

高等学校交流讲义

水利工程测量学

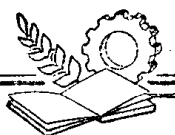
陕西工业大学测量教研组编

学校内部用书



中国工业出版社

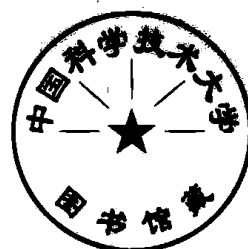
高等学校交流讲义



水利工程测量学

陕西工业大学测量教研组编

学校内部用书



中国工业出版社

本书全面系统地阐述了小面积大比例尺地形测量以及水利工程测量的步骤与方法。在内容方面，注意了紧密结合水利专业的要求，联系生产实际，并吸取了我国几年来水利工程测量工作的先进经验，在章节安排上，注意了教学过程和生产程序的紧密结合。

全书共分四篇。第一篇：测量仪器的构造及其使用；第二篇：测量误差理论的基本知识；第三篇：大比例尺地形测量，其中包括小三角测量、导线测量、三四等水准测量及碎部测量；第四篇：水利工程测量，包括渠道测量、河道测量、隧洞测量、水利工程施工测量及变形测量等。

本书可作为高等工业院校河川枢纽及水电站建筑、农田水利工程、水利工程施工、水道及港口的水工建筑等专业的试用教科书，也可作其他水利专业的教学参考书，并可供水利工程技术人员参考。

水利工程测量学

陕西工业大学测量教研组编

*

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 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $19\frac{1}{2}$ ·字数462,000

1961年7月北京第一版·1961年7月北京第一次印刷

印数0001—5,033·定价(16°6)2.30元

统一书号: 15165·338 (水电-50)

前 言

自从1958年以来，由于贯彻执行党的教育为无产阶级的政治服务，教育与生产劳动结合的教育方针，使高等学校的教学工作发生了重大变革，理论教学与生产实践紧密地结合了起来，活的生产知识丰富了教学内容。本书即是在总结过去教学经验的基础上，根据教育革命的精神对原有教材重新审订而改写的；初稿完成后曾先后试用两次。最近根据水利电力部召开的教材工作会议的精神，又用一个月的时间作了删改。

本书在编写和修订过程中，尽量注意了高等工业院校水利各专业的教学要求，并曾广泛搜集资料。但由于时间紧促，结合专业要求的部分章节还嫌简要，有待今后修改和增补。

本书在编写修改过程中蒙北京水利水电学院、华东水利学院及时供给了测量学讲义，华东水利学院测量教研组派专人参加了修改审定工作，生产单位对部分章节进行了审查，特向提供资料及参加审定工作的单位和同志表示感谢。

由于我们业务水平的限制，加以这次编写和修订时，个别章节变动较大，而时间又短促，书中错误和不妥之处，或恐难免，希各方面多提宝贵意见，给予批评指正，以便改进。

陕西工业大学

测量教研组

1961.5.

目 录

第一章 緒論 5

- §1-1 測量學及其在社会主义建設中的作用 5
- §1-2 測量學的發展概況 5
- §1-3 地球形狀和大小的概念 6
- §1-4 地面點位置的確定 7
- §1-5 地球曲率對水平距離及高程的影響 9
- §1-6 測量成果的圖示——地圖、平面圖、断面圖 10
- §1-7 測量工作概念 11
- §1-8 比例尺 12
- §1-9 測量上常用的度量單位 14

第一篇 測量儀器的構造及其使用

第二章 丈量工具及其使用 15

- §2-1 丈量工具 15
- §2-2 直綫丈量 16
- §2-3 直綫丈量時的誤差及應注意事項 18

第三章 直綫定向及羅盤儀 19

- §3-1 直綫定向的概念 19
- §3-2 表示直綫方向的方法 20
- §3-3 羅盤儀的構造和使用 23
- §3-4 羅盤儀的檢驗和校正 24
- §3-5 使用羅盤儀應注意事項 25

第四章 經緯儀及水平角觀測 26

- §4-1 水平角測量原理 26
- §4-2 復測經緯儀的構造 26
- §4-3 度盤和游標 28
- §4-4 望遠鏡 31
- §4-5 水准器 35
- §4-6 經緯儀的使用 36
- §4-7 水平角觀測的方法 38
- §4-8 經緯儀的檢驗和校正 41
- §4-9 儀器各軸間誤差對水平角觀測的影響 45
- §4-10 水平角觀測的精度 47

- §4-11 光學經緯儀 48
- §4-12 經緯儀的保養 51

第五章 水准儀及水准測量 52

- §5-1 高程測量的概念 52
- §5-2 水准測量的原理 52
- §5-3 地球曲率及大氣折光對水准測量的影響 54
- §5-4 水准測量的儀器和工具 55
- §5-5 水准測量的實施方法 58
- §5-6 水准儀的檢驗和校正 60

第六章 視距儀 62

- §6-1 視距測量的概念 62
- §6-2 視距測量原理 63
- §6-3 視距常數的測定 66
- §6-4 豎直角測量 68
- §6-5 經緯儀豎直部分的檢驗和校正 72
- §6-6 視距計算 73
- §6-7 裝絲視距儀的缺點 76
- §6-8 其他類型的視距儀 76

第七章 平板儀 81

- §7-1 平板儀測量的概念 81
- §7-2 平板儀的構造及附件 82
- §7-3 平板儀的安置 84
- §7-4 平板儀測量的實施 86
- §7-5 平板儀的檢驗和校正 88

第二篇 測量誤差理論的基本知識

第八章 測量誤差理論的基本知識 91

- §8-1 誤差概述 91
- §8-2 誤差的來源與種類 91
- §8-3 偶然誤差的特性 92
- §8-4 測量精度的衡量 93
- §8-5 算術平均值的原理 95
- §8-6 觀測值函数的中誤差 95
- §8-7 最或然誤差 102
- §8-8 算術平均值的誤差 104
- §8-9 不同精度觀測及其觀測值的權 105

§8-10	广义算术平均值(加权平均值).....	106
§8-11	相对误差.....	106
§8-12	容许误差.....	107

第三篇 大比例尺地形测量

概述

第九章 三角测量.....108

§9-1	国家基本控制及加密控制的概念.....	108
§9-2	小三角测量概念.....	110
§9-3	小三角测量的外业工作.....	111
§9-4	小三角测量的内业计算.....	116
§9-5	三角锁的近似平差.....	117
§9-6	中心多边形的近似平差.....	120
§9-7	四边形的近似平差.....	122
§9-8	三角点的坐标计算.....	124
§9-9	线形三角锁的计算.....	127
§9-10	图解三角网.....	131

第十章 经纬仪交会定点.....133

§10-1	概述.....	133
§10-2	前方交会.....	133
§10-3	后方交会.....	135
§10-4	侧方交会.....	138

第十一章 导线测量.....140

§11-1	导线测量概念.....	140
§11-2	经纬仪导线测量的外业工作.....	142
§11-3	经纬仪导线测量的内业.....	145
§11-4	经纬仪导线网的平差.....	157
§11-5	视距导线.....	162
§11-6	视差导线.....	163
§11-7	旁点交会导线.....	164
§11-8	平板仪导线.....	165
§11-9	导线与高级控制点的连接.....	166

第十二章 高程控制.....169

§12-1	国家高程控制网的概念.....	169
§12-2	三、四等水准路线的敷设.....	169
§12-3	四等水准测量.....	171
§12-4	三等水准测量.....	174
§12-5	水准测量的误差.....	174
§12-6	跨越河谷的水准测量.....	176
§12-7	水准测量成果的整理.....	177
§12-8	图根水准测量.....	184
§12-9	三角高程测量.....	184

§12-10	高程导线.....	186
--------	-----------	-----

第十三章 碎部测量.....187

§13-1	碎部测量概念.....	187
§13-2	地物、地形在图上表示的方法 及等高线的概念.....	187
§13-3	测图前的准备工作.....	195
§13-4	测站点的补充.....	198
§13-5	一个测站上的碎部测量工作.....	198
§13-6	等高线的勾绘.....	202
§13-7	地形图的整饰、拼接、检查与 验收.....	204
§13-8	大平板仪测图.....	205
§13-9	小平板仪和经纬仪配合测图.....	206

第十四章 地形图及其应用.....206

§14-1	地形图概述.....	206
§14-2	地图投影的概念.....	207
§14-3	各种不同比例尺地图的编号.....	208
§14-4	坐标格网.....	211
§14-5	地形图的图廓及其整饰.....	211
§14-6	根据等高线确定地面点的高程.....	212
§14-7	根据等高线确定斜坡的坡度和 方向.....	213
§14-8	地形图上任一直线的方向角和 方位角的量测.....	214
§14-9	根据地形图作水平场地的设计.....	214
§14-10	根据地形图绘制纵断面图.....	215
§14-11	根据地形图确定汇水面积.....	216
§14-12	根据地形图确定土坝坡脚线.....	216
§14-13	根据地形图确定水库容量.....	217

第四篇 水利工程测量

概述

第十五章 草测.....219

§15-1	草测的意义和作用.....	219
§15-2	直线方向的测定.....	219
§15-3	距离的测定.....	219
§15-4	高程的测定.....	221
§15-5	草测的作业方法.....	224

第十六章 渠道测量.....225

§16-1	渠道测量在水利工程建設中的 作用.....	225
§16-2	渠道建筑前的测量工作.....	225

§16-3	渠道测量的草测定线	226
§16-4	渠道测量的设计定线	226
§16-5	渠道选线	226
§16-6	渠道中线测量	230
§16-7	渠道纵横断面测量	231
§16-8	工程水准测量的野外校核	234
§16-9	纵断面水准测量的特殊情况	234
§16-10	纵断面图的编制	236
§16-11	横断面水准测量	238
§16-12	渠道测量的施工定线	242
§16-13	渠道施工时的测量工作	243
§16-14	渠道土方计算	245
§16-15	曲线测设	246
§16-16	道路测量的特点	254
第十七章	河道测量	255
§17-1	河道地形测量	255
§17-2	水深测量	256
§17-3	河道纵断面测量	260
§17-4	河道横断面测量	264
第十八章	水利工程施工测量	266
§18-1	施工测量概述	268
§18-2	施工控制网的建立	268
§18-3	施工放样测量的基本原理	272
§18-4	建筑物轴线的放样	277
§18-5	细部放样控制网的建立	278
§18-6	混凝土重力坝的施工测量	279
§18-7	土坝的施工测量	283
第十九章	大坝变形观测	285
§19-1	概述	285
§19-2	观测水平位移的方向线法	286
§19-3	观测水平位移的前方交会法	289
§19-4	沉降观测	290
第二十章	隧洞测量	291
§20-1	隧洞测量概述	291
§20-2	隧洞控制测量	292
§20-3	隧洞定线测量	294
§20-4	洞内水准测量	297
§20-5	隧洞断面测量	298
第二十一章	水库淹没线测量	299
§21-1	水库淹没线测量的目的和意义	299
§21-2	测量水库淹没线的基本原则	299
§21-3	高程控制和平面控制的加密	299

§21-4	淹没线标志的布设方法	300
-------	------------	-----

§21-5	水库淹没线测量的步骤和方法	301
-------	---------------	-----

附录	面积计算	303
-----------	-------------	-----

一、	图解法确定图形面积	303
----	-----------	-----

二、	解析法计算图形面积	303
----	-----------	-----

三、	机械法测定图形面积	304
----	-----------	-----

四、	定极求积仪的原理	305
----	----------	-----

五、	定极求积仪的检验	306
----	----------	-----

六、	求积仪的使用	307
----	--------	-----

第一章 緒 論

§ 1-1 測量學及其在社會主義建設中的作用

測量學是研究地球表面的各個部分以及整個地球的形狀和大小，並研究把地球表面各個部分的形狀和大小表現在圖紙上的平面圖或地圖的一門科學。

當我們研究的對象僅限於地球表面上某一小部分時，如何將這一小部分地面的地形和地物加以測量，並將結果表現在一張圖紙上，有關這種工作的科學和技術就稱為普通測量學。

如果我們研究的對象是整個地球，或者地球表面上相當大的部分，象研究我國的全部領土，這就牽涉到地球的形狀和大小的問題。有關研究廣大地區測量工作的科學和技術稱為大地測量學。

現代航空事業和攝影技術的發展，使得可以利用安裝在飛機上的特製攝影機對地面進行攝影測量，並繪制地形圖，這種工作的科學技術稱為航空攝影測量學。

研究利用測繪成果編制、印刷、出版各種比例尺的地圖的方法和步驟的科學稱為地圖圖學。

為了滿足各種工礦企業及農林生產上的需要，逐漸發展成的專為某種專業服務的測量學，這就是各種工程測量學。

水利工程測量學研究把測量科學應用於水利工程建設中以解決從勘探、設計、施工以至使用時期的許多測量問題。

測量學對我國社會主義經濟建設有很大的實際意義。如進行地下資源的勘探需要詳盡的地形圖；鐵路、公路、運河和輸油管路的設計和修建，必須先作實地的測量工作，然後在選定的某一定的方向綫上測繪區域的地形圖；新城市的興建、舊城市的改造、自來水及污水管、空中輸電綫、通訊綫路等的設計和定綫亦無不需要詳細的地形圖。同樣的，土壤、植物、地質及水文等的調查，總是以平面圖或地圖為根據的。

測量工作廣泛地應用在各種水利工程建設中，如進行河流規劃、確定水工建築物的位置、治河工程的設計、農田排灌渠道網的布置、河港整治等都需要詳盡的地形圖資料，因而必須進行地形測量。在工程施工之前及施工過程中，要用測量方法把在圖紙上設計的建築物測設到地面上去，例如填軸綫的定綫、電廠定位、隧洞定綫等。此外，在施工完畢及工程運轉期間，還要進行竣工驗收測量。

§ 1-2 測量學的發展概況

測量學是在人類向自然界作鬥爭中逐漸形成發展起來的一門科學。它又在服務於社會生產中不斷地得到充實和發展。

遠在社會發展的早期階段，幾何學與測量方法的應用就同時開始了，它們又互相補充，互相促進。

我國古時，商高曾和周公旦有“勾廣三、股修四、弦隔五”的對話，後來已用來“望測山川，定高低形勢”。這就是有名的勾股弦定理在測量方面的應用。我國古時“土圭測

景，以定天时；周髀测圆，以明地体”的记载，说明当时测量技术的应用。

公元前400年，我国有人利用“慈石”制成了世界上最早的指南工具“司南”。十二世纪传到欧洲，十五世纪应用于意大利，十六世纪英国用以进行三角测量。当时的精密测量使用的是罗盘仪。

十七世纪以后，发明了望远镜、钟表，并研究出来了新的数学如解析几何、球面三角和对数等，测量学因而有了进一步的发展。

二十世纪初到现在，测量学在理论和技术及仪器制造上均有了巨大的进步。航空摄影测量已广泛地应用于测图工作中。最近时期用无线电和光速来测量距离已获得很大成就。用电子计算机可作繁难的测量运算，改进了测量的计算技术，这一技术成就的进一步发展，将大大改变测量工作的面貌。

我国测绘事业在解放前是很落后的，测绘干部缺少，资料贫乏，成图质量低劣。解放后，在党的领导下，测绘事业已有了很大的发展，许多事业机关都成立了自己的测量专业机构，完成了巨大的测量任务。1956年成立国家测绘总局，负责统筹全国测量事宜。同年又成立测绘学院，大力培养测绘人才。许多事业机关也培养了大批的测量技术干部，在测量技术上，不但加快了测图的速度，而且提高了成图的质量，改变了原来的落后状态。1958年大跃进以来，成绩尤为显著，进行了大面积的天文、大地测量、三角测量及高程测量，并应用航空摄影测量的方法完成了广大区域的地形图测绘；这就提供了为征服大自然、为资源的开发利用和进行科学研究所需的宝贵资料。随着我国社会主义建设的飞速发展，在党的鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义的总路线的光辉照耀下，我国测绘事业将取得更加辉煌的成就。

§ 1-3 地球形状和大小的概念

决定地球表面上许多点的位置时，通常是求出这些点对于地球的关系。地球表面是不平坦的，不规则的，有高山、河川、丘陵、深谷、平原和海洋。海洋的底面也不是平坦的。但如从整个的地球形体来看，这些起伏变化是极其微小的。我们所说的地球形状，是指它的总的形状而言，不是指地球表面的实际形状。这就产生一个问题，用什么来代表地球总的形状呢？我们知道，整个地球表面约有71%为海洋所包围，陆地仅占29%，这就使我们有根据设想把不受潮汐影响、没有波浪而处于静止状态的海洋表面延伸通过大陆和岛屿，而以其所围成的闭合曲面来代表地球总的形体。这个处于静止状态的海洋表面称为水准面。水准面有无数个，其中通过平均海水面的一个称为大地水准面如图1-1。水准面的特点是在这个面上的任何一点所引的铅垂线方向（即重力线方向）都在这点与水准面相垂直。



图 1-1 大地水准面

大地水准面是比地球表面光滑得多的一个曲面，但它还是一个很复杂的面，不能用简单的数学式子来表示。在测量上我们选用一个和大地水准面很相似的、可用数学式子表示的面来代表地球总的形状，以便简化测量上的计算工作。

比較精密的研究，証明了地球总的形状很接近于旋轉橢圓體面，亦即接近于一个橢圓繞其短軸旋轉所得的曲面，如图1-2。

地球旋轉橢圓體的大小，过去有很多学者对它进行了研究和推算。其中以苏联克拉索夫斯基教授所推算的地球橢圓體比較正确。苏联从1946年起就采用了这个橢圓體。我国自1949年后也采用了这个橢圓體。

地球旋轉橢圓體的大小，可用三个元素来表示，即长半徑 a ，短半徑 b ，和扁率 α 。 α 用下式来计算：

$$\alpha = \frac{a-b}{a}$$

苏联克拉索夫斯基教授推算的地球橢圓體元素为：

$$a = 6,378,245 \text{ 米} \quad b = 6,356,863 \text{ 米},$$

$$\alpha = \frac{1}{298.3}$$

在精度不高的測量中，可以把地球当作一个圆球体来看待。与地球橢圓體体积相等的圆球体，按克拉索夫斯基的数据計算，其半徑为6,371.11公里。在很多实际场合中，若把地球的形体看作是一个半徑为6,371.11公里的圆球，其精度是完全足够的了。

§ 1-4 地面点位置的确定

地球表面是起伏不平的，要确定地球表面上点的位置时，就必须利用投影的方法，把这些点投影到大地水准面上。一般是沿鉛垂綫的方向投影到这个面上。此外，要完全确定地面点的位置，还必须把各投影綫段的长度，即各地面点沿鉛垂綫到大地水准面的高度确定出来。因此地面点位置的确定，就是要确定地面点在大地水准面上的投影位置和地面点到大地水准面的高度。

如果把大地水准面作为球面看待，则地面点沿着各点鉛垂綫方向投影到球面上的位置称为地面点的球面位置。

如果投影到球面上的面积并不太大，在实践中便可将该球面看作是与水平面重合的，则地面点沿着鉛垂綫方向投影到水平面上的位置称为点的平面位置。

地面上一点的位置，在球面上通常是用經度和緯度表示的。以經緯度来确定地面点的绝对位置称为地理坐标。

地球表面任意一点 M (如图1-3) 的鉛垂綫与地球自轉軸 PP_1 所組成的平面称为該点的地理子午

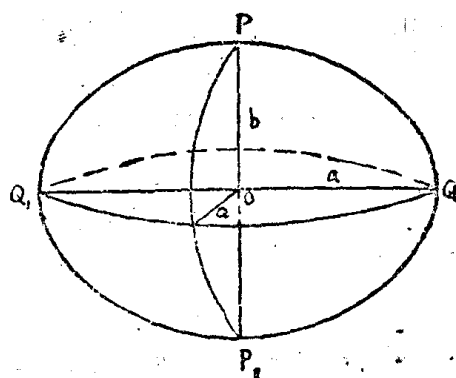


图 1-2 地球旋轉橢圓體

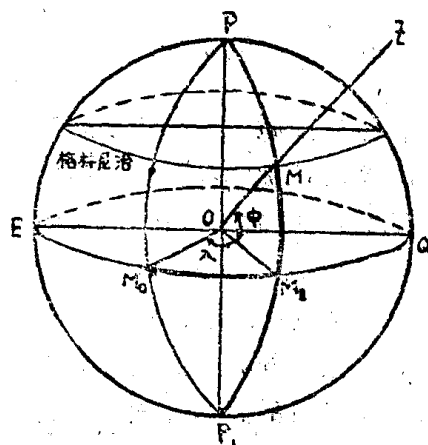


图 1-3 地理坐标

面(或真子午面),子午面与地球表面的交线称子午线。国际公认以经过英国格林尼治天文台的子午面为首子午面,该点子午线为首子午线。

地面上某一点的经度,是通过该点的子午面与首子午面所组成的角度。经度以 λ 表示,经度自首子午线向东及向西计算,由 $0\sim 180^\circ$,在首子午线以东者称为东经,以西者称为西经。

地面上某一点的纬度,即该点的铅垂线与赤道平面所组成的角度。纬度以 φ 表示,自赤道向北及向南计算,由 $0\sim 90^\circ$,在赤道以北者称为北纬,以南者称为南纬。如图1-3。

在一定的区域内,地面上一点的相对位置,在平面上是用直角坐标来表示的。

平面直角坐标是由两个互相垂直的坐标轴构成的。其中 X 轴的方向和南北线相一致, Y 轴的方向和东西线相一致,象限的顺序为顺时针方向。这种坐标只能用于独立地区,因测区不大可把水准面视为与水平面相重合。图1-4中, O 为坐标原点,是任意选定的, OX 为南北线方向,作为 X 轴; OY 为东西线方向,作为 Y 轴。象限的顺序恰与我们在数学上所用的相反,这是因为在测量上所有直线的方向均自南北线起顺时针方向量度。这样安排象限顺序的优点是,可使所有三角学上的公式都可以直接应用于测量工作的计算,不需作任何的变化。

当测区范围较大时,就不能把水准面当作水平面看待,为了把水准面变成平面,必须用地图投影的方法。我国测量工作中,采用的是高斯-克吕格投影,它是把地球球面分成若干带,(每隔 6° 或 3° 为一带)用横圆柱正形投影的方法变成平面^①。如图1-5,在

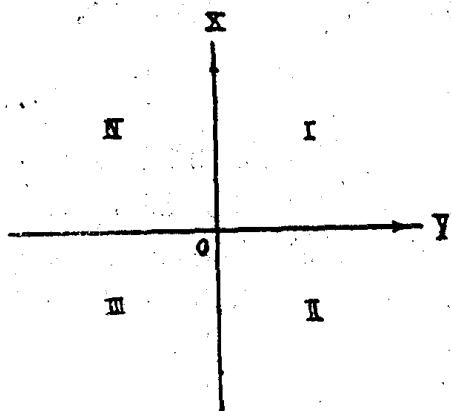


图 1-4 直角坐标

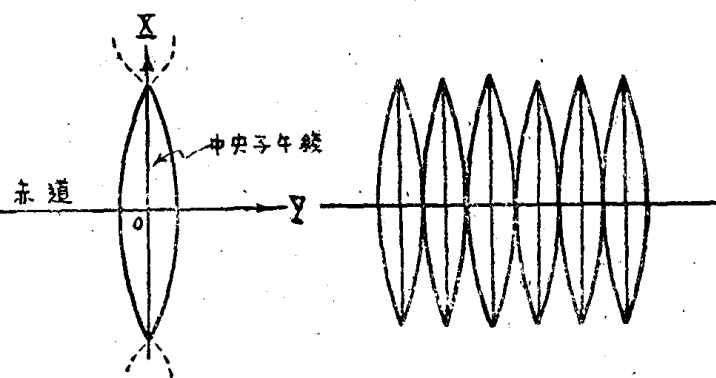


图 1-5 高斯平面直角坐标

每带的中央设置中央子午线,它和赤道正交,构成纵横坐标轴,这样每带即呈一平面直角坐标系,称为高斯-克吕格坐标系,简称高斯坐标系。

地面点的高程,可以由大地水准面沿着铅垂线方向到地面点的距离来确定,这段距离称为点的绝对高程。高于大地水准面的点具有正号的高程,低于大地水准面的点具有负号的高程。有时在测量工作中不能直接与大地水准面相联系,也可以用其他的水准面为根据来计算点的高程,亦即把这一采用的水准面上各点的高程看作是零,由这样水准面所求得的高程叫做假定高程或相对高程。

① 横圆柱正形投影的方法详见第十四章§14-2。

两点高程之差叫做高差，高差有正有负。
如图1-6中，A点对于B点的高差为：

$$H_A - H_B = H'_A - H'_B = h;$$

B点对于A点的高差为：

$$H_B - H_A = H'_B - H'_A = -h.$$

为了建立全国统一的高程系统，必须确定一个水准面作为高程的起算面，通常采用处于静止状态的平均海洋面（亦即大地水准面）作为起算面。我国已经确定了水准原点的高程，作为高程测量的依据，这样就把全国高程系统统一了起来。

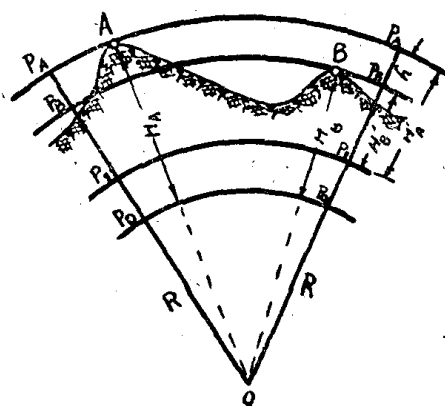


图 1-6 点的绝对高程和假定高程
 $P_A P_A$ —A点的水准面； $P_B P_B$ —B点的水准面；
 $P_1 P_1$ —假定的水准面； $P_0 P_0$ —大地水准面。

§1-5 地球曲率对水平距离及高程的影响

地球表面是弯曲的球面，在球面上测得各点的空间位置要用投影的方法绘到平面的图纸上，因此计算和绘图的工作都比较复杂，但由于地球半径很大，如果测量区域较小，就可以将这个地区的球面当作平面看待，这样可以使计算和测绘工作大大简化。用平面代替球面总是有误差的，并且测区愈大，误差也愈大。现在我们来研究一下在多么大的范围内的球面可以当作平面的限度问题。

在图 1-7 中，设用平面上的距离 AC 来代替在球面上的距离 AB ，则所产生的误差为：

$$\Delta S = t - S = R \cdot \tan \alpha - R \cdot \alpha,$$

式中 α ——弧长为 S 时所对的圆心角，以弧度表示；

R ——地球的半径，等于 6,371.11 公里。

将 $\tan \alpha$ 用级数展开，则上式为：

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

如仅取级数中的前两项，则得：

$$\Delta S = R \alpha + \frac{1}{3} R \alpha^3 - R \alpha = \frac{1}{3} R \alpha^3,$$

但 $\alpha = \frac{S}{R}$ ，故

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

其次，我们把球面上的 B 点作为在平面上 C 点，则所产生的高程误差为：

$$\Delta h = OC - OB = R \sec \alpha - R,$$

将 $\sec \alpha$ 用级数展开，并仅取级数中的前两项，则得：

$$\Delta h = R \left(1 + \frac{1}{2} \alpha^2 + \dots \right) - R = \frac{1}{2} R \alpha^2,$$

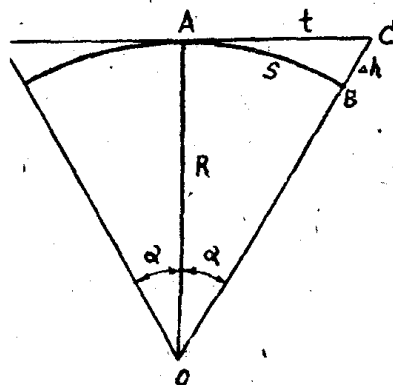


图 1-7

将 $\alpha = \frac{S}{R}$, 代入上式中, 得:

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

由(1-1)、(1-2)两式即可计算出地球曲率对各种距离所产生的距离误差 ΔS 和高程误差 Δh 。列表如下:

表 1-1

S	ΔS	相对误差 $\left(\frac{\Delta S}{S}\right)$	Δh
100米	0.0008厘米	1:12,000,000	0.07厘米
1公里	0.008 厘米	1:12,000,000	0.08米
10公里	0.82 厘米	1: 1,200,000	7.8 米
100公里	820 厘米	1: 12,000	785 米

从表1-1可以看出, 在半径为10公里的圆面积内, 地球水准面的曲率对水平距离的影响是不大的, 相对误差为1:1,200,000; 由于测量所产生的误差, 比由球面距离当作是水平面上的距离而产生的误差要大得多。所以可得出结论: 在10公里为半径的面积内, 可以把球面当作平面来看待。

但在高程方面就完全不同了, 由表1-1的 Δh 一栏中可以看出, 在100米的距离就有将近一毫米的误差, 这个误差的大小是在高程测量中所不能允许的, 也就是说尽管范围很小, 亦决不可忽视地球曲率对高程测量的影响。

§1-6 测量成果的图示——地图、平面图、断面图

由于进行了测量工作, 得到了一系列的数据, 为了应用方便起见, 这些数据是依一定次序以特别设计的表格形式排列起来的。但是为了实用的目的, 除了编制成果表外, 还必须把测量成果用图表示出来。这些图都是画在平面的图纸上。因为在地面上测量的区域很大, 所以在图纸上所画的图必须按照一定的比例尺作相应的缩小。

1. 平面图 在不大范围内作测量工作时, 我们可以把地面看作是平面, 在地面上所量出来的距离可以看作是在平面上的距离, 根据这种假定, 把地物用相似而缩小的方法画在图纸上的图称为平面图。为了适应工程上的需要, 在平面图上还要表示出地势的高低, 设计人员可以从图上得到所需要的资料来进行设计, 用等高线表示出地势高低的平面图称为地形图。施工时也要用到平面图, 如果施工前不准备好详细的施工平面图, 就不可能顺利地进行施工。

2. 地图 若测量区域很大, 就不能忽略地球的曲率, 而应当测出地面点在地球椭圆体上的投影位置。要把这个曲面上的投影位置展绘到平面的图纸上, 必然发生变形, 就好像把桔子皮切开压平一样, 不起皱不破裂是不可能的。但我们可以根据不同需要, 用不同的投影方法, 绘出带有某种程度变形的图称为地图。

在地图上都有用经纬线表示的坐标格网, 在不同的点比例尺是不相同的, 也就是所发生的变形大小不同。地图是用来研究一般情况用的。随着绘制地图的目的不同, 地图

有地形图、地质图、土壤图、海洋图、航空图……等。

3. 断面图 假想沿着一定的方向作一豎直面，求出沿該方向綫地面起伏变化的情况，并投影到这豎直平面上，再按比例尺縮小若干倍以后画在带有方格的图紙上，这种图称为断面图。如渠道的纵断面图和横断面图，道路的纵断面图等。这种图可用来研究沿該方向綫綫路的起伏情况，并用之进行綫路坡度的設計和施工量的計算。

本书将詳細研究不大地区(如水庫、坝址、排灌区)的地形图、平面图的測繪工作和断面图的測繪工作。

§1-7 測量工作概念

測量的目的是为了确定地面上各点的平面位置和高程，以便根据这些数据繪制地图。确定各点平面位置的測量称为平面測量。确定各点高程的測量称高程測量。在实际工作中平面和高程測量常常是同时进行的。

測量工作的組織，必須要遵循“由整体到局部，由控制到碎部”的原則。尽管我們所要測繪的地区地形图，可以由一点出发，逐点推测到其他各点，最后能将全測区的碎部点都測出来，但由于測量不可避免的会有誤差存在，前一点的誤差将会影响到后一点的位置，一点一点的积累下去，最后将有严重不符的后果，所以这种方法我們是不采用的。在实际工作中是先以較高的精度測定測区内少数的点子的位置，这些点称为控制点；然后根据这些点子的位置在每一点上測定附近的碎部点(地物点和地貌点)；这样就可以使測得的碎部点精度一致，誤差不致积累。

由控制点所組成的网称为測量控制网。图1-8、图1-9就是控制网布設的例子。控制网按作用不同又分为平面控制网和高程控制网。平面控制网是用来控制点的平面位置的，高程控制网是用来控制点的高程位置的。

建立平面控制网的方法主要是用三角測量和导綫測量。由于控制地区的大小和精度的不同，三角网和导綫网分成各种不同的等級。

三角測量是在地面上选定均匀分布的控制点，这些控制点組成很多的三角形，如图1-8。在这些三角形中，我們只量出其中的一个边的长度，例如图中的AB边，这条边称为基綫；同时量出所有三角形的三个內角，这样就可以应用正弦定律推算出所有的边

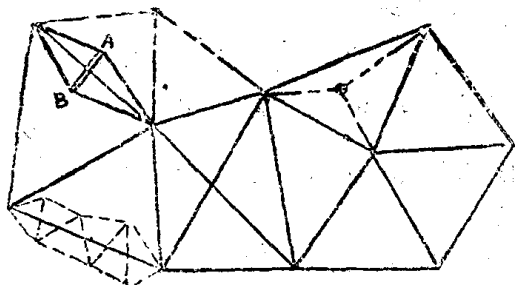


图 1-8 三角网

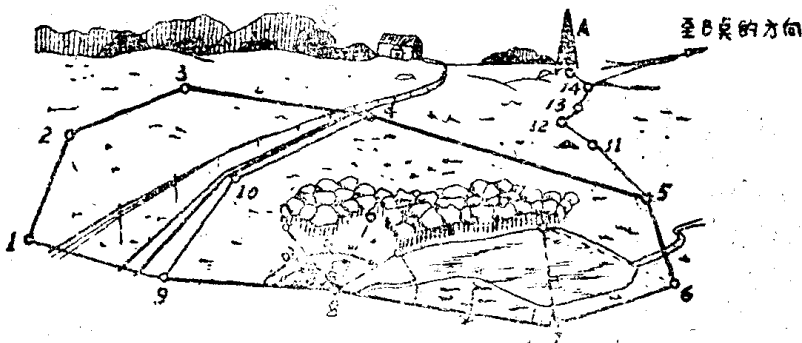


图 1-9 导綫网

长。假如一点的座标 X 、 Y 为已知，即可根据边长及推算出来的各边方向，计算出所有三角形顶点的坐标。

导线是由连续的折线所组成，转折点就是选定的控制点，如图 1-9。导线测量即是测量选定的导线点间的距离和折线间的水平角度。如果已知一点的座标和一条折线的距离和方向，就可推算出邻点的座标。

建立高程控制网是用水准测量的方法。因为水准路线推进的距离不同和精度高低的差别，水准测量也分为不同的等级。

此后，根据控制点进行碎部测量，并绘制成图。

由以上所述可知：测量工作主要是量距离，测角度，和定高低。为了进行这些测量工作，必须使用测量仪器和工具。在普通测量工作中常用的仪器有经纬仪、水准仪、视距仪和平板仪等。

§1-8 比例尺

当绘制地球表面某一地区的地形图时，各种不同的物体的平面图形要按一定的倍数加以缩小，而保持形状的完全相似。由此可见，图形上任何一条直线对于地面上相应直线水平投影长度都保持相同缩小程度，这种缩小的程度称为该图的比例尺。换言之，图上直线的长度与地面上相应直线水平投影长度之比称为该图的比例尺。

为了计算方便起见，比例尺常以分子等于一的分数来表示。例如 $\frac{1}{500}$ 、 $\frac{1}{1000}$ 、 $\frac{1}{2000}$ 、 $\frac{1}{5000}$ 等。比例尺的分母越大，比例尺就愈小，而分母越小，比例尺就愈大。

比例尺可以分为两类：数字比例尺和图示比例尺。

1. 数字比例尺 用分子等于 1 的分数表示的称为数字比例尺，如 $\frac{1}{5000}$ ，就是说地面上直线水平投影长度在图上缩小了 5,000 倍。数字比例尺是一个无名数。常用的平面图的比例尺是 $\frac{1}{500}$ 、 $\frac{1}{1000}$ 、 $\frac{1}{2000}$ 、 $\frac{1}{5000}$ 、 $\frac{1}{10000}$ 等。

根据数字比例尺可以进行下列两类的计算：

(1) 设已知地面上两点间的水平投影的长度为 516.42 米，试求在比例尺为 $\frac{1}{2000}$ 的图上应画的长度 l 。

$$\frac{l}{516.42} = \frac{1}{2000}, \quad l = \frac{516.42}{2000} = 0.25821 \text{ 米}。$$

即在图上应画的长度 l 为 25.821 厘米。

(2) 设在 $\frac{1}{5000}$ 比例尺的图上，量出了图上两点的长度是 1.86 厘米，试求在地面上相应两点实际的水平投影长度 L 。

$$\frac{1.86}{L} = \frac{1}{5000}, \quad L = 1.86 \times 5000 = 9300 \text{ 厘米} = 93.00 \text{ 米}。$$

即在地面上该两点的水平投影长度 L 为 93.00 米。

因为用数字比例尺需要经常的计算，在实际工作时，用它是非常不便的，所以采用预先作好的图示比例尺就非常必要。

2. 图示比例尺：图示比例尺是预先在图纸上或金属片上用图解的方法作好的比例尺。它又可分为图示直线比例尺和图示斜线比例尺。它的好处是不需要进行计算。

(1) 直綫比例尺 直綫比例尺的作法是在图上繪一直綫，截取若干个2厘米的綫段，每一个小段称为比例尺的基本单位①，最左端的基本单位分为10等分，每等分的长度为2毫米。若比例尺为 $\frac{1}{5000}$ ，每一基本单位相当于地面上的长度为：

$$2 \text{ 厘米} \times 5,000 = 10,000 \text{ 厘米} = 100 \text{ 米}.$$

用这种比例尺可以直接讀到10米，估到 $\frac{1}{10}$ 小格，即估計到1米。所以比例尺愈小，精度就愈差。

图1-10中，AB两点的长度为474米。



图 1-10 直綫比例尺

(2) 斜綫比例尺 用直綫比例尺不用眼睛估計来确定直綫长度时，其精度只限于相应比例尺的基本单位的 $\frac{1}{10}$ 的距离。如要提高其精度，可将基本单位分为100等分，但这样作效果是不好的，因为增加綫条太多，几乎都密合在一起了。同时，由于比例尺的頻繁应用，使最左边的基本单位会很快地用坏。因而也有損于精度。但用斜綫比例尺就可以完全克服上述的缺点。

斜綫比例尺的作法是在直綫比例尺所有基本单位的綫段上作任一长度相等的垂綫，并将其分成相等的十等分，在每等分的綫段上都作一条与底边平行的平行綫，在最左边的基本单位上，上下部分都分成相等的十等份，連成斜綫如图1-11。

斜綫比例尺EDO部分中，ED的长度为基本单位的 $\frac{1}{10}$ 。設比例尺为1:5000，則ED的长度代表地面上的长度为10米。在EDO三角形中各綫段 a_1b_1 、 a_2b_2 …… a_9b_9 等的长度可用相似三角形成比例的道理求得：

$$a_1b_1 = \frac{1}{10} ED = 1 \text{ 米}, a_2b_2 = \frac{2}{10} ED = 2 \text{ 米} \dots\dots, a_9b_9 = \frac{9}{10} ED = 9 \text{ 米}.$$

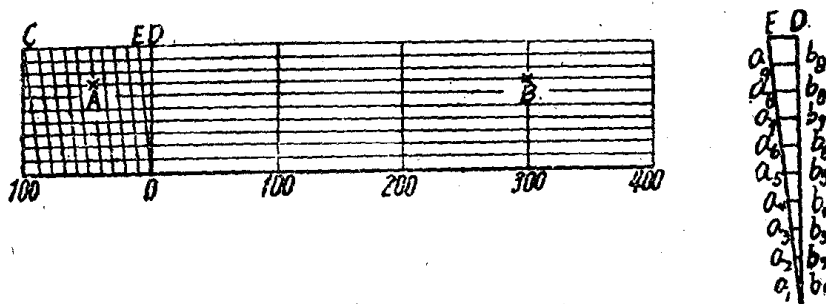


图 1-11 斜綫比例尺

这些小綫段所代表的长度，对于各种不同的比例尺，将代表地面上不同的距离。

如欲在1:5000斜綫比例尺上画出347米的长度，可将两脚規的一脚放在300米的豎直綫上，将另外的一个脚放在基本单位为40米的斜綫上，并放在从下往上数的第七条平行綫上，如图1-11中AB两点。

这种斜綫比例尺都是刻在金属的銅板上以备应用。

比例尺的精度 因为用眼睛只能判断出图上0.1毫米間隔的点或綫，两脚規的針尖当作是0.1毫米

① 比例尺的基本单位一般采用2厘米，有时为了計算方便起見，也可以采用其他长度如1厘米、2.5厘米等。

直径的小圆，线条小于此数时，实际上眼睛判别不出来，也不能在图上画出。因此采用 0.1 毫米所代表地面上的长度作为比例尺的精度。对于 1:500、1:1,000、1:2,000、1:5,000、1:10,000、1:25,000 比例尺的精度分别为 0.05 米、0.1 米、0.2 米、0.5 米、1.0 米、2.5 米。知道了比例尺的精度，就可以确定在地面上多么大的物体描绘到图上才能得到相似的图形，也就可以确定那些物体由于本身尺度太小，在图上变成一个点或一条线，而必需采用特殊的符号来表示。

§1-9 测量上常用的度量单位

1. 长度单位 我国采用国际通用单位米尺做为长度单位。

$$1 \text{ 公里}(km) = 1000 \text{ 米}(m);$$

$$1 \text{ 米} = 10 \text{ 分米}(dm);$$

$$1 \text{ 分米} = 10 \text{ 厘米}(cm);$$

$$1 \text{ 厘米} = 10 \text{ 毫米}(mm)。$$

2. 面积单位 面积单位是平方米，大面积用公顷、公亩或平方公里。

$$1 \text{ 平方公里} = 100 \text{ 公顷};$$

$$1 \text{ 公顷} = 100 \text{ 公亩};$$

$$1 \text{ 公亩} = 100 \text{ 平方米};$$

$$1 \text{ 市亩} = 666.667 \text{ 平方米}。$$

3. 角度单位 我国测量上采用的角度单位是 60 等分的度。

$$1 \text{ 圆周分为 } 360 \text{ 度}(360^\circ);$$

$$1 \text{ 度} = 60 \text{ 分}(60');$$

$$1 \text{ 分} = 60 \text{ 秒}(60'')。$$

在测量学中推导公式时常常用到弧度，角的度数与弧度的关系如下。

$$\alpha^\circ = \frac{180^\circ}{\pi} \times \hat{\alpha} = \rho^\circ \times \hat{\alpha};$$

$$\alpha' = 60 \times \rho^\circ \times \hat{\alpha} = \rho' \times \hat{\alpha};$$

$$\alpha'' = 60 \times \rho' \times \hat{\alpha} = \rho'' \times \hat{\alpha};$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\alpha^\circ}{\rho^\circ} = \frac{\alpha}{\rho'} = \frac{\alpha''}{\rho''};$$

$$\rho^\circ = 57^\circ.2957795 = 57^\circ 17' 44'' 806;$$

$$\rho' = 3437'.747 \approx 3438';$$

$$\rho'' = 206264''.8 \approx 206265''。$$