

普通高等教育测绘类规划教材

# 建筑测量学教程

严莘稼 王 依 主编

测绘出版社

·北京·

## 内 容 提 要

本书为土建类专业的测量基础教程，其内容是根据“工业与民用建筑专业”和“给排水专业”测量学教学大纲编写的，同时考虑到自学和成人教育的需要，适当增加了必要的选修内容，每章之后附有小结及一定数量的思考题和习题。

全书共十章。一至五章主要讲述测量学的基本概念和知识，常用的测量仪器、测量误差理论的基础知识，六至八章主要讲述小面积控制测量和大比例尺地形图的绘制及在建筑工程中的应用；九至十章主要介绍测设的基本方法和工民建中的施工测量。

本书可作为高等学校工业与民用建筑、建筑学、给水排水、城市规划等专业的测量学教程；也可作为高等教育自学、成人考试教材及有关工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

建筑测量学教程/严莘稼, 王侬主编.-北京: 测绘出版社, 1996.5  
普通高等教育测绘类规划教材  
ISBN 7-5030-0804-0

I. 建… II. ①严… ②王… III. 建筑测量-高等学校-教材 IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核定(95)第 12257 号

### 测绘出版社出版发行

(100045 北京市复外三里河路 50 号 (010) 68512182)

北京怀柔新华印刷厂印刷·新华书店总店北京发行所经销

1996 年 2 月第一版·1996 年 2 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16·印张: 16.75

字数: 380 千字·印数: 00 001—11 000 册

定价: 17.50 元

## 前 言

测量学是高等学校土建类专业的一门技术基础课程。建筑测量学教程是根据目前“工业与民用建筑专业”和“给水排水专业”测量学课教学大纲编写的教材。考虑因材施教和自学的需要,适量增加了必要的选修内容(注以“\*”号);同时每章之后附有小结,指出前后知识的联系和本章应掌握的重点;还编写了一定数量的思考题与习题,以便于复习和掌握各章的基本内容。因此,本书适用于工业与民用建筑、建筑学、给水排水、城市规划等专业高等学校教学,并可作为高等教育自学考试、成人考试教材。

全书共十章,其内容可分三个部分。第一部分包括第一至第五章,主要讲述了测量学的概念和知识,常用测量仪器的构造、使用和检验校正,测量误差理论的基本知识,并介绍了现代测绘仪器及其使用,藉以拓宽知识面;第二部分包括第六章至第八章,主要讲述了小地区控制测量和大比例尺地形图的测绘及在建筑工程中的应用;第三部分包括第九、十两章,主要介绍了测设的基本方法以及工业与民用建筑工程和管道工程中的施工测量。

本书由北京建筑工程学院严莘稼、合肥工业大学王依主编。王依编写第一章,李晓莉编写第二章,毛云程编写第三、四章及附录一、二、三、四,严莘稼编写第五、六、七章及附录五,王依、李晓莉合写第八章,解树寰编写第九、十章。1993年6月,经测绘教材编审委员会委托清华大学杨德麟教授,天津大学岳树信副教授初审,中国矿业大学朱鸿禧副教授复审,初、复审者对本书提出了十分宝贵的意见和建议。编者对全书进行了认真修改,最后由严莘稼对全书进行审阅,完成统稿工作。

在审改书稿过程中,又承西南交通大学卓健成教授、北京建筑工程学院测量工程教研室同行提供了许多宝贵意见,在此一并致谢。由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者指正。

编 者

1995年4月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	( 1 )
§ 1-1 测量学的任务及其在建筑工程中的作用 .....	( 1 )
§ 1-2 测量学的发展简史 .....	( 2 )
§ 1-3 地面点位的确定 .....	( 3 )
§ 1-4 用平面代替水准面的限度 .....	( 7 )
§ 1-5 测量工作概念 .....	( 9 )
小结 .....	( 11 )
思考题与习题 .....	( 11 )
<b>第二章 水准测量</b> .....	( 12 )
§ 2-1 水准测量原理 .....	( 12 )
§ 2-2 水准测量的仪器及工具 .....	( 13 )
§ 2-3 水准仪的使用 .....	( 17 )
§ 2-4 水准测量的外业 .....	( 19 )
§ 2-5 水准测量的内业 .....	( 23 )
§ 2-6 微倾水准仪的检验与校正 .....	( 26 )
§ 2-7 水准测量的误差及注意事项 .....	( 29 )
§ 2-8 自动安平水准仪与精密水准仪 .....	( 31 )
小结 .....	( 36 )
思考题与习题 .....	( 37 )
<b>第三章 角度测量</b> .....	( 40 )
§ 3-1 水平角测量原理 .....	( 40 )
§ 3-2 DJ6 级光学经纬仪 .....	( 41 )
§ 3-3 DJ2 级光学经纬仪 .....	( 46 )
§ 3-4 经纬仪的操作 .....	( 47 )
§ 3-5 水平角测量 .....	( 50 )
§ 3-6 竖直角测量 .....	( 54 )
§ 3-7 经纬仪的检验和校正 .....	( 57 )
§ 3-8 角度测量误差及注意事项 .....	( 62 )
小结 .....	( 65 )
思考题与习题 .....	( 66 )

<b>第四章 距离测量与直线定向</b> .....	( 68 )
§ 4-1 钢尺量距的一般方法 .....	( 68 )
§ 4-2 钢尺量距的精密方法 .....	( 72 )
§ 4-3 钢尺检定 .....	( 75 )
§ 4-4 距离丈量误差与注意事项 .....	( 76 )
§ 4-5 红外光电测距仪 .....	( 78 )
§ 4-6 直线定向 .....	( 82 )
§ 4-7 罗盘仪测定磁方位角 .....	( 85 )
小结 .....	( 86 )
思考题与习题 .....	( 87 )
<b>第五章 测量误差的基本知识</b> .....	( 89 )
§ 5-1 测量误差概述 .....	( 89 )
§ 5-2 衡量精度的标准 .....	( 94 )
§ 5-3 误差传播定律及其应用 .....	( 97 )
§ 5-4 等精度观测值的算术平均值及精度评定 .....	( 104 )
§ 5-5 非等精度观测值的加权平均值及精度评定 .....	( 107 )
小结 .....	( 115 )
思考题与习题 .....	( 117 )
<b>第六章 小地区控制测量</b> .....	( 119 )
§ 6-1 控制测量概述 .....	( 119 )
§ 6-2 导线测量 .....	( 121 )
§ 6-3 导线测量的内业计算 .....	( 126 )
§ 6-4 小三角测量 .....	( 137 )
§ 6-5 小三角测量的内业计算 .....	( 140 )
§ 6-6 经纬仪前方交会法 .....	( 154 )
§ 6-7 高程控制测量 .....	( 156 )
小结 .....	( 162 )
思考题与习题 .....	( 163 )
<b>第七章 大比例尺地形图及其测绘</b> .....	( 167 )
§ 7-1 地形图概述 .....	( 167 )
§ 7-2 地形图的比例尺 .....	( 168 )
§ 7-3 地形图的图名、编号和图廓 .....	( 170 )
§ 7-4 地物符号 .....	( 171 )
§ 7-5 地貌符号 .....	( 174 )
§ 7-6 视距测量 .....	( 179 )
§ 7-7 平板仪的构造与使用 .....	( 184 )
§ 7-8 测图前的准备工作 .....	( 190 )

§ 7-9 碎部测量的基本方法 .....	(192)
§ 7-10 地形图的拼接、检查、整饰与清绘 .....	(198)
小结 .....	(200)
思考题与习题 .....	(201)
<b>第八章 地形图的应用</b> .....	(203)
§ 8-1 地形图的识读 .....	(203)
§ 8-2 地形图应用的基本内容 .....	(204)
§ 8-3 在地形图上选线 .....	(210)
§ 8-4 按一定方向绘制断面图 .....	(211)
§ 8-5 在地形图上确定汇水面积 .....	(211)
§ 8-6 地形图在平整土地中的应用 .....	(212)
小结 .....	(216)
思考题与习题 .....	(216)
<b>第九章 工业与民用建筑中的测量工作</b> .....	(217)
§ 9-1 施工测量概述 .....	(217)
§ 9-2 测设的基本工作 .....	(218)
§ 9-3 点的平面位置的测设方法 .....	(220)
§ 9-4 建筑场地上的施工控制测量 .....	(222)
§ 9-5 民用建筑施工测量 .....	(227)
§ 9-6 工业厂房施工测量 .....	(229)
§ 9-7 厂房构件安装测量 .....	(231)
§ 9-8 高层建筑物施工测量 .....	(234)
§ 9-9 建筑物的变形观测 .....	(235)
§ 9-10 竣工总平面图的编绘 .....	(239)
小结 .....	(240)
思考题与习题 .....	(240)
<b>第十章 管道工程测量</b> .....	(242)
§ 10-1 管道工程测量概述 .....	(242)
§ 10-2 管道中线测量 .....	(242)
§ 10-3 管道纵横断面图测量 .....	(244)
§ 10-4 管道施工测量 .....	(247)
§ 10-5 顶管施工测量 .....	(248)
§ 10-6 管道竣工测量 .....	(249)
小结 .....	(250)
思考题与习题 .....	(250)
<b>附录一 水准仪系列的分级及基本技术参数</b> .....	(252)
<b>附录二 经纬仪系列的分级及基本技术参数</b> .....	(253)

附录三 光电测距仪系列及基本技术参数.....	(254)
附录四 子午线收敛角系数表.....	(256)
附录五 测量计算中数字的凑整规则.....	(257)
主要参考文献.....	(257)

# 第一章 绪 论

## § 1-1 测量学的任务及其在建筑工程中的作用

测量学是研究地球的形状和大小，以及确定地面点（近地点、地下点等）相对位置的科学。主要内容分测定和测设两个部分。测定是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算，获得一系列数据信息作为成果，或者把采集的地面图形信息缩绘成图。这些成果可供科学研究、经济建设和国防建设使用。测设是把设计好的建（构）筑物位置的数据或图纸上的图形位置标定在地面上，作为施工的依据。

测量学伴随着科学和生产的发展，根据其研究范围和任务的不同，分支学科越来越多，概括起来主要有大地测量学、摄影测量学、工程测量学和地图制图学。

1. 大地测量学 研究地球的形状和大小及其重力场的科学。近年来伴随着空间技术的发展又分为常规大地测量学和卫星大地测量学。

2. 摄影测量学 研究利用摄影或遥感的技术获取地貌和地物的影像，从而研究其位置的科学。又分为地面摄影测量学、航空摄影测量学、水下摄影测量学和航天摄影测量学等。

3. 工程测量学 研究解决工程建设中各种测量问题的科学。它主要的任务是研究施工放样、安装定位、运营监测、竣工验收和建（构）筑物的变形观测等。伴随着经济建设的发展，现代大型工程的不断出现，工程建设中的测量问题越来越多，因而，为了专门解决不同工程的测量问题，工程测量学又分为矿山测量学、水利工程测量学、海洋工程测量学等等分支学科。

4. 地图制图学 主要研究地图的投影编制理论和印刷出版等问题。它又分为地图投影学、地图编绘学和地图制印学。

综上所述，测量学不仅研究测量问题，而且还研究如何制图的问题。有的称之为测绘学。它是一门为人类了解自然、改造自然的应用科学。它的应用很广泛：在军事方面，诸如战略的部署，战役的指挥，甚至现代化武器的发射，都要使用地形图（或电子地形图）和测量的成果信息；在经济建设方面，如资源的调查、开发，铁路、公路的建设，水利工程的兴修，都需要测量成果为它服务；在科学研究方面，如空间科学技术的研究，地壳变形、地球自转、海岸线的变迁、地震预报，以及地极周期性运动等的研究，都要用到测绘成果。

测绘学科在工程建设中应用也很广泛，并且贯穿建设的全过程。例如，在工程的勘测设计阶段，要使用各种比例尺的地形图和测量成果去进行规划、选址、选线和设计；在施工阶段，首先要将设计的建（构）筑物的平面位置和高程测设于实地，据此进行施工、安装；施工结束后，还要进行竣工测量，并要编绘竣工图。即使工程竣工之后，对于大型、高层或重要建筑物来说，还要进行变形观测。



## § 1-2 测量学的发展简史

科学的产生和发展是由生产决定的，测绘科学也不例外，它是人类同自然界斗争经验的结晶。由于生活和生产的需要，古代很早以前测量工作已经被用于实际，为生产的发展作出了贡献。

17世纪时，生产力得到了某些程度的解放，科学技术有所发展，测绘科学在各学科的相互促进下，也发展较快。例如带望远镜的测量仪器相继问世，用三角测量方法减少边长量测工作量的控制网开始使用；用高精度的弧度测量已证明地球为椭球。17世纪以后，不管在测量理论、测量方法和测量仪器方面都有新的发展。但是，此时测绘工作仍然处于手工生产方式，劳动强度大，效率低。20世纪初，由于飞机的出现，促进了航空摄影测量学的发展，从而使测绘地形图工作的一部分，由野外转入室内进行，为摆脱落后的测图方式开辟了前景。

20世纪50年代开始，由于新的技术发展，如电子学、信息论、相干光理论，电子计算机，以及空间科学技术的应用，进一步推动了测绘科学的发展。诸如光波测距、红外测距、激光测距的应用，引起了量距工作的变革。40年代自动安平水准仪的问世，使水准测量向自动化迈进了一步。1968年生产的电子经纬仪，为自动测角、记录和数据处理创造了条件。

由于航天技术的发展，使测量工作向广阔的高空间延伸，如卫星大地测量和卫星像片的应用，不但使洲际之间、岛屿之间可以联测，还可对地球的大板块进行有效的监测，而不受地理和气象条件的限制。

20世纪80年代开始，全球定位系统(GPS)问世，到今天相对定位精度已达到毫米级，并且在两点间无需通视的条件下，就可测定点位，大大地降低了测量费用和提高了测量的效率。

伴随着电子技术和微处理机的发展，测量平差和数据处理工作进入了新的时代，并且建立了测量信息管理系统，使测量内业工作趋入高度的自动化和现代化。

测量仪器的发展也十分迅速，除全站型电子速测仪可以使外业工作自动记录、计算和贮存数据外，还可用电子速测仪进行三维自动化测量，与室内计算机联机，由数控绘图桌绘出地形图或其它图件，形成地面自动绘图系统。

近年来，又出现了数字水准仪和智能经纬仪，使望远镜的瞄准目标也能自动控制，由此可见，水准仪测高程、经纬仪测角度进入全自动化的时代已为期不远。

另外，由于大型高精度工程的出现，对测量精度的要求也越来越高。距离测量的精度，除ME 5000高精度测距仪达到 $\pm(0.2\text{mm}+0.2\text{ppm})^*$ 之外，测距仪器distancer的精度可达到 $\pm 0.03\text{mm}$ 。

总之，测绘科学和其它科学一样，在高新技术发展的今天，已进入了一个崭新的阶段，并向着高度自动化、多功能化和高精度化的方向发展。

---

\* 本书中  $\text{ppm} = 10^{-6}$  是测绘学科的习惯用法。

## § 1-3 地面点位的确定

### 一、地球的形状和大小

要测定地面点的相对位置，首先要了解地球的形状和大小，在此基础上确定一个基准面，在该面上建立统一的坐标系统，在此系统中才能确定点与点的相对位置。

但是，地球的自然表面很不规则，有高山、丘陵，有海洋、洼地，高山高出海面可达 8848.13m，最低的海沟低于海水面 11022m，起伏之差近 20000m，但相对于半径约为 6371km 的地球来说，还是很小的，仍然可把地球看作像雏皮橘子一样的光滑球体。况且，地球表面上海洋水面占整个地球表面的 71%，所以，人们常把地球设想为静止海水面包围的形体。

自由静止的水面称为水准面，这个面为一个重力等位面，处处与重力方向线即铅垂线正交。水准面的切面是水平面，在水平面上任何方向的距离都是水平距离。水准面有无穷多个，把其中一个与静止的平均海水面重合，并假想向大陆、岛屿延伸而形成的封闭曲面（图 1-1a），称为大地水准面。大地水准面包围的形体，称大地体。

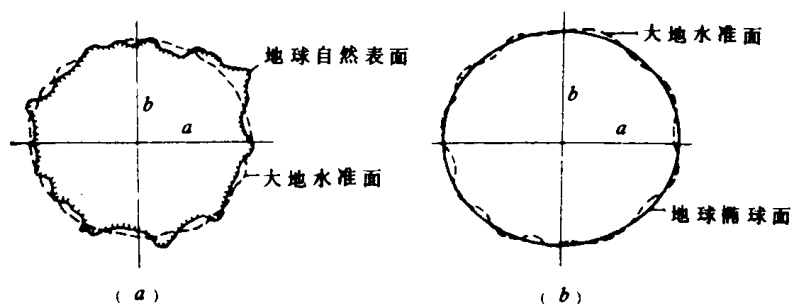


图 1-1

用大地体表示地球形体是恰当的。但由于地球内部质量分布不均匀，从而引起重力方向产生不规则的变化，使处处与重力方向垂直的大地水准面成为一个复杂的封闭曲面，如图 1-1a，人们无法在这一曲面上进行测量数据的处理。

通常人们设想用一个与大地水准面非常逼近的旋转椭球面，来代替大地水准面，如图 1-1b，称为地球椭球面。该面可作为测量和数据处理的基准面。它是一个具有一定长半径和短半径的椭圆，绕短半径旋转而成的旋转椭球，如图 1-2。其形状和大小由长半径  $a$  和短半径  $b$  及其扁率  $\alpha$  表示，1983 年国际大地测量和地球物理联合会推荐的地球元素值：

长半径  $a = 6378136\text{m}$

扁率  $\alpha = (a - b)/a = 1/298.257$

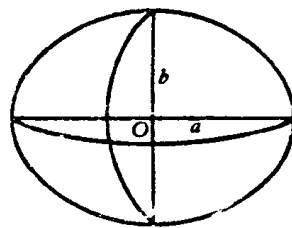


图 1-2

地球椭球的扁率很小，在小范围内进行测量时，可近似地把地球看作圆球，其半径约为 6371km。

## 二、确定地面点位的方法

地面上各种地物和地貌都是不同形状的面连接而成，这些面又由代表性的点连接的线所决定，因此，确定地面上任何地形（地物和地貌）的位置，实际上就是确定地面点的位置。

在测量工作中，也和数学上一样，确定一个地面点的位置要用平面坐标和高程表示。如图 1-3，地面点  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$  沿垂线方向投影到基准面上，得到其投影位置  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ 。同时，把  $A$ 、 $B$ ……点到大地水准面的铅垂距离  $H_A$ 、 $H_B$ ……作为高程（图 1-4），即可表示地面点的空间位置。

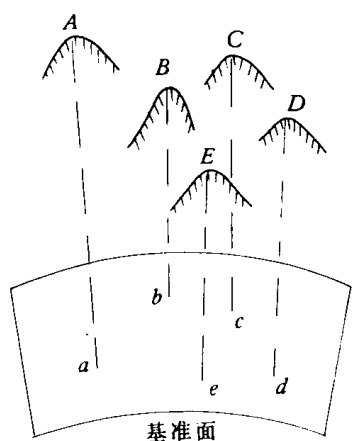


图 1-3

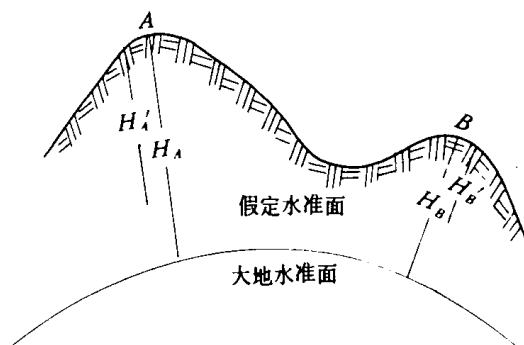


图 1-4

### 1. 高程

地面点到大地水准面的铅垂距离，称绝对高程，简称高程，又称海拔，如图 1-4 中  $A$ 、 $B$  两点的高程分别为  $H_A$  和  $H_B$ 。海水面是个运动的水面，平均海面是长期观测海水面的高低变化后取其平均值而得到的。我国在青岛黄海口设立验潮站，观测海水面的变化，平均海面取自 1953 年至 1977 年的平均值作为高程的起算面，称“1985 国家高程基准”，并推算出青岛水准原点的高程为 72.260m，全国各地均以此基准进行测量，“1956 年黄海高程系”已同时宣布废止使用。采用任意假定的水准面为高程的起算面，所得高程为假定高程，如图 1-4 中的  $H'_A$ 、 $H'_B$ ，又称相对高程。

两地面点的高程之差称为高差，如图 1-4 中的  $A$ 、 $B$  高程差

$$H_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-1)$$

由式 (1-1) 可以看出，高差与高程起算面无关。

### 2. 地理坐标

地面点在大地水准面上的球面坐标，分别用天文经度  $\lambda$  和天文纬度  $\varphi$  表示，它以垂线为基准线。地面点在地球椭球面上的球面坐标分别用大地经度  $L$  和大地纬度  $B$  表示，它以法线为基准线。两种地理坐标的差别是一个投影在大地水准面上，一个投影在地球椭球上，且

基准线也有不同。不管哪种地理坐标，都可确定地面点在地球上的位置。

### 3. 平面直角坐标

当在小范围的地区进行测量时，可以不考虑地球曲率的影响，直接将大地水准面当作水平面处理，如图 1-5，用平面直角坐标  $x$ 、 $y$  确定地面点的位置。先以测区中的  $a$  为中心， $a$  的切平面  $P$  代替水准面  $N$ ，以测区西南角作为原点，以南北方向为纵 ( $x$ ) 轴，以北为正；以东西方向为横 ( $y$ ) 轴，以东为正。如图 1-6 所示  $P$  点的坐标记为  $x_P$ 、 $y_P$ ，其象限编号为顺时针序号，与数学上的规定不同，但数学上的公式可不作任何改变就可使用。

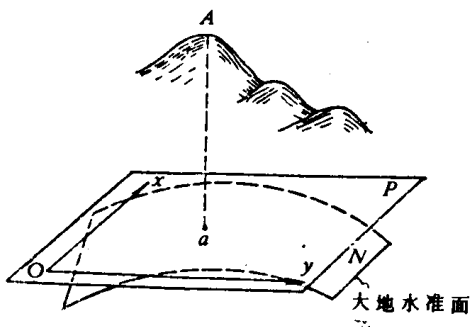


图 1-5

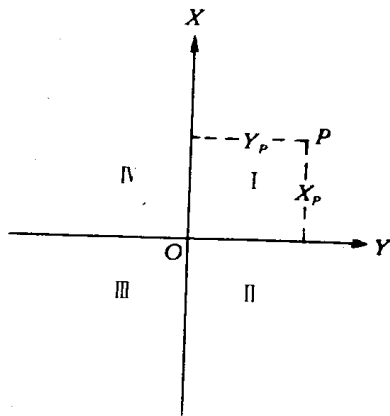


图 1-6

### 4. 高斯平面直角坐标

当测区面积较大时，用地理坐标计算地面点位不方便。如果要使用平面直角坐标表示地面点位，必须考虑地球曲率的影响，因而要采取适当的投影方法解决这个问题。通常多采用高斯投影方法。

为了使投影变形小，先将地球自首子午线开始，每经差  $6^\circ$  划为一带，形似瓜瓣，共分为 60 带。从首子午线起由西向东顺次编号，计 60 号，如图 1-7。每一个  $6^\circ$  带中央的子午线称为中央子午线。 $6^\circ$  带中央子午线的经度可由下式计算：

$$L_0 = 6^\circ N - 3^\circ \quad (1-2)$$

式中： $N$  为投影带的号码。

高斯投影是假想有一个空心的椭圆截面的横圆筒，其截面的形状和大小与地球纵截面完全密合（图 1-8a），将横圆筒套在地球上使横圆筒的中心线通过地球球心，并使地球椭球上某一  $6^\circ$  带的中央子午线与横圆筒相切。然后将地球上该  $6^\circ$  带的图形全部投影到横圆筒上，但要保持两者的图形等角。如图 1-8b 所示，将横圆筒沿南北极的母线切开，展成平面，便得到  $6^\circ$  带在平面上的图形。在

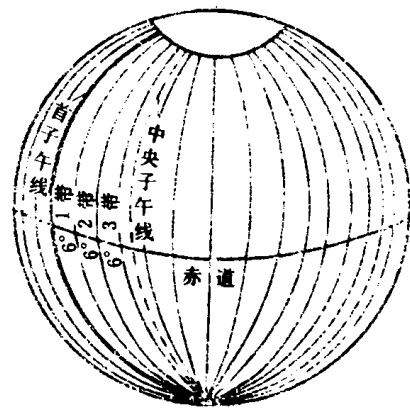


图 1-7

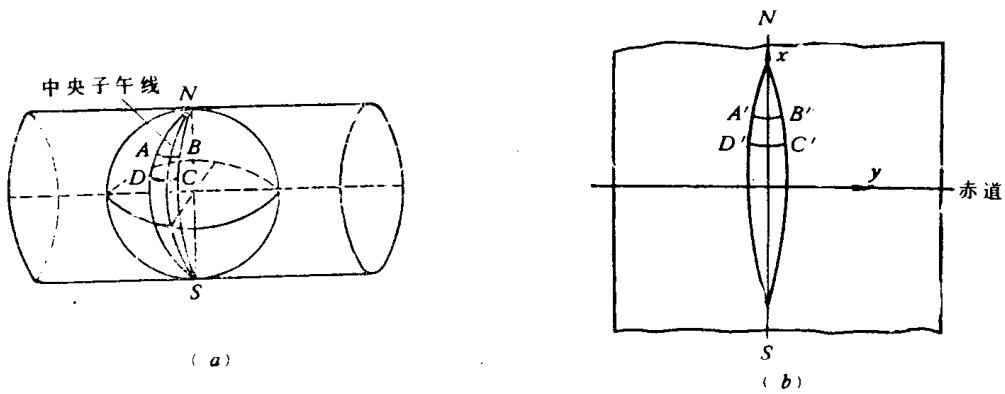


图 1-8

该图上中央子午线经投影后是一条直线。赤道经展开后，也是一条直线。以中央子午线作为纵轴—— $x$ 轴，以与其垂直的赤道作为横轴—— $y$ 轴，两轴的交点作为原点，便组成高斯平面直角坐标系。按 $6^\circ$ 分带可组成60个高斯平面直角坐标系，如图1-9。

除了中央子午线和赤道之外，其余子午线投影之后，均为曲线，且离中央子午线越远长度变形越大。为了满足大比例尺测图和高精度工程测量的需要，有时采用 $3^\circ$ 分带（图1-10）。其中央子午线的经度

$$L'_0 = 3^\circ n \quad (1-3)$$

式中  $n$  为 $3^\circ$ 带的带号。

我国位于北半球，纵坐标  $x$  全为正值， $y$  坐标值则有正有负，如图1-11a， $A$ 点在中央子午线以东， $y_A = +147600\text{m}$ ， $B$ 点在中央子午线以西， $y_B =$

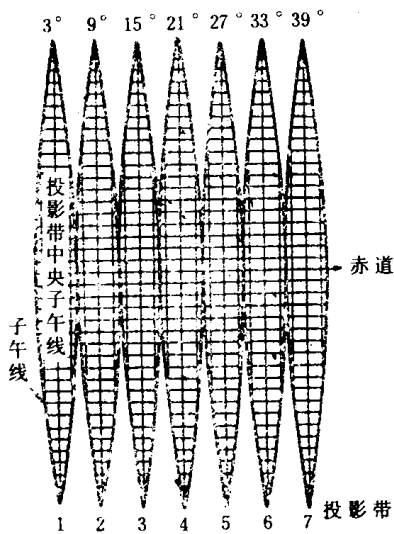


图 1-9

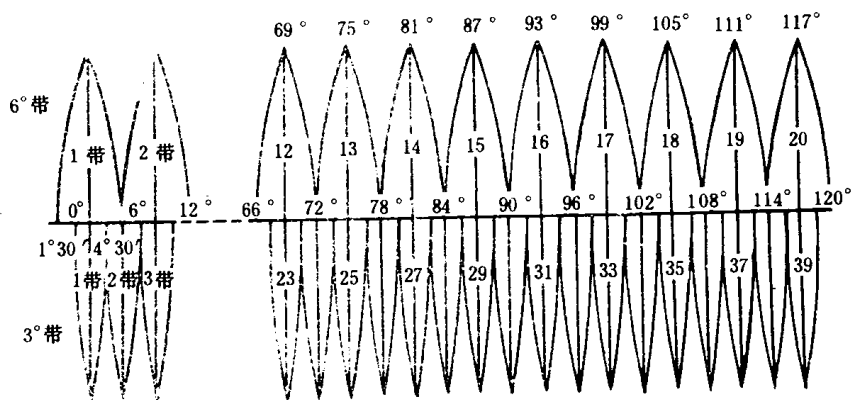


图 1-10

-284440m, 这些值称为自然值。为了使  $y$  值不出现负值, 规定把坐标纵轴向西移 500km (图 1-11b), 则

$$y_A = 500000 + 147600 = 647600\text{m}$$

$$y_B = 500000 - 284440 = 215560\text{m}$$

为了由某点横坐标识别出它在哪一个  $6^\circ$  带的坐标系中, 便规定在横坐标之前冠以带号, 例如, A 点位于 19 带, 则  $y_A = 19647600\text{m}$ 。

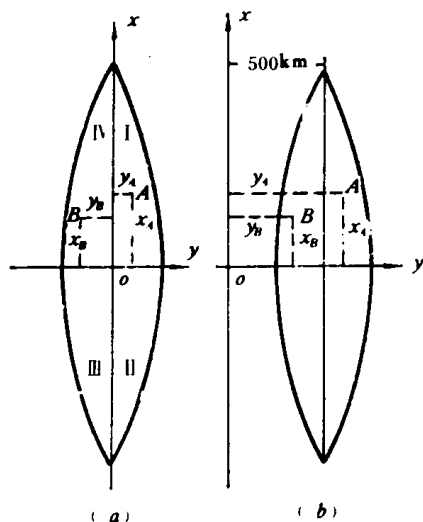


图 1-11

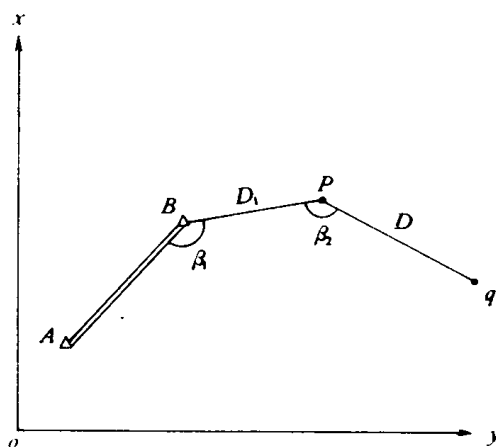


图 1-12

### 三、确定地面点位的三个基本要素

在实际工作中, 确定地面点位时, 往往不是直接测出它们的坐标和高程, 而是先测出水平角、水平距离, 以及点之间的高差, 然后再据此推算地面点的坐标和高程。如图 1-12 所示, 地面点  $P$ 、 $Q$  在基准面上的投影位置是  $p$ 、 $q$ , 测出水平角  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ , 水平距离  $D_1$ 、 $D_2$  以及高差  $h$ , 就可根据已知点  $A$ 、 $B$  的坐标和高程, 计算出  $p$ 、 $q$  两点的坐标和高程从而确定它们的点位。

由此可见, 距离、角度 (方向) 和高差是测定地面点位的基本要素, 是测量的基本对象。

伴随着科学的发展和高新技术在测绘工作中的应用, 特别是全球定位系统 (GPS) 的广泛应用, 可以直接测定坐标和高程, 无需分别测定各要素了。

## § 1-4 用平面代替水准面的限度

测区小, 地球曲率的影响则小, 当地球曲率的影响小于测量误差时, 才允许用水平面代替水准面, 而不考虑地球曲率的影响。现在讨论用水平面代替水准面范围大小的限度。

## 一、地球曲率对水平距离的影响

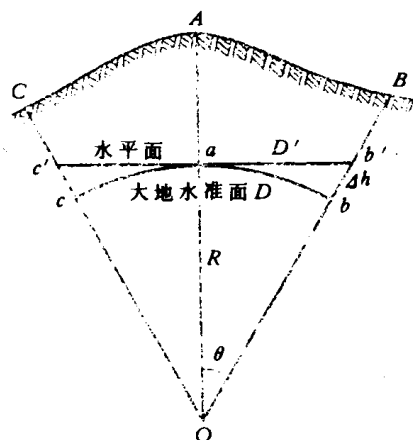


图 1-13

因  $\theta = \frac{D}{R}$ , 故

如图 1-13,  $C$ 、 $A$ 、 $B$  三个地面点, 在大地水准面上的投影为  $c$ 、 $a$ 、 $b$ , 现用测区中心的切平面  $c'$ 、 $a$ 、 $b'$  代替水准面  $c$ 、 $a$ 、 $b$ 。设  $A$ 、 $B$  两点在水准面上的距离为  $D$ , 在水平面上的距离为  $D'$ , 两者之差为  $\Delta D$ , 则

$$\Delta D = D' - D = R(\operatorname{tg}\theta - \theta) \quad (1-4)$$

式中  $R$  为水准面的半径, 约为 6371km。

由式 (1-4) 中, 已知

$$\operatorname{tg}\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$$

因  $\theta$  角很小, 只取前二项, 代入式 (1-4), 得

$$\Delta D = R\left(\theta + \frac{1}{3}\theta^3 - \theta\right) = \frac{R}{3}\theta^3$$

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-5)$$

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-6)$$

按式 (1-5)、(1-6), 代入  $R$  和不同的  $D$  值, 列表如下:

表 1-1

$D$ (km)	$\Delta D$ (cm)	$\Delta D/D$
10	0.8	1 : 1220000
20	6.6	1 : 300000
50	102.6	1 : 48700
100	821.2	1 : 12000

由表 1-1 中看出, 当  $D$  为 10km 时, 用水平面代替水准面产生的距离误差为 8mm, 相对误差为 1/122 万, 这对于精密量距来说也是允许的。因此, 在 10km 为半径的圆面积内, 可以用水平面代替水准面。对于一般工程测量和地形测量来说, 在 20km 为半径的圆面积内, 也可用水平面代替水准面。

## 二、地球曲率对高程的影响

如图 1-13 所示, 地面点  $B$  的高程应是  $Bb$ , 用水平面代替水准面时,  $B$  点的高程为  $Bb'$ , 两者之差为  $\Delta h$ , 即

$$\Delta h = Bb - Bb' = ob' - ob = R\sec\theta - R = R(\sec\theta - 1) \quad (1-7)$$

将  $\sec\theta$  展开,  $\sec\theta = 1 + \frac{1}{2}\theta^2 + \frac{5}{24}\theta^4 + \dots$ , 因  $\theta$  很小,

仅取前两项代入式 (1-7), 又顾及  $\theta = D/R$ , 故

$$\Delta h = R(1 + \frac{1}{2}\theta^2 - 1) = \frac{D^2}{2R} \quad (1-8)$$

以不同的  $D$  值代入式 (1-8), 便得到表 1-2 中的数据。

表 1-2

$D$ (km)	0.2	0.5	1	2	3	4	5	6
$\Delta h$ (cm)	0.31	2	8	31	71	125	196	283

从表 1-2 中可看出, 当用水平面代替水准面时, 对高程的影响是很大的, 距离 200m, 就有 3.1 mm 的高程误差, 对一般的水准测量来说, 也是不允许的, 因此, 在高程测量工作中, 即是距离很短, 也应顾及地球曲率对高程的影响。

### 三、地球曲率对水平角的影响

球面三角形的三个内角之和是  $180^\circ$  加球面角超  $\epsilon''$ , 而  $\epsilon'' = \frac{S}{R^2}\rho''$ , 其大小与三角形的面积  $S$  成正比, 与球面的曲率半径  $R$  的平方成反比, 而  $R$  为地球的平均半径 6371km。由此可算出  $S=100\text{km}^2$  的球面三角形, 由于曲率而引起的水平角的角超为  $0.5''$ 。这对一般测量工作来说可忽略不计。因此, 在  $100\text{km}^2$  的范围内可把水准面当成平面, 测水平角可不顾及地球曲率的影响。

## § 1-5 测量工作概念

地面上高低起伏, 千变万化的形态称为地貌, 如山岭、谷地、悬崖、陡壁等。地面上复杂多样的固定性物体称为地物, 如房屋、道路、河流、湖泊等。测量工作的内容之一, 就是把地物、地貌测绘成地形图。

图 1-14a 为一幢房屋, 其位置由轮廓线的线段围成, 测定其位置时, 只需测定轮廓线的拐点 1、2……6 即可; 图 1-14b 是马路, 只要测定马路的拐角点和方向点就可以确定其位置。

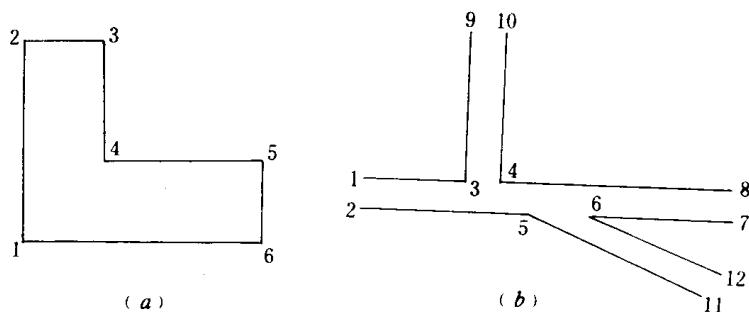


图 1-14



地貌，不管是山顶、山脊，还是山谷、洼地，都是由不同坡度、不同方向，不同大小的平面相交而成的几何体，相邻平面的交线是方向变化线和坡度变化线，只要测定这些变化线交点的平面位置和高度，就可以表示出地貌的形状和范围。

总之，不论地物还是地貌，都是由一些反映其特征变化的点位确定的，这些点称为特征点，也称碎部点。测绘地形图时，主要就是测绘这些点的平面位置和高度。

如图 1-15 所示，测量时，先在测区内布设一些有控制意义的点，如 1、2、3……6 点，用比较精密的方法测出这些点的位置，这些点称为控制点，测量这些点的工作称控制测量。

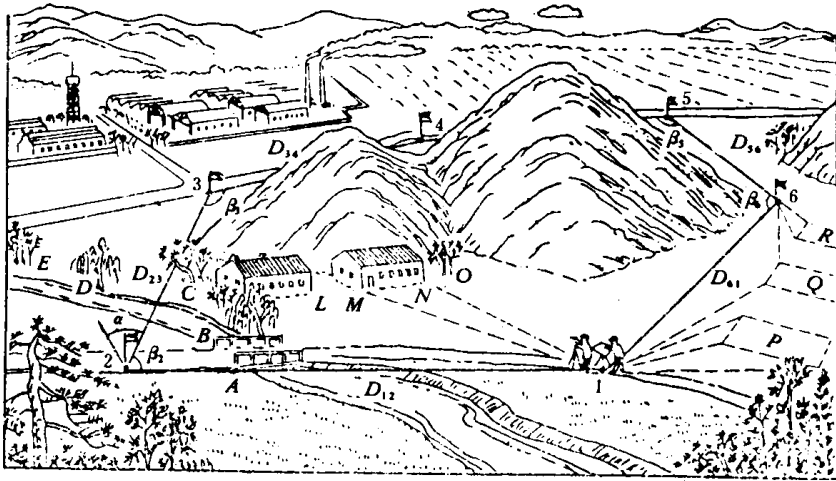


图 1-15

根据这些控制点，测量碎部点相对于控制点的位置，例如，在控制点 1 上，测定其周围碎部点  $L$ 、 $M$ 、 $N$  等；在控制点 2 上，测定其周围碎部点  $A$ 、 $B$  等；依次测出测区内地物、地貌的碎部点。测碎部点的工作称碎部测量。

综上所述，这种从整体着手，先布设控制点，进行控制测量，然后再测定局部的碎部点的工作方式，可以减少测量误差的积累，保证测量工作的质量。另外，可以同时几个控制点上同时进行测量，提高工作效率。这种工作方式称为“由整体到局部”，“先控制后碎部”的测量原则。

测量工作是一项细致的工作，如有不慎，发生错误，势必影响下一步的工作，有时会造成巨大损失。因此，测量工作必须每一步，每一项都要进行认真的检核。为此，测量工作规定，“前一步工作未作检查不进行下一步工作”，这是测量工作的又一原则。

测量工作分内业和外业。外业是利用测量仪器和工具，在测区进行测量，采集数据和进行有关的测绘工作。内业是对外业采集的数据、草图、像片等原始资料进行处理的有关工作。

测量工作的程序是先进行控制测量，然后进行碎部测量。

上述测量工作的原则和程序不仅适用于测定工作，也适用于测设工作。