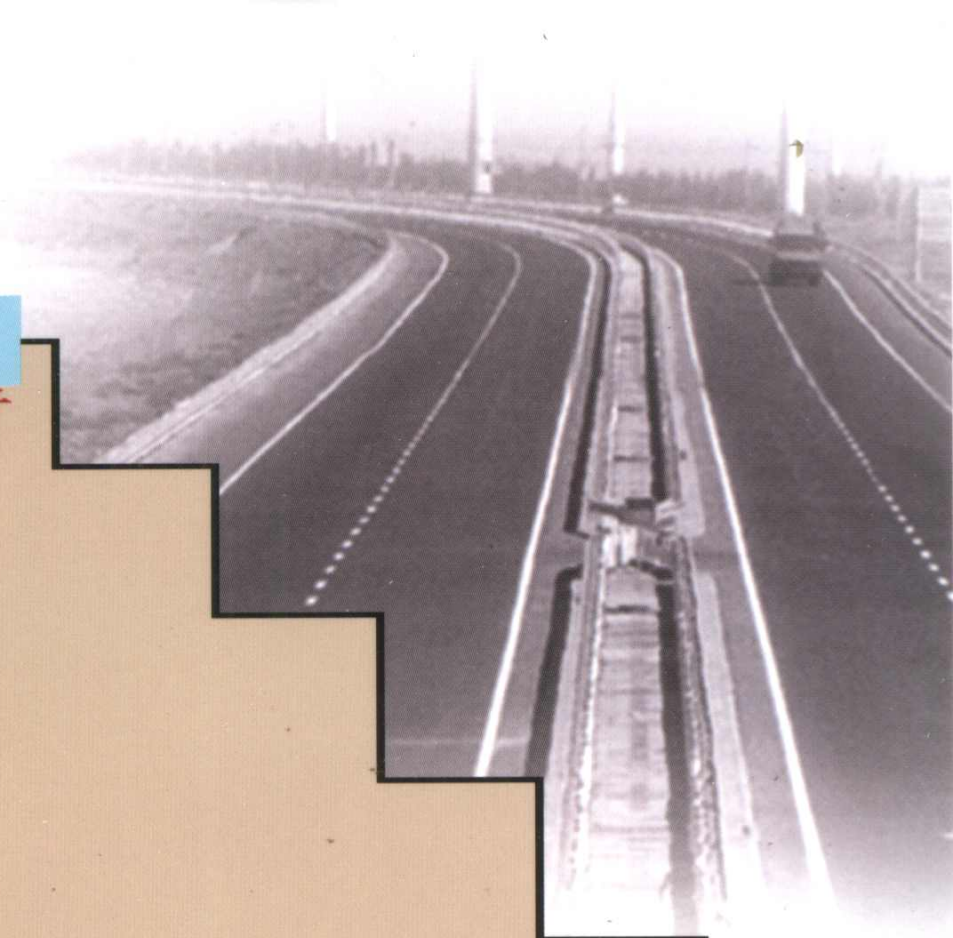




GONGCHENG SHUOSHI

交通版工程硕士 选用教材



交通土建 施工测量

胡伍生 沙月进 主编

人民交通出版社

944

U412.2
H53

交通版工程硕士选用教材

Jiaotong Tujian Shigong Celiang

交通土建施工测量

胡伍生 沙月进 主编



A1055925

人民交通出版社

内 容 提 要

本书主要包括:水准测量、角度测量、距离测量、测量误差分析、交通土建施工控制测量、地形图的测绘及其应用、测设的基本工作、道路施工测量、桥梁施工测量、GPS 测量原理及其在交通工程中的应用等。

本书主要为满足工程技术人员培训的要求而编写,因此在理论论述上力求简单明了,选用了大量工程实例,强调理论与实践的结合,侧重于实用性,并融入了测绘新仪器、测绘新技术以及编者的研究成果等内容。本书可作高等院校测绘、路桥、交通等相关专业的工程硕士选用教材,也可供交通土建工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

交通土建施工测量/胡伍生,沙月进主编. —北京:
人民交通出版社, 2002.11
ISBN 7-114-04481-X

I. 交... II. ①胡...②沙... III. 道路工程: 土木工程—施工测量 IV. U412.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 083108 号

交通版工程硕士选用教材

交通土建施工测量

胡伍生 沙月进 主编

正文设计:彭小秋 责任校对:宿秀英 责任印制:张 恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京市密东印刷有限公司印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 16.25 字数: 400 千

2002 年 12 月 第 1 版

2002 年 12 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—4000 册 定价: 27.00 元

ISBN7-114-04481-X

前言

本书主要为满足交通土建工程技术人员培训的要求而编写。

全书共 12 章,分为五大部分。第一部分为第 1 章至第 4 章,主要介绍了测量的三项基本工作:测高、测角和测距,并介绍了相应的测量仪器的构造和使用方法;第二部分为第 5 章和第 6 章,主要介绍了测量工作的基本理论:测量误差理论和交通土建施工控制测量理论,并以具体实例加以说明;第三部分为第 7 章和第 8 章,主要介绍了地形图的基本知识,以及大比例尺地形图的测图、识图和用图,并重点介绍了大比例尺数字测图的原理和方法;第四部分为第 9 章至第 11 章,为交通土建施工测量部分,详细介绍了道路施工测量和桥梁施工测量内容,并结合编者的工程实践经验,介绍了当前的测绘新仪器和新技术在交通土建施工测量中的应用实例;第五部分为第 12 章,简要介绍了全球卫星定位系统(GPS)及其在交通工程中的应用情况。

参加本书编写工作的有东南大学胡伍生(第 1、5、9、11、12 章、附录 A、附录 B),东南大学沙月进(第 6、10 章),东南大学戚浩平(第 2、3、4 章),东南大学朱小华(第 7 章),东南大学张志伟(第 8 章)。全书由胡伍生统编。

本书编者希望使用本教材的教师和读者多提宝贵意见。

编 者

2002 年 8 月于南京

E-mail: Ws.hu@jlonline.com

目 录

1 绪论	1
1.1 交通土建测量概述	1
1.2 地球的形状和大小	2
1.3 地面点位的确定	3
1.4 地球曲率的影响	6
1.5 测量工作的程序及基本内容	8
1.6 测量的度量单位	11
习题 1	12
2 水准测量	14
2.1 水准测量原理	14
2.2 水准测量仪器和工具	15
2.3 水准测量实施	24
2.4 水准测量方法	25
2.5 水准测量数据处理	28
2.6 水准测量误差及其注意事项	31
习题 2	32
3 角度测量	34
3.1 角度测量原理	34
3.2 角度测量仪器和工具	35
3.3 水平角观测	40
3.4 竖直角观测	45
3.5 水平角测量的误差分析	49
习题 3	51
4 距离测量	53
4.1 钢尺量距	53
4.2 视距测量	56
4.3 光电测距	59
习题 4	65
5 测量误差基本知识	66
5.1 测量误差概述	66
5.2 评定精度的标准	69
5.3 观测值精度的评定	71
5.4 误差传播定律及其应用	72

5.5 权及其应用	75
习题 5	78
6 交通土建施工控制测量	79
6.1 坐标正算和坐标反算	79
6.2 道路施工控制测量	81
6.3 导线测量数据处理方法	84
6.4 桥梁施工控制测量	91
6.5 桥梁施工控制网数据处理方法	94
6.6 高程控制测量	97
习题 6	100
7 数字测图原理与方法	102
7.1 地形图基本知识	102
7.2 数字测图概述	105
7.3 数字测图外业	107
7.4 地形图的数字化	111
7.5 地形图的绘制	114
7.6 数字地面模型(DTM)的建立	116
7.7 自动勾绘等高线	119
习题 7	122
8 地形图在交通土建工程中的应用	124
8.1 交通土建工程对地形图的要求	124
8.2 大比例尺地形图的特点	124
8.3 地形图应用的基本内容	125
8.4 利用地形图进行道路选线	128
8.5 地形图上面积的计算	130
8.6 交通土建工程土方量的计算	133
习题 8	135
9 测设的基本工作和基本方法	137
9.1 测设的三项基本工作	137
9.2 点的平面位置的测设方法	140
9.3 已知坡度线的测设	142
9.4 测设精度分析	144
习题 9	147
10 道路施工测量	149
10.1 道路施工测量概述	149
10.2 道路施工复测	149
10.3 道路中线测量	151
10.4 曲线的计算与测设	154
10.5 纵横断面测量	164
10.6 道路边桩和边坡的放样	168

10.7	竖曲线的测设	171
10.8	软土地基路基施工沉降观测	173
	习题 10	177
11	桥梁施工测量	178
11.1	桥梁施工测量概述	178
11.2	小型桥梁施工测量	178
11.3	大中型桥梁施工测量	179
11.4	大型斜拉桥施工测量	189
11.5	桥梁施工的细部放样	193
11.6	桥梁变形观测	199
	习题 11	207
12	GPS 测量原理及其应用	208
12.1	全球定位系统(GPS)简介	208
12.2	GPS 坐标系统	212
12.3	GPS 定位基本原理	212
12.4	GPS 精密高程测量	214
12.5	GPS 在交通工程中的应用	217
	习题 12	229
附录 A	电子数字水准仪及其应用	230
A.1	概述	230
A.2	电子水准仪的基本原理	230
A.3	电子水准仪的特点	231
A.4	DL—101C 电子水准仪简介	232
A.5	电子水准仪在沉降观测中的应用	234
附录 B	全站型电子速测仪	239
B.1	全站型电子速测仪的分类	239
B.2	全站型电子速测仪 SET 2000 简介	240
B.3	SET 2000 型全站仪的操作	242
B.4	全站型电子速测仪的工程应用	247
	参考文献	250

1 绪 论

1.1 交通土建测量概述

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面点位的科学。它的内容包括两部分,即测定和测设。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成果,将地球表面的地形缩绘成地形图,供经济建设、国防建设、规划设计及科学研究使用。测设(放样)是指用一定的测量方法,按要求的精度,把设计图纸上规划设计好的建(构)筑物的平面位置和高程标定在实地上,作为施工的依据。

测量学按其研究的范围和对象的不同,可分为大地测量学、普通测量学、摄影测量学、海洋测量学、工程测量学及地图制图学等。本教材主要介绍交通土建工程在各个阶段所进行的测绘工作。它与普通测量学、工程测量学等学科都有着密切的联系,主要有绘图、用图、放样和变形观测等内容。

在交通土建施工测量中,测量技术的应用比较广泛。例如,铁路、公路在建造之前,为了确定一条最经济、最合理的路线,事先必须进行该地带的测量工作,根据测量的成果绘制带状地形图,再在地形图上进行线路设计,然后将设计路线的位置标定在地面上,以便进行施工;在路线跨越河流时,必须建造桥梁,在造桥之前,要绘制河流两岸的地形图,以及测定河流的水位、流速、流量和桥梁轴线长度等,为桥梁设计提供必要的资料,最后将设计的桥台、桥墩的位置用测量的方法在实地标定;路线穿过山地,需要开挖隧道,开挖之前,也必须在地形图上确定隧道的位置,并由测量数据来计算隧道的长度和方向,在隧道施工期间,通常从隧道两端开挖,这就需要根据测量的成果指示开挖方向等,使之符合设计的要求。又例如,城市规划、给水排水、煤气管道等市政工程的建设,工业厂房和高层建筑的建造,在设计阶段,要测绘各种比例尺的地形图,供结构物的平面及竖向设计之用;在施工阶段,要将设计的结构物的平面位置和高程在实地标定出来,作为施工的依据;待工程完工后,还要测绘竣工图,供日后扩建、改建和维修之用;对某些重要的建筑物,在其建成以后,还需要进行变形观测,以保证建筑物的安全使用。

在房地产的开发、管理和经营中,房地产测绘起着重要的作用。地籍图和房产图以及其他测量资料准确地提供了土地的行政和权属界址、每个权属单元(宗地)的位置、界线和面积、每幢房屋与每层房屋的几何尺寸和建筑面积,经土地管理和房屋管理部门确认后具有法律效力,可以保护土地使用人和房屋所有人的合法权益,可为合理开发、利用和管理土地和房产提供可靠的图纸和数据资料,并为国家对房地产的合理税收提供依据。

本教材的主要目的是让交通土建工程技术人员学习和掌握下列内容:

(1)地形图测绘——运用测量学的理论、方法和工具,将小范围内地面上的地物和地貌测绘成地形图、地籍图等,这项任务简称为测图。

(2)地形图应用——为工程建设的规划设计,从地形图中获取所需要的资料,例如点的坐标和高程、两点间的距离、地块的面积、地面的坡度、地形的断面和进行地形分析等,这项任务简称为图的应用。

(3)施工放样——把图上设计的工程结构物的位置在实地标定,作为施工的依据,这项任务简称为测设或放样。

测量学是一门历史悠久的科学,早在几千年前,由于当时社会生产发展的需要,中国、埃及、希腊等国家的劳动人民就开始创造与运用测量工具进行测量。我国在古代就发明了指南针、浑天仪等测量仪器,为天文、航海及测绘地图作出了重要的贡献。随着人类社会需求和近代科学技术的发展,测绘技术已由常规的大地测量发展到空间卫星大地测量,由航空摄影测量发展到航天遥感技术的应用;测量对象由地球表面扩展到空间星球,由静态发展到动态;测量仪器已广泛趋向精密化、电子化和自动化。从 20 世纪 50 年代起,我国的测绘事业进一步得到了蓬勃发展,在天文大地测量、人造卫星大地测量、航空摄影与遥感、精密工程测量、近代平差计算、测量仪器研制及测绘人才培养等方面,都取得了令人鼓舞的成就。我国的测绘科学技术已居世界先进行列。

1.2 地球的形状和大小

测绘工作是在地球的自然表面上进行的,而地球自然表面是极不平坦和不规则的,其中有高达 8 848.13m 的珠穆朗玛峰,也有深至 11 022m 的马里亚纳海沟,尽管它们高低起伏悬殊,但与庞大的地球比较,还是可以忽略不计的。

下面介绍一下测量学中最重要概念——大地水准面。地球表面海洋面积约占 71%,陆地面积仅占 29%。因此,人们设想以一个静止不动的海水面延伸穿越陆地,形成一个闭合的曲面包围整个地球,这个闭合的曲面称之为水准面。由于海水面在涨落变化,水准面可有无数个,其中通过平均海水面的一个水准面称为大地水准面,它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,如图 1-1a)所示。

水准面是受地球重力影响而形成的,它的特点是水准面上任意一点的铅垂线(重力作用线)都垂直于该点的曲面。由于地球内部质量分布不均匀,重力也受影响,故引起了铅垂线方向的变动,致使大地水准面成为一个有微小起伏的复杂曲面。如果将地球表面的图形投影到这个复杂曲面上,对于地形制图或测量计算工作都是非常困难的,为此,人们经过几个世纪的观测和推算,选用一个既非常接近大地体、又能用数学公式表示的规则几何形状来代表地球的实际形体,这个几何形体是由一个椭圆 NWSE 绕其短轴 NS 旋转而成的形体,称为地球椭圆体或旋转椭球体,如图 1-1b)所示。

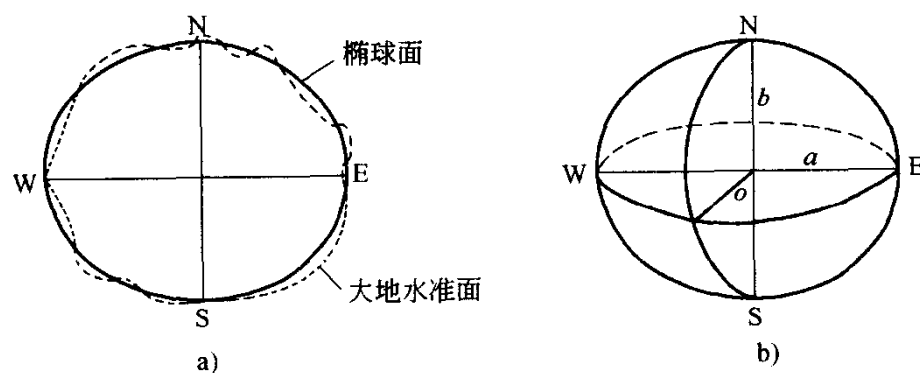


图 1-1 大地水准面与地球椭球体

决定地球椭圆体形状和大小的参数为椭圆的长半径 a 、短半径 b 及扁率 f ,其关系式为:

$$f = \frac{a - b}{a} \quad (1-1)$$

我国目前采用的参数数据为： $a = 6\,378\,140\text{m}$ ， $b = 6\,356\,755\text{m}$ ， $f = 1:298.257$ ，并以陕西省西安市泾阳县永乐镇某点为大地原点，进行大地定位，由此建立了新的全国统一坐标系，即目前使用的“1980 西安坐标系”。

由于地球椭球体的扁率 f 很小，当测区面积不大时，可以把地球当作圆球来看待，其圆球半径 $R = \frac{1}{3}(2a + b) \approx 6\,371\text{km}$ 。

1.3 地面点位的确定

测量工作的根本任务是确定地面点位。要确定某地面点的空间位置，通常是求出该点相对于某基准面和基准线的三维坐标或二维坐标。下面介绍几种用以确定地面点位的坐标系。

1. 地理坐标系

地理坐标系属球面坐标系，根据不同的投影面，又分为天文地理坐标系和大地地理坐标系。

(1) 天文地理坐标系

天文地理坐标又称天文坐标，用天文经度 λ 和天文纬度 φ 来表示地面点投影在大地水准面上的位置，如图 1-2 所示。

确定球面坐标 (λ, φ) 所依据的基本线为垂线，基本面包含铅垂线的子午面。图中， NS 为地球的自转轴， N 为北极， S 为南极。地面上任一点 A 的铅垂线与地轴 NS 所组成的平面称为该点的子午面，子午面与地球面的交线称为子午线，也称经线。 A 点的经度 λ 是 A 点的子午面与首子午面（国际公认通过英国格林威治 (Greenwich) 天文台的子午面——计算经度的起始面）所组成的两面角。其计算方法为自首子午线向东或向西计算，数值在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 之间，向东为东经，向西为西经。垂直于地轴的平面与地球面的交线为纬线。垂直于地轴并通过地球中心 O 的平面为赤道平面，其与地球面相交的交线为赤道。 A 点的纬度 φ 是过 A 点的铅垂线与赤道平面之间的交角，其计算方法为自赤道起向北或向南计算，数值在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间，在赤道以北为北纬，在赤道以南为南纬。天文地理坐标可以在地面点上用天文测量的方法测定。

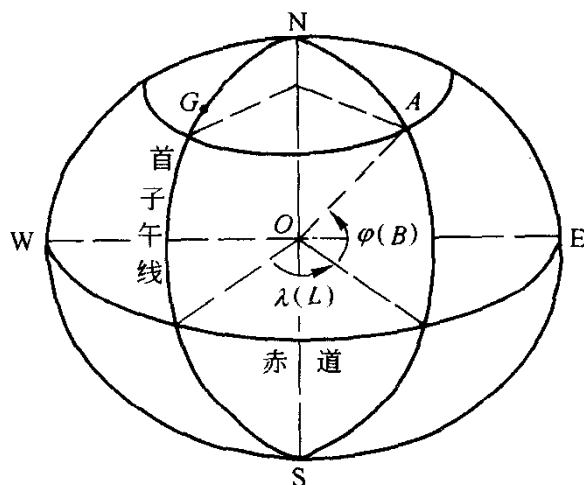


图 1-2 地理坐标系

(2) 大地地理坐标系

大地地理坐标系用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点投影在地球椭球面上的位置。确定球面坐标 (L, B) 所依据的基本线为椭球面的法线，基本面为包含法线及南北极的大地子午面。 A 点的大地经度 L 是 A 点的大地子午面与首子午面所夹的两面角， A 点的大地纬度 B 是过 A 点的椭球面法线与赤道平面的交角。大地经纬度是根据一个起始的大地点（称为大地原点，该点的大地经纬度与天文经纬度相一致）的大地坐标，按大地测量所得数据推算而得。

2. 地心坐标系

地心坐标系属空间三维直角坐标系,用于卫星大地测量。由于人造地球卫星围绕地球运动,地心坐标系取地球质心(地球的质量中心)为坐标系原点, x 、 y 轴在地球赤道平面内,首子午面与赤道平面的交线为 x 轴, z 轴与地球自转轴相重合,如图1-3所示。地面点 A 的空间位置用三维直角坐标 x_A 、 y_A 、 z_A 表示。全球定位系统(GPS)采用的就是地心坐标系。

地心坐标系和大地地理坐标系可以通过一定的数学公式进行换算。

3. 平面直角坐标系

(1) 高斯平面直角坐标

上述地理坐标只能确定地面点在大地水准面或地球椭球面上的位置,不能直接用来测图。测量上的计算最好是在平面上进行,而地球椭球面是一个曲面,不能简单地展开成平面,那么如何建立一个平面直角坐标系呢?我国是采用高斯投影来实现的。

高斯投影首先是将地球按经线分为若干带,称为投影带。它从首子午线(零子午线)开始,自西向东每隔 6° 划为一带,每带均有统一编排的带号,用 N 表示,位于各投影带中央的子午线称为中央子午线(L_0),也可由东经 $1^\circ 30'$ 开始,自西向东每隔 3° 划为一带,其带号用 n 表示,如图1-4所示。我国国土所属范围大约为 6° 带第13号带至第23号带,即带号 $N = 13 \sim 23$;相应 3° 带大约为第24号带至第46号带,即带号 $n = 24 \sim 46$ 。 6° 带中央子午线经度 $L_0 = 6N - 3$, 3° 带中央子午线经度 $L'_0 = 3n$ 。

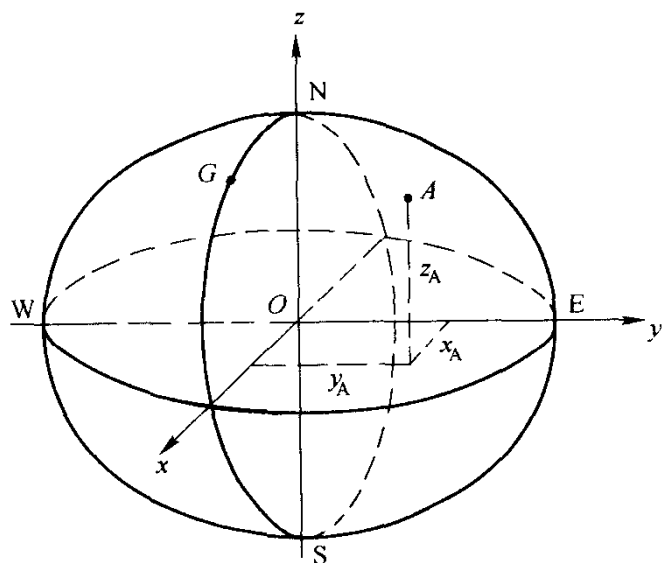


图1-3 地心坐标系

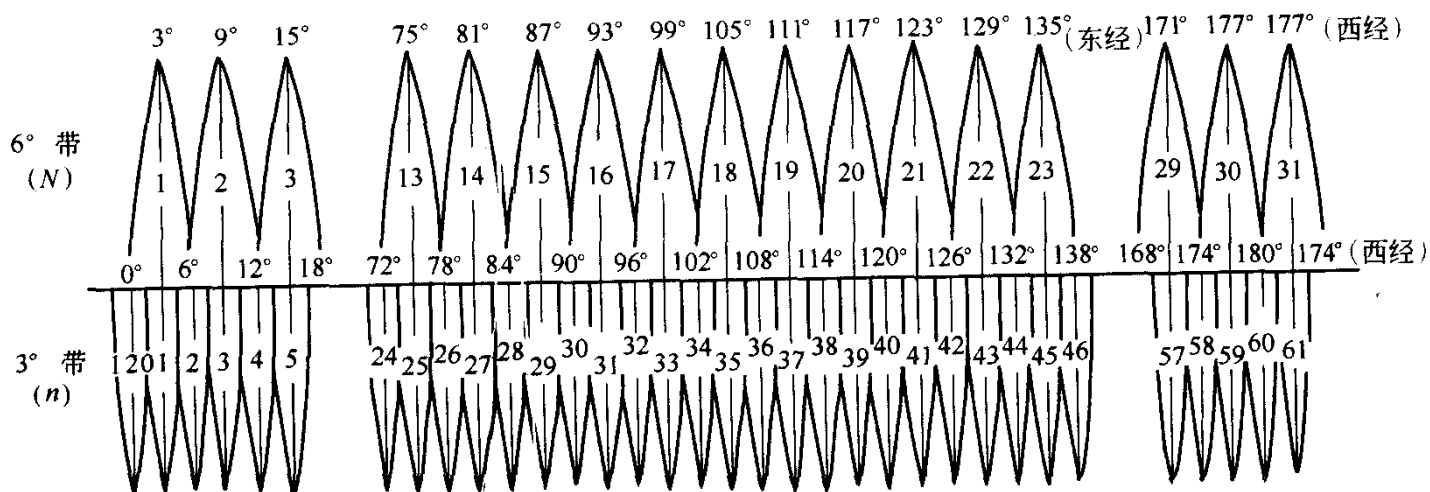


图1-4 投影分带与 $6^\circ(3^\circ)$ 带

设想一个横圆柱体套在椭球外面,使横圆柱的轴心通过椭球的中心,并与椭球上某投影带的中央子午线相切,然后将中央子午线附近(即本带东西边缘子午线构成的范围)的椭球面上的点、线投影到横圆柱面上,如图1-5表示。再顺着过南北极的母线圆柱面剪开,并展开为平面,这个平面称为高斯投影平面。在高斯投影平面上,中央子午线和赤道的投影是两条相互垂直的直线。规定中央子午线的投影为 x 轴,赤道上的投影为 y 轴,两轴交点 O 为坐标原点,

并令 x 轴上原点以北为正, y 轴上原点以东为正, 由此建立了高斯平面直角坐标系, 如图 1-6a) 所示。在图 1-6a) 中, 地面点 A 、 B 在高斯平面上的位置, 可用高斯平面直角坐标 x 、 y 来表示。

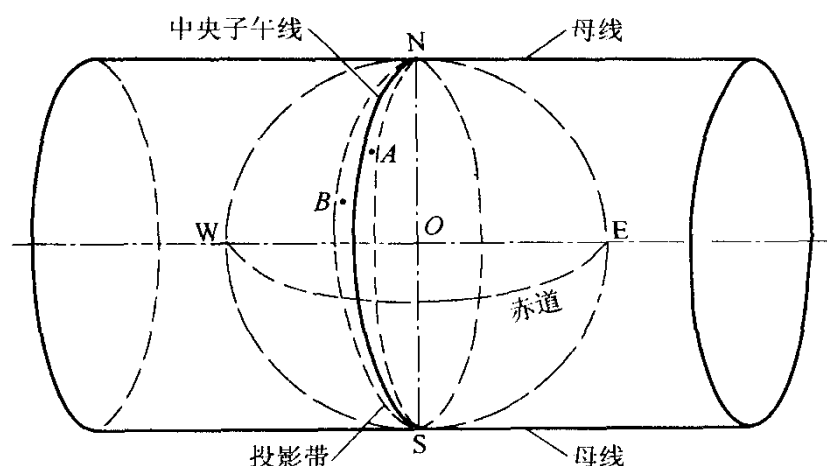


图 1-5 高斯平面直角坐标的投影

由于我国国土全部位于北半球(赤道以北), 故我国国土上全部点位的 x 坐标值均为正值, 而 y 坐标值则有正有负。为了避免 y 坐标值出负值, 我国规定将每带的坐标原点向西移 500km, 如图 1-6b) 所示。由于各投影带上的坐标系是采用相对独立的高斯平面直角坐标系, 为了正确区分某点所处投影带上的位置, 规定在横坐标 y 值前面冠以投影带带号。例如, 图 1-6a) 中 B 点位于高斯投影 6° 带的第 20 号带内 ($N = 20$), 其真正横坐标 $y_b = -113\,424.690\text{m}$, 按照上述规定 y 值应改写为 $y_b = 20(-113\,424.690 + 500\,000) = 20\,386\,575.310$ 。反之, 人们从这个 y_b 值中可以知道, 该点是位于 6° 带的第 20 号带, 其真正坐标 $y_b = 386\,575.310 - 500\,000 = -113\,424.690\text{m}$ 。

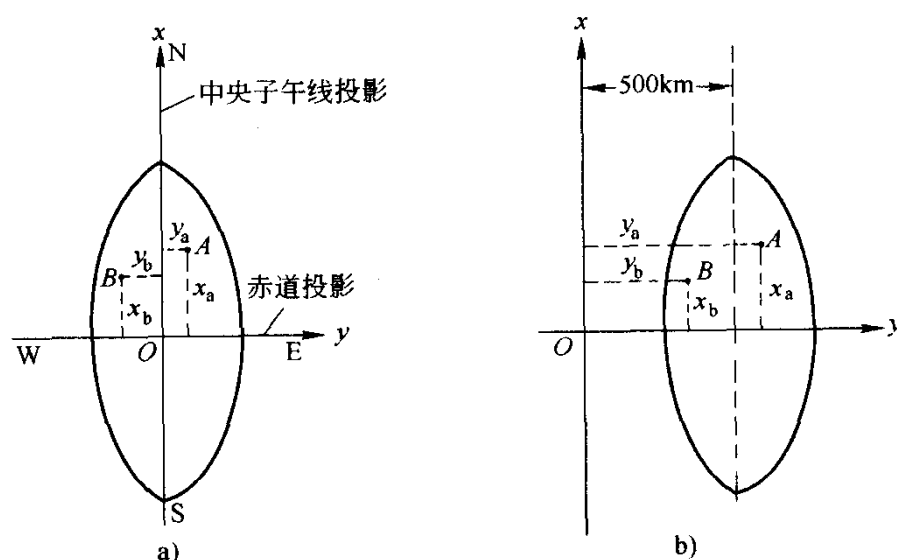


图 1-6 高斯平面直角坐标

高斯投影是正形投影, 一般需将椭球面上的方向、角度及距离等观测值经高斯投影的方向改化和距离改化后, 归化为高斯投影平面上的相应观测值, 然后在高斯平面坐标系内进行平差计算, 从而求得地面点位在高斯平面直角坐标系的坐标。

(2) 独立平面直角坐标

当测量的范围较小时, 可以把该测区的地表一小块球面当作平面看待, 将坐标原点选在测区西南角使坐标均为正值, 以该地区中心的子午线为 x 轴方向, 建立该地区的独立平面直角

坐标系。

(3) 建筑坐标系

在房屋建筑或其他工程工地,为了对其平面位置进行施工放样的方便,应使所采用的平面直角坐标系与建筑设计的轴线相平行或垂直。对于左右、前后对称的建筑物,甚至可以把坐标原点设置于其对称中心,以简化计算。

将独立平面直角坐标系或建筑坐标系与当地高斯平面直角坐标系进行连测后,可以将点的坐标在这两种坐标之间进行坐标换算。

4. 高程系统

地面点到大地水准面的铅垂距离称为绝对高程(简称高程,又称为海拔)。图 1-7 中 A、B 两点的绝对高程分别为 H_A 、 H_B 。

由于海水面受潮汐、风浪等影响,它的高低时刻在变化。通常是在海边设立验潮站,进行长期观测,求得海水面的平均高度作为高程零点,也就是设大地水准面通过该点。在大地水准面上,绝对高程为零。大地水准面为高程的起算面。

在局部地区,有时需要假定一个高程起算面(水准面),地面点到该水准面的垂直距离称为假定高程或相对高程。如图 1-7 所示, A、B 点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B 。建筑工地常以建筑物地面的设计地坪为高程零点,其他部位的高程均相对于地坪而言,称为标高。标高也是属于相对高程。

地面上两点间绝对高程或相对之差称为高差,用 h 表示。如图 1-7 所示, A、B 两点间的高差为:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-2)$$

式中, h_{AB} 有正有负,其下标 AB 表示 A 点至 B 点的高差。

上式也表明两点间高差与高程起算面无关。

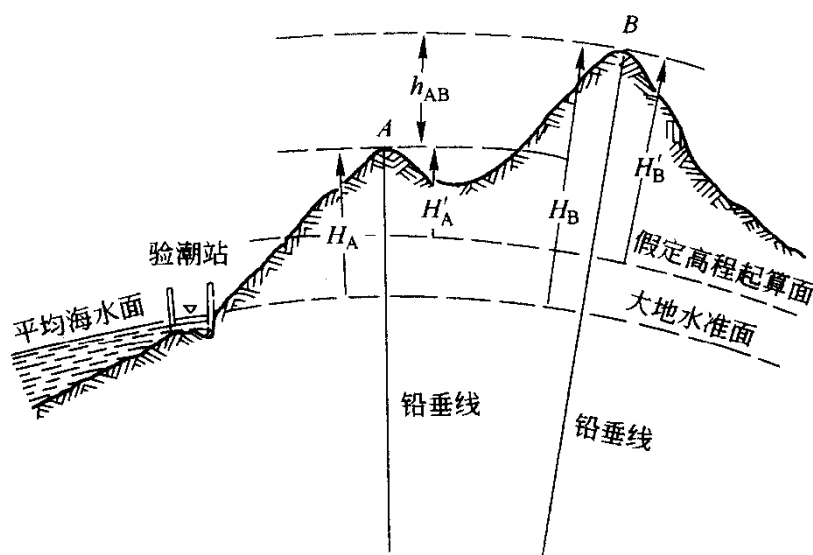


图 1-7 高程和高差

1.4 地球曲率的影响

测量工作的基准面——大地水准面是一个极其复杂的曲面,测量数据要归化计算(投影)到该曲面上是很困难的,因此,我们现将其简化为圆球面。

在普通测量范围内,将地面点投影到该圆球面上,然后再投影到平面图纸上描绘,显然这还是很复杂的工作。在实际测量工作中,在一定的精度要求和测量面积不大的情况下,往往以水平面代替水准面,即把较小一部分地球表面上的点投影到水平面上来决定其位置,这样可以简化计算和绘图工作。

从理论上讲,将极小部分的水准面(曲面)当作水平面也是要产生变形的,必然对测量观测

值(如距离、高差等)带来影响。当上述这种影响较小,不超过规定的误差范围时,认为用水平面代替水准面是可以的,而且是合理的。本节主要讨论用水平面代替水准面对距离和高差的影响(或称地球曲率的影响),以便给出水平面代替水准面的限度。

1. 对距离的影响

如图 1-8 所示,设球面(水准面) P 与水平面 P' 在 A 点相切, A 、 B 两点在球面上弧长为 D , 在水平面上的距离(水平距离)为 D' , 即:

$$\begin{aligned} D &= R \cdot \theta \\ D' &= R \cdot \tan \theta \end{aligned} \quad (1-3)$$

式中, R 为球面 P 的半径; θ 为弧长 D 所对角度。

以水平面上距离 D' 代替球面上弧长 D 所产生的误差为 ΔD , 则:

$$\Delta D = D' - D = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-4)$$

将式(1-4)中 $\tan \theta$ 按级数展开,并略去高次项,得:

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3} \theta^3 \quad (1-5)$$

将式(1-5)代入式(1-4),并顾及 $\theta = \frac{D}{R}$, 整理可得:

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

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R} \right)^2 \quad (1-7)$$

若取地球平均曲率半径 $R = 6\,371\text{km}$, 并以不同的 D 值代入式(1-6)和式(1-7), 则可得出距离误差 ΔD 和相应的相对误差 $\Delta D/D$, 如表 1-1 所列。

水平面代替水准面的距离误差及其相对误差

表 1-1

距离 $D(\text{km})$	距离误差 $\Delta D(\text{mm})$	相对误差 $\Delta D/D$	距离 $D(\text{km})$	距离误差 $\Delta D(\text{mm})$	相对误差 $\Delta D/D$
10	8	1/1 220 000	50	1 026	1/49 000
25	128	1/200 000	100	8 212	1/12 000

由表 1-1 可知, 当距离为 10km 时, 用水平面代替水准面(球面)所产生的距离相对误差为 1/1 220 000, 这样小的距离误差就是在地面上进行最精密的距离测量也是允许的。因此, 可以认为在半径为 10km 的范围内(相当面积 320km²), 用水平面代替水准面所产生的距离误差可忽略不计, 也就是可不考虑地球曲率对距离的影响。当精度要求较低时, 还可以将测量范围的半径扩大到 25km(相当面积 2 000 km²)。

2. 对高差的影响

在图 1-8 中, A 、 B 两点在同一球面(水准面)上, 其高程应相等(即高差为零)。 B 点投影到水平面上得 B' 点。则 BB' 即为水平面代替水准面产生的高差误差。设 $BB' = \Delta h$, 则:

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + D'^2 \quad (1-8)$$

整理得:

$$\Delta h = \frac{D'^2}{2R + \Delta h} \quad (1-9)$$

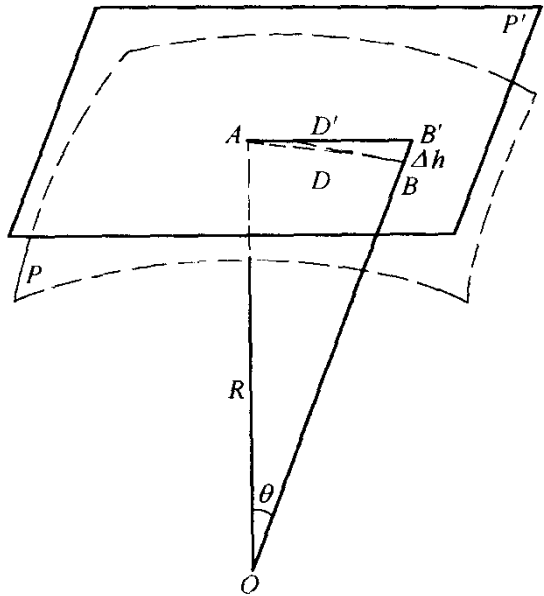


图 1-8 地球曲率的影响

式(1-9)中,可以用 D 代替 D' ,同时 Δh 与 $2R$ 相比可略去不计,则:

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-10)$$

以不同的 D 代入式(1-10),取 $R = 6\,371\text{km}$,则得相应的高差误差值,如表 1-2 所列。

水平面代替水准面的高差误差

表 1-2

距离 $D(\text{km})$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	5	10
$\Delta h(\text{mm})$	0.8	3	7	13	20	78	314	1 962	7 848

由表 1-2 可知,用水平面代替水准面,在 1km 的距离上高差误差就有 78mm ,即使距离为 $0.1\text{km}(100\text{m})$ 时,高差误差也有 0.8mm 。所以,在进行水准测量时,即使很短的距离都应考虑地球曲率对高差的影响。

1.5 测量工作的程序及基本内容

地球表面是复杂多样的,在测量工作中将其分为地物和地貌两大类。地面上固定性物体,如河流、房屋、道路、湖泊等称为地物;地面的高低起伏的形态,如山岭、谷地和陡崖等称为地貌。地物和地貌统称为地形。

测量工作的主要任务是测绘地形图和施工放样,本节扼要介绍测图和放样的大概过程,从而为学习后面各章建立起初步的概念。

1. 测量工作的基本原则

测绘地形图时,要在某一个测站上用仪器测绘该测区所有的地物和地貌是不可能的。同样,某一厂区或住宅区在建筑施工中的放样工作也不可能在一个测站上完成。如图 1-9a)所示,在 A 点设站,只能测绘附近的地物和地貌,对位于山后面的部分以及较远的地区就观测不到,因此,需要在若干点上分别施测,最后才能拼接成一副完整的地形图,如图 1-9b)所示,图中 P 、 Q 、 R 为设计的房屋位置,也需要在实地从 A 、 F 两点进行施工放样。因此,进行某一个测区的测量工作时,首先要用较严密的方法和较精密的仪器,测定分布在全区的少量控制点(例如图 1-9 中的 A 、 B 、 $\dots$ 、 F)的点位,作为测图或施工放样的框架和依据,以保证测区的整体精度,称为控制测量。然后在每个控制点上,以较低的(当然也需保证是必要的)精度施测其周围的局部地形细部或放样需要施工的点位,称为碎部测量。

另外,任何测量工作都不可避免地会产生误差,故每点(站)上的测量都应采取一定的程序和方法,以便检查错误或防止误差积累,保证测绘成果的质量。

因此,在实际测量工作中应当遵守以下两个基本原则:

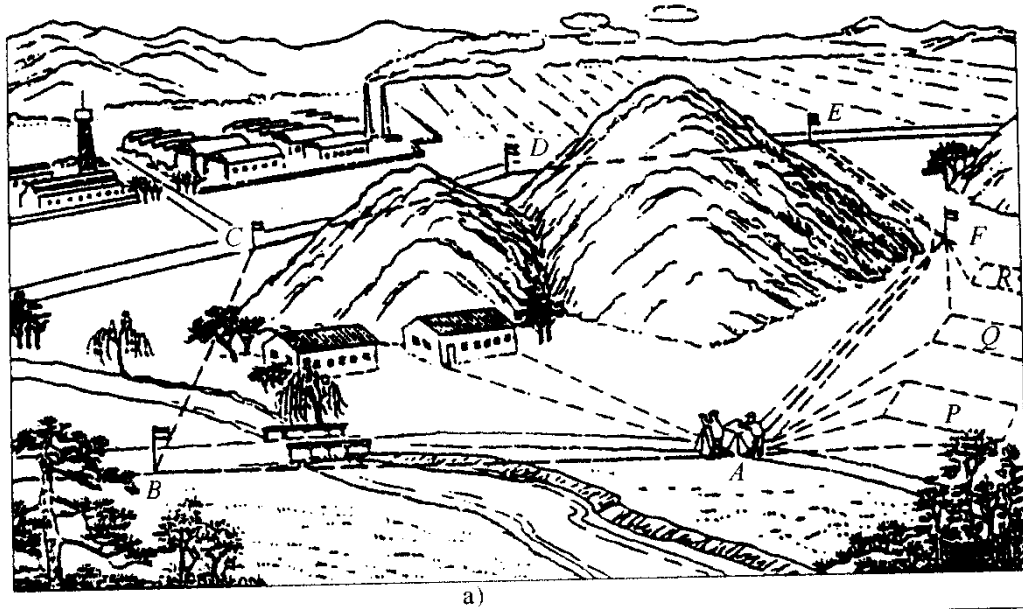
(1)在测量布局上,应遵循“由整体到局部”的原则;在测量精度上,应遵循“由高级到低级”的原则;在测量程序上,应遵循“先控制后碎部”的原则。

(2)在测量过程中,应遵循“随时检查,杜绝错误”的原则。

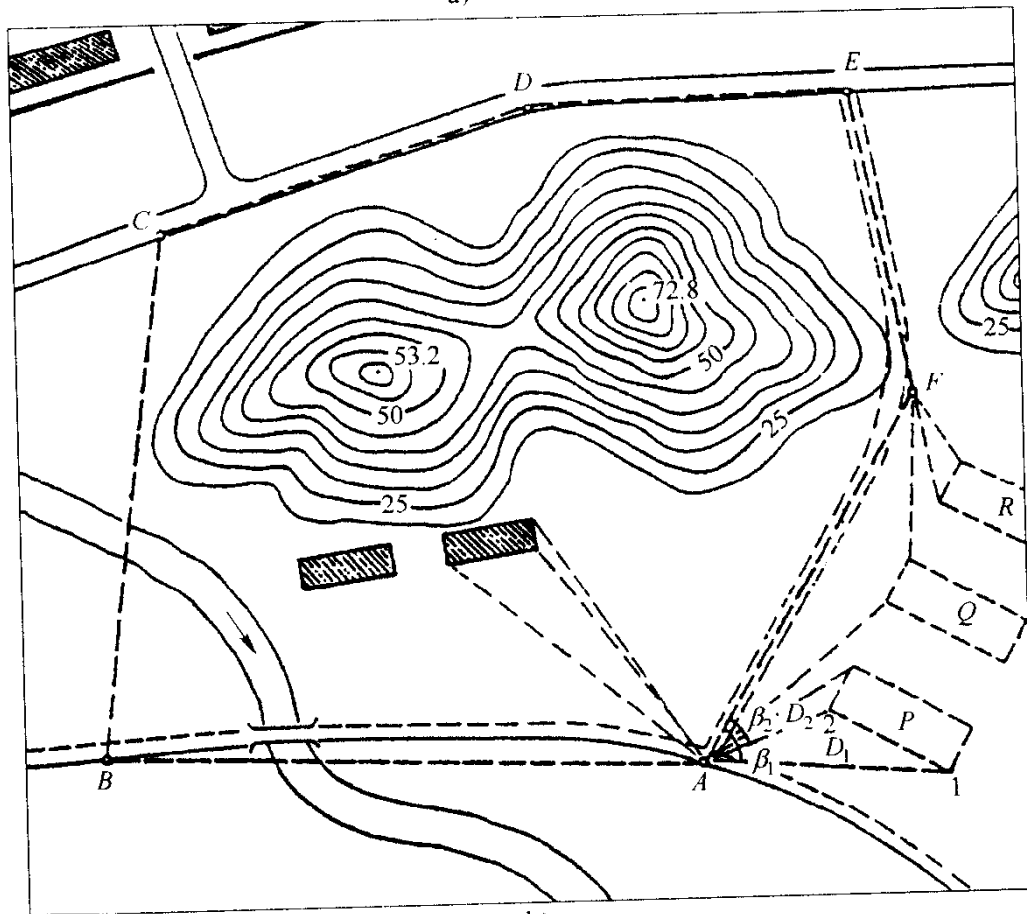
2. 控制测量

控制测量分为平面控制测量和高程控制测量,由一系列控制点构成控制网。

平面控制网以连续的折线构成多边形格网,称为导线网,如图 1-10a)所示,(可参看图 1-9),其转折点称为导线点,两点间的连线称为导线边,相邻两边间的夹角称为导线转折角,导

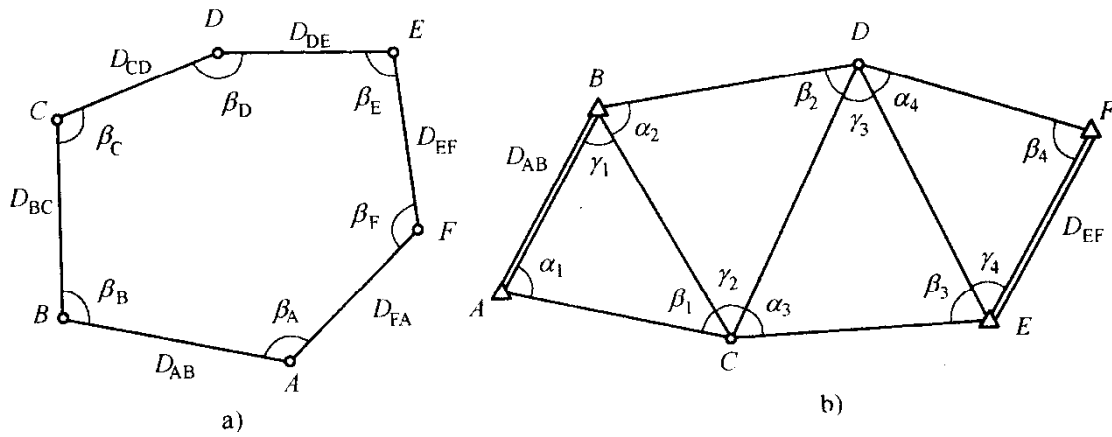


a)



b)

图 1-9 控制测量与碎部测量



a)

b)

图 1-10 平面控制网

线测量测定这些转折角和边长,以计算导线点的平面直角坐标。

平面控制网以连续的三角形构成,称为三角网,如图 1-10b),通过测量三角形的角度,以计算三角形顶点——三角点的平面直角坐标。

高程控制网是由一系列水准点构成水准网,用水准测量或三角高程测量测定水准点间的高差,以计算水准点的高程。

利用人造地球卫星的全球定位系统(GPS),可以同时测定控制点的坐标和高程,是控制测量的发展方向。

3. 碎部测量

在控制测量的基础上,再进行碎部测量。图 1-11 所示为地形图的图解测绘法:首先,按控制点 A 、 B 、 $\cdots$ 的坐标值,用一定的比例缩小,在图纸上绘出各控制点的位置 a 、 b 、 $\cdots$;然后,测绘各控制点周围的地物和地貌。例如。在控制点 A 测定附近房屋的房角点 1 、 2 、 3 、 $\cdots$,按比例缩小,连接有关线条,绘制成图。

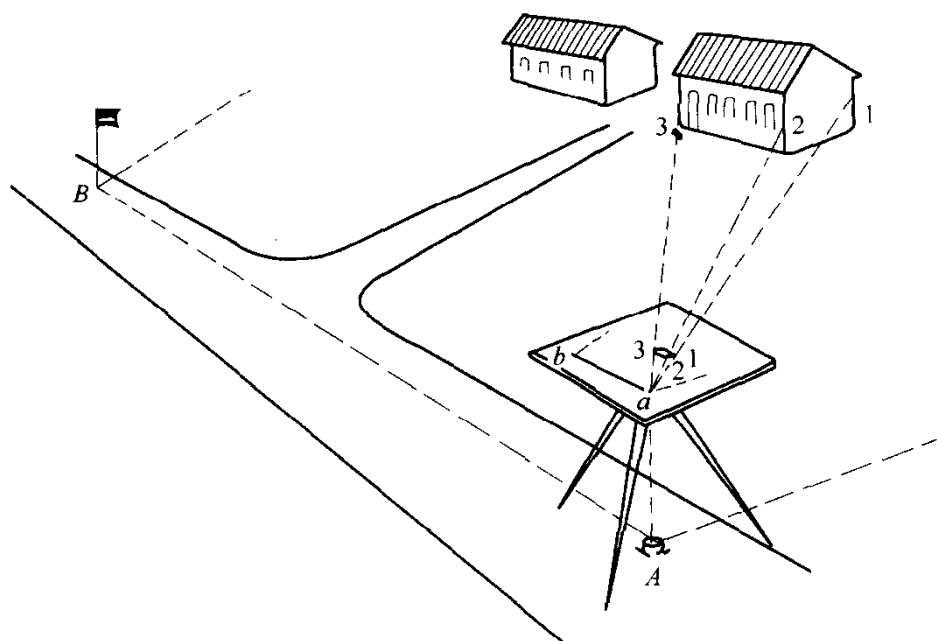


图 1-11 地物的碎部测绘

在地面有高低起伏的地方,根据控制点,可以测定一系列地形特征点的平面位置和高程,据此可以绘制用等高线表示的地貌,如图 1-12 所示,注于线上的数字为地面的高程。

4. 施工放样的概念

施工放样(测设)是把设计图上建(构)筑物位置在实地上标定出来,作为施工的依据。为了使地面定出的建筑物位置成为一个有机联系的整体,施工放样同样需要遵循“先控制后碎部”的基本原则。

如图 1-9 所示,在控制点 A 、 F 附近设计了建筑物 P (图中用虚线表示),现要求把它在实地标定下来。根据控制点 A 、 F 及建筑物的设计坐标,计算水平角 β_1 、 β_2 和水平距离 D_1 、 D_2 等放样数据,然后在控制点 A 上,用仪器测设出水平角 β_1 、 β_2 所指的方向,并沿这些方向测设水平距离 D_1 、 D_2 ,即在实地定出 1 、 2 等点,这就是该建筑物的实地位置。上述所介绍的方法是施工放样中常用的极坐标法,此外还有直角坐标法、方向(角度)交会法和距离交会法等。