

///

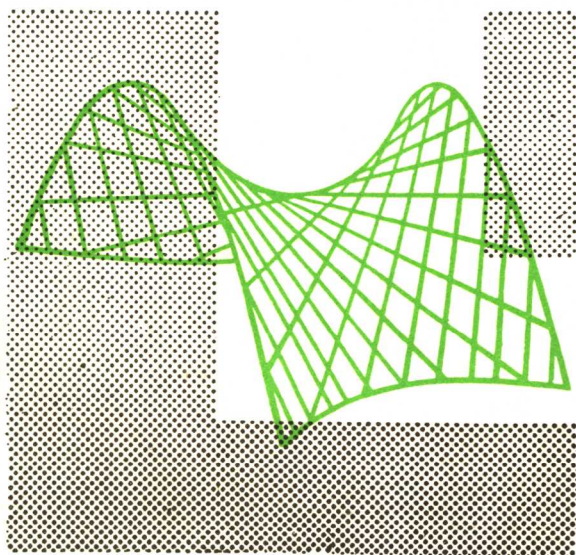
高等学校教学用书

测量学

(第四版)

合肥工业大学 重庆建筑大学
天 津 大 学 哈尔滨建筑大学 合编

● 中国建筑工程出版社



测量学

测量学

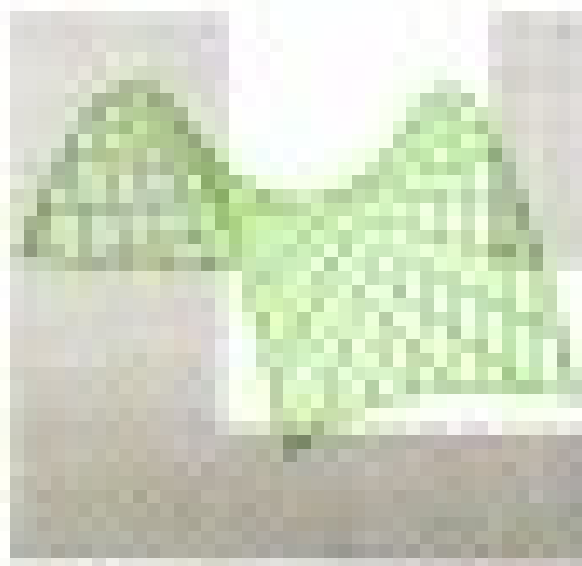
——

第1版

测量学 测量学 测量学
测量学 测量学 测量学

第1版

测量学 测量学 测量学



高等学校教学用书

测量学

(第四版)

合肥工业大学
重庆建筑大学
天津大学
哈尔滨建筑大学

合编

中国建筑工业出版社

第四版前言

近年来,随着全国改革开放形势的发展,测绘技术的发展也是日新月异。为使教材紧密结合实际,为新形势下的经济建设服务,特对《测量学》重新修订,出版第四版。

此次修订,仍保持第三版的教材体系。即加强测量学的基本知识、基本理论和基本概念,以及地形图应用和施工测量,相对地减弱控制测量及地形测绘。在内容上,删除了地下建筑工程测量及相对陈旧的视距测量计算表、激光定位仪器基本知识等,增加了地籍测量和复杂民用建筑物施工放样等内容。测量新技术方面,在原有光电测距、电子经纬仪和激光定位仪器的基础上,又介绍了全站型速测仪和GPS全球定位测量,以拓宽学生的知识面。误差理论仍引进概率知识,以求概念清晰,并运用误差理论对各种测量工作进行了误差分析。为了便于教学,书后附有习题、实验及测量教学实习。

本书由合肥工业大学、重庆建筑大学、天津大学和哈尔滨建筑大学合编,刘肇光、宗封仪主编。执笔人为刘肇光(第一、四、七章)、宗封仪(第五、九章)、陈荣臻(第二章)、李国燮(第三章)、陈福山(第六章)、苏辉岳(第八章)、郭传镇(第十、十一章)、陈荣林(第十二章)、高飞(第十三章)、解树寰(测量实验及实习)。

在修订过程中,参考了国内外有关教材及参考书。全书由西南交通大学傅晓村教授和同济大学都彩生副教授主审,并得到了建设部教育司和建筑工程学科专业指导委员会的指导和帮助,在此一并致谢。由于编者水平所限,书中难免存在缺点和错误,敬请读者指正。

第一版前言

本书是根据在合肥召开的建筑类测量学教材编写会议拟定的编写大纲编写而成的，适用于工业与民用建筑、建筑学、给水排水、地下建筑、城市规划、农村建筑等专业。全书共分十四章，第一至第五章介绍测量学的基本知识、基本理论及测量仪器的构造和使用；第六至第九章介绍控制测量以及大比例尺地形图的测绘和应用；第十至第十三章为施工测量部分，着重介绍了工业与民用建筑工程、管道工程以及地下建筑工程中的测量工作，各专业可根据专业需要选用；第十四章是光电技术在工程测量中的应用，介绍了光电测距仪、激光脉冲式测距仪、激光经纬仪、激光水准仪及台式测地专用计算机的原理、构造和使用。为满足教学的需要，每章之后附有思考题和习题。

本书由合肥工业大学、重庆建筑工程学院、天津大学、哈尔滨建筑工程学院、清华大学等五院校的测量教研室合编，并由合肥工业大学测量教研室主编。执笔人是刘肇光（第一、四、七章）、王依（第二章）、谭福薰（第三章）、宗封仪（第五章）、陈福山（第六章）、宛梅华（第八章）、邵士珍（第九章）、龙启涛（第十、十一章）、陈荣林（第十二章）、李德成（第十三章）和杨德麟、王依、何文吉（第十四章）。

本书于1978年在长沙和杭州分别召开了审稿和定稿会议，由湖南大学范杏琪、浙江大学张勇升、同济大学都彩生主审。参加审稿会的还有刘翰生、王秉礼、丁惟坚、傅晓村、林则政、羌荣林等。

在本书编写过程中，还得到了北京建筑工程学院、武汉建筑材料工业学院、西安冶金建筑学院、郑州工学院、江西工学院、华东交通大学等兄弟院校的协助，在此一并致谢。

由于编者的水平所限，书中可能存在不少缺点和错误，谨请读者批评指正。

编 者

1979年3月

目 录

第一章 绪论	1
1-1 测量学的任务及其在建筑工程中的作用	1
1-2 我国测量学发展概况	2
1-3 地面点位的确定	3
1-4 用水平面代替水准面的限度	7
1-5 测量工作概述	9
第二章 水准测量	11
2-1 水准测量原理	11
2-2 水准测量的仪器和工具	11
2-3 水准仪的使用	15
2-4 水准测量的外业	16
2-5 水准测量的内业	20
2-6 精密水准仪和水准尺	22
2-7 自动安平水准仪	23
2-8 微倾式水准仪的检验与校正	25
2-9 水准测量的误差分析	28
第三章 角度测量	31
3-1 水平角测量原理	31
3-2 DJ6级光学经纬仪	31
3-3 DJ2级光学经纬仪	35
3-4 水平角观测	37
3-5 竖直角观测	41
3-6 水平角测量的误差	45
3-7 经纬仪的检验和校正	48
3-8 电子经纬仪简介	51
第四章 距离测量与直线定向	55
4-1 钢尺量距的一般方法	55
4-2 钢尺量距的精密方法	57
4-3 钢尺量距的误差分析	61
4-4 光电测距仪简介	62
4-5 直线定向	68
4-6 用罗盘仪测定磁方位角	71
第五章 测量误差的基本知识	74
5-1 测量误差概述	74
5-2 衡量精度的指标	77
5-3 误差传播定律	82

5-4	等精度直接观测值的最可靠值	85
5-5	权	87
第六章	小地区控制测量	92
6-1	控制测量概述	92
6-2	导线测量	94
6-3	小三角测量	104
6-4	角度前方交会法	110
6-5	三、四等水准测量	112
6-6	三角高程测量	115
第七章	地形图的基本知识	119
7-1	地形图的比例尺	119
7-2	地形图的分幅与编号	122
7-3	地形图图外注记	125
7-4	地物符号	126
7-5	地貌符号——等高线	129
7-6	地籍图的基本知识	133
第八章	大比例尺地形图的测绘	137
8-1	测图前的准备工作	137
8-2	视距测量	138
8-3	小平板仪的构造与使用	141
8-4	碎部测量的方法	142
8-5	地形图的绘制	146
8-6	地籍测量简介	148
8-7	全站型电子速测仪	152
8-8	航空摄影测量简介	154
第九章	地形图的应用	159
9-1	地形图的识读	159
9-2	地形图应用的基本内容	160
9-3	图形面积的量算	162
9-4	按一定方向绘制纵断面图	167
9-5	在地形图上按限制的坡度选定最短线路	167
9-6	在地形图上确定汇水面积	168
9-7	地形图在平整土地中的应用	168
第十章	测设的基本工作	174
10-1	水平距离、水平角和高程的测设	174
10-2	点的平面位置的测设	177
10-3	已知坡度直线的测设	179
10-4	圆曲线的测设	180
第十一章	工业与民用建筑中的施工测量	185
11-1	施工测量概述	185
11-2	建筑场地上的施工控制测量	186
11-3	民用建筑施工中的测量工作	189

11-4	复杂民用建筑物施工测量	192
11-5	工业厂房控制网的测设	196
11-6	厂房柱列轴线的测设和柱基施工测量	197
11-7	工业厂房构件的安装测量	198
11-8	高层建筑物施工测量	201
11-9	激光定位技术在施工测量中的应用	203
11-10	建筑物的沉降观测与倾斜观测	207
11-11	竣工总平面图的编绘	211
第十二章	管道工程测量	214
12-1	管道工程测量概述	214
12-2	管道中线测量	214
12-3	管道纵横断面图测绘	217
12-4	管道施工测量	224
12-5	顶管施工测量	227
12-6	管道竣工测量	229
第十三章	GPS全球定位系统简介	233
13-1	概述	233
13-2	GPS全球定位系统的组成	234
13-3	GPS坐标系统	236
13-4	GPS定位原理	237
13-5	GPS测量的实施	241
附录: 测量实验与实习		245
第一部分	测量实验与实习须知	245
第二部分	测量实验及课堂作业	247
第三部分	测量教学实习	268

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（包含空中、地下和海底）点位的科学。它的内容包括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，得到一系列测量数据，或把地球表面的地形缩绘成地形图，供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设使用。测设是指把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来，作为施工的依据。

测量学按照研究范围和对象的不同，产生了许多分支科学。例如，研究整个地球的形状和大小，解决大地区控制测量和地球重力场问题的，属于大地测量学的范畴。近年来，因人造地球卫星的发射和科学技术的发展，大地测量学又分为常规大地测量学和卫星大地测量学。测量小范围地球表面形状时，不顾及地球曲率的影响，把地球局部表面当作平面看待所进行的测量工作，属于普通测量学的范畴。利用摄影像片来测定物体的形状、大小和空间位置的工作，属于摄影测量学的范畴。由于获得像片的方式不同，摄影测量学又可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。特别是由于遥感技术的发展，摄影方式和研究对象日趋多样，不仅是固体的、静态的对象，即使是液体、气体以及随时间而变化的动态对象，都可应用摄影测量方法进行研究。以海洋和陆地水域为对象所进行的测量和海图编制工作，属于海洋测绘学的范畴。研究工程建设中所进行的各种测量工作，属于工程测量学的范畴。利用测量所得的成果资料，研究如何投影编绘和制印各种地图的工作，属于制图学的范畴。本教材主要介绍普通测量学及部分工程测量学的内容。

测绘科学应用很广：在国民经济和社会发展规划中，测绘信息是最重要的基础信息之一，各种规划及地籍管理，首先要有地形图和地籍图。另外，在各项工农业基本建设中，从勘测设计阶段到施工、竣工阶段，都需要进行大量的测绘工作。在国防建设中，军事测量和军用地图是现代大规模的诸兵种协同作战不可缺少的重要保障。至于远程导弹、空间武器、人造卫星或航天器的发射，要保证它精确入轨，随时校正轨道和命中目标，除了应测算出发射点和目标点的精确坐标、方位、距离外，还必须掌握地球形状、大小的精确数据和有关地域的重力场资料。在科学实验方面，诸如空间科学技术的研究，地壳的形变、地震预报以及地极周期性运动的研究等，都要应用测绘资料。即使在国家的各级管理工作中，测量和地图资料也是不可缺少的重要工具。

测绘科学在建筑类各专业的工作中有着广泛的应用。例如：在勘测设计的各个阶段，要求有各种比例尺的地形图，供城镇规划、选择厂址、管道及交通线路选线以及总平面图设计和竖向设计之用。在施工阶段，要将设计的建筑物、构筑物的平面位置和高程测设于

实地，以便进行施工。施工结束后，还要进行竣工测量，绘制竣工图，供日后扩建和维修之用。即使是竣工以后，对某些大型及重要的建筑物和构筑物还要进行变形观测，以保证建筑物的安全使用。

工民建、给排水等专业的学生，学习本课程之后，要求达到掌握普通测量学的基本知识和基础理论；能正确使用工程水准仪、工程经纬仪等仪器和工具；了解大比例尺地形图的成图原理和方法；在工程设计和施工中，具有正确应用地形图和有关测量资料的能力和进行一般工程施工测设的能力，以便能灵活应用所学的测量知识为其专业工作服务。

1-2 我国测量学发展概况

我国是世界文明古国，由于生活和生产的需要，测量工作开始得很早。在测时方面，为了不误农时，远在颛顼高阳氏时就已开始观测日、月、五星，定一年的长短。春秋战国时编制了四分历，一年为 $365\frac{1}{4}$ 日，与罗马人采用的儒略历相同，但比其早四、五百年。

南北朝时祖冲之所测的朔望月为29.530588日，与现今采用的数值只差0.3秒。宋代杨忠辅编制的《统天历》，一年为365.2425日，与现代值相比，只有26秒误差。之所以能取得这样准确数据，在于公元前四世纪就已创制了浑天仪，用它来测定天体的坐标入宿度和去极度（相当于现代赤道坐标系统的赤经差和 $90^\circ - \text{赤纬}$ ）。汉代张衡改进了浑天仪，并著有《浑天仪图注》。元代郭守敬改进浑天仪为简仪。用于天文观测的仪器还有圭、表和复矩。用以计时的仪器有漏壶和日晷等。在地图测绘方面，由于行军作战的需要，历代帝皇都很重视。目前见于记载最早的古地图是西周初年的洛邑城址附近的地形图。周代地图使用很普遍，管理地图的官员分工很细。例如：“大司徒之职掌建邦之土地之图与其人民之数”，“小司徒之职掌建邦之法，…地讼，以图正之”，“土训，掌道地图，以诏地事”，“职方氏掌天下之图以掌天下之地”，“北人，掌金玉锡石之地而为之历禁以守之，若以时取之，则物其地图而授之”。战国时管仲著有《管子》一书，书内第十卷（地图第二十七）专门论述了地图的内容和重要用途。可是秦代以前的古地图都已失传，现在能见到的最早的古地图是长沙马王堆三号墓出土的公元前168年陪葬的古长沙国地图和驻军图，图上有山脉、河流、居民地、道路和军事要素。西晋时裴秀编制了《禹贡地域图》和《方丈图》，并创立了地图编制理论——《制图六体》。此后历代都编制过多种地图，其中比较著名的有：南北朝时谢庄创制的《木方丈图》；唐代贾耽编制的《关中陇右及山南九州等图》及《海内华夷图》；北宋时的《淳化天下图》；南宋时石刻的《华夷图》和《禹迹图》（现保存在西安碑林）；元代朱思本绘制的《舆地图》；明代罗洪先绘制的《广舆图》（相当于现代分幅绘制的地图集）；明代郑和下西洋绘制的《郑和航海图》；清代康熙年间绘制的《皇舆全览图》；1934年，上海申报馆出版的《中华民国新地图》等。我国历代能绘制出较高水平的地图，是与测量技术的发展有关连的。我国古代测量长度的工具有丈杆、测绳（常见的有地簕、云簕、和均高）、步车和记里鼓车；测量高程的仪器工具有矩和水平（水准仪）；测量方向的仪器有望筒和指南针（战国时期利用天然磁石制成指南工具——司南，宋代出现人工磁铁制成的指南针）。测量技术的发展与数理知识紧密关连。公元前问世的《周髀算经》和《九章算术》都有利用相似三角形进行测量的记载。三国时魏人刘徽所著

的《海岛算经》，介绍利用丈杆进行两次、三次甚至四次测量（称重差术），求解山高、河宽的实例，大大促进了测量技术的发展。我国古代的测绘成就，除编制历法和测绘地图外，还有：唐代在僧一行的主持下，实量了从河南白马，经过浚仪、扶沟到上蔡的距离和北极高度，得出子午线一度的弧长为132.31km，为人类正确认识地球作出了贡献。北宋时沈括在《梦溪笔谈》中记载了磁偏角的发现。元代郭守敬在测绘黄河流域地形图时，“以海面较京师至汴梁地形高下之差”，是历史上最早使用“海拔”观念的人。清代为统一尺度，规定二百里合地球上经线1°的弧长，即每尺合经线上百分之一秒，一尺等于0.317m。

中华人民共和国成立后，我国测绘事业有了很大的发展。建立和统一了全国坐标系统和高程系统；建立了遍及全国的大地控制网、国家水准网、基本重力网和卫星多普勒网；完成了国家大地网和水准网的整体平差；完成了国家基本图的测绘工作；完成了珠穆朗玛峰和南极长城站的地理位置和高程的测量；配合国民经济建设进行了大量的测绘工作，例如进行了南京长江大桥、葛州坝水电站、宝山钢铁厂、北京正负电子对撞机等工程的精确放样和设备安装测量。出版发行了地图1600多种，发行量超过11亿册。在测绘仪器制造方面，从无到有，现在不仅能生产系列的光学测量仪器，还研制成功各种测程的光电测距仪、卫星激光测距仪和解析测图仪等先进仪器。测绘人才培养方面，已培养出各类测绘技术人员数万名，大大提高了我国测绘科技水平。特别是近年来，我国测绘科技发展更快，例如GPS全球定位系统已得到广泛应用，全国GPS大地网即将完成；地理信息系统方面，我国第一套实用电子地图系统（全称为国务院国情地理信息系统）已在国务院常务会议室建成并投入使用；这说明我国目前的测绘科技水平，虽与国际先进水平相比，还有一定的差距，但只要发愤图强，励精图治，是能迅速赶上和超过国际测绘科技水平的。

1-3 地面点位的确定

一、地球的形状和大小

测量工作是在地球表面进行的，而地球自然表面很不规则，有高山、丘陵、平原和海洋。其中最高的珠穆朗玛峰高出海面达8848.13m，最低的马里亚纳海沟低于海面达11022m。但是这样的高低起伏，相对于地球半径6371km来说还是很小的。再顾及到海洋约占整个地球表面的71%，因此，人们把海面所包围的地球形体看作地球的形状。

由于地球的自转运动，地球上任一点都要受到离心力和地球引力的双重作用，这两个力的合力称为重力，重力的方向线称为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。静止的水面称为水准面，水准面是受地球重力影响而形成的，是一个处处与重力方向垂直的连续曲面，并且是一个重力场的等位面。与水准面相切的平面称为水平面。水面可高可低，因此符合上述特点的水准面有无数多个，其中与平均海面吻合并向大陆、岛屿内延伸而形成的闭合曲面，称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。由大地水准面所包围的地球形体，称为大地体。

用大地体表示地球体形是恰当的，但由于地球内部质量分布不均匀，引起铅垂线的方向产生不规则的变化，致使大地水准面成为一个复杂的曲面（图1-1a），无法在这曲面上进行测量数据处理。为了使用方便，通常用一个非常接近于大地水准面，并可用数学式表示的几何形体（即地球椭球）来代替地球的形状（如图1-1b）作为测量计算工作的基准面。

地球椭球是一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体，故地球椭球又称旋转椭球。如图 1-2，旋转椭球体由长半径 a （或短半径 b ）和扁率 α 所决定。我国目前采用的元素值为
长半径 $a=6378140\text{m}$

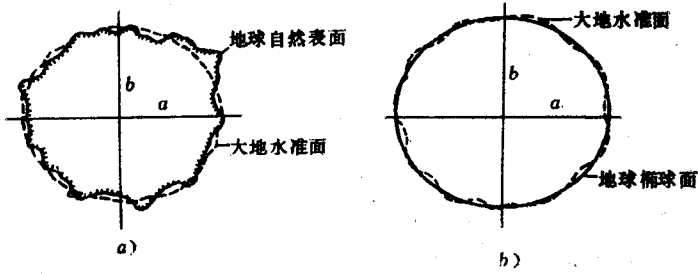


图 1-1

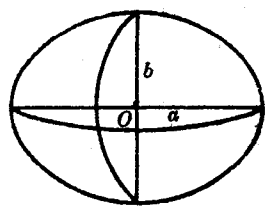


图 1-2

扁率 $\alpha=1:298.257$
其中 $\alpha=\frac{a-b}{a}$

并选择陕西泾阳县永乐镇某点为大地原点，进行了大地定位。由此而建立起来全国统一坐标系，这就是现在使用的“1980年国家大地坐标系”。

由于地球椭球的扁率很小，因此当测区范围不大时，可近似地把地球椭球作为圆球，其半径为6371km。

二、确定地面点位的方法

测量工作的基本任务是确定地面点的位置，确定地面点的空间位置需用三个量。在测量工作中，是将地面点 $A、B、C、D、E$ （图 1-3）沿铅垂线方向投影到大地水准面上，得到 $a、b、c、d、e$ 等投影位置。地面点 $A、B、C、D、E$ 的空间位置，就可用 $a、b、c、d、e$ 等投影位置在大地水准面上的坐标及其到 $A、B、C、D、E$ 的铅垂距离 $H_A、H_B、\dots$ 来表示。

1. 地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂距离，称为该点的绝对高程，或称海拔。图1-4中的 H_A 和

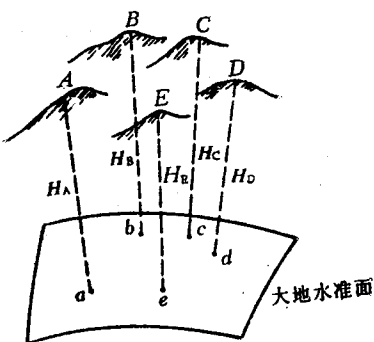


图 1-3

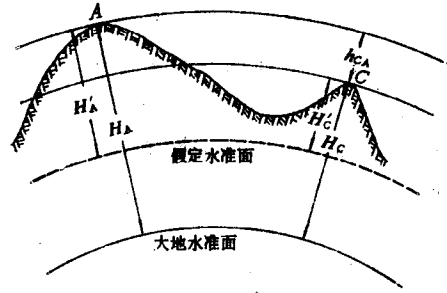


图 1-4

H_C 即为 A 点和 C 点的绝对高程。海水受潮汐和风浪的影响，是个动态的曲面。我国在青岛

设立验潮站, 长期观察和记录黄海海水面的高低变化, 取其平均值作为大地水准面的位置 (其高程为零), 并在青岛建立了水准原点。目前, 我国采用“1985年高程基准”, 青岛水准原点的高程为72.260m^①, 全国各地的高程都以它为基准进行测算。但1987年以前使用的是1956年高程基准, 利用旧的高程测量成果时, 要注意高程基准的统一和换算。

当个别地区引用绝对高程有困难时, 可采用假定高程系统, 即采用任意假定的水准面为起算高程的基准面。图1-4中地面点到某一假定水准面的铅垂距离, 称为假定高程。例如, A点的假定高程为 H'_A , C点的假定高程为 H'_C 。

两个地面点之间的高程差称为高差。地面点A与C之间的高差 h_{CA} 为

$$h_{CA} = H_A - H_C = H'_A - H'_C$$

由此可见两点间的高差与高程起算面无关。

2. 地面点在投影面上的坐标

地面点在地球椭球面上的坐标一般用球面坐标经度 L 和纬度 B 表示, 为了实用方便起见, 常采用平面直角坐标系来表示地面点位, 下面是常用的两种平面直角坐标系。

(1) 独立平面直角坐标系

大地水准面虽是曲面, 但当测量区域 (如半径不大于10km的范围) 较小时, 可以用测区中心点 a 的切平面来代替曲面 (图1-5), 地面点在投影面上的位置就可以用平面直角坐标来确定。测量工作中采用的平面直角坐标如图1-6所示。规定南北方向为纵轴, 并

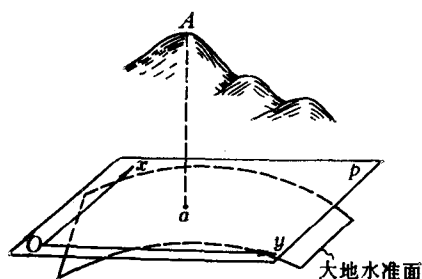


图 1-5

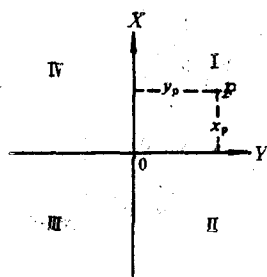


图 1-6

记为 x 轴, x 轴向北为正, 向南为负; 以东西方向为横轴, 并记为 y 轴, y 轴向东为正, 向西为负。地面上某点 P 的位置可用 x_P 和 y_P 来表示。平面直角坐标系中象限按顺时针方向编号, x 轴与 y 轴互换, 这与数学上的规定是不同的, 其目的是为了定向方便, 将数学中的公式直接应用到测量计算中, 不需作任何变更。原点 O 一般选在测区的西南角 (见图1-5), 使测区内各点的坐标均为正值。

(2) 高斯平面直角坐标系

当测区范围较大, 就不能把水准面当作水平面。把地球椭球面上的图形展绘到平面上来, 必然产生变形, 为使其变形小于测量误差, 必须采用适当的方法来解决这个问题, 测量工作中通常采用高斯投影方法。

高斯投影的方法是将地球划分成若干带, 然后将每带投影到平面上。如图1-7, 投影带是从首子午线 (通过英国格林尼治天文台的子午线) 起, 每经差 6° 划一带 (称为六度

① 1956年高程基准和青岛原水准原点高程为72.289m, 已由国测发[1987]198号文件通告废止。

带)，自西向东将整个地球划分成经差相等的60个带。带号从首子午线起自西向东编，用阿拉伯数字1、2、3、…60表示。位于各带中央的子午线，称为该带的中央子午线。第一个六度带的中央子午线的经度为 3° ，任意带的中央子午线经度 L_0 ，可按下式计算

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

式中 N ——投影带的号数。

如图1-8a，高斯投影是设想用一个平面卷成一个空心圆柱，把它横着套在地球椭球外面，使圆柱的中心轴线位于赤道面内并且通过球心，使地球椭球上某六度带的中央子午线与圆柱面相切，在椭球面上的图形与圆柱面上的图形保持等角的条件下，将整个六度带投影到圆柱面上。然后将圆柱沿着通过南北极的母线切开并展成平面，便得到六度带在平面上的影象（图1-8b）。中央子午线经投影展开后是一条直线，以此直线作为

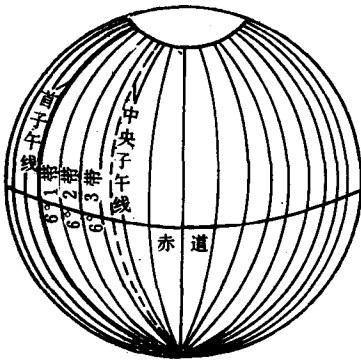


图 1-7

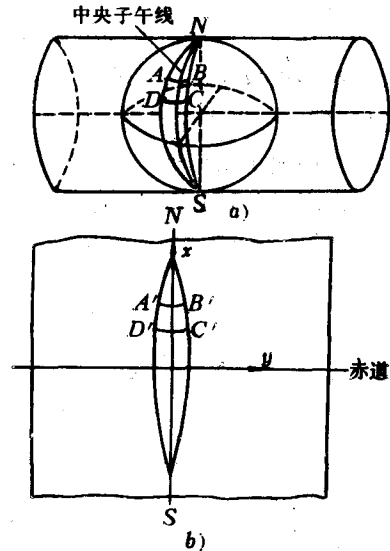


图 1-8

纵轴，即 x 轴；赤道是一条与中央子午线相垂直的直线，将它作为横轴，即 y 轴；两直线的交点作为原点，则组成高斯平面直角坐标系。纬圈 AB 和 CD 投影在高斯平面直角坐标系内仍为曲线 ($A'B'$ 和 $C'D'$)。将投影后具有高斯平面直角坐标系的六度带一个个拼接起来，便得到图1-9所示的图形。

我国位于北半球， x 坐标均为正值，而 y 坐标值有正有负。如图1-10a，设 $y_A = +137680\text{m}$ ， $y_B = -274240\text{m}$ 。为避免横坐标出现负值，故规定把坐标纵轴向西平移 500 km。坐标纵轴西移后（图1-10b）， $y_A = 500000 + 137680 = 637680\text{m}$ ， $y_B = 500000 - 274240 = 225760\text{m}$ 。

为了根据横坐标能确定该点位于哪一个六度带内，还应在横坐标值前冠以带号。例如， A 点位于第20带内，则其横坐标 y_A 为 20637680m。

高斯投影中，离中央子午线近的部分变形小，离中央子午线愈远变形愈大，两侧对称。当测绘大比例尺图要求投影变形更小时，可采用三度分带投影法。它是从东经 $1^\circ 30'$ 起，每经差 3° 划分一带，将整个地球划分为120个带（图1-11），每带中央子午线的经度

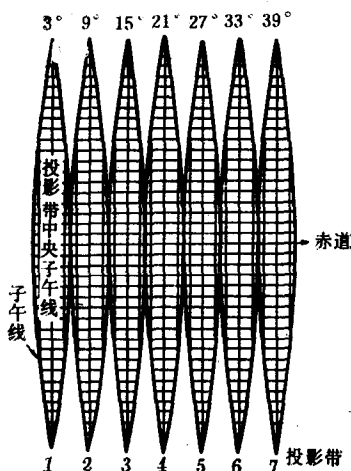


图 1-9

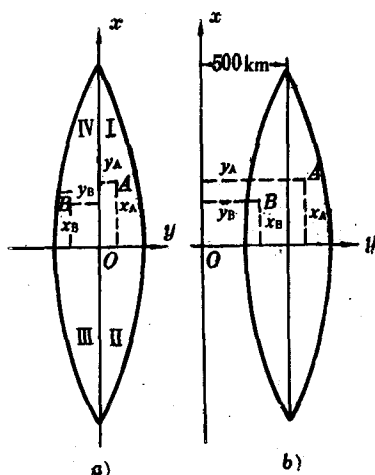


图 1-10

(1-3)

L_0' 可按式计算

$$L_0' = 3n$$

式中 n ——三度带的号数。

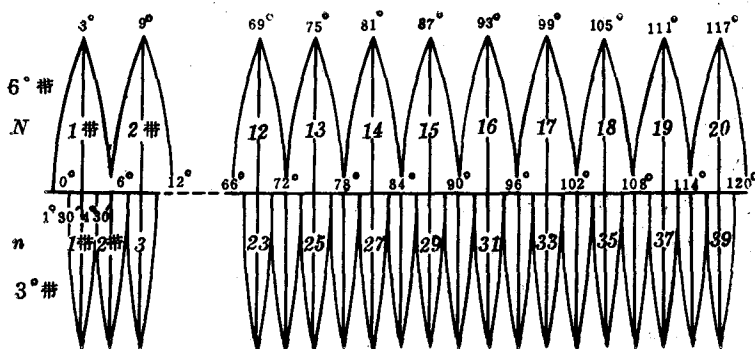


图 1-11

1-4 用水平面代替水准面的限度

用水平面来代替水准面，使测量和绘图工作大为减化，下面来讨论由此引起的影响。

一、对距离的影响

如图1-12， A 、 B 、 C 是地面点，它们在大地球水准面上的投影点是 a 、 b 、 c ，用该区域中心点的切平面代替大地水准面后，地面点在水平面上的投影点是 a 、 b' 和 c' ，现分析由此而产生的影响。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 ΔD ，即是用水平面代替水准面所引起的距离差异。在推导公式时，近似地将大地水准面视为半径为 R 的球面，故

$$\Delta D = D' - D = R(\operatorname{tg}\theta - \theta) \quad (1-3)$$

已知 $\operatorname{tg}\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$, 因 θ 角很小, 只取其前两项代入式 (1-3), 得

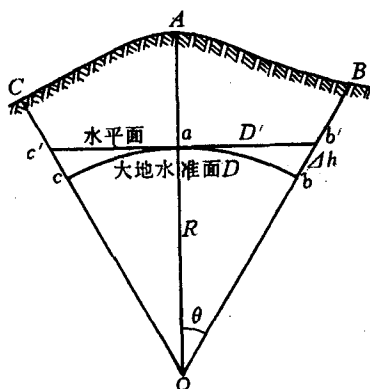


图 1-12

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

$$\text{因 } \theta = \frac{D}{R}, \text{ 故}$$

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-4)$$

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

将地球半径 $R = 6371\text{km}$ 以及不同的距离 D 代入式 (1-4) 和式 (1-5), 便得到表 1-1 所列的结果。从表 1-1 可以看出, 当 $D = 10\text{km}$ 时, 所产生的相对误差为 $1:1,200,000$, 这样小的误差, 对精密量距来说也是允许的。因此, 在 10km 为半径的圆面积之内进行距离测量时, 可以把水准面当作水平面看待, 而不考虑地球曲率对距离的影响。

表 1-1

$D(\text{km})$	$\Delta D(\text{cm})$	$\Delta D/D$
10	0.8	1:1,200,000
20	6.6	1:300,000
50	102.6	1:49,000
100	821.2	1:12,000

二、对高程的影响

如图 1-12 所示, 地面点 B 的高程应是铅垂距离 bB , 用水平面代替水准面后, B 点的高程为 $b'B$, 两者之差 Δh , 即为对高程的影响, 由图得

$$\Delta h = bB - b'B = ob' - ob = R\sec\theta - R = R(\sec\theta - 1) \quad (1-6)$$

已知 $\sec\theta = 1 + \frac{\theta^2}{2} + \frac{5}{24}\theta^4 + \dots$, 因 θ 值很小, 仅取前两项代入式 (1-6); 另外 $\theta = \frac{D}{R}$, 故得

$$\Delta h = R\left(1 + \frac{\theta^2}{2} - 1\right) = \frac{D^2}{2R} \quad (1-7)$$

用不同的距离代入式 (1-7), 便得到表 1-2 所列的结果。从表 1-2 可以看出, 用水平

表 1-2

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

面代替水准面, 对高程的影响是很大的, 距离 200m 就有 0.31cm 的高程误差, 这是不能允许的。因此, 就高程测量而言, 即使距离很短, 也应顾及地球曲率对高程的影响。

1-5 测量工作概述

地球表面复杂多样的形态,可分为地物和地貌两大类。地面上固定性物体称为地物,如河流、湖泊、道路和房屋等。地面上高低起伏形态称为地貌,如山岭、谷地和陡崖等。下面以地物和地貌测绘到图纸上为例,介绍测量工作的原则和程序。

图1-13a为一幢房屋,其平面位置由房屋轮廓线的一些折线所组成,如能确定1~6各点的平面位置,这幢房屋的位置就确定了。图1-13b是一条河流,它的岸边线虽然很不规

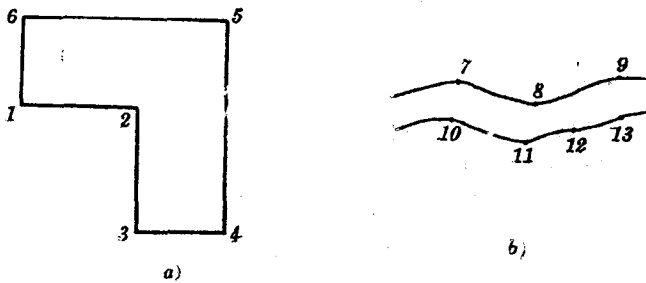


图 1-13

则,但弯曲部分可看成是折线所组成,只要确定7~13各点的平面位置,这条河流的位置也就确定了。至于地貌,其地势起伏变化虽然复杂,但仍可看成是由许多不同方向、不同坡度的平面相交而成的几何体。相邻平面的交线就是方向变化线和坡度变化线,只要确定出这些方向变化线与坡度变化线交点的平面位置和高程,地貌的形状和大小的基本情况也就反映出来了。因此,不论地物或地貌,它们的形状和大小都是由一些特征点的位置所决定。这些特征点也称碎部点。测图时,主要就是测定这些碎部点的平面位置和高程。

测定碎部点的位置,其程序通常分为两步:第一步为控制测量,如图1-14,先在测区内选择若干具有控制意义的点1、2、3、……作为控制点,以较精确的仪器和方法测定各

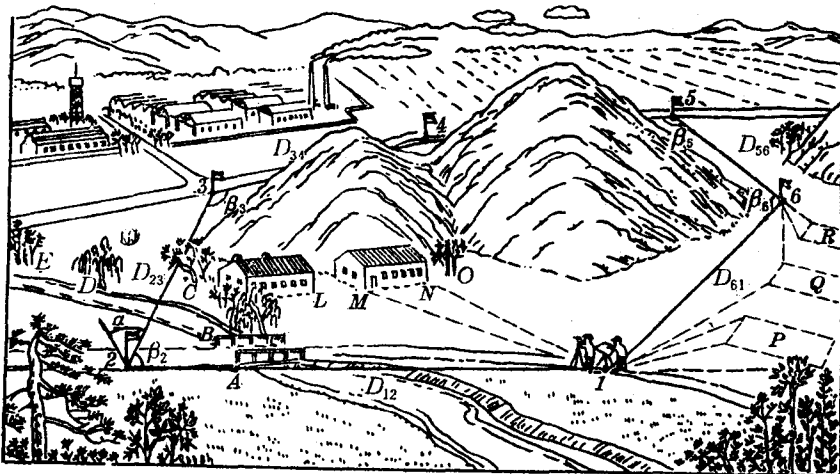


图 1-14