

中等专业学校教材

水利工程测量学

安徽水利电力学校主编



水利电力出版社

15186

TV221

3

中等专业学校教材

水利工程测量学

安徽水利电力学校主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书为水利电力类中等专业学校通用教材。

全书共分四篇十六章。第一篇测量的基本知识和主要仪器；第二篇控制测量；第三篇地形图的测绘和应用；第四篇水利工程测量，包括：渠道及河道测量、平整土地测量、水工建筑物及火电厂房的施工放样、架空输电线路测量。还附有测量新技术简介。

读者对象：中等专业学校水利电力类有关专业学生及从事水利工程测量的技术人员。

中等专业学校教材

水 利 工 程 测 量 学

安徽水利电力学校主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 16.25 印张 368千字

1978年11月第一版

1983年11月北京新版 1983年11月北京第一次印刷

印数 00001—16040 册 定价 1.30 元

书号 15143·5248

前 言

本书是根据1978年水利电力部开封教材编审会议讨论通过的《水利工程测量学》教学大纲编写的。

全书共分四篇十六章。介绍了地形测量的基本知识、基本理论、主要测量仪器工具及其操作和使用方法；结合中小型水利工程建设，还分别介绍了渠道、河道、平整土地、水工建筑物（闸、坝、隧洞）、电厂厂房和输电线路的测量工作。

本书由安徽水利电力学校任逢元同志主编。参加编写的有任逢元（第一至第十章）、广东省水利电力学校陈嵩（第十一至第十三章）、湖南省水利电力学校丁云庆（第十四至第十六章及附录）等同志。黄河水利学校刘志章、彭锡鼎两同志主审。安徽水利电力学校赵伯熙、李世学两同志参加了审核工作。

在编写过程中，陕西省水利学校等兄弟学校提供了参考材料和宝贵意见，在此一并致谢。

希望各校师生及读者对本书存在的缺点和错误，提出意见和批评，以便修改。

编 者

一九七八年八月

目 录

前 言

第一篇 测量的基本知识和主要仪器

第一章 绪论	1
§ 1-1 测量学研究的对象和任务以及在水利工程建设中的作用	1
§ 1-2 测量学的发展概况	2
§ 1-3 测量工作的概念	2
§ 1-4 测量上常用的度量单位	4
§ 1-5 地球形状和大小的概念	4
§ 1-6 地面点位置的确定	5
§ 1-7 地球曲率对水平距离和高程的影响	7
§ 1-8 测量误差的概念	9
§ 1-9 衡量测量精度的标准	11
第二章 水准仪及水准测量	13
§ 2-1 水准测量的原理	13
§ 2-2 水准测量的仪器和工具	15
§ 2-3 水准仪的使用及注意事项	20
§ 2-4 普通水准测量	22
§ 2-5 微倾式水准仪的检验和校正	27
§ 2-6 影响水准测量精度的主要因素	31
第三章 经纬仪及角度测量	33
§ 3-1 角度测量的概念	33
§ 3-2 游标经纬仪	34
§ 3-3 光学经纬仪	40
§ 3-4 经纬仪的安置和使用时应注意事项	44
§ 3-5 水平角的观测	47
§ 3-6 竖直角的观测	50
§ 3-7 经纬仪的检验和校正	53
§ 3-8 影响水平角测量精度的主要因素	57
第四章 直线丈量和直线定向	59
§ 4-1 地面点的标志和直线定线	59
§ 4-2 直线丈量及其改正计算	62
§ 4-3 直线定向	66
§ 4-4 用罗盘仪测定直线的磁方位角	69
§ 4-5 根据直线的边长和方位角绘制平面图	71
第五章 视距测量	72
§ 5-1 视距测量概述	72
§ 5-2 视距测量的原理	73

§ 5-3 计算水平距离和高差的辅助工具	76
§ 5-4 影响视距测量精度的主要因素	78

第二篇 控制 测 量

第六章 经纬仪导线测量	79
§ 6-1 概述	79
§ 6-2 经纬仪量距导线	80
§ 6-3 视差法导线	92
第七章 小三角测量	95
§ 7-1 概述	95
§ 7-2 小三角测量的外业工作	96
§ 7-3 小三角锁的内业计算	98
§ 7-4 中点多边形的内业计算	103
§ 7-5 经纬仪测角交会法的计算	106
第八章 高程控制测量	110
§ 8-1 三、四等水准测量	110
§ 8-2 过河水准测量	115
§ 8-3 三角高程测量	116
§ 8-4 多角高程导线与高程导线测量	119

第三篇 地形图的测绘和应用

第九章 地形图测绘	122
§ 9-1 地貌的认识	122
§ 9-2 地物和地貌在图上表示的方法	125
§ 9-3 测绘地形图的准备工作	131
§ 9-4 测站点的加密	135
§ 9-5 平板仪测量的原理及其仪器	137
§ 9-6 平板仪测量的基本方法	144
§ 9-7 经纬仪与小平板联合测图	147
§ 9-8 等高线的勾绘	151
§ 9-9 地形图的拼接、整饰、检查	153
第十章 地形图的应用	154
§ 10-1 根据地形图确定地面点的坐标和高程	155
§ 10-2 根据地形图确定直线的长度和方位	156
§ 10-3 根据地形图绘制已知方向的断面图	156
§ 10-4 根据地形图确定汇水面积和水库库容	156
§ 10-5 根据地形图确定土坝坡脚线和估算土方	159
§ 10-6 求积仪的构造和使用	161

第四篇 水 利 工 程 测 量

第十一章 渠道测量	164
-----------------	-----

§ 11-1	踏勘选线	164
§ 11-2	中线测量	164
§ 11-3	圆曲线测量	166
§ 11-4	渠道纵断面水准测量	174
§ 11-5	渠道纵断面图的绘制	177
§ 11-6	渠道横断面的测绘	178
§ 11-7	土方计算	180
§ 11-8	渠道放样测量	183
第十二章	河道测量	185
§ 12-1	河道测量的基本方法	185
§ 12-2	河道测量的控制布置	186
§ 12-3	河道横断面测量	187
§ 12-4	河道纵横断面图的绘制	191
§ 12-5	河道地形图的测绘	194
第十三章	平整土地测量	195
§ 13-1	平原地区小面积的平整土地测量	195
§ 13-2	水平梯田测量	203
第十四章	水工枢纽建筑物的施工放样	205
§ 14-1	概述	205
§ 14-2	施工放样的基本工作	205
§ 14-3	土坝的施工放样	210
§ 14-4	水闸的施工放样	216
§ 14-5	隧洞的施工放样	219
第十五章	火电厂房的施工放样	226
§ 15-1	概述	226
§ 15-2	建筑物主轴线和方格网的测设	226
§ 15-3	通用建筑物的施工放样	228
§ 15-4	厂房结构安装测量	231
§ 15-5	烟囱(或水塔)的施工测量	233
§ 15-6	施工坐标和国家坐标的换算	234
第十六章	架空输电线路测量	236
§ 16-1	架空输电线路的基本知识	236
§ 16-2	路径方案的选择	237
§ 16-3	定线测量	238
§ 16-4	平断面测量	239
§ 16-5	杆塔定位测量	242
§ 16-6	线路施工测量	243
附录	测量新技术简介	251
一、	自动安平水准仪	251
二、	激光地形测距仪	252
三、	台式测地计算机	254

第一篇 测量的基本知识和主要仪器

第一章 绪 论

§ 1-1 测量学的对象和任务以及在水利工程建设中的作用

测量学是研究地球表面形状和大小的一门应用科学。它的任务主要是：

1. 测定整个地球或地球表面上局部区域的形状和大小；
2. 把图纸上设计好的工程建筑物位置，在地面上确定下来，以便进行施工。

按照测量科学的发展和担负任务的不同，测量学基本上可分：

当我们测量的范围只是地球表面上一个很小的区域时，在测量计算和绘图的过程中，都是假设这个小区域内的地面是一个平面，而不考虑地球表面的曲率，研究这种小区域的测绘科学，称为平面测量学，或称地形测量学。当我们测量的范围是地球表面上一个广大的区域甚至是整个地球形状和大小时，无论在测量、计算和绘图过程中，都必须考虑地球表面的曲率，研究这种广大区域的测量科学，称为大地测量学。利用摄影得到地面像片，然后把地面像片制成各种比例尺的地形图，因而产生了摄影测量学。在摄影测量学中，研究用地面摄影获得地形图的，称为地面立体摄影测量学；研究从空中摄影获得地形图的，称为航空摄影测量学。为了满足水利工程、城市建设、工矿企业的建设，发展成专门为某种工程服务的测量科学称为工程测量学。

在我国社会主义经济建设中，要兴建各种工程，有丰富的资源需要开发和利用，测量学在解决这些任务中都起了十分重要的作用。此外，测量学对国防建设事业也具有特别重要的意义；各项国防工程的修建，作战时战役的部署和指挥战斗，也都必须有详细而准确的地形图作依据。由此可见，测量技术对于祖国社会主义经济建设和国防建设都具有十分重大的意义，是实现四个现代化必不可少的一项基础工作。

《水利工程测量学》包括地形测量学和工程测量学两部分内容，前者是基础，后者是专门研究把测量科学技术应用到水利工程中，解决水利工程从勘测、设计、施工以至工程在使用期间的许多测量问题。

进行任何一项水利工程建设，都需要通过测量来获得有关地区的地形资料。例如我们在某一河道的上游修建水库时，首先应搜集和测绘坝址以上该流域内的全部地形图，作为水文计算、地质勘探、经济调查等规划设计的依据。坝址位置确定后，又必须为设计大坝测绘详尽的大比例尺地形图。在施工过程中，又要进行施工放样测量，也就是把设计在图纸上的大坝位置，通过测量的方法，在相应的地面上标定出来。在工程竣工时，为了检查工程质量是否合乎要求，还要进行竣工测量。在工程管理期间，还要定期地进行大坝的变形观测，确保工程安全。由此可见，在水利工程建设中，测量工作贯穿于规划、设计、施工、管理各个阶段，作为一个水利工程技术人员，必须懂得测量学的基本知识，能进行小

面积的大比例尺的地形测图工作，能够掌握读图和用图的基本知识，掌握有关水利工程施工测量的基本方法。

§ 1-2 测量学的发展概况

测量学是人类在长期生产实践中总结、创造和发展起来的。公元前二十一世纪，我国夏禹治水时就使用过“准、绳、规、矩”等测量工具。公元前四世纪战国时，我国劳动人民就利用磁石制成了世界上最早的指南工具“司南”。公元二世纪初，东汉科学家张衡制造了浑天仪，在天文测量方面作出了贡献。公元三世纪，西晋裴秀在生产实践中积累了丰富的经验，拟定了世界上最早的制图法则，称为“制图六体”。公元724年，唐朝太史监南官说曾在河南开封一带直接丈量了长达300公里的子午弧长，并用日圭测太阳的阴影以定纬度，这是我国第一次应用弧度测量的方法测定地球的形状和大小，也是世界上最早的一次子午线弧长测量。十八世纪清代，为了测绘皇舆全图，又进行过大规模的天文测量。此外，在工程建设中，例如万里长城的建造，四川都江堰的水利工程，南北大运河的开凿，西安、北京等地古都的建筑，都创造和积累了极其丰富的测量经验。总之，我国历代劳动人民随着生产的需要和发展，对测量科学作出了卓越的贡献。

近代，随着人造地球卫星的发射，航天技术有了飞跃的发展，逐渐形成了一门新的遥感技术，引起了测绘技术的急剧变化。航天遥感就是运用卫星进行测量工作，高度可达几百公里，一张照片拍摄的地面范围可达一百八十五公里见方。根据地面接收的信息或回收的像片，可以分析出地面的情况，编制成普通的影像地图。卫星大地测量是又一门新兴的测量科学，它通过地面站对卫星的观测，可以推算大地坐标，以至地球的形状和大小。卫星大地测量能解决和克服常规大地测量中许多困难问题，为大地测量提供了新的途径。

六十年代激光技术的兴起，使精密测距产生了新的飞跃，特别是最近几年采用了一些新的光电测距系统，使测量仪器也有显著的发展。目前，我国已研制成功多种类型的激光测距仪，为我国激光测距填补了空白。激光测距技术正在向新的水平前进，用激光测距仪配合小型电子计算机，在野外可以计算水平距离、高差和坐标，使室内工作现场化。

革命在前进，科学在发展，我们要以最快的速度建立我国现代化的测绘体系，实现野外作业装备机械化、测量制图自动化、资料储存数字化、测绘成果多样化，并在测绘科学理论方面赶超世界先进水平，更好地为中国人民和世界人民服务。

§ 1-3 测量工作的概念

测量工作不论用什么方法和任何类型的仪器，在测量成果中都会有误差存在。如果测量时从一点出发，逐点进行施测，测量误差就会积累起来，最后就可能达到不能容许的程度。所以测量工作必须考虑在布局上“由整体到局部”，在工作方法上“先控制后碎部”，在精度上“由高级到低级”的原则进行。

根据上述原则，测绘工作大体是分以下两个阶段来进行的。

一、建立测区控制网

需要进行测量的区域称为测区。在测区内首先应在国家控制点（即国家一、二、三、四等三角点、水准点）的基础上，选择少量有控制意义的点子，用较精确的方法测定它们的平面位置和高程，作为测区的首级控制。图1-1中的A、B、C、D、E为国家控制点，I、II、III、IV为测区的首级控制（点），这些首级控制（点），用三角测量、经纬仪交会点和导线测量的方法，测定点的平面位置，用水准测量或三角高程测量的方法测定点的高程。

测区首级控制点的数量较少，不能满足地形测图的需要，还必须加密一次或两次精度较低的、供地形测量使用的控制点，这些加密的控制点，称为图根控制点（简称图根点），如图1-1中的1、2、3、4、5、6、7。图根控制点也可以用三角测量、导线测量等方法测定点的平面位置，用水准测量或用三角高程测量的方法测定点的高程。在中小型水利工程建设中，也可以布设成独立控制网，并进行图根控制点的加密。

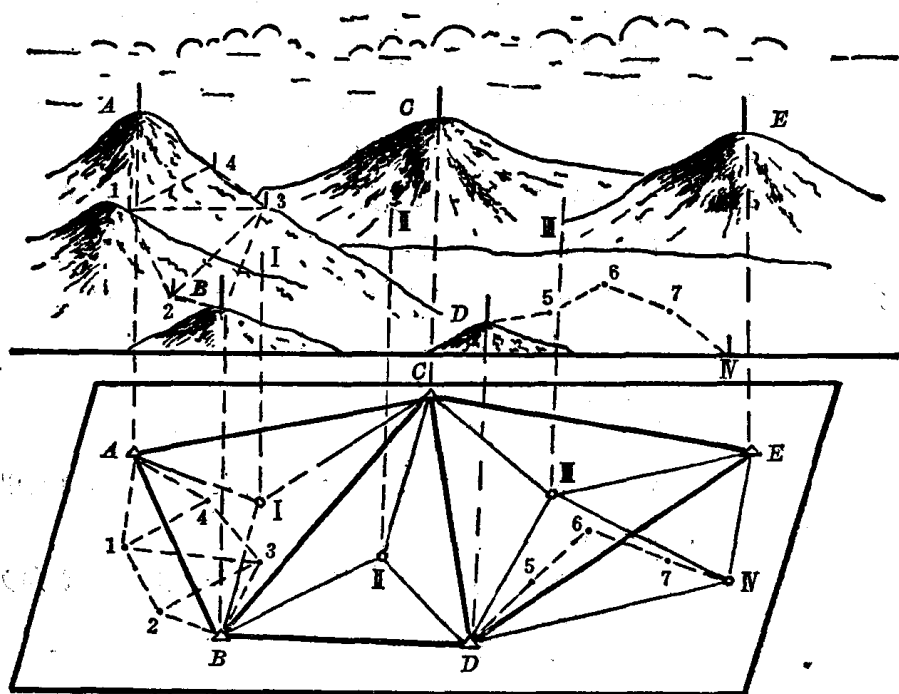


图 1-1

二、地形测图

在地形测图前，首先按平面直角坐标系的纵横坐标线和地形图分幅的要求，把各级控制点展绘在各个图幅上，然后，根据这些控制点使用一定的仪器工具进行地形图的测绘，也就是测定地面上道路、河流、房屋等等地物和地面上高低起伏千态万状的地貌的特征点，勾绘出地物和地貌的形态。最后，经过图幅的拼接检查和修整，进行描绘和复制，提供给设计和生产部门使用。

§ 1-4 测量上常用的度量单位

测量上常用的度量单位有长度、角度和面积三种。

一、长度单位：我国采用国际通用的长度单位为米。

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

$$1 \text{ 米} = 10 \text{ 分米}(dm)$$

$$1 \text{ 分米} = 10 \text{ 厘米}(cm)$$

$$1 \text{ 厘米} = 10 \text{ 毫米}(mm)$$

在日常生活中，群众还习惯用市尺作长度单位。

$$1 \text{ 米} = 3 \text{ 市尺}$$

$$1 \text{ 公里} = 2 \text{ 市里}$$

$$1 \text{ 市里} = 500 \text{ 米} = 1500 \text{ 市尺}$$

二、面积单位：面积的单位是平方米。大面积用公顷、公亩或平方公里。

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

$$1 \text{ 公顷} = 100 \text{ 公亩} = 10000 \text{ 平方米}(m^2)$$

$$1 \text{ 公亩} = 100 \text{ 平方米} = 900 \text{ 平方市尺} = 0.15 \text{ 市亩}$$

$$1 \text{ 市亩} = 6.667 \text{ 公亩} = 6000 \text{ 平方市尺} = 666.667 \text{ 平方米}$$

体积的单位为立方米(m^3)。

三、角度单位：我国测量上采用的角度单位是六十等分制的度。

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

$$1 \text{ 度} = 60 \text{ 分}(60')$$

$$1 \text{ 分} = 60 \text{ 秒}(60'')$$

在测量学中推导公式时，常常采用弧度来表示角度的大小。在圆周上以圆弧等于半径所对的圆心角值称为一弧度，以符号 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：

$$\rho^\circ = \frac{180}{\pi} \approx 57.3$$

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

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

式中的 ρ° 、 ρ' 、 ρ'' 就是一弧度所相应角度的度、分、秒值。

§ 1-5 地球形状和大小的概念

测量工作是在地球表面上进行的，所以我们必须了解地球的形状和大小。我们所看到的地球表面是不平坦的和不规则的。地球表面上有高山、深谷、平原、丘陵、江河和海洋

等等起伏状态，这个表面称为地球的自然表面。我们知道，在地球表面上，海洋的面积约占71%，大陆面积约占29%。陆地上最高的山峰为8848.13米，最深的海洋约为11000米，这些起伏变化和地球的概略半径6371公里相比是极其微小的。从这一事实就使我们根据把静止状态的海平面（没有波浪、没有潮汐的时候）延伸穿过大陆和岛屿后所围成的一个闭合曲面当作地球的一般形状，这个闭合曲面的表面称为水准面。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。水准面的特性是处处与铅垂线（重力方向）相垂直。

大地水准面比地球表面光滑得多，但是由于地球内部质量分布不均匀而引起铅垂线方向的变化，以致它还是一个很复杂的曲面，不能用数学的式子来表示。在测量上，我们选用与大地水准面极为相似而且可以用公式表示的数学图形来代替地球总的形状，以便简化测量的计算工作。比较精密的研究，证明了大地水准面是接近于一个绕其自转轴（短轴）旋转的旋转椭球体，又称参考椭球体，如图1-2所示。

大地水准面与参考椭球体面不是完全一致的，有的地方大地水准面在参考椭球体面的上面，有的地方又在它的下面，但差数很小，约为 ± 150 米以内。

参考椭球体的形状和大小决定于长半径 a 、短半径 b 和扁率 α ，所以 a 、 b 、 α 称为参考椭球体的三元素。

数世纪以来，许多国家的科学家们都对参考椭球体的大小进行了研究和推算。我国目前暂时采用克拉索夫斯基参考椭球体三元素的数值是：

$$a = 6378245 \text{ 米}$$

$$b = 6356863 \text{ 米}$$

$$\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.3}$$

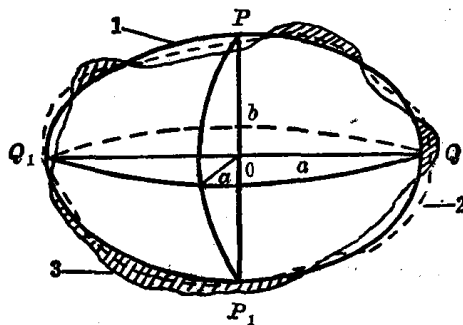


图 1-2

1—参考椭球体；2—大地水准面；3—地球表面

在《水利工程测量学》中，所讨论的是地球表面上一个小区域的测绘工作，测量的精度要求不高，因此在某些计算中，可以近似地把地球的形状当作圆球体来看待，其半径为6371公里。

§ 1-6 地面点位置的确定

测量工作的根本任务之一，是确定地面上点的空间位置。确定地球表面上点的位置，通常是求出它对于大地水准面的关系。由于地球表面是起伏不平的，因此要确定地球表面上点的位置时，必须把每一个地面点沿着铅垂线的方向投影到大地水准面上。除此以外，还必须把投影线的长度，即地面点沿铅垂线到大地水准面的高度确定下来。因此，地面点位置的确定，可以分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。

一、地面点投影位置的确定

1. 地面点的地理坐标

如果把大地水准面当作球面看待，地面上一点的位置，在球面上通常是用经纬度来表示的，某一点的经纬度称为该点的地理坐标。

如图1-3， PP_1 为地球旋转轴，称为地轴， O 为地球的中心，称为球心。通过球心与地轴垂直的平面 EKQ 称为赤道平面。赤道平面与地球表面的交线称为赤道。当地球旋转时，地球表面每一点所描出的圆周称为纬圈，赤道是最大的纬圈。通过地轴和地球上任意一点 L 的平面 PLP_1 称为过 L 点的真子午面，过 L 点的真子午面和地球表面的交线称为过 L 点的真子午线或经线。通过英国格林威治天文台某点的真子午面称为首子午面，世界各国公认它为计算经度的起点。

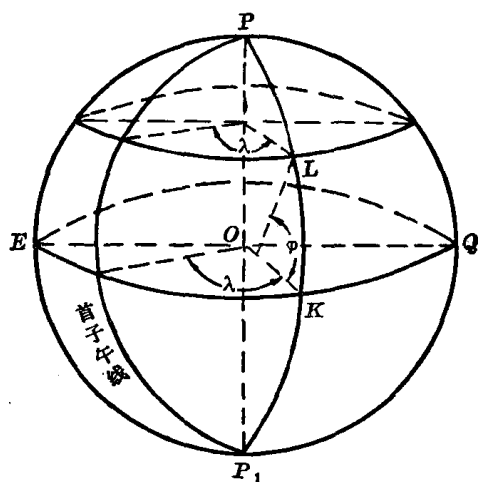


图 1-3

过 L 点的真子午面和首子午面所夹的二面角称为 L 点的经度，通常用 λ 表示。在首子午面以东的称为东经，以西的称为西经，数值各为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。

过 L 点的真子午面和首子午面所夹的二面角称为 L 点的经度，通常用 λ 表示。在首子午面以东的称为东经，以西的称为西经，数值各为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。

经过 L 点的铅垂线和赤道平面的夹角称为 L 点的纬度，通常用 φ 表示。由于地球是椭圆柱体，所以地面点的铅垂线不一定通过地球中心。纬度从赤道向北或向南计算，分别称为北纬或南纬，数值各为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。

2. 地面点的平面直角坐标

如果投影到球面上的面积并不太大，可以把这部分球面当作水平面看待。地面点沿着铅垂线方向投影到水平面的位置称为点的平面位置。把球面当作平面看待使我们有可能和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绍的相似，但以 X 为纵坐标轴，其方向与子午线方向一致，用来表示南北方向；以 Y 轴为横坐标轴，用来表示东西方向。同时规定由坐标原点 O 向上（向北）和向右（向东）为正，向下（向南）和向左（向西）为负。因此，地面上任意一点 A 在平面上的位置，可以由该点至纵横坐标轴的垂距 x 和 y 来确定， x 和 y 称为 A 点的纵坐标和横坐标，如图1-4所示。

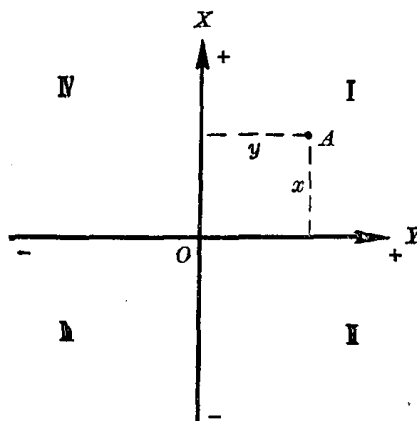


图 1-4

象限的次序（I、II、III、IV）依顺时针方向排列，其目的是使所有三角学上的公式都可以直接应用在测量工作的计算上，而不必作任何变化。

二、地面点高程的确定

为了完全确定地面点的位置，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，地面点对于任意水准面的高度称为相对高程或称假定高程。

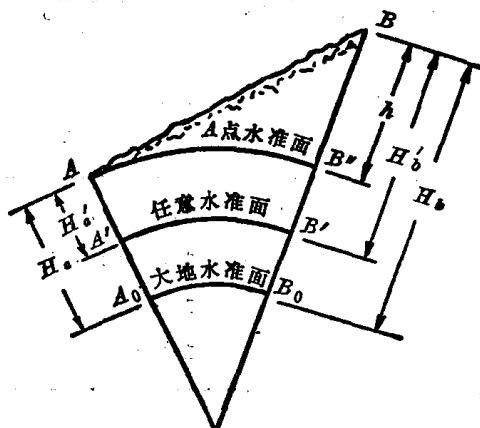


图 1-5

图 1-5 中的 H_A 和 H_B 代表 A 点和 B 点对于大地水准面 A_0B_0 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'' ，则 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，用 h 表示。

为了统一全国的高程系统，必须确定一个水准面作为高程的起算面，通常是采用验潮站测定的平均海水面，作为绝对高程的零点。我国已选定 1956 年黄海平均海水面作为全国高程的起算面。

§ 1-7 地球曲率对水平距离和高程的影响

地球表面是弯曲的球面，要将测量所得地面上各点的位置，用投影的方法绘到平面图纸上，无论是计算或绘图都比较复杂。然而由于地球的半径很大，如果测量的区域较小，就可以把这个地区的球面当作平面看待，使计算和绘图工作大大的简化。但是用平面代替球面总是有误差产生的，测区范围愈大，误差也就愈大。因此，在多么大的范围内可以容许把球面当作平面的限度问题就有必要加以研究。

一、距离的影响

图 1-6 中的 A、B 为球面上的任意两点，AB 间的球面距离为 S ，弧长 AB 所对的圆心角为 α ，球面的半径为 R 。通过 A 点作一平面并与 OB 的延长线相交于 C 点，在平面上 AC 间的距离为 t ，如果将切于 A 点的平面代替球面，即以切线 AC 代替圆弧 AB，则将产生距离误差，由图可知，距离误差为：

$$\Delta S = t - S$$

而图中

$$t = R \operatorname{tg} \alpha$$

$$\Delta S = R \operatorname{tg} \alpha - R \alpha = R(\operatorname{tg} \alpha - \alpha)$$

(α 以弧度表示)

将 $\operatorname{tg} \alpha$ 按级数展开，并取其前两项，则 $\operatorname{tg} \alpha = \alpha + \frac{1}{3} \alpha^3$

因

$$\operatorname{tg} \alpha - \alpha = \frac{1}{3} \alpha^3$$

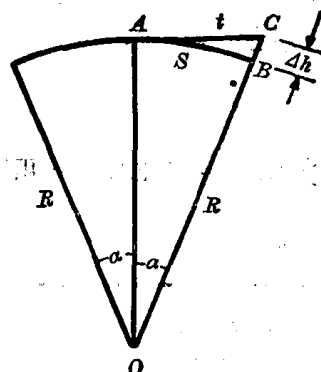


图 1-6

又

$$\alpha = \frac{S}{R}$$

故

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

如以地球半径 $R = 6371$ 公里和用不同的 S 值代入公式 (1-1), 则可得表1-1。

表 1-1

距 离 (公里)	距离误差 ΔS (厘米)	相 对 误 差 $\frac{\Delta S}{S}$
10	0.82	1:1220000
25	12.83	1:200000
50	102.00	1:49000
100	820.00	1:12000

由表1-1可知, 当距离 S 为10公里时, 用平面代替球面所产生的相对误差是 $\frac{1}{1220000}$, 象这样小的误差即使在地面上进行最精密的距离丈量也是许可的。因而可以得出这样的结论: 在半径等于10公里的圆面积内进行长度的测量工作时, 可以不必考虑地球曲率。也就是说, 在半径等于10公里的圆面积内进行长度测量, 可以把水准面当作平面看待, 对于水平距离的影响可以略而不计。

二、高程的影响

图 1-6 中的 A 、 B 两点是在同一水准面上, 它们的高程相等。如以水平面代替水准面, 则 B 点移到 C 点, 因而产生了高程误差 BC , 即图中的 Δh 。由图可知:

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + t^2$$

$$t^2 = 2R \cdot \Delta h + \Delta h^2$$

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

上式分母中的 Δh 与地球半径 R 相比较是极其微小的, 故可略而不计。此外, 上面已经证明, 两点间投影的水平距离和大地水准面上的弧长相差极微, 为了便于计算, 用 S 代替 t , 则上式可写成:

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

如以 $R = 6371$ 公里和用不同的 S 值代入 (1-2) 式, 则可得表1-2。

表 1-2

S (公里)	0.1	0.5	1	2	3	4	5
Δh (厘米)	0.08	2	8	31	71	125	196

由表1-2可知：地球曲率的影响，对高差而言，即使在很短的距离内也必须加以考虑。

§ 1-8 测量误差的概念

在进行测量工作过程中，由于仪器工具不完善，外界条件随时改变和我们观测员本身感觉器官的限制，使我们观测的成果不能获得绝对正确，也就是说，一切测量成果都不可避免地带有各种各样的误差，如果误差很大并且超过规定的限度，就使测量的结果和实际（真值）相差很多，因而需要返工重测，这就影响了工作的进行。每一种测量都必须达到一定的准确程度，也就是所谓精度，精度的高低是由误差的大小来决定的，误差大精度低，误差小精度高。

在实际工作中，不仅要使观测成果符合规定的精度，而且应该考虑如何安排和组织测量工作，如何选用仪器工具和如何选择观测方法，以便达到用最快的速度和在最经济的条件下得到比较准确的测量结果，这就必须掌握测量误差的情况才能达到。

当测量结果不符合规定精度要求时，决不允许用改读数或改记录的办法使测量结果在表面上符合要求，这种做法是对社会主义事业不负责任的表现。有些人员当测量结果不符合精度要求时，不分析原因，盲目地进行重测，其结果可能仍然不能符合要求，这种工作方法也不符合我们建设的需要。正确而积极的工作方法，应该是冷静地分析不符合要求的原因和存在的主要问题，从而采取必要的措施，保证重测结果符合要求。要达到这样的目的，必须对误差的性质、产生误差的原因、误差的规律以及消除误差的方法有所了解。

测量误差按其性质可以分以下两类：

一、系统误差

系统误差一般是由于仪器工具不完善而产生的，此外如外界自然条件的影响和观测员的感觉器官等也会使测量结果中产生系统误差。例如，丈量距离所用的尺子不符合实际长度，那末用它每量一尺就产生一个常数差，象这类误差的数值和符号都是相同的，而且其数值随着观测的次数增加而积累。

系统误差可以查明它产生的原因，用数学的方法加以改正，也可以采用严密的观测方法使这项误差互相抵消。例如用不符合实际长度的尺子量距时，可以把它和标准尺比较一下，确定尺子比标准尺过长或过短的数值，然后按量尺的次数计算改正值，在测量结果中加以改正，这样就使测量误差得到消除。在水平角观测时，我们通常采用盘左和盘右各观测一次取平均值的方法来消除经纬仪上存在的某些误差的影响。

系统误差必须加以改正或者使它达到极小的程度。

二、偶然误差

偶然误差是在消除系统误差后，测量结果中仍然会有的一种误差。偶然误差的来源很多，例如用普通经纬仪测角，在度盘上读数时，比准确的数值可能会读大一些，也可能会读小一点，这样就产生了读数误差；在瞄准目标时，我们虽然很细心地用十字丝交点对准

目标,但是由于望远镜分辨能力和望远镜放大倍率的限制以及由于空气的透明度,目标的向光或背光等等原因,瞄得可能偏右一些或偏左一些,这就产生了瞄准误差。此外,仪器本身由于外界条件的变化,也会对观测结果产生一定的影响。对于这些在一定条件下所产生的大小不等和符号不同的不可避免的误差,称为偶然误差。

在相同的观测条件下,偶然误差的出现好象只是由于一些偶然因素引起的,看不出遵循什么必然的规律,但是,通过大量的观测发现偶然误差的出现,具有一定的规律性。下面用一个实例来说明偶然误差的规律性。

在相同的条件下,某测量队观测了162个三角形的全部内角。由于误差的存在,每个三角形内角之和不等于理论上的角值 180° 。把每一个三角形观测的内角之和减去 180° ,便得到162个三角形内角和的真误差 Δ ,按真误差绝对值的大小排列成表1-3。

用表1-3的数值,可以绘出图1-7。图1-7表示误差大小和相应个数之间的关系曲线。

表 1-3

误差大小的区间	正 Δ 的 个 数	负 Δ 的 个 数	总 和
0.0"~0.2"	21	21	42
0.2~0.4	19	19	38
0.4~0.6	15	12	27
0.6~0.8	9	11	20
0.8~1.0	9	8	17
1.0~1.2	5	6	11
1.2~1.4	1	3	4
1.4~1.6	1	2	3
1.6"以上	0	0	0
	80	82	162

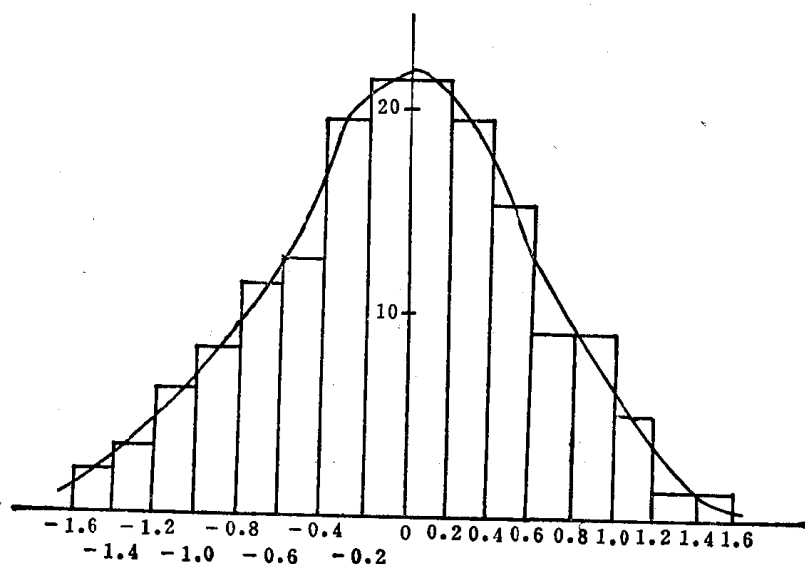


图 1-7