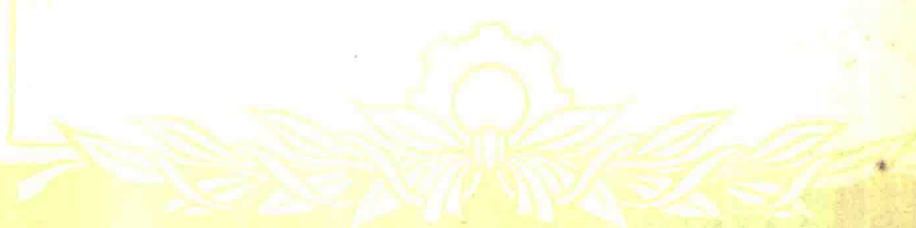


中等专业学校試用教科书

水利工程测量学

黄河水利学院测量教研組編



中国工业出版社

本书是根据1961年3月水利电力部重庆教材工作会议(中等专业学校水利类专业)确定水利工程测量学教学时数(70~85)编写的。

本书共分五篇。第一篇为测量工作的基本知识和测量仪器(包括:绪论、测量的基本工作与仪器、经纬仪及其使用、平板仪);第二篇为平面控制测量(包括:导线测量、小三角测量);第三篇为高程控制测量(包括:高程控制测量);第四篇为地形测量(包括:地形测量的基本知识、碎部测量、航空摄影测量的概念);第五篇为水利水电工程建设中的测量工作(包括:流域规划阶段的测量工作、枢纽设计阶段中的测量工作、施工阶段的测量工作、线路工程中的测量工作、变形观测)。

本书可作为中等专业学校水利学校水利工程建筑、农田水利工程、中小型电站和陆地水文学专业的教材。亦可作中小型水利水电工程建设中测量人员的参考。

水利工程测量学

黄河水利学院测量教研组编

*

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092\frac{1}{16}$ ·印张13 $\frac{1}{8}$ ·字数295,000

1961年7月北京第一版·1961年7月北京第一次印刷

印数0001—5533·定价(9-4)1.25元

统一书号:15165·253(水电-39)

前 言

在总路綫，大跃进和人民公社三面紅旗的光輝照耀下，在党的教育方針正确指导下，我院中专部测量学的教学工作几年来在結合生产任务組織現場教学与生产劳动的过程中，不断进行了教学内容的改革。特別經過1960年上半年的改革，对該課教学内容的体系和教学与生产实际的紧密配合方面作了較系統的調整与改革。后在我院中专部教学中經過实践又作了重点修改，并参考了其他院校教材讲义作了某些部分的充实与修正。最近根据中央关于选編教材的精神，又作了較系統的編写，正式完成了审編工作。

本书是依据1961年3月水利电力部重庆教材工作會議(中等专业学校水利类专业)确定水利工程测量学教学时数(70~85)編写的。在編写过程中，我們以毛泽东思想为指导思想，比較重視測量技术与測量工作組織的有机結合，删除了陈旧繁瑣的内容，密切結合专业需要，在較大程度上反映了水利工程測量的內在联系和我国水利水电建設中測量工作的先进技术水平。

本书可作为中等水利专业学校水利工程建筑、农田水利工程、中小型电站和陆地水文专业的教材，亦可供从事中型水利水电工程建設的測量人員参考。采用本书时，建議結合工地特点和学校情况采用現場教学方法并分单元(第一单元——第一篇在校讲授，第二单元——第二、三、四篇現場教学，第三单元——第五篇依工地条件决定，可以現場教学亦可以在校讲授)在边教边学边生产中加强理論与实际的联系，完成教学任务。

由于我們水平限制和編写時間短促，本教材虽然在我院經過使用，但其中某些内容只能看成是一种大胆的嘗試，书中的缺点和錯誤一定难免，深望各兄弟院校讀者提出宝贵意見，以便再版时加以修改和补充。

黄河水利学院測量教研組

1961年4月

目 录

第一篇 测量工作的基本知识和测量仪器

第一章 绪论	6
§1-1 测量学的任务和发展概况	6
§1-2 测量学在社会主义建设中的作用	7
§1-3 我国测量上常用的计量单位	8
§1-4 地球的形状和大小	8
§1-5 确定地面上点的位置	10
§1-6 用水平面代替水准面的限度	12
§1-7 测量工作的基本概念	13
§1-8 误差的初步知识	15
§1-9 算术平均值	16
§1-10 测量精度的衡量	17
第二章 测量的基本工作与仪器	18
§2-1 地面上点的标志和定线	18
§2-2 丈量距离的工具	20
§2-3 丈量距离	22
§2-4 直线定向	24
§2-5 定向角	26
§2-6 罗盘仪及其应用	29
§2-7 水准测量	30
§2-8 水准仪	33
§2-9 水准器	36
§2-10 望远镜	37
§2-11 水准尺和尺垫	40
§2-12 定镜水准仪的检验和校正	41
第三章 经纬仪及其应用	44
§3-1 角度测量的原理	44
§3-2 游标经纬仪的构造	44
§3-3 度盘和游标	45
§3-4 经纬仪的对中、整平和瞄准	48
§3-5 经纬仪测量水平角	48
§3-6 经纬仪测量竖直角	51
§3-7 视距经纬仪测量的原理	59
§3-8 视距经纬仪测量的计算工具	63
§3-9 经纬仪的检验校正	66
§3-10 光学经纬仪	69
第四章 平板仪	72

§4-1	平板仪测量的原理	72
§4-2	平板仪的构造	73
§4-3	平板仪的安置	75
§4-4	平板仪交会测量	76
§4-5	平板仪的检验校正	78
§4-6	小平板仪	79

第二篇 平面控制测量

第五章	导线测量	81
§5-1	导线测量的概念	81
§5-2	经纬仪导线测量及其外业工作	82
§5-3	经纬仪导线测量的计算工作	84
§5-4	经纬仪视距导线测量	94
§5-5	视差导线测量	95
§5-6	平板仪导线测量	97
第六章	小三角测量	99
§6-1	小三角测量的概述	99
§6-2	小三角测量的外业工作	101
§6-3	小三角测量的简易计算	106
§6-4	线形三角锁的计算	110
§6-5	经纬仪交会测量	114
§6-6	图解三角网测量	117

第三篇 高程控制测量

第七章	高程控制测量	119
§7-1	国家高程控制网	119
§7-2	四等水准路线的布设	119
§7-3	四等水准测量的一般规定	120
§7-4	四等水准观测的实施	122
§7-5	四等跨河水准测量	124
§7-6	水准测量的误差	125
§7-7	四等水准测量的计算工作	127
§7-8	高程导线测量	130
§7-9	多角高程导线测量	132

第四篇 地形测量

第八章	地形测量的基本知識	135
§8-1	概述	135
§8-2	测图准备工作	135
§8-3	地形图的分幅和编号	136

§8-4	高斯-克呂格坐标	139
§8-5	裱糊图板	141
§8-6	直角坐标网的展繪	142
§8-7	图廓点和控制点的展繪	143
第九章	碎部测量	145
§9-1	碎部测量的控制根据	145
§9-2	碎部测量的基本方法	146
§9-3	碎部测量的测站工作与組織	147
§9-4	地物測繪	151
§9-5	地貌測繪	159
§9-6	碎部测量中的几个有关問題	165
§9-7	碎部测量的結束工作	167
第十章	航空摄影测量的概念	168
§10-1	概述	168
§10-2	航测的基本原理与工作程序	168
§10-3	航测的成图方法	171
§10-4	航测象片的調繪判讀	171

第五篇 水利水电工程建設中的測量工作

第十一章	流域规划阶段的測量工作	173
§11-1	概述	173
§11-2	坝区地形測量	173
§11-3	水庫庫区及集水面的測量工作	174
§11-4	灌区规划与水土保持中的測量工作	175
§11-5	定积求积仪的构造及其使用	175
§11-6	縮放仪的构造及其原理	177
第十二章	枢纽設計阶段中的測量工作	178
§12-1	概述	178
§12-2	坝址区地形图測量	179
§12-3	建筑材料产地地形图測量	179
§12-4	水庫移民綫的定綫測量	180
§12-5	施工場地与副坝地段地形图測量	181
§12-6	灌区地形图測量	181
第十三章	施工阶段的測量工作	182
§13-1	概述	182
§13-2	施工平面控制网的建立	182
§13-3	施工高程控制网的建立	183
§13-4	在平面上进行放样的工作方法	183
§13-5	在高程方面进行放样的工作方法	186
§13-6	拦河坝的施工定綫測量	186
§13-7	厂房建筑物的放样工作	187
§13-8	隧洞定綫測量	188

第十四章	綫路工程中的測量工作	190
§14-1	概述	190
§14-2	如何利用地形圖在圖上設計路綫	190
§14-3	路綫中心綫的定綫測量	192
§14-4	縱橫斷面測量	196
§14-5	路綫边坡桩的測設	201
§14-6	土方計算	202
第十五章	變形觀測	204
§15-1	概述	204
§15-2	位移觀測	204
§15-3	沉陷觀測	206

第一篇 測量工作的基本知識和測量儀器

第一章 緒 論

§1-1 測量學的任务和发展簡况

測量學是一門为国民經济建設和国防建設服务，与生产劳动紧密結合的量度科学。其任务是測定地面上各点的絕對位置和相对位置，并依据測量成果，将地球表面某一局部地区以至全地球的形状和大小繪制成图，供国民經济建設和国防建設中有关工程的规划、設計、施工和管理的需要；通过測量各海面的高差、大陆的变迁等，为水利建設和地质工程等的研究提供所需資料；将各种工程的設計測設于現場，亦是測量學的一項重要任务。

測量學的发展与国民經济和人民生活以及人們对自然界征服程度的发展是分不开的。远在公元前40世紀，埃及因尼罗河每年定期氾濫，两岸农田边界常被淹沒，每年都要进行重新划分地界和兴修水利等工作，測量學這門科学开始萌芽了。不过当时用的仪器和方法是很簡單原始的。直到十七世紀，由于望遠鏡的发明，以及数学(解析几何、球面三角、对数等)和物理的发展，为測量工作的发展創造了一个有利的条件，才使得測量技术有較大的改进和提高。

中华人民共和国建国十多年来，在党的正确领导下，大規模有計劃地开展了全国性的測量工作，已完成的工作量超过解放前130年的总和。在仪器方面，由完全依靠进口到自己設計制造，其中某些产品已达到世界同类型仪器的先进水平(地形一号經緯仪、光速測距仪等)，基本上适应了国家建設的需要。党与政府为了加强对測量事业的领导和开展科研工作，国务院于1955年12月29日頒布了关于长期保护測量标志的命令。1956年我国成立了国家測繪总局創辦了两个測繪学院和三个測繪研究所。因此为測繪事业的迅速发展奠定了可靠的基础。

近代生产建設飞跃发展，特别是社会主义的經济建設，給測量學带来了光荣而艰巨的任务，按照所担負的主要任务，現今的測量學已經发展成多科性的科学，今将其中与本书关系密切的簡述如下：

1. 大地測量學：是以广大地面或全地球的起伏形状和大小作为研究对象。由于研究的範圍广，为保証必要的精度，就应当采取較严密的測量和計算方法。同时，必須考虑地球的曲率对于測量和繪图的影响，否則会产生不能允許的誤差。

2. 地形測量學：是以地面某一局部地区的起伏形状和大小为研究对象。由于範圍狭小，在測量計算和繪图中，不必考虑地球的曲率，而把地面視為平面。这样既能簡化測量和計算工作，又能滿足对于成图的质量要求。

3. 工程建設測量學：是一門在社会主义大規模有計劃的經济建設中新兴的学科。它的主要任务是根据設計图样，結合工程特点，将建筑物測設于地面；其次是进行与測量技术有关的科学研究(建筑物的位移、沉陷等)以及建筑区域的測量工作。

其他如航空摄影测量学，矿山测量学和制图学等都是随着生产发展的需要而逐步建立起来的学科。

本书的内容主要包括地形测量学和水利水电工程中的测量知识以及航空摄影测量的概念等。

由于无线电电子学和摄影学的发展，在测量学的领域内又产生了光速、雷达和微波测量距离的新方法，尤其是航空摄影测量，在我国已被极广泛地运用到水利建设、铁路选线、森林和地质的普查工作中去，使测量工作逐步达到机械化、电气化和自动化的水平。

不言而喻，各门测量学科，必须以广泛的数学、物理学、光学、电学和天文学为基础，同时又具备一定的专门技术。

最后应当指出：测量学的研究对象与地质学和地貌学有着严格的区别，即测量学只研究地球表面的起伏、形状和大小，而不研究地球内部物质的发生、发展变化规律。

§1-2 测量学在社会主义建设中的作用

为了编制发展国民经济计划，首先必须对国家的水利资源、矿藏储量和耕地面积等进行一系列的勘察研究工作，从而获得编制计划所需要各种的资料。其中最主要的就是地形资料（地形图、地图、断面图）。而地形图和地图就是测量工作的主要成果。

测量工作与水利水电建设的速度关系非常密切，因此在保证规划设计所需精度的前提下，应力争高工效，以促进水利水电建设事业的全面跃进。

水利水电建设中的测量工作，是水利工程勘测的重要组成部分，它是在给定的时间、地点上为设计提供资料，另一方面又是国家测绘事业的一部分。因此在精度上，不但要满足水利水电部门的要求，而且应力争符合国家测绘的标准，以避免重测费工，这就是水利工程测量的基本特点。

水利工程测量是一项综合性的工作，按照测绘对象，主要包括下列内容：

1. 水库库区的1:50,000~1:25,000比例尺的地形测图（如库区很小，居民甚少，附近又无厂矿等，可用纵横断面进行库容的计算，而不再进行地形测图）；
2. 水利枢纽地段的地形测图：坝段可采用1:25,000~1:5000比例尺；坝址及其他建筑物区可采用1:10,000~1:1000比例尺；
3. 灌区可采用1:50,000~1:25,000比例尺地形测图（范围较小的灌区也可测1:10000比例尺地形图或用水准测量直接定线）；
4. 河网规划和集水面积计算可采用1:50,000~1:100,000比例尺地形测图（小型工程可仅圈测边界估算）；
5. 隧洞、路线和建筑材料场地可采用1:10000~1:2000比例尺地形测图。

从上述可知，测量工作在水利水电建设的各阶段中都占着相当重要的地位。

其他，如城市建设、厂址的选择、森林、土壤的调查，以及人民公社的生产规划，拖拉机站的合理布置等，都离不开地形资料和测量工作。

在国防建设中，如防御工事的修筑、飞机场的选择，作战中兵种配合，以及大砲射击敌人隐蔽目标时，都要利用测量资料和测量技术。因此，测量工作被称为指战员的眼睛。

§1-3 我国测量上常用的计量单位

根据国务院1959年6月25日发布关于统一我国计量制度的命令，我国计量单位一律采用公制，测量上常用的单位有长度、角度和面积。

一、长度

公制的长度称为米，即

$$1 \text{ 米}(m) = 10 \text{ 分米}(dm) = 100 \text{ 厘米}(cm) = 1000 \text{ 毫米}(mm);$$

$$1 \text{ 公里}(Km) = 1000 \text{ 米}(m)。$$

二、角度

测量上常用的角度为60进位制，即

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

角值也可用弧度法表示。长度等于半径的弧所对的中心角称为1弧度，通常用符号 ρ 表示。弧度与角度的关系为

$$\rho^\circ = \frac{180^\circ}{\pi} = 57^\circ 3';$$

$$\rho' = \frac{180^\circ \times 60'}{\pi} = 3438';$$

$$\rho'' = \frac{180^\circ \times 60'}{\pi} \times 60'' = 206265''。$$

三、面积

面积的基本单位是平方米。大面积用公顷或平方公里。在农业上常用市亩为面积单位。

$$10000 \text{ 平方米}(m^2) = 1 \text{ 公顷};$$

$$1 \text{ 平方公里}(k m^2) = 100 \text{ 公顷} = 1500 \text{ 市亩}。$$

§1-4 地球的形状和大小

地球的自然表面是极不平坦和不规则的曲面，有高山、平原、深谷和丘陵。其低洼部分充满水形成海洋。海洋占地球表面面积的71%，而大陆仅占29%。世界上最高的山峰(我国的珠穆朗玛峰高程为8,882米)和最深的海洋(恩登海渊约10,000米)相差约十九公里，若将地球缩为半径等于1米的球体，则最大的起伏不及一米粒，因此大部分陆地可认为与一般海水面相差甚微，它与地球半径相比，已经可略而不计。另一方面对于错综复杂的地面，又不可能用数学公式表达出来，为了测量和绘图的需要，我们可用水准面代替地球的自然表面。

在71%海洋水面的基础上，假定海面不受波浪、潮汐等作用的影响，而完全处于静止状态，并将静止的海洋水面无限扩展以至包围全地球，就以这个面代替地球表面，称为水准面。水准面是一个曲面，在其上任意一点的重力方向均垂直于此面。很明显，水准面在空间有无穷多个，而各面之间既不平行也不相交，是互相包围着。重力方向就是地面上点的铅垂线的切线方向，一条垂直于所有水准面的线一定是曲线，这条线称为铅垂线。

与水准面相切于一点的平面称为水平面。在水准面内任何方向的直线都是水平线，如图 1-1 所示。

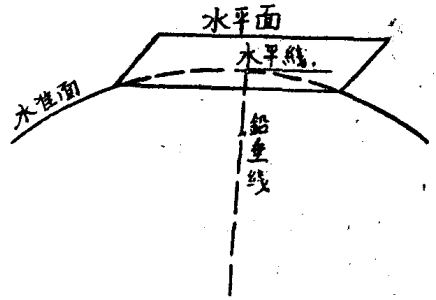


图 1-1

在无穷多个水准面中，其中的一个特别重要，那就是通过静止的平均海水面的水准面称为大地水准面。我国的平均海面(黄海平均海面)是按 1956 年的结果推算的。用大地水准面代表地球的形状本来是恰当的，但由于地球内部物质分布不均，密度不匀(平均为 5.5)，所以使铅垂线的方向极不规则，因而大地水准面成为一个实际上无法求得的复杂曲面。

为了建立测量和绘图的基准面，我们采用非常接近于大地水准面的椭圆体面代表地球表面。由椭圆体面组成的地球系规则的几何体，它很接近于绕地球短轴旋转的地球椭圆(图 1-2)。地球椭圆体面的形状和大小的选择，必须保证它与大地水准面最为吻合。在图 1-3 中表明了上述四者的关系。

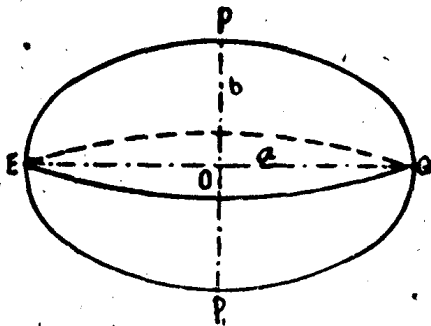


图 1-2



图 1-3

地球椭圆的形状和大小，可由长半径 a 和短半径 b (图 1-2) 或由一个半径和扁率 α 来决定。 a 、 b 、 α 称为地球椭圆体的元素。

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

近百年来测量工作者曾屡次测定地球的形状和大小，现择其中主要的成果列表 1-1 如下。

表 1-1 地球椭圆体的大小

推算者	年代	长半径, a (米)	短半径, b (米)	扁率, α
德兰柏尔 (法)	1800	6 375 653	6 356 564	1:334.0
白塞尔 (德)	1841	6 377 397	6 356 079	1:299.2
克拉克 (英)	1880	6 378 249	6 356 515	1:293.5
海福德 (美)	1909	6 378 388	6 356 912	1:297.0
克拉索夫斯基 (苏)	1940	6 378 245	6 356 863	1:298.3

在表 1-1 所列的成果中，就目前情况来看，可以认为苏联学者克拉索夫斯基推算的最可靠，因为该成果广泛的收集了世界各国大地测量资料，采用了较严密的算法。所以

苏联在1946年，我国自解放以来均采用这个元素作为大地测量计算的根据。当然，这并不妨碍我们根据自己的大地测量成果推算一个最适合于我国的地球椭圆体。

在1924年曾被国际大地测量与地球物理协会规定的国际椭圆体（美国人海福特推算），现在已经证明该椭圆体的元素都过大，因此，我国和苏联等均先后停止使用。

由于地球的扁率仅为 $\frac{1}{298.3}$ ，所以在较粗略的测量计算中，可认为地球椭圆体是一个圆球，而与它的体积相等的圆球的半径为6371公里。因此通常就用它代表地球的半径。在本书中，均视地球为圆球。

§1-5 确定地面上点的位置

确定地面上点的绝对位置和相对位置是测量学的重要任务之一。点的位置包括平面位置与高程。平面位置是将点投影到地球椭圆体面或者换算到水平面上，投影到地球椭圆体面上的表示方法采用地理坐标；而后者则用平面直角坐标。

一、地理坐标

地面上点的地理坐标是用经度和纬度来表示的。

如图1-4所示， PP^1 为地球旋转轴，称为地轴。 O 为地球中心，称为地心。通过地心且与地轴垂直的平面 EKQ 称为赤道平面。赤道平面与地球椭圆体面的交线称为赤道。垂直地轴且平行于赤道的平面，其与地球椭圆体面的交线称为纬圈。赤道是最大的纬圈。

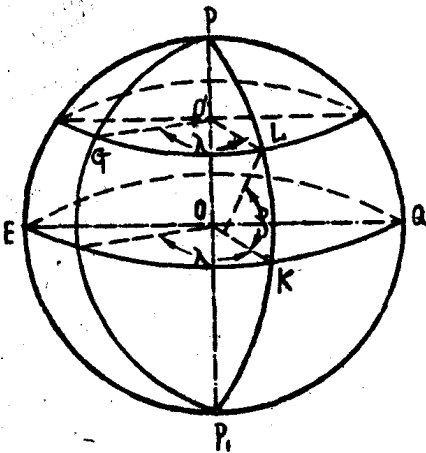


图 1-4

通过地轴和地面上一点与地球椭圆体面相交的平面称为真子午面。其交线称为真子午线或经线。通过英国格林威治天文台中心的真子午面，称为首子午面。

地面上某点 N 的经度，就是通过该点的真子午面与首子午面所夹的二面角。经度用符号 λ 表示，以首子午面为 0° 起算，在东者称为东经，在西者称为西经，最大各到 180° 。

地面上 N 点的纬度，就是该点的铅垂线与赤道平面的交角。纬度用符号 ρ 表示：以赤道为 0° 分向南北极至 90° 为止。在赤道以北者称北纬，以南者称南纬。由于地球为椭圆体所以地面上各点的铅垂线不一定经过地心。

例：北京的地理坐标为东经 $116^\circ 28' 13''$ ；北纬 $39^\circ 54' 23''$ 。

二、平面直角坐标

地理坐标在一般工程中使用不便，必须将其换算为平面直角坐标。测量工作中应用最广的平面直角坐标是根据高斯横圆柱正形投影的原理（见本书第八章）而建立的。与地面某一点子午线方向相切的切线，为平面直角坐标系的纵轴；赤道为坐标横轴。纵横坐标轴的交点称为坐标原点；为了使一个点在坐标系中只可能有一个位置。因此，假定在原点以上及其右方为正号，自原点向下及其左方为负号。如图1-5所示， M 点的坐标为

(x_m, y_m) , 而 N 点的位置则为 $(-x_n, y_n)$ 。

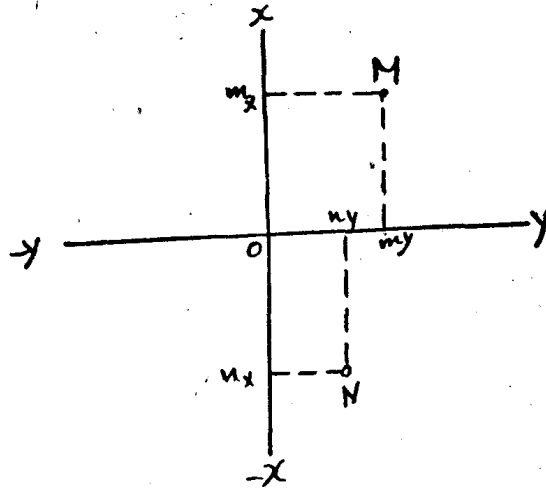


图 1-5

三、高 程

地面上任意一点至大地水准面的垂线距离称为该点的绝对高程或海拔。如图1-6中， H_a, H_b 为 A, B 点的绝对高程。

地面上任意一点至任一假定水准面的垂线距离称为该点的假定高程。图中 A, B 点的假定高程为 H'_a, H'_b 。

两地面点高程之差称为高差。亦即过两点的水准面间的垂直距离。高差用 h 表示。如 B 点对 A 点的高差则为

$$h = H_b - H_a = H'_b - H'_a.$$

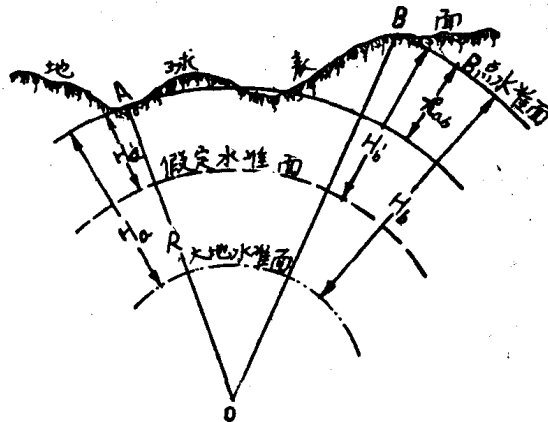


图 1-6

高差有正有负，如果 B 点高于 A 点则为正，反之为负。

从图中可以看出，两点的绝对高程之差是相等的，因此，在实际工作中，利用假定高程的高差，也可进行测图及其他有关工程。但是为保证全国有统一的高程系统。除特殊情况外，一般不得采用假定高程。

我国政府规定全部领土的绝对高程，均以青岛水准原点为依据。按照1956年计算结果，该点高程定为高出黄海平均海面72.189米。黄海平均海面是经过海滨验潮站多年观测海面高低所算出的平均高度。

§1-6 用水平面代替水准面的限度

为了简化计算和绘图工作，由于地球半径很大，如果测区面积很小，就可用水平面代替水准面。但是把水准面当做水平面使用时，必定产生距离角度和高程误差，并且误差的大小与测区范围有关，因而要研究一下在多大范围内所产生的误差是被容许的，换句话说，只有在容许误差的范围内，才可用水平面代替水准面。

一 距离误差

如图1-7所示，设 $B'AB$ 为水准面， AB 弧长为 D_0 ，所对之圆心角为 Q ，地球半径为 R_0 ， O 为球心，如果用切于 A 点的水平面 $C'AC$ 代替水准面，则切线 AC 的长度 D 与弧长 D_0 之差，即为距离误差，用 ΔD 表示。则得

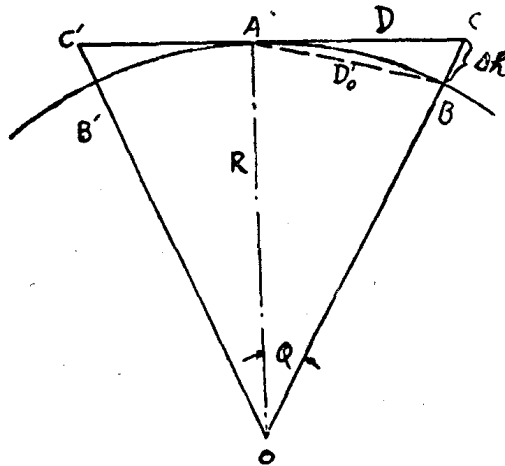


图 1-7

$$\Delta D = D - D_0,$$

$$D = R \operatorname{tg} Q.$$

用弧度表示圆心角 Q ，则

$$Q = \frac{D_0}{R} \rho''.$$

因此

$$\Delta D = R \cdot \operatorname{tg} \frac{D_0}{R} \rho'' - D_0. \quad (1-2)$$

二 水平角误差

球面上多边形内角和比平面上多边形的内角和大一个球面角超。因此，当把球面作为平面看待时，将产生水平角度误差。球面角超用 ε 表示，计算公式如下：

$$\varepsilon'' = \frac{P}{R^2} \rho'', \quad (1-3)$$

式中 P ——球面多边形面积；

R ——地球半徑。

三 高程誤差

如图1-7，由于 A, B 两点是在同一水准面上，所以高程相等。若用水平面代替水准面，則 B 点移到 C 点，由此产生高程誤差 Δh ，其計算公式为

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + D^2,$$

$$2R \cdot \Delta h + \Delta h^2 = D^2,$$

則

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

式中分母 Δh 与地球半徑 R 比較起来极为渺小，可略而不計。为了計算便利起见，分子 D 可用弧长 D_0 代替，故上式可改为

$$\Delta h = \frac{D_0^2}{2R}. \quad (1-4)$$

取 $R = 6371$ 公里，如以不同的球面面积和弧长代入 (1-2)，(1-3) 和 (1-4) 公式，則得距离誤差，水平角度誤差和高程誤差如表 1-2 所示。

表 1-2

距离 D_0 (公里)	距离誤差 ΔD (厘米)	球面面积 P (平方公里)	水平角誤差 ϵ''	距离 D_0 (公里)	高程誤差 Δh (厘米)
10	0.82	10	0.05	0.5	2.00
25	12.83	100	0.51	1.0	8.00
50	103.00			5.0	196.00
100	821.00			10.0	785.00

从上表可知把半徑为 10 公里的水准面当做水平面看待时，其距离誤差为 0.82 厘米，在 1:1000 比例尺的图上，只有 0.0082 毫米长，而現在繪图的精度只能达到 0.2 毫米，所以这样小的誤差，对于测量和繪图來說都被认为是容許的。因此，可以把半徑为 10 公里範圍內的水准面用水平面代替。在精度較低的测量中，範圍可以扩大到 25 公里。

从上表第二部分可以看出，当面积不大于 100 平方公里时，水平角誤差仅有 $0''.51$ ，对于一般测量和計算的精度來說都是达不到的，因此可以略而不計。

在高程方面应当特別注意，即使距离很短时，也必須考虑地球曲率对高程的影响，而不能用水平面代替水准面，但是可以采取适当的方法加以消除或改正。

§1-7 测量工作的基本概念

测量工作的主要目的是测定地面上点的位置。单是确定各点平面位置的测量工作称为平面测量。确定各点高程的测量工作称为高程测量。在实际工作中，平面和高程测量是經常同时进行的。

测量工作是由外业和內业組成。在野外进行长度、角度、高差等的量度工作称为外业。外业完毕后，在室內进行資料整理，計算和繪图工作称为內业。由于地形测量的外业占全部工作量的 80% 左右，所以如何根据测区自然条件合理組織生产，成为测量工作

中最重要的一环。

在测量学中，若以数学观点来进行工作，必然是由一点出发，一点一点的传递起来，最后扩展到全测区。点的数目是无穷多的，而且每测量一点都发生误差，因此，最后将使误差积累很大，严重的要返工重测。所以不仅是不可行，而且不应当采取这种方法。

正确的测量程序和方法，应该是由高级到低级，由整体到局部，也就是先大后小，点面结合的原则和思想方法。

如图1-8所示，为了测绘该地区的图形，可先在测区内选择若干有控制作用的点子，并使这些点子构成几何图形，然后用较精密的方法来测定它的平面位置和高程称为控制测量。其中A、B、C、D各点称为控制点。三角形ABC，BCD及折线A123C，B12D等称为控制网，以控制点为基础，用较低精度的方法来测定控制点所控制的地物和地形点的位置和高程称为碎部测量。由于控制点数量少，而且又组成一定的几何图形，因此就可以集中主要力量，使用较精密的仪器和严格的方法，在保证所需精度的基础上先测定这些点子。碎部测量的精度虽然较控制测量的精度为低，但由于各碎部点是根据精度较高的控制点测定的，它们之间相互独立，因此误差不传递，也不积累，能够保证应有的精度。这种由高级到低级，由整体到局部的工作原则和方法是符合多快好省的。

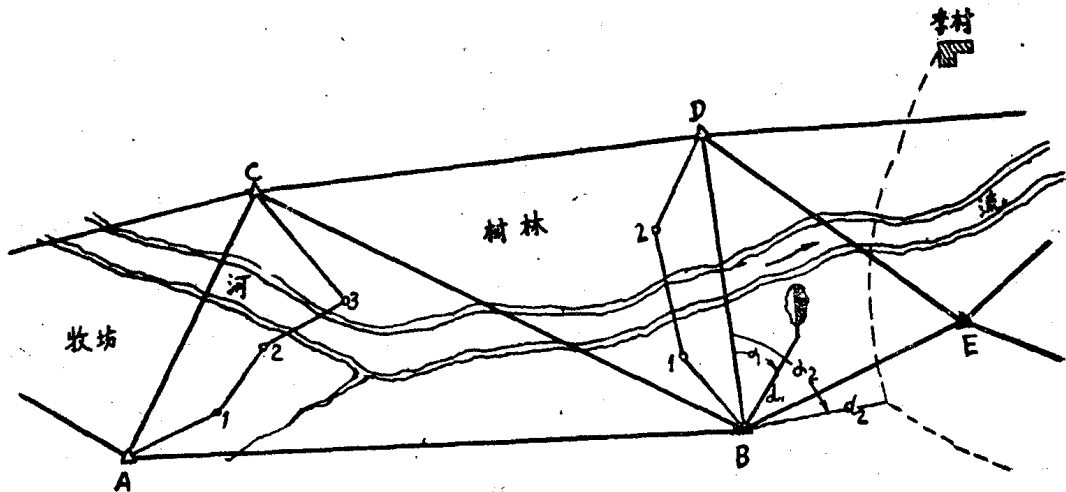


图 1-8

控制测量的精度是依据各工程的性质，在工作之前设计的，根据设计精度再选择测量仪器和工作方法。碎部测量也以同样的原则来处理。

控制测量的主要方式有二：

(1) 三角测量：如上图各控制点构成的三角形，ABC，BCD，DEF……若已知三角形中任意一边AB的水平长度，又在各点测出各相应的内角，然后按三角学上的正弦定律，即可求得各三角形的边长。当A点坐标是已知时，那么又可推算出A、B、C……点的坐标，此谓三角测量；

(2) 导线测量：若各控制点不组成三角形，而为A123C，B12D的多边形，根据线段A1, 12, 23等的水平长度，和在A, 1, 2, 3点上测量的水平角度，然后即可推算平面坐标。

当各控制点的高差测定后，这样就把控制点的位置确定了。

碎部测量的主要方式是极坐标法。例如上图以B点为极点，以BD为起始方向，将仪器按置在B点上，依次测量 a, b 其与BD方向间的水平角度，并且求定 d_1, d_2 的水平长度，然后按照这些角度与边长即可繪制相似形。

测量工作的最后成果，通常是繪制成图。其中有下列的几种：

1. 平面图：当测区很小，允许用水平面代替水准面，此时根据平面测量的成果，将各点沿铅垂线投影到水平面上，然后按测图比例尺缩小而繪制成图形。平面图上各处比例相同，与相应地面的地物保持相似关系。

2. 地图：在大区域内或全地球范围内，为了保证必要的繪图精度，需将地面上各点投影到地球椭圆体面上，然后用数学的方法换算到相应平面上，并繪制成图。由于投影方法的不同，所以地图上各处比例不相同。

3. 地物图与地形图：只表示地面上房屋、道路和河流等地物的形状和大小的图称地物图。利用地形图可填繪地质图，进行建筑物的设计，确定工程量，选择施工方法，以及效益核算等。所以它的用途很广，内容最丰富，是本书研究繪图法中的主要对象。

§1-8 誤差的初步知識

欲确定一个量(水平长度，水平角度或者高差等)的大小，必須测量这个量，在测量工作中称为观测。观测的结果称为观测值。若直接测量未知量，则称为直接观测。若以直接观测值为函数，且計算法确定未知量称为间接观测。譬如测量一个三角形的底边和高，然后計算三角形面积。当观测值必須滿足既定的条件时称条件。譬如平面三角形三内角观测值的和应等于 180° 。

在处理观测成果时，如果把观测者技术水平，使用仪器性能，观测方法和外界环境等认为是在同样可靠的情况下完成的称为等精度观测。反之称为非等精度观测。本书中介绍的测量方法以及成果处理均按等精度，因此简化計算工作，节省时间，同时亦滿足生产要求。

在观测过程中，由于人的视觉、听觉功能的限制，仪器不滿足机械上的理論要求，以及外界环境的影响，因此对于一个量，虽然测量多次，也不能得到真值，只能在一定的准确度上得到接近于真值的量，这个数值称为量的最或是值。它比一系列观测值中任何一个都可靠，是测量的最終要求。

观测值和最或是值的精确程度称为测量精度。精度的高低用誤差表示，誤差与精度成反比。即誤差愈大精度愈低，反之则反。研究誤差在于利用誤差理論正确处理测量資料，消除矛盾，求最或是值，以及計算测量精度。并在此基础上，制定技术規程，选择测量仪器和改进工作方法，所以测量精度是确定生产中人力物力以及开展社会主义劳动竞赛的标准。

誤差主要是人为的，仪器的和外界环境三个因素引起的，按照性质可分为三种：

1. 錯誤：由于测量人員在观测或者計算中，粗枝大叶，方法錯誤造成的。錯誤应当避免，其关键在于坚持政治挂帅，其次对一个量要进行彼此独立的重复观测，以資校核。

2. 系統誤差：主要是由于测量仪器不完全滿足机械上的理論要求而引起的。它的大