战区域的地形，因为作战时地形是战略与战术部署的重要因素之一，正确的利用地形不但可以有效地保存自己，而且还可以大量的杀伤敌人，取得战役的胜利。在作战时各兵种的运用在很大程度上取决于地形的特征。此外，指揮員还要根据地形圖来确定行軍路綫，駐紮地点及指揮所和野战医院的設置地点等等。再如应用長射程的武器射击隐蔽目标时，如沒有測量学的知識是很难命中的。

总之，測量学在祖国的社会主义經濟建設和国防建設事業中的作用是非常重大的，人

們常常把測量工作譬喻為社會主義經濟建設的尖兵工作，把測繪的地形圖譬喻為工程師和統帥部的眼睛，由此可明顯地說明測量科學技術對祖國社會主義經濟建設和國防建設事業的重大意義。

§ 1-2 測量學的發展簡史

在人類歷史發展過程中，由於經濟、政治和科學文化上的需要，測量學很早就建立起來，並隨著人類歷史的發展而不斷地發展着。根據歷史的記載，在公元前四千多年前，埃及的尼羅河由於洪水常常氾濫，在洪水消退後泥沙掩沒了土地邊界，為了重行測定土地的邊界，就曾用到幾何學和測量學方面的知識。

繼埃及之後，希臘的科學和文化亦有很大的發展。由於喬芬德創始了代數學，歐几里得發展了幾何學，以及阿基米德對力學與數學，托拉梅對天文學和三角學的貢獻都促進了測量學的發展。在公元前六世紀希臘哲學家畢達哥拉斯就提出地球為一圓球形的學說，至於這一圓球的大小直到公元前三世紀才由希臘天文學家埃拉托色尼初步測定。古代希臘的科學家們還創造了用圓周測角，用細孔瞄方向的方法，這種方法至今在測量上還有一定的實用價值。在此時期，編制了作為測地規範的測地學，並開始應用天文方法測定緯度。公元七世紀中國的指南針通過阿拉伯人傳到歐洲，從而為方向的測定作出了卓越的貢獻，直到現在，利用磁針定向在測量上仍然起着一定的作用。

在1492年哥倫布發現了新大陸，他實地證明了地球是個球形，到十六世紀墨卡托創造了一種著名的地圖制圖的方法，稱為墨卡托投影，用這種方法繪制的地圖至今仍在航海和航空事業方面起着重大的作用。

在十六世紀末，已經能用羅盤儀，綫尺和象限儀進行簡單的測量工作。

1616年左右發明了望遠鏡，為測量工作提供了極有用的工具。在十七世紀荷蘭人史奈留應用三角學的原理，創造了三角測量的方法，並在1616年第一次應用三角測量進行地球形狀和大小的測定。此後測量儀器和測量方法得到不斷地改進，使測量學的內容逐步充實和提高起來。法國的卡西尼在1683年應用三角網進行弧度測量，進一步地證明地球不是一個圓球體，而是一個兩極略扁的橢球體。1792至1798年間由德郎米和米申進行弧度測量的結果，而產生了國際長度單位（米），規定一米等於通過巴黎地理子午綫象限弧度的一千萬分之一。

在十八世紀初，為了測定地面的起伏形狀，而產生了水準高程測量的方法。

十九世紀德國的著名數學家、天文學家和測量家高斯在精密計算方面作出了巨大的貢獻，著有橫圓柱投影學說（即著名的高斯投影，後經克呂格改進和發展而成橫圓柱正形投影，稱為高斯-克呂格投影。這種投影方法至今仍然得到廣泛的應用）。在十九世紀初高斯還創立了最小二乘法，這種方法至今仍是處理測量誤差和進行測量平差計算的基礎。

在1914至1918年第一次帝國主義世界大戰期間，為了迅速地解決軍事用圖問題，開始應用航空攝影測量的方法。戰後這種測量方法逐步地應用於一般的測量工作，從而開始了測量工作的機械化時代。由於近代光學和電子科學的發展為測量科學开辟了廣闊的發展途徑，測量學在應用這些新技術方面已取得了巨大的成就（如採用微波測距和光速測距的方法進行長距離測量，雷達航空測量方法的應用，電子計算技術在大規模測量平差計算中的應用等）。因此可以說，測量學是一門古老而又年青的科學，它目前正處在技術大革新

的时代之中。

在测量学的发展中，苏联科学家們曾作出了卓越的貢獻；在公元九世紀俄国就研究过土地测量方面的問題，公元十六世紀根据旅行家的估測制成俄国全圖。公元十七世紀俄国就开始研究天文測量，大地測量及地形測量。公元十八世紀由著名学者斯特魯維领导进行了俄罗斯—斯堪地那維亞子午弧度測量，其目的就是研究地球的形狀和大小。

偉大的十月社会主义革命后，列宁于1919年3月签署成立測繪总局。四十多年来，苏联的測繪工作取得了偉大的成就。不論从測量工作的規模、速度、測量成果的質量、測繪干部的培养和对測繪科学的发展方面苏联都远远超过一切資本主义国家，毫無遜色地居于世界首位。例如杰出的苏联大地測量学家克拉索夫斯基和依佐托夫，根据大量的天文大地測量和重力測量的成果，求出了目前最精确可靠的地球橢圓体元素。达尼洛夫、契巴塔廖夫等对測量学和測量平差方面，德罗貝雪夫和康新对測量仪器和航空攝影測量方面都作出了卓越的貢獻。

我国是世界上的文化古国，祖国人民对世界文化的发展作出了多方面的卓越貢獻。測繪科学在我国发展得很早，据历史記載，早在公元前23世紀著名的夏禹治水所用的“准、繩、規、矩”就是实际进行測量的工具。公元前4世紀即战国时代，我們的祖先已利用磁石制成了世界上最早的指南工具称为“司南”。当时管仲著有管子一書，內有地圖27幅，書中并談到了地圖的作用。后汉張衡（公元78—139年）造渾天仪，在天文观测史上写下了光輝的一頁。西晋裴秀（公元224—271年）总结了前人的制圖經驗，拟定了編制小比例尺地圖的法則，称为“制圖六体”；即道里（距离）、准望（方向）、高下（地形起伏）、方邪（地物形狀）、迂直（河流、道路的曲直）、分率（比例尺），是世界上最早的地圖制圖的规范。刘徽著“重差术”，是世界上最早的地形測量规范。唐代（公元724年）。太史监南宮說曾在今河南省北起滑县，經开封、許昌，南到上蔡，直接丈量了长达300公里的子午弧長，并用日圭測太陽的陰影以定緯度。这是我国第一次应用弧度測量的方法測定地球的形狀和大小。根据历史記載这也是世界上最早的一次子午綫弧長的測量。至十一世紀我国已有四种指南針的裝置方法，至今还是測量定向的工具之一。元代郭守敬（1231—1316）拟定了全国緯度測量計劃，并实际測量了27点。清康熙年間（公元十八世紀初），我国首先进行了大地測量，由1708年到1718年完成了全国各省的測量工作，并繪制成“皇輿全圖”（这时欧洲各国尚無統一完整的全国地圖）。这次的測量是以三角測量为主，天文測量为輔，其規模之大为当时任何其他国家所不及。在清光緒（1895年）以后，也陸續地成立了一些測量机构和培养了一些測量人材。随着清朝反动統治的被推翻，全国各省为了軍閥割据統治的利益也相繼成立了測量局，有几个省还办了測量学校，使測量事業有了少許發展。但由于反动的旧王朝和封建軍閥長期罪惡的統治，極严重地阻碍了我国生产力的發展，这就必然使科学的发展也受到严重的束縛。直到国民党統治时期，我国的社会仍然是半封建，半殖民地性質，广大人民在帝国主义，封建主义和官僚資本主义三座大山的压迫下，生活在水深火热之中，国民党反动派只顧卖国殃民，根本談不上进行国家建設。在这种罪惡的社会制度之下，測繪科学和其他科学一样，必然得不到应有的發展。就是当时进行的少量測量工作所遺留下来的成果，也是大部質量低劣，不能滿足今天我国社会主义經濟建設和国防建設的需要。因而直至1949年全国解放时为止，我国的測繪科学仍处在严重的落后状态之中。

中华人民共和国的成立，使我国測繪事業进入了一个嶄新的發展阶段，由于党和人民政府对測繪事業的正确領導和高度重視以及我国社会主义建設事業对測繪事業的迫切需要，經過我国广大測繪工作者的艰苦努力，并得到偉大苏联的無私援助，使我国的測繪事業得到了史無前例的迅速发展；解放以来我国完成的測繪工作的数量和質量，培养的大批測繪人材，以及大批測繪仪器的制造和新技术的应用等方面所取得的成就都是空前的。在我們看到我国測繪事業已經取得的重大成就的同时，还必须看到随着我国社会主义建設事業的不断地高速度發展，必然会不断地对測繪科学提出更高，更艰巨的任务。我們知道，各种事物是在不断地發展和变化着的，各門科学之間是相互联系、相互促进和相互制約的。近年来人造地球卫星，人造太陽系行星的發射成功，特別是最近偉大的苏联發射卫星式載人宇宙飞船并使其准确地在规定的时间和地点安全着陆一事，为人类通向宇宙开辟了新紀元，它預示着在科学領域中將会发生一个飞躍的进步，同时也为測繪科学开辟了广闊的發展道路。苏联这一具有历史意义的重大成就，再一次雄辯地証明了社会主义制度的無限生命力和無比优越性。

为了滿足祖国社会主义和共产主义建設事業的需要，为了更快地攀登測繪科学的頂峰，我們必須在已有成就的基础上，繼續發揚鼓足干劲，力爭上游的革命精神，多快好省地發展我国的測繪事業。

第二章 测量学的基本知識

§ 2-1 测量上常用的度量單位

测量工作中常用的度量單位可分为長度、面积及角度三种

(一) 長度单位

国际通用的長度單位为米。我国規定采用米制，但在日常生活中一般羣众还習慣以市尺为長度單位。

1 米(m) = 10 分米(dm) = 100 厘米(cm) = 1000 毫米(mm)

1 公里 = 1000 米

1 米 = 3 市尺

1 公里 = 2 市里

1 市里 = 500 米 = 1500 市尺

(二) 面积单位与体积单位

面积的單位是平方米(m²)。大面积用公頃、公亩或平方公里。在农業上也用市亩为面积單位。

1 公頃 = 100 公亩 = 10000 平方米

1 公亩 = 0.15 市亩 = 100 平方米 = 900 平方市尺

1 市亩 = $6 \frac{2}{3}$ 公亩 = 6000 平方市尺 = $666 \frac{2}{3}$ 平方米

1 平方公里 = 100 公頃 = 1500 市亩

体积單位为立方米(m³)

(三) 角度单位

测量上常用的角度單位为六十等分制的度。一圓周分为360°，1° = 60′，1′ = 60″。有的国家用百进制的新度，每圓周为400°(新度)，每一直角为100°，每g为100°(新分)，每c为100°(新秒)。

在测量学中推导公式时常常用弧度表示角度的大小。角度以弧度計等于弧長与半徑之比。与半徑相等的一段弧長所对的圓心角作为度量角度的單位，即一个弧度以ρ表示。角的度数以α表示与弧度的关系如下：

$$\alpha^{\circ} = \frac{180^{\circ}}{\pi} \widehat{\alpha} = \rho^{\circ} \times \widehat{\alpha},$$

$$\alpha' = 60 \times \rho^{\circ} \times \widehat{\alpha} = \rho' \times \widehat{\alpha},$$

$$\alpha'' = 60 \times \rho' \times \widehat{\alpha} = \rho'' \times \widehat{\alpha},$$

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

$$\rho^{\circ} = 57^{\circ} \cdot 2957795 = 57^{\circ} 17' 44'' \cdot 806,$$

$$\rho' = 3437' \cdot 747 = 3438',$$

$$\rho'' = 206\,264'' \cdot 8 = 206\,265''.$$

§ 2-2 地球形状和大小的概念

为了对地球形状的概念作初步了解，可以将地球的形状看作是一个圆球。地球表面有高山、深谷、平原等，在地表面较低洼的地方充满了水而成为河流、湖泊和海洋。由于在地球上不同地区进行子午线和纬度弧长的测量，结果，证明地球的形状不是一个真正的圆球，而是一个沿着赤道稍稍膨大和在两极之间略为扁平的椭圆体。

在地球表面上，海洋的面积约佔 71%，大陆的面积约佔 29%。就整个地球的大小来说陆地高出海洋面并不十分显著，最高的山高出海面也不到十公里，而地球的概略半径为 6370 公里，所以这种隆起可以略而不计。在这种情况下，以静止的海水面，即没有潮汐没有波浪的海水面，假想其延伸而通过大陆和岛屿后所围成的形体作为整个地球的形状。这个静止的海水面称为**水准面**。水准面有无数个，以其中通过平均海水面的一个称为**大地水准面**。水准面的特性是处处和铅垂线相垂直。由物理学中知道，铅垂线的方向取决于地球内部质量的吸引力。又因地球内部质量分布不均匀而引起铅垂线方向的变化，以致大地水准面是一个十分复杂而不规则的图形。关于研究大地水准面究竟接近一个什么样的数学图形的問題，在测量历史上曾佔有很重要的地位。现在在很多实际场合中为了计算方便，就最近似地将大地水准面当作一个圆球看待。较为精密的研究说明了大地水准面接近于一个绕其自转轴（短轴）旋转的**旋轉橢圓体**（又称**地球橢圓体**）（圖 2-1）。

大地水准面和地球橢圓体面是互相交錯的，有的地方大地水准面在地球橢圓体面的上面，有的地方又在它的下面，但差数一般不超过 $\pm 150\text{m}$ （圖 2-2）。

地球的大小通常用两个半径，长半径 a 和短半径 b ，或由一个半径和扁率 α 来决定，上述的 a, b, α 称为**地球橢圓体的元素**。三者之间的关系是：

$$\alpha = \frac{a-b}{a}. \quad (2-1)$$

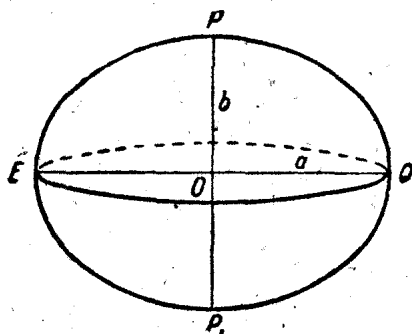


圖 2-1



圖 2-2

数世紀来許多学者曾分別測算出地球橢圓体大小的数值，表 2-1 所列为几次最著名的測算成果：

苏联从 1946 年起采用了在弗·恩·克拉索夫斯基教授领导下所计算的地球橢圓体之成果。我国解放前采用海福特的成果，自 1949 年后亦采用克拉索夫斯基的地球橢圓体成果。因为根据世界各国大地測量成果而推算的地球橢圓体元素值，就目前情况而論克拉索夫斯基的成果最可靠。在地形測量学中是把地球的形状近似地当作圆球看待的。为了以后的各

表 2-1

計 算 者	a	b	α	年代和国家
	(以 m 計)			
德 蘭 布 尔	6 375 653	6 358 564	1:334	1800 法 国
白 塞 尔	6 377 397	6 356 079	1:299.2	1841 德 国
克 拉 克	6 378 249	6 356 515	1:293.5	1880 英 国
海 福 特	6 378 388	6 356 909	1:297.0	1909 美 国
克 拉 索 夫 斯 基	6 378 210	6 356 909	1:298.6	1933 苏 联
克 拉 索 夫 斯 基	6 378 245	6 356 863	1:298.3	1940 苏 联

种計算，最好記得地球大圓弧的近似長度：

六十等分制的角度

$$1^{\circ} = 111.11 \text{ km}$$

$$1' = 1852 \text{ m}$$

$$1'' = 31 \text{ m}$$

十进制的角度

$$1^{\circ} = 100 \text{ km}$$

$$1^{\circ}1 = 1 \text{ km}$$

$$1^{\circ}00 = 10 \text{ m}$$

§ 2-3 地面点位置的确定

确定地表面上点的位置，通常是求出其对于大地水准面的关系。由于地表面是高低起伏的，因此要确定地表面点的位置，必須把它們投影到大地水准面上来研究。最常用的一种投影方法是把每个地面点沿鉛垂綫的方向投影到大地水准面上。除此以外，要完全确定地面点的位置还必須要把各投影綫段的長度，即各地面点沿鉛垂綫到大地水准面的高度确定出来。因此研究地球表面点的位置問題可分成为地面点在大地水准面上投影位置的确定和地面点到大地水准面的高度的确定。

地面点在大地水准面的投影位置是用地理坐标經度和緯度来表示的。

若把大地水准面当成一个椭球体或圆球来看待，則垂直于地球旋轉軸的各平面与球面的交綫称为緯圈或平行圈，其中經過球心的一个緯圈叫做赤道。經過任意地面点和南北兩極的平面与球面的交綫称为子午圈，国际公認經過英国格林尼治天文台的子午圈作为起始子午圈，或称首子午圈。圖 2-3 中的 G 即代表格林尼治所在的位置， PGG_0P 即起始子午圈。

如圖 2-3 某地面点 M 的緯度是通过該点的鉛垂綫 MZ 与赤道平面 EQ 所成的交角。假定地球是一个圆球，那么地面点的緯度就可以沿該点的子午圈用赤道至該点的一段弧長 M_0M 确定之。緯度通常以 φ 表示，在赤道以北者称为北緯，在赤道以南者称为南緯，从赤道算起向南北各由 0° 到 90° 。

某地面点 M 的經度是通过該点的子午圈平面与起始子午圈平面之間的两面角，如圖 2-3 所示的角 G_0OM_0 ，經度通常以 λ 表示之。从起始子午圈

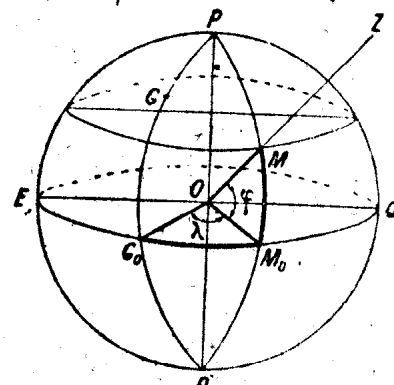


圖 2-3

向东数 0° 到 180° 之間称为东經，向西数 0° 到 180° 之間称为西經。

前面已說明要确定地面点的位置，除了用地理坐标确定了地面点在大地水准面上的投影位置以外，还要确定地面点到大地水准面的高度。地面点对于大地水准面的高度称为绝对高程，对于其他任意水准面的高度称为相对高程或假定高程。例如圖2-4中的 H_a 和 H_b 代表 A 点和 B 点的绝对高程， H'_a 和 H'_b 代表 A 点和 B 点对于任意水准面 $A'B'$ 的相对高程。假设经过 A 点作一水准面 AB'' ，这时 BB'' 表示 B 点对于 A 点的相对高程，通常称为 B 点对 A 点的高差，而用 h 表示之。高差有正負，若测点高于起算点，则高差为正，反之为負。知道了地面点的經度 λ ，緯度 φ 和高程 H 时，該点的位置便完全确定了。

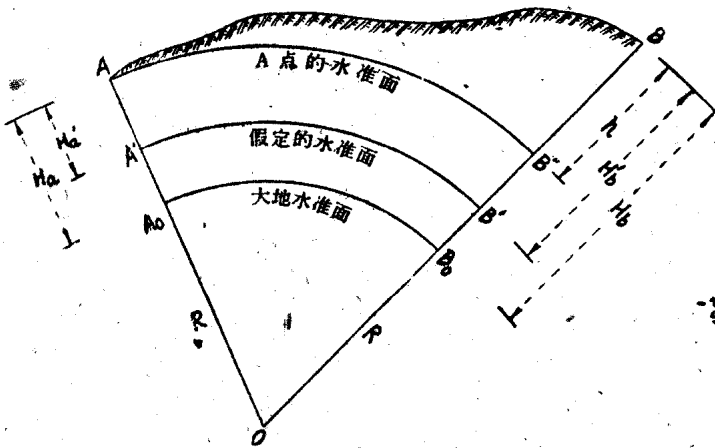


圖 2-4

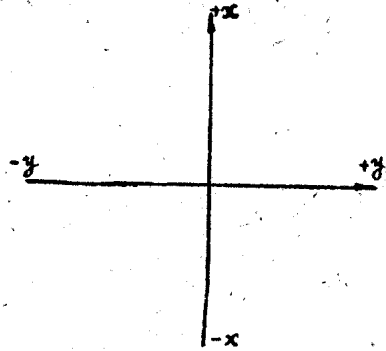


圖 2-5

在小区域范围内进行测量时用地理坐标来表示地面点的位置是不方便的，通常是采用平面直角坐标。前面已介紹在测量科学中研究地面的形状和大小时是將其投影到球面上进行的，而在地形测量范围内进行研究时是把这投影面当作平面看待（下节將对这問題进一步討論），这样就有可能很方便地采用平面直角坐标来表示地面点在投影面上的位置。测量学中所用的平面直角坐标与解析几何中所介紹的相似，但以 x 軸为縱軸一般用它来表示南北方向，以 y 軸为橫軸一般表示东西方向。由坐标原点向上（北）与向右（东）为正，而向下（南）与向左（西）为負。关于平面直角坐标与地理坐标之間的关系將在以后加以討論。

§ 2-4 用水平面代替水准面的限度

在前节中已說明在地形测量学范围内是將大地水准面近似地当成圆球看待。將地面点的空間位置投影到圆球球面上，然后再將地面上各点在球面上的投影描繪到平面的圖紙上是很复杂的。在实际的测量工作中，在一定的测量精度的要求和测区面积不大的情况下，往往以水平面直接代替水准面，就是把很小一部分地球表面上的点投影到水平面上来决定其位置。但是，在什么范围内能容許用平面投影代替球面投影的問題就必須加以討論了。

以下叙述是假定大地水准面作为一个球面。

(一) 水准面的曲率对水平距离的影响

在圖 2-6 中設 MAN 為水准面， AB 為其上的一段圓弧，設長度為 S ，所對之圓心角為 θ ，半徑為 R 。另自 A 點作切綫 AC ，設長為 t ，如果將切于 A 點的水平面代替水准面，即以相應的切綫段 AC 代替圓弧 AB ，則在距離方面將產生誤差 ΔS ，由圖得

$$\Delta S = AC - AB = t - S,$$

其中

$$AC = t = R \operatorname{tg} \theta,$$

$$AB = S = R \cdot \theta.$$

則

$$\Delta S = R \left(\frac{1}{3} \theta^3 + \frac{2}{15} \theta^5 + \dots \right) \textcircled{1}$$

因 θ 值一般很小，故可略去五次方以上各項，並以 $\theta = \frac{S}{R}$ 代入則得：

$$\Delta S = \frac{1}{3} \cdot \frac{S^3}{R^2}, \quad (2-2)$$

或

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{3} \left(\frac{S}{R} \right)^2.$$

在上式中取 $R = 6370 \text{ km}$ ，則：

$$\text{當 } S = 10 \text{ km 時, } \frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{1\,220\,000},$$

$$\text{當 } S = 20 \text{ km 時, } \frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{305\,000},$$

$$\text{當 } S = 50 \text{ km 時, } \frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{48\,700}.$$

由上述計算可知，當水平距離為 10 km 時，以平面代替水准面所產生的誤差為距離的 $\frac{1}{1\,220\,000}$ ，現在最精密距離丈量時的容許誤差為其長度的 $\frac{1}{1\,000\,000}$ 。因此可得出結論：在半徑為 10 km 的圓面積內進行長度的測量工作時可以不必考慮地球曲率也就是把水准面當作水平面看待，對水平距離的影響可以略而不計。

(二) 水准面曲率對水平角度的影響

由球面三角學知道，同一個空間多邊形在球面上投影的各內角之和較其在平面上投影的各內角之和大一個球面角超 ε 的數值。其公式為：

$$\varepsilon'' = \rho'' \cdot \frac{P}{R^2} \textcircled{2}, \quad (2-3)$$

式中 ρ'' 為以秒計之弧度， P 為球面多邊形的面積， R 為地球的半徑。

$$\text{當 } P = 10 \text{ km}^2 \text{ 時, } \varepsilon'' = 0'' \cdot 05;$$

$$\text{當 } P = 100 \text{ km}^2 \text{ 時, } \varepsilon'' = 0'' \cdot 51;$$

$$\text{當 } P = 400 \text{ km}^2 \text{ 時, } \varepsilon'' = 2'' \cdot 03.$$

由這些計算表明，對於面積 100 km^2 的多邊形，地球曲率對水平角度的影響只有在最

① 根據三角函數的級數公式： $\operatorname{tg} \theta = \theta + \frac{1}{3} \theta^3 + \frac{2}{15} \theta^5 + \dots$

② 公式的推導見球面三角學。

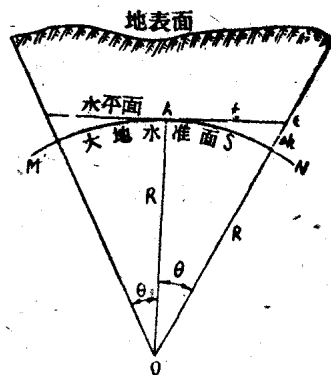


圖 2-6

精密的測量中才要考慮，一般的測量工作是不必考慮的。

以上兩項分析說明，在面積 100 km^2 的範圍內，不論是進行水平距離或水平角度的測量都可以不顧及地球曲率的影响。在要求精度較低的情況下這個範圍還可相應的擴大。

(三) 地球曲率對高差的影响

由圖 2-5 得知

$$\begin{aligned}(R + \Delta h)^2 &= R^2 + t^2, \\ 2R \times \Delta h + (\Delta h)^2 &= t^2,\end{aligned}$$

即

$$\Delta h = \frac{t^2}{2R + \Delta h}$$

前面已證明兩點間投影的水平距離和在大地球水準面上弧長相差很小，可用 S 代替 t ，同時 Δh 比之地球半徑 R 亦可略去不計，則上式可寫成：

$$\Delta h = \frac{S^2}{2R} \quad (2-4)$$

當 $S = 10 \text{ km}$ 時， $\Delta h = 8 \text{ m}$ ，

當 $S = 100 \text{ m}$ 時， $\Delta h = 0.78 \text{ mm}$ 。

從上述計算表明：地球曲率的影响對高差而言，即使在很短的距離內也必須加以考慮。

§ 2-5 平面圖、地圖、地形圖、地物圖和象片平面圖

在地面上進行測量工作的成果，如用解析法表示，則得到的是各種測量數據；如用圖解法表示，最後將得到一張圖。根據成圖的要求，測區面積的大小和採用的成圖方法的不同，又可以分成平面圖和地圖。

當測區的面積不大，把這部分水準面當水平面看待，將地面上的物體沿鉛垂線投影到水平面上，這樣就能够在圖紙上用縮小而相似的圖形來表示這測區在水平面上的投影。這種不考慮地球曲率的影响且全圖比例尺相同的圖叫做平面圖。

當測區面積很大，不能將投影的水準面當水平面看待，必須考慮到地球的曲率，用特別的投影方法，即地圖投影的方法，以一定的精度，在平面圖紙上描繪出大區域或全球的圖形，這種圖便稱為地圖。

如圖上只表示出地面上房屋、道路、河流及地類界等物體的位置，這種圖稱為地物圖。如圖上不僅表示出地面上一般物體的位置，並且把地面高低起伏的情況用規定的符號表示出來，這種圖稱為地形圖。

象片平面圖是將測區的攝影象片，以測區內的測量控制點為依據，經過室內加工，消除了由於象片傾斜而引起的變形並統一了各張象片的比例尺後按規定圖幅的大小鑲輯而成的。對於平坦地區來說，象片平面圖上地物（房屋、道路、河流、地類界等）的攝影構象就是我們要进行施測的地形圖中地物的平面位置。

§ 2-6 比 例 尺

地面上各種地物不可能按其真實大小描繪在圖紙上，實際上總是將所有實地尺寸縮小了一定倍數來進行描繪的。這種縮小倍數也就是圖上的直線長度與地面上相應線段水平投影之比，這種關係稱為圖的比例尺。

圖的比例尺一般用分子為一的分數表示。設圖上的某一直線長度為 l ，地面上相應線