

高等学校教学用书

测量学

(第三版)

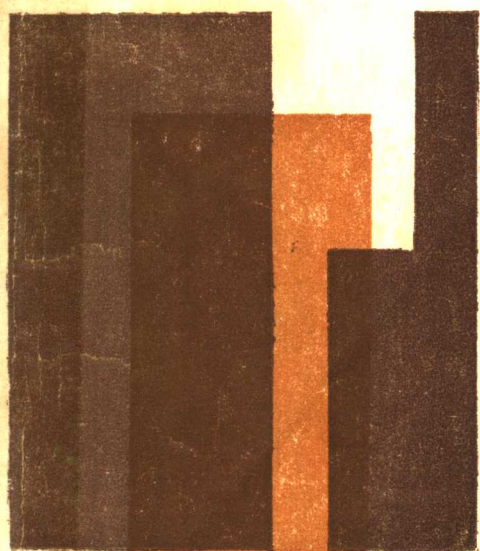
合肥工业大学

重庆建筑工程学院

天津大学 合编

哈尔滨建筑工程学院

清华大学



中国建筑工业出版社

高等学校教学用书

测量学

(第三版)

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 合编

中国建筑工业出版社

第三版前言

本书自1983年第二版出版以来,已有六年。在这期间,全国建筑类高等院校测量课教学改革形势发展很快,为使教材紧密结合教学实际,更好地为教学服务,特进行第三版修订。

此次修订,在调查研究的基础上,根据建筑类专业的需要,加强了测量学的基本知识、基本理论和基本概念,以及地形图应用和施工测量部分;相对地减弱了控制测量及地形测绘的内容。另外,增写了“我国测量学发展概况”和“航空摄影测量简介”;在原来已有光电测距仪、自动安平水准仪、激光水准仪和激光经纬仪的基础上,又介绍了电子经纬仪、电子求积仪和激光平面仪等,以拓宽学生的知识面。误差理论部分进行了改写,引进了概率统计知识,简要介绍了最小二乘原理,并运用误差理论对各种测量基本工作进行了误差分析。

本书由刘肇光、宗封仪主编。执笔人是合肥工业大学刘肇光(第一、四章)、陈荣臻(第二章)、李国燮(第三章)、清华大学杨德骥(第四章)、合肥工业大学宗封仪(第五章)、重庆建工学院陈福山(第六章)、合肥工业大学邵士珍(第七、九章)、重庆建工学院周良德(第八章)、天津大学郭传镇(第十、十一章)、哈尔滨建工学院陈荣林(第十二章)、李德成(第十三章)、合肥工业大学解树寰(测量实验及实习)。全书由同济大学都彩生副教授和天津大学何文吉副教授主审。

为方便教学,将“测量实验及实习”附在书后,并印有各种表格,供学生记录、计算和填写实验报告之用。对电子计算器在测量计算中的操作步骤,也作了简单介绍。

在本书修订过程中,参阅了国内外有关教材及参考书,得到了原建筑类施工教材编审委员会的指导和帮助,王依教授提供了宝贵意见,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,谨请读者指正。

编 者

1989年1月

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、关荣林等。

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帮助，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

图根 概念、操作、计算	
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 测量工作的原则和程序	9
思考题与习题	10
第二章 水准测量	12
2-1 水准测量原理	12
2-2 水准测量的仪器和工具	12
2-3 水准仪的使用	15
2-4 水准测量的外业	17
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 水准测量误差及注意事项	27
思考题与习题	28
第三章 角度测量	31
3-1 水平角测量原理	31
3-2 DJ ₁ 级光学经纬仪	31
3-3 DJ ₂ 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 经纬仪的检验和校正	44
3-7 水平角测量误差及其注意事项	48
3-8 电子经纬仪简介	49
思考题与习题	51
第四章 距离测量与直线定向	53
4-1 钢尺量距的一般方法	53
4-2 钢尺量距的精密方法	55
4-3 光电测距仪简介	59
4-4 直线定向	68
4-5 用罗盘仪测定磁方位角	70
思考题与习题	71
第五章 测量误差的基本知识	73
5-1 测量误差概述	73

5-2	衡量精度的指标	76
5-3	误差传播定律	80
5-4	等精度直接观测值的最可靠值	84
5-5	用观测值的改正数计算中误差	86
	思考题与习题	88
第六章 小地区控制测量		89
6-1	控制测量概述	89
6-2	导线测量	90
6-3	导线测量的内业计算	93
6-4	小三角测量	100
6-5	高程控制测量	106
	思考题与习题	111
第七章 地形图的基本知识		113
7-1	地形图概述	113
7-2	地形图的比例尺	113
7-3	地形图的图名、图号和图廓	116
7-4	地物符号	118
7-5	地貌符号—等高线	121
	思考题与习题	125
第八章 大比例尺地形图的测绘		126
8-1	测图前的准备工作	126
8-2	视距测量	127
8-3	小平板仪的构造与使用	131
8-4	碎部测量的方法	133
8-5	地形图的绘制	136
8-6	航空摄影测量简介	138
	思考题与习题	141
第九章 地形图的应用		143
9-1	地形图的识读	143
9-2	地形图应用的基本内容	144
9-3	在地形图上按限制坡度线选定最短路线	148
9-4	按一定的方向绘制纵断面图	149
9-5	在地形图上确定汇水面积	149
9-6	地形图在平整土地中的应用	150
9-7	城市用地的地形分析	153
9-8	地形图在城市规划中的应用	154
	思考题与习题	156
第十章 测设的基本工作		159
10-1	水平距离、水平角和高程的测设	159
10-2	点的平面位置的测设	162
10-3	已知坡度直线的测设	164
	思考题与习题	164

第十一章 工业与民用建筑中的 施工 测量	165
11-1 施工测量概述	165
11-2 建筑场地上的施工控制 测量	166
11-3 民用建筑施工中的测量 工作	169
11-4 工业厂房控 制网的测 设	172
11-5 厂房柱列轴线的测设 和柱基 施工测量	172
11-6 工业厂房 构件的安装 测量	173
11-7 高层建筑 物施工 测量	176
11-8 激光定位技术 在施工测量 中的应用	178
11-9 建筑物的 沉降观测 与倾 斜观测	183
11-10 竣工总平面图的 编绘	187
思考题与习题	188
第十二章 管道工程 测量	189
12-1 管道工程 测量 概述	189
12-2 管道 中线测量	189
12-3 管道纵横 断面图 测量	191
12-4 管道施 工测量	198
12-5 顶管 施工测量	202
12-6 管道 竣工 测量	203
思考题与习题	204
第十三章 地下建筑 施工 测量	206
13-1 地下建筑 施工测量 概述	206
13-2 地面 控制测量	207
13-3 地面与 地下的 连测	208
13-4 地下导线和 地下水准 测量	209
13-5 隧道开 挖中的测量 工作	210
13-6 洞室 施工 测量	213
13-7 竣工图 测绘	214
思考题与习题	215
附录一 水准仪系列的 分级及基 本技术参数	216
附录二 经纬仪系列的 分级 及基本技术参数	217
附录三 测量 实验及实 习	218

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（包含空中和地下）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，供科学研究、经济建设、规划设计和国防建设使用。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。特别需要指出的是由于近年来遥感技术的发展，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。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：在国防方面，诸如国界的划分，战略的部署，战役的指挥，都要应用地形图和进行测量工作。在经济建设方面，必须有计划地对我国资源进行一系列的调查和勘测工作，以便进行开发；在进行这种调查和勘测时，都需要应用地形图和进行测量工作。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。在科学实验方面，诸如空间科学技术的研究，地壳的变形，海岸的变迁，地震预报以及地极周期性运动的研究等，都要用到测绘资料。

测绘科学在建筑类各专业的工作中有着广泛的应用。例如：在勘测设计阶段，要求有多种比例尺的地形图，供城镇规划、选择厂址及管道线路选线之用；供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，施测竣工图，供日后扩建和维修之用。即使竣工以后，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；能正确使用常用的测量仪器和工具；了解大比例尺地形图的测图程序；

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;具有进行一般工程施工测设的能力;以便能灵活地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

我国是世界文化发达最早的国家之一,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,我国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° -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。目前见于记载的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”,“圉人,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《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》;清代康熙年间控制的《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(常见的有地簰、云簰和均高),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地形图时，“以海面较京师至汴梁地形高下之差”，是测量史上最早使用“海拔”思想的人。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；完成了珠穆朗玛峰的平面位置和高程的测量；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。在测绘仪器制造方面，从无到有，现在不仅能生产常规测量仪器，先进的仪器也研制成功，有的已批量生产。测绘人材培养方面，已培养出高、中级测绘人材数万名，大大地提高了我国测绘科技水平。

近年来，由于航天技术、遥感技术和微处理机的发展和应用，国际测绘科技发展很快。例如光电测距仪在向小型、高精度、自动化发展的同时，又发展了全站式测距仪，并出现了所谓综合测绘系统，即在野外用全站式测距仪测量，记入电子手簿中，自动求算各点的三维坐标，然后将信息输入微机，在室内自动绘出各种图形。大地测量方面出现了全球定位系统，定位精度可望达到厘米级。航空摄影测量方面，各国都在研制数字化摄影测量系统。制图方面，已从机助制图发展到地理信息系统的新阶段，地图的新品种不断涌现。

回顾过去，展望未来，必须看到，我国目前的测绘科技水平，与国际先进水平相比，还存在着不小的差距。我们必须发奋图强，励精图治，才能赶上世界测绘科技水平。

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上进行的，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%，所以，人们常把被海面所包围的形体看作地球的形体。

由于地球的自转运动，地球上任一点都要受到离心力和吸引力的作用，这两个力的合力称为重力，重力的作用线为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。当水面处于静止状态时，其表面必然处处与铅垂线相垂直，我们称水在静止时的表面为水准面，与水准面相切的平面称为水平面。水准面有无数个，其中与平均海面重合并向大陆、岛屿内延伸而形成的封闭曲面，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形体，称为大地体。

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，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非常复杂的曲面，如图1-1(a)所示。人们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的规则几何表面（即地球椭球面）来代替它，如图1-1(b)所示，作为测量计算工作的基准面。地球椭球是一椭圆绕其短轴旋转而成的形体，故又称地球椭圆体或旋转椭球，如图

1-2, 其形体由长半径 a 及扁率 α (或短半径 b) 所决定。我国目前采用的元素值为

$$a = 6378140\text{m}$$

$$\alpha = 1:298.257$$

其中

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

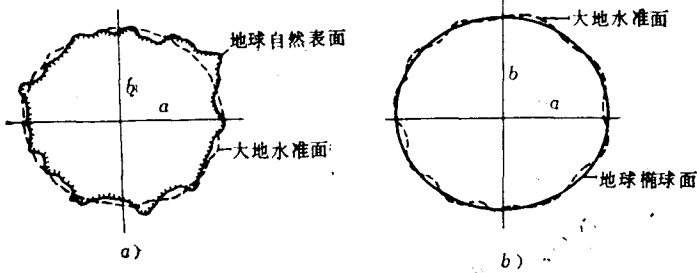


图 1-1

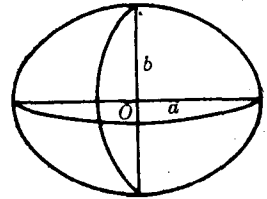


图 1-2

并选择陕西省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, 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, 因此在小范围内可近似地 把它作为圆球, 其半径 R 约为 6371km。

二、确定地面点位的方法

地面上各种地形都是由一系列连续不断的点所组成, 确定地面上的图形位置, 最基本的工作就是确定地面点的位置。

从数学中知道, 一点的空间位置需用三个量来确定。在测量工作中, 是将地面点 A 、 B 、 C 、 D 、 E (图1-3) 沿着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和 a 、 b 、 c 、 d 、 e 等点到 A 、 B 、 C 、 D 、 E 的铅垂距离 H_A 、 H_B 、……来表示。

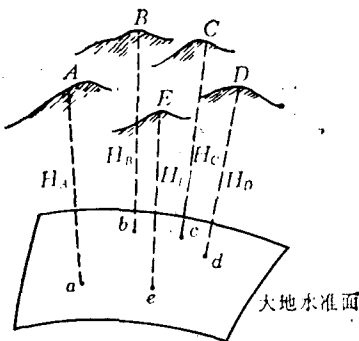


图 1-3

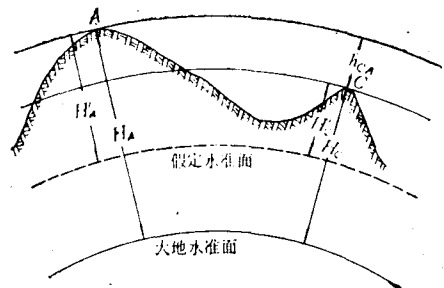


图 1-4

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，简称高程，或称海拔。图1-4中的 H_A 和 H_C 即为A点和C点的高程。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，长期观测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），作为我国计算高程的基准面，并在青岛建立了水准原点。目前，我国采用“1985国家高程基准”，它是采用青岛验潮站1953年至1977年验潮资料计算确定的，并推算得青岛水准原点高程为72.260m^①，全国各地的高程都以它为准进行测算。

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，称为假定高程或相对高程。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

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

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

地面点在大地水准面上投影位置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，球面近似于平面，可以用测区中心点 a 的切平面 P 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系如图1-6所示。规定南北方向为纵轴，并记为 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 M 的位置可用 x_M 和 y_M 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（图1-5），使测区内各点的坐标均为正值。

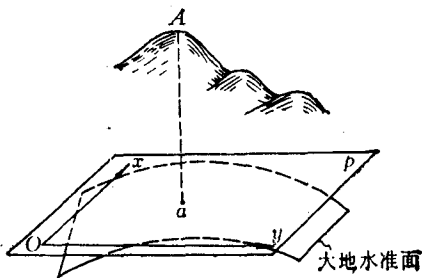


图 1-5

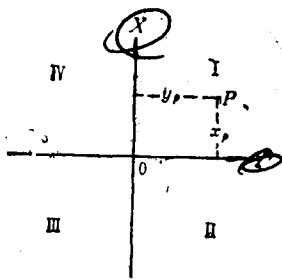


图 1-6

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

(2) 高斯平面直角坐标系

测区范围较小时可把水准面当作水平面看待,我国面积约九百六十万平方公里,显然不能这样做。用地理坐标来表示地面点位,测量计算工作又不方便。为了把地球椭球面上的点位展绘到平面上来,必须采用适当的投影方法来解决这个问题,测量工作中通常采用的是高斯投影方法。

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形象(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联结起来,便得到图1-9所示的形象。

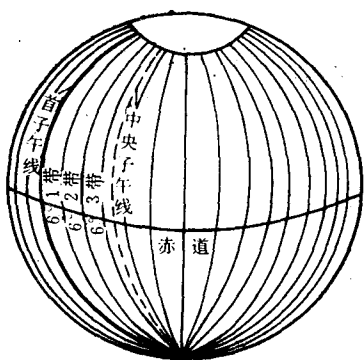


图 1-7

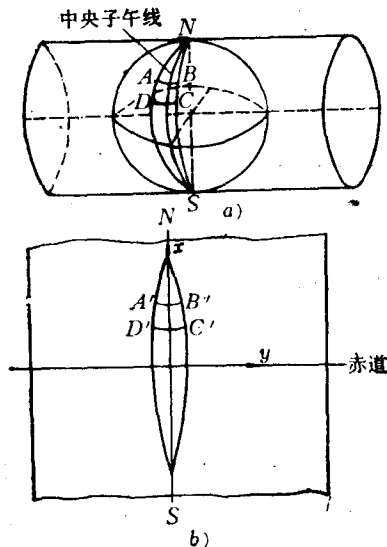


图 1-8

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 500km 。坐标纵轴西移后(图1-10b)), $y_A = 500000 + 137680 = 637680\text{m}$; $y_B = 500000 - 274240 = 225760\text{m}$ 。

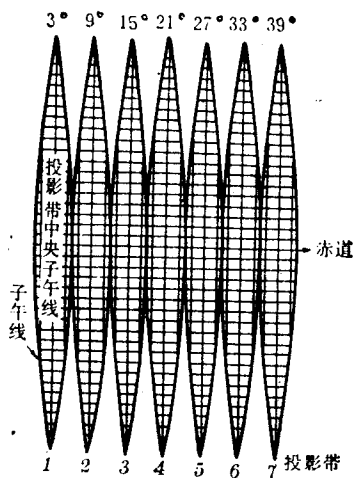


图 1-9

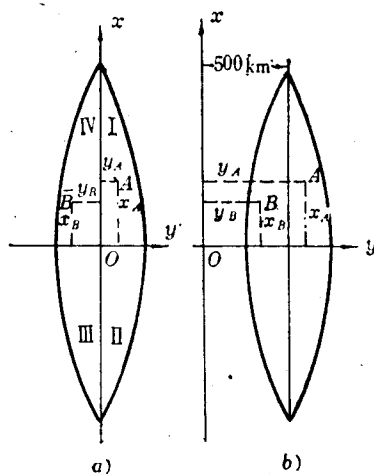


图 1-10

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2037680m。

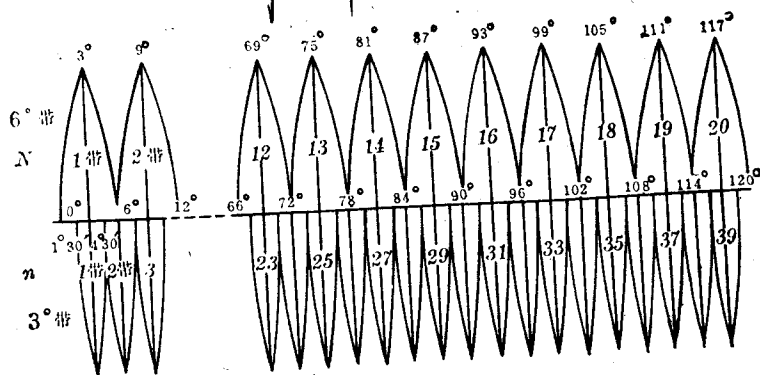


图 1-11

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°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 L_0 可按式计算

$$L_0' = 3n \quad (1-2)$$

式中 n —— 三度带的号数。

三、用水平面代替水准面的范围

用水平面代替水准面，只有测区小时才允许，那么，这个区域的范围究竟多大呢？

如图1-12，A、B、C是地面点，它们在大地上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' 点,现分析由此产生的影响。

图1-12中,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 ΔD ,这就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

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

因 $\theta = \frac{D}{R}$, 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(1-5),便得到表1-1所列的结果。由表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。所以,在以10km为半径的圆面积之内,可用水平面代替水准面。

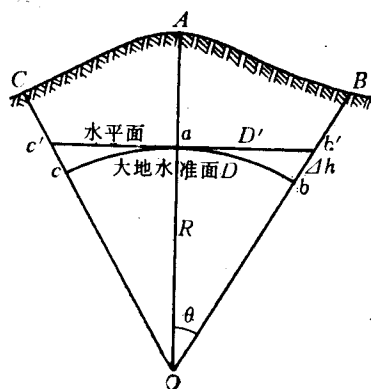


图 1-12

表 1-1

D (km)	ΔD (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

关于用水平面代替水准面对高程的影响,仍以图1-12说明之。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, 用水平面代替水准面, 对高程的影响(即地球曲率的影响)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, 在高程测量中, 即使距离很短, 也应顾及地球曲率对高程的影响。

表 1-2

D (km)	0.2	0.5	1	2	3	4	5
Δh (cm)	0.31	2	8	31	71	125	196

四、确定地面点位的三个基本要素

如图1-13所示, 地面点 A 、 B 在投影面上的位置是 a 和 b , I 、 II 是已知点。实际工作中, 并不能直接测出 A 和 B 点的高程和坐标, 而是观测水平角 β_1 、 β_2 和水平距离 D_1 、 D_2 , 以及 h_{IIA} 和 h_{AB} , 再根据已知点 I 的坐标、方向 $I-II$ 和高程 H_I , 推算出 A 和 B 点的坐标和高程, 以确定它们的点位。

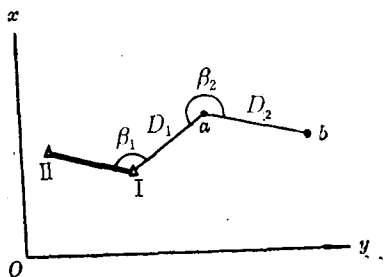


图1-13

由此可见, 地面点间的位置关系是以距离、水平角(方向)和高程来确定的。所以, 高程测量、水平角测量和距离测量是测量学的基本内容。高程、水平角(方向)和距离是确定地面点位的基本要素。

1-4 测量工作的原则和程序

地球表面复杂多样的形态, 可分为地物和地貌两大类。地面上的固定性物体称为地物, 如河流、湖泊、道路和房屋等。地面上的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1-14 a) 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1-14 b) 是一条河流, 它的岸边线虽然很不规则, 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: 第一步控制测量。如图1-15, 先在测区内

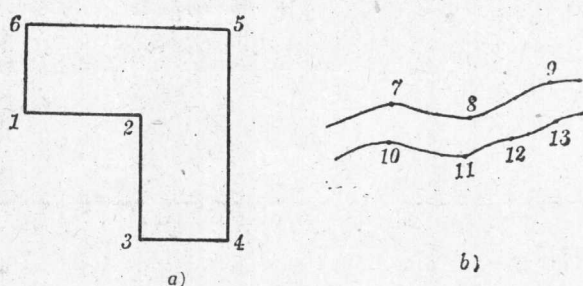


图 1-14

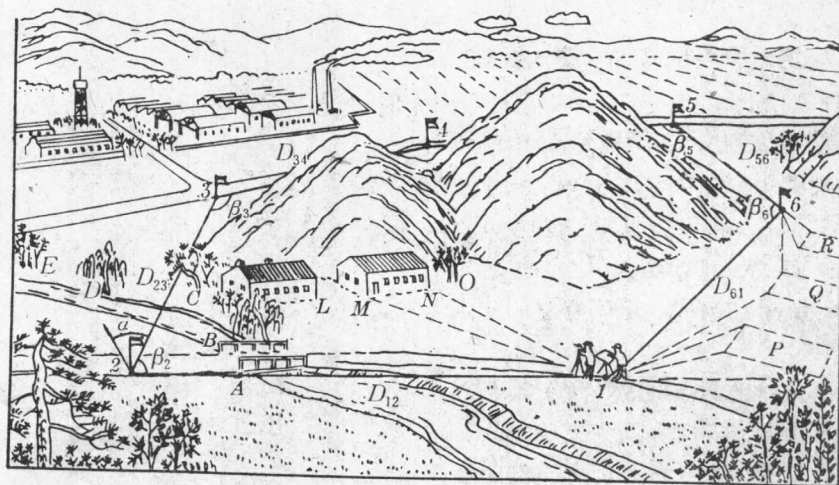


图 1-15

选择若干具有控制意义的点 1、2、3……作为控制点，以较精确的方法测定其位置。第二步碎部测量，即根据控制点测定碎部点的位置。例如在控制点 1 上测定其周围的碎部点 L、M、N 等；在控制点 2 上测定其周围的碎部点 A、B 等。这种“从整体到局部”、“先控制后碎部”的方法是组织测量工作的一个原则，它可以减少误差的积累，并且可同时在几个控制点上同时进行测量，加快测量进度。另外，从上述可知，当测定控制点的相对位置有错误时，以其为基础所测定的碎部点位也就有错；碎部测量中有错误时，以此资料绘制的地形图也就有错误。因此，测量工作必须重视检核工作，故“前一步工作未作检核不进行下一步工作”是组织测量工作的又一个原则。

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。如图 1-15 所示，欲将图上设计好的建筑物 P、Q、R 测设于实地，作为施工的依据，须先于实地进行控制测量，然后安置仪器于控制点 1 和 6 上，进行建筑物测设。在测设工作中也要步步检核，以防出错。

思考题与习题

1. 测量学的研究对象是什么？
2. 测定与测设有何区别？