

测量学

陈秀菊 许天均 主编



东北林业大学出版社

知识

测 量 学

陈秀棠 许天钧 主编

东北林业大学出版社

内 容 提 要

该书介绍了测量仪器的构造、使用和检验校正；控制测量和地形图测绘的理论和方法；公路、桥梁、建筑和采运工程的测量工作；摄影测量的基本知识和现代测量技术也作了简要的叙述。全书共分六章。

测 量 学

陈秀棠 许天钧 主编

东北林业大学出版社出版

(哈尔滨市和兴路8号)

黑龙江省新华书店发行

东北林业大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 25.25 插页1 字数 516 千字

1988年9月 第1版 1988年9月第1次印刷

印数 1-8,000

ISBN 7-81008-040-7/P·1 定价 4.15 元

前 言

本书系根据我校道路桥梁工程专业、工业与民用建筑工程专业和森林采运工程专业《测量学》教学大纲，并结合多年教学经验和参加生产实践的体会，按照“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的原则进行编写的。

本书主要阐述了测量学的基本知识、基本理论和基本技能。全面地介绍了有关专业的工程测量知识，并结合专业需要介绍了目前国内、外的近代测量技术和仪器设备。书中叙述力求简明扼要，由浅入深，理论与实践结合，以利于教学和实际应用。

各专业采用本教材时，基本知识和基本理论部分通用，而与专业特点有关的各章可按专业需要选用。

本书由陈秀棠、许天钧主编，任明照副教授主审。参加编写的同志有：孔祥久（第六、八、十四章）、王国成（第二、三章）、许天钧（第五、十五章）、李宝全（第十二、十六章）、陈秀棠（第一、四、十三章）、黄定宇（第九、十章）、崔玉明（第七、十一章）。插图由李兆华、李若兰、黄定宇描绘。在编写过程中有关专业课教师参加了研究，并提出宝贵意见，在此表示衷心感谢。

本书可作为高等院校道路桥梁工程专业、工业与民用建筑工程专业和森林采运工程专业教材，也可供工程技术人员参考。

由于编者水平有限，书中如有错误或不当之处，敬请批评指正。

编 者

1987年

目 录

第一章 结 论	(1)
§ 1—1 测绘工作的任务及其在现代化建设中的作用	(1)
§ 1—2 地球的形状和大小	(2)
§ 1—3 地面上点位的确定	(3)
§ 1—4 用水平面代替水准面的限度	(5)
§ 1—5 测量工作的概述	(6)
§ 1—6 绘图比例尺和比例尺的精度	(8)
§ 1—7 地图、平面图、地形图和断面图	(11)
第二章 距离丈量和直线定向	(12)
§ 2—1 丈量工具	(12)
§ 2—2 测点的标志与直线定线	(13)
§ 2—3 直线丈量	(14)
§ 2—4 钢尺的检定及尺长误差的改正	(16)
§ 2—5 丈量误差及注意事项	(17)
§ 2—6 直线定向	(18)
§ 2—7 罗盘仪的构造和使用	(22)
§ 2—8 罗盘仪测量	(25)
第三章 角度测量	(29)
§ 3—1 角度测量原理	(29)
§ 3—2 光学经纬仪	(30)
§ 3—3 水平角测量	(37)
§ 3—4 竖直角测量	(42)
§ 3—5 角度测量误差及其注意事项	(47)
§ 3—6 经纬仪的检验和校正	(50)
§ 3—7 精密光学经纬仪	(54)
第四章 水准测量	(59)
§ 4—1 水准测量原理	(59)
§ 4—2 微倾水准仪和水准尺	(60)
§ 4—3 水准测量方法	(63)
§ 4—4 面水准测量	(71)
§ 4—5 水准测量误差	(72)
§ 4—6 微倾水准仪的检验和校正	(74)
§ 4—7 自动安平水准仪	(78)
§ 4—8 精密水准仪	(80)
第五章 误差理论的基本知识	(84)
§ 5—1 观测误差	(84)

§5-2 偶然误差的特性	(85)
§5-3 衡量精度的标准	(86)
§5-4 误差传播定律	(89)
§5-5 算术平均值及其中误差	(94)
§5-6 用改正数计算观测值中误差	(95)
§5-7 误差传播定律在测量中的应用	(98)
§5-8 权的概念	(102)
第六章 控制测量	(109)
§6-1 概 述	(109)
§6-2 导线测量的一般知识	(111)
§6-3 导线测量的外业工作	(11)
§6-4 导线测量的内业工作	(114)
§6-5 检查导线测量错误的方法	(122)
§6-6 小三角测量的一般知识	(125)
§6-7 小三角测量的外业工作	(126)
§6-8 小三角测量的内业计算	(135)
§6-9 前方交会定点	(149)
§6-10 高程控制测量	(151)
§6-11 跨河水准测量	(180)
第七章 视距测量	(183)
§7-1 视距测量原理	(183)
§7-2 视距测量方法	(185)
§7-3 视距测量误差和注意事项	(170)
§7-4 视距导线测量	(171)
第八章 地形测量	(176)
§8-1 概 述	(176)
§8-2 地形图图式	(176)
§8-3 大平板仪的构造及使用	(183)
§8-4 控制及控制点的加密	(186)
§8-5 测图前的准备工作	(186)
§8-6 碎部测绘	(189)
§8-7 地形图的绘制	(195)
§8-8 地形图拼接和整饰	(197)
第九章 地图识图和地形图应用	(200)
§9-1 地形图的分幅和编号	(200)
§9-2 地形图的阅读	(208)
§9-3 地形图的应用	(210)
§9-4 面积计算	(219)
第十章 公路测量	(223)
§10-1 概 述	(223)
§10-2 中线测量	(224)
§10-3 圆曲线测设	(227)

§ 10-4	困难地段的曲线测设	(236)
§ 10-5	复曲线	(241)
§ 10-6	回头曲线	(242)
§ 10-7	缓和曲线	(244)
§ 10-8	路线中线的展绘	(256)
§ 10-9	路线纵断面测量	(257)
§ 10-10	路线横断面测量	(264)
第十章	施工测量的基本工作	(269)
§ 11-1	水平距离、水平角和高程的测设	(269)
§ 11-2	点的平面位置测设	(270)
§ 11-3	已知坡度线的测设	(272)
§ 11-4	平面的测设	(273)
第十二章	道路和桥梁施工测量	(275)
§ 12-1	路线施工测量	(275)
§ 12-2	桥梁施工控制测量	(284)
§ 12-3	桥梁墩台中心位置的测定	(288)
§ 12-4	墩台施工中的测量工作	(291)
§ 12-5	双曲拱桥上部构造施工中的测量工作	(295)
§ 12-6	桥台锥形护坡放样	(300)
第十三章	工业与民用建筑施工测量	(303)
§ 13-1	施工测量概述	(303)
§ 13-2	建筑场地施工控制网的建立	(304)
§ 13-3	民用建筑施工测量	(308)
§ 13-4	工业厂房施工测量	(314)
§ 13-5	烟囱施工测量	(318)
§ 13-6	建筑物的沉降观测与倾斜观测	(320)
§ 13-7	管道工程测量	(324)
§ 13-8	激光定位技术在施工测量中的应用	(332)
§ 13-9	竣工总平面图的编绘	(336)
第十四章	森林采伐运输中的测量工作	(338)
§ 14-1	林区规划、总体设计中的测量工作	(338)
§ 14-2	局(场)址地形测量	(338)
§ 14-3	采伐工艺设计中的测量工作	(340)
§ 14-4	贮木场规划设计及测设的测量工作	(342)
§ 14-5	架空索道测量	(344)
第十五章	摄影测量的基本知识	(348)
§ 15-1	航空摄影与摄影象片	(349)
§ 15-2	象片的几何特性	(350)
§ 15-3	象片的判读与调绘	(355)
§ 15-4	象片的立体观察	(356)
§ 15-5	航空摄影测量的成图方法	(358)
§ 15-6	摄影测量在林业建设中的应用	(360)

第十六章 光电测距仪	(362)
§ 16—1 概述	(362)
§ 16—2 红外测距仪测距原理	(365)
§ 16—3 测距仪的组成和使用	(367)
§ 16—4 测距仪的误差分析	(372)
§ 16—5 测距仪的检验	(376)
§ 16—6 提高测距精度的措施	(380)
§ 16—7 Wild DI ₄ 及 DI ₄ L 红外测距仪的简介	(381)
§ 16—8 电子经纬仪与光电测距仪的结合——电子速测仪	(384)
§ 16—9 日本 SET ₃ 全站型电子速测仪简介	(386)
§ 16—10 电子经纬仪测角原理	(391)
主要参考文献	(395)

第一章 绪 论

§1—1 测绘工作的任务及其在现代化建设中的作用

一、测量学研究对象

测量学是研究整个地球及其表面上局部地区的形状和大小的一门应用科学。

二、测量学的任务

(一) 测定：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，或在图纸上缩绘成地形图、断面图等，供科学研究、经济建设和国防建设使用。

(二) 测设：是把图纸上规划设计好的建筑物轴线和特征点的位置，在地面上标定出来，作为施工的依据。

三、测量学的分类

测量学根据研究的对象和应用范围不同，可分成以下四类：

(一) 大地测量学：是研究较大的区域甚至整个地球的形状和大小，建立国家大地控制网和研究地球重力场的理论、技术和方法。在计算与绘图中要考虑地球的曲率。近年来，由于人造地球卫星的发射及遥感技术的发展，大地测量学又分为常规大地测量学和卫星大地测量学。

(二) 地形测量学：研究对象是小区域地球表面的形状和大小，不考虑地球曲率，用平面代替地球曲面，根据需要测绘各种比例尺的地形图。

(三) 摄影测量学：是利用摄影片来研究地球表面的形状和大小的测绘科学。由于摄影的方法不同，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。

(四) 工程测量学：是研究工程建设中所进行的各种测量工作。由于研究的对象不同，可分为路线测量、建筑测量、矿山测量和水利测量等。

四、测绘工作在现代化建设中的作用

测绘工作在经济建设、国防建设和其它许多方面，都发挥着重要的作用，并且总是走在现代化建设的前面。

在经济建设方面,如地质勘探、农田水利基本建设、城市规划、工业与民用建筑、公路与铁路设计与施工、桥梁的架设等工程都离不开测量工作。

在林业生产建设中,地形图是实现大地园林化及从事林业各项规划设计的基本图面资料。如荒山荒地的调查、宜林地的造林规划、苗圃的布局与建立;林区开发中,局、场址的选定、森林资源清查、林区道路和架空索道的修筑等方面,都需要进行测量。

在国防建设中,战略的部署、战役的指挥和各种国防工程建设等,都是以测量工作所获得的各种图面资料和测量数据为依据,进行设计与施工。另外,在地震预测,灾情监视和科学考查等方面也都离不开测量工作。

由上述内容可见,测绘工作是实现四个现代化必不可少的一项基础工作,这就需要我们掌握测量学的理论和技能,以更好地为社会主义建设服务。

§1—2 地球的 形状 和 大小

测量学研究的对象是地球表面,因此在学习测量时,首先应该对地球的形状和大小有所了解。

地球表面起伏不平,有高山、深谷、平原、海洋等,这是地球的自然表面。由于地球表面 71% 是海洋, 29% 是陆地,假设把自由静止的海水面延伸穿过陆地,包围整

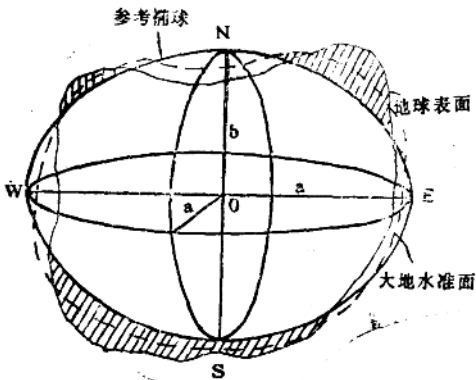


图 1—1

个地球,形成一个闭合的曲面,这个静止的海水面称为水准面。因海水有潮汐,时涨时落,所以水准面有无数个,其中与平均海面相一致的水准面称为大地水准面,如图 1—1 所示。由此面所围成的几何形状称为大地体,可以把它看作是地球的形状。

水准面的特性是面上任意一点的铅垂线都垂直于该点的曲面。但是由于地球内部质量分布的不均匀,引起铅垂线方向发生变化,使大地水准面成为一个有微小起伏的不规则曲面。

如果将地球表面上的图形投影到这样一个不规则的曲面上,在测量计算和制图上都将非常困难。为此在测量学上选用一个和大地水准面总的形状很接近的能用数学式子表示的规则曲面,来代替大地水准面作为测量计算的基准面,并在这个曲面上建立大地坐标系。这个用数学式子表达的几何形体,是由椭圆 NESW 绕其短轴 NS 旋转而成的两极略扁平的球体,称为参考椭球体,如图 1—1 所示。其形状大小由参考椭球体的元素来表示。

现在我国正利用人造卫星的观测成果及全国大地测量资料,计算适合我国实际情况

的参考椭球体元素。目前暂时采用克拉索夫斯基参考椭球体元素值。

长半轴 $a = 6378.245 \text{ km}$

短半轴 $b = 6356.863 \text{ km}$

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

1979年第17届国际大地测量与地球物理联合会通过并推荐的参考椭球体元素值为：

$a = 6378.137 \text{ km}$

$b = 6356.752 \text{ km}$

$$\alpha = \frac{1}{298.257}$$

由于参考椭球体的扁率很小，在地形测量学的范围内，可把地球看作圆球，其平均半径为：

$$R = \frac{1}{3} (a + a + b) = 6371 \text{ km}$$

§1—3 地面上点位的确定

地面上各种地貌和地物的平面形状，都是由它们的轮廓线所围成的，而轮廓线又是由一系列连续不断的点所组成。因此确定地面上的图形，最基本的工作就是确定地面点的位置。一个点的空间位置需要用三个量来确定，在测量工作中，也就是用地面点在投影面上的坐标和高程来表示。

一、地面点在投影面上的坐标

(一) 独立平面直角坐标

当测区较小时，可以把投影面看作平面，地面点在投影面上的位置可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—2所示。规定南北方向为纵轴 x ，向北为正，向南为负。以东西方向为横轴 y ，向东为正，向西为负。原点一般选在测区的西南角，使测区内各点的 x 、 y 坐标均为正值。象限按顺时针方向编号。 x 与 y 轴同数学上相反，这是由于在测量工作中坐标系中的角度以北方为准，按顺时针方向到某条边的夹角。而三角学中，三角函数的角则是从横轴起按逆时针方向计算。把 x 与 y 轴互换后，全部三角公式都同样能在测量中应用。

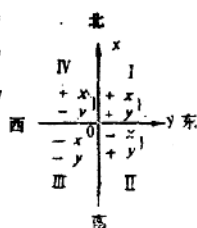


图1—2

(二) 高斯平面直角坐标

当测区范围较大时，就不能将这块较大的地表面当作平面看待，再不能用一个独立平面直角坐标系来表示点位。为了使全国有一个统一的坐标系，并且测量计算又能在

平面上进行,我国采用高斯投影的方法,用高斯平面直角坐标来表示地面点在投影面上的位置。这种坐标系是取投影带的中央子午线为坐标纵轴 x ;赤道为横轴 y ;交点 O 为坐标原点。如图1-3,在投影带内,作中央子午线的平行线即坐标纵线,作赤道的平行线即坐标横线,从而构成一个平面直角坐标系。赤道以北 x 为正值、以南 x 为负值。我国位于北半球,所以 x 全为正值。中央子午线以东 y 为正值、以西 y 为负值。为了使用坐标的方便,避免 y 出现负值,将坐标原点沿赤道西移500km。见图1-3。

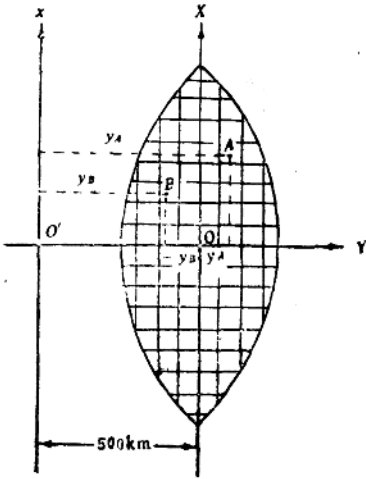


图1-3

高斯平面直角坐标与大地坐标的经纬度发生联系,因此适用大范围的测量工作。

(三) 大地坐标

以参考椭球体和法线为依据确定的地面点的大地经度和大地纬度,测量上统称为大地坐标。某点用大地坐标表示的位置,是该点在球面上的投影位置。

在图1-4中,NS为椭球的旋转轴,N表示北极,S表示南极,O为球心。通过椭球旋转轴的平面,称为子午面,而其中通过英国原格林威治天文台的子午面称为起始子午面。子午面与椭球面的交线称为子午线。通过椭球中心并与椭球旋转轴正交的平面称为赤道面,它与椭球面的交线称为赤道。

过地面上任一点P的子午面与起始子午面的夹角,称为P点的大地经度,以 L 表示。由起始子午线向东称为东经,向西称为西经,各由 $0^\circ-180^\circ$ 。

过地面点P的法线(在该点与椭球面的切平面相垂直的线)与赤道平面的夹角,称为P点的大地纬度,以 B 表示。

在赤道以北称为北纬,以南称为南纬,各由 $0^\circ-90^\circ$ 。

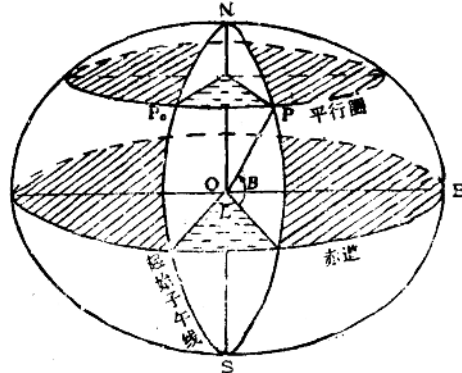


图1-4

大地经纬度是根据一个起始的大地点(通常叫做大地原点,这个原点的大地经纬度与天文经纬度一致)的大地坐标,按大地测量所得的数据推算而得。

二、地面点的高程

地面点到水准面的垂直距离,称为高程。地面点到大地水准面的垂直距离,称为绝对高程或海拔。地面点到假定水准面(选定的某水准面)的垂直距离,称为假定高程或

相对高程。如图 1—5, A 点的绝对高程为 H_A , 假定高程为 H'_A ; B 点的绝对高程为 H_B , 假定高程为 H'_B 。A、B 两点的高程差以 h_{AB} 表示, 则

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

我国的绝对高程是以青岛港验潮站历年记录的黄海平均海水面为准 (其高程为零), 并在青岛市内一个山洞里建立水准原点, 其高程为 72.289 m。全国布置的国家高程控制点, 都是以这个水准原点为基准测算出来的。这就是我国大地法式规定的 1956 年黄海高程系统。

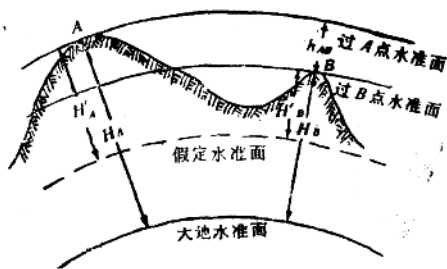


图 1—5

§1—4 用水平面代替水准面的限度

前面已说明, 当测区较小时可以把投影面看作平面, 即用水平面代替水准面。那么, 在多大范围内才能允许这种代替呢? 因此有必要确定用水平面代替水准面的限度, 也就是讨论地球曲率对水平距离和高程影响的问题。

一、地球曲率对水平距离的影响

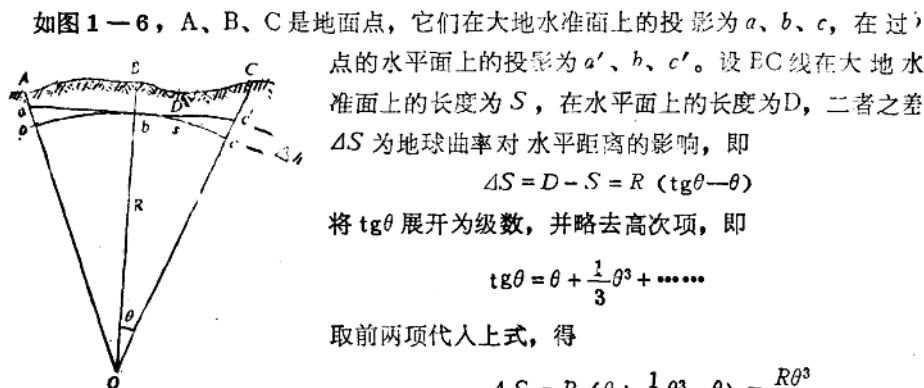


图 1—6

如图 1—6, A、B、C 是地面点, 它们在大地上水准面上的投影为 a 、 b 、 c , 在过 a 点的水平面上的投影为 a' 、 b' 、 c' 。设 EC 线在大地上水准面上的长度为 S , 在水平面上的长度为 D , 二者之差 ΔS 为地球曲率对水平距离的影响, 即

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

将 $\operatorname{tg} \theta$ 展开为级数, 并略去高次项, 即

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

取前两项代入上式, 得

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

已知 $\theta = \frac{S}{R}$, 则上式可写成

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

或

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

取 $R=6371\text{km}$ 和不同的距离 S ，代入以上二式计算，则

$$\text{当 } S=10\text{km 时} \quad \Delta S=0.82\text{cm} \quad \frac{\Delta S}{S}=\frac{1}{1200000}$$

$$\text{当 } S=20\text{km 时} \quad \Delta S=6.57\text{cm} \quad \frac{\Delta S}{S}=\frac{1}{300000}$$

由计算结果可知，当距离为 10km 时，以平面代替曲面所产生的误差为距离的 $1/1200000$ ，而精密的距离丈量容许误差为其长度的 $1/1000000$ 。因此在半径为 10km 范围内进行测量工作时，可将沿弧面上丈量的长度，作为平面上的距离。实际上在工程测量中，当测区范围的半径小于 20km 时，也可不考虑地球曲率对水平距离的影响。

二、地球曲率对高程的影响

如图 1—6，地面点 C 的高程为 cC ，用水平面代替水准面时， C 点的高程为 $c'C$ ，二者之差 P 为地球曲率对高程的影响，由图得

$$P=cC-c'C=c'o-co=R(\sec\theta-1)$$

将 $\sec\theta$ 展开为级数，并略去高次项，即

$$\sec\theta=1+\frac{1}{2}\theta^2+\dots$$

取前两项代入上式及 $\theta=\frac{S}{R}$ ，得

$$P=R\left(1+\frac{\theta^2}{2}-1\right)=\frac{S^2}{2R} \quad (1-4)$$

取 $R=6371\text{km}$ 及不同的距离 S 代入公式 (1—4) 计算，则

$$\text{当 } S=100\text{m 时} \quad P=0.78\text{mm}$$

$$\text{当 } S=200\text{m 时} \quad P=3.14\text{mm}$$

$$\text{当 } S=500\text{m 时} \quad P=19.62\text{mm}$$

结果表明，在高程测量中，即使距离不长，地球曲率的影响也较大。根据精度要求，必要时应采用适当的观测方法或进行曲率改正，以消除其影响。

§1—5 测量工作的概述

一、测图原理

如前述，在小范围的测图中，地面点的空间位置，可用其垂直投影在水平面上的坐标和高程来确定。但是坐标直接观测不出来，必须根据观测成果，经过一系列计算才能求得。

如图 1—7，在较小范围的地面上，有 A 、 B 、 C 、 D 、 E 五点所组成的闭合多边

形,为测定测区的形状和大小,须确定各点的空间位置。为此,把它们垂直投影在平面P上,得a、b、c、d、e五个投影点。要确定a、b、c、d、e各点在平面上的坐标,须测出相邻地面点间在平面上的水平距离 d_i ,相邻二边的水平夹角(内角) β_i 和起始边的方位角 α ,通过计算求得各投影点的坐标。这样各点在平面上的相互位置就确定了,然后再测出各地面点的高程,则A、B、C、D、E五点的空间位置和该闭合图形的形状、大小和方位就完全确定了。

由上述内容可知,水平距离、水平角度和高程,是确定点位的三个要素,因而在测图时,应通过观测和计算取得它们的数据。

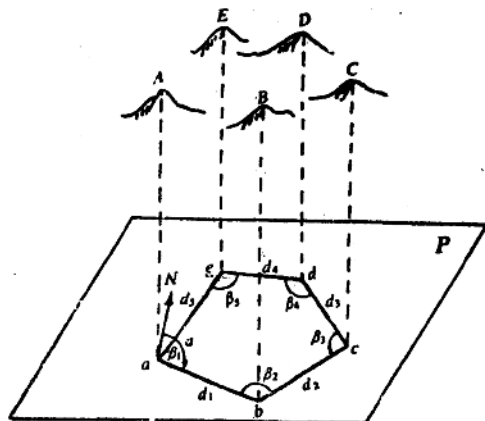


图 1-7

二、测量工作的程序

在测量工作中,会产生不可避免的误差。为避免逐点进行施测,使误差过份积累,最后可能达到不可容许的程度。因此,必须采取“从整体到局部”“先控制后碎部”的原则进行施测,以保证测量成果的质量。

根据上述原则,测量工作的程序如下:

(一) 控制测量

在测区内选择若干个具有控制作用的点(如图1-8中的A、B、C……等点)作为控制点,将这些点连结成各种几何图形以构成控制网。用较严密的方法和较精密的仪

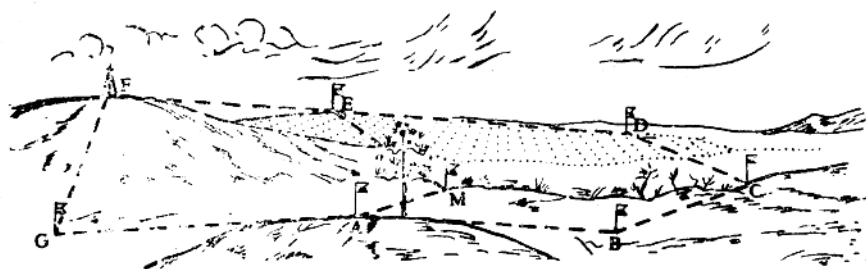


图 1-8

器,测定控制点之间的距离、角度和高差,并通过计算确定这些点的平面位置和高程,这种方法称为控制测量。其中,测定各控制点的平面位置的工作,称为平面控制测量;测定它们的高程,称为高程控制测量。

(二) 碎部测量

以各控制点为基础,用较低的精度测定其周围的碎部点(地物、地貌点)的平面位置

和高程，按一定的比例缩小展绘在图纸上，并以规定的符号表示地形、地物的位置和高程，绘成地形图，这种方法称为碎部测量。

无论控制测量或碎部测量，凡在野外进行的测量工作都称为外业；凡在室内进行的计算和绘图工作则称为内业。根据情况不同，外业和内业可以先后进行，也可以交替进行。

§1—6 绘图比例尺和比例尺的精度

地面上的图形在水平面上的投影，不可能按其真实的大小展绘到图纸上，必须按一定比例缩小绘制。缩小后平面图上的线段长度，与其在地面上相应线段的水平距离之比，称为绘图比例尺。

一、数字比例尺

以分子为1的分数形式表示的比例尺，称为数字比例尺。

设图上的线段长度为 l ，它在地上的水平距离为 L ，则绘图比例尺为：

$$\frac{l}{L} = \frac{1}{\frac{L}{l}} = \frac{1}{M} \quad (1-5)$$

式中 M ——比例尺分母。

常用的数字比例尺有：

$$\text{大比例尺：} \frac{1}{500}, \frac{1}{1000}, \frac{1}{2000}, \frac{1}{5000},$$

$$\text{中比例尺：} \frac{1}{10000}, \frac{1}{25000}, \frac{1}{50000},$$

$$\text{小比例尺：} \frac{1}{100000} \text{以下。}$$

比例尺的大小，随比例尺的分母大小而定，比例尺分母越大，比例尺就越小，绘出来的图也越小；反之，比例尺分母越小，比例尺就越大，绘出的图也越大。

比例尺分母 M ，既是地上水平距离在图上的缩小倍数，又是图上线段长度在地上的放大倍数。

知道绘图比例尺，就可以根据图上的长度求地面上相应的水平长度；也可以由地面上的水平长度换算成图上相应的长度。例如在比例尺为 $1/10000$ 的图上，两点间距离 l 为 2.45 cm ，则地面上的相应水平距离 L 为：

$$L = Ml = 10000 \times 2.45\text{ cm} = 245\text{ m}$$

又如实地水平长度 L 为 124 m ，若换算到 $1/2000$ 比例尺的图上，则

$$l = \frac{L}{M} = \frac{124}{2000} = 6.2\text{cm}$$

由数字比例尺定义可知，图上每一厘米线段所代表的地上以米为单位的长度，等于比例尺分母去掉两个零。此规律对任何比例尺都适用，它对心算是很方便的。

数字比例尺是绘图的指标，它是说明图形缩小程度的。使用时经过计算，虽可得到较准确的结果，但速度较慢又容易出错，所以在实用上多采用图示比例尺。

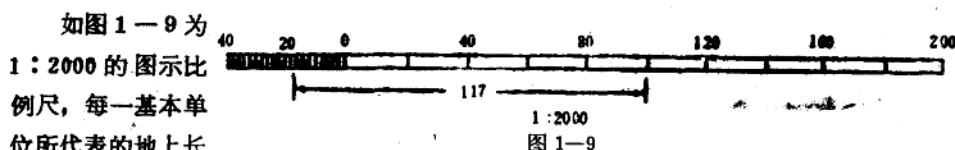
二、图示比例尺

以图解形式表示的比例尺，称为图示比例尺。现有三棱比例尺或塑料比例尺，均称图示比例尺。

一般在平面图或地形图上，都绘一图示比例尺，这不仅使用图方便，还可以消除因图纸伸缩而产生的误差。现将图示比例尺的绘制和用法说明如下：

(一) 图示比例尺的绘制

在图上画一横直线，以 2 cm 作为基本单位，在横直线上由左向右截取相等的线段，把最左边一个基本单位再等分 10 或 20 等份。以该基本单位右端的分划线为零，零线左边各分划线注以所代表的该比例尺的地上长度；零线右边的各等分点，则依次注以各基本单位所代表的地上长度的累加距离，至需要的长度为止。



(二) 图示比例尺的用法

如在比例尺为 1:2000 的平面图上，求某一线段的地上长度时，先用两脚规截取图上直线 ab 的长度，然后把两脚规的右脚尖放在图示比例尺零分划右边适当的分划线 100 上，左脚尖落在左边基本单位内 17m 处，两脚尖的读数之和即为地上的长度 117m。

三、复式比例尺

图示比例尺只能准确读出基本单位的 $\frac{1}{10}$ ，而小分划的零数是估读的，不一定准确。为了提高读数的精度，可采用复式比例尺。

(一) 复式比例尺的绘制

图 1-10 为 1/10000 的复式比例尺。在前述图示比例尺的基础上，通过各等分点作垂线，长度等于基本单位，把两端的垂线各等分 10 份，用横直线连接对应的等分点成