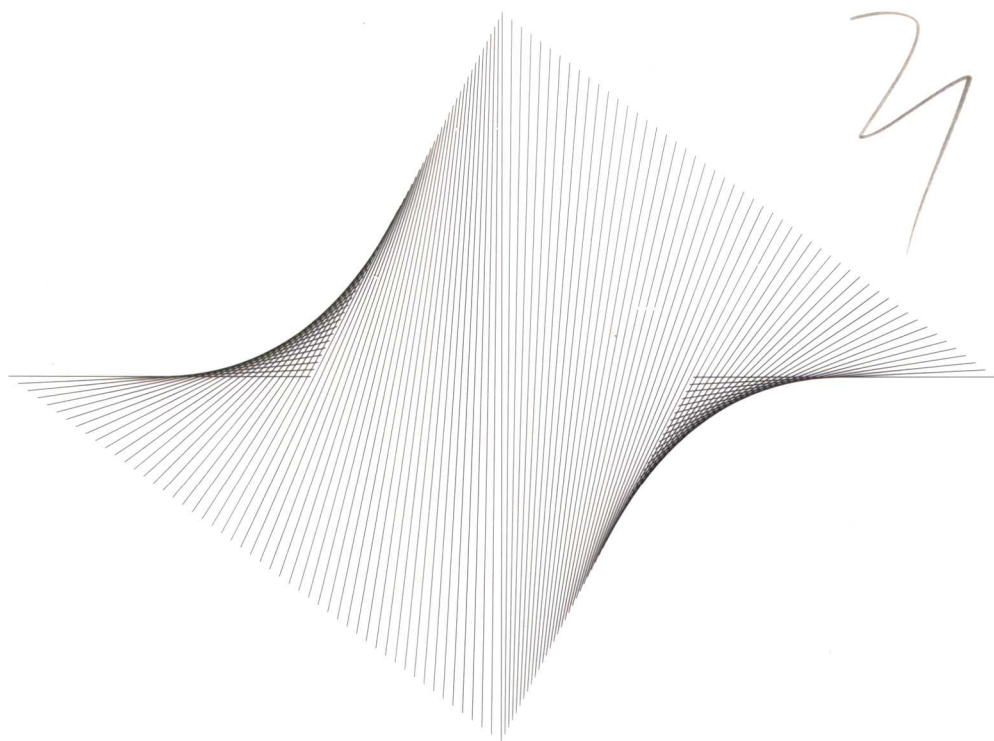


测量学



南京工业大学测绘工程教研室 编



国防工业出版社
National Defense Industry Press

测量学

南京工业大学测绘工程教研室 编

国防工业出版社

·北京·

1

图书在版编目(CIP)数据

测量学 / 南京工业大学测绘工程教研室编. —北京:
国防工业出版社, 2005.6
ISBN 7-118-03981-0

I. 测... II. 南... III. 测量学-高等学校-教材
IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 063031 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 14 322 千字

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:22.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

本教材是根据高等学校土木与建筑类各专业《测量学》课程的教学改革需要,按照高等学校土木与建筑类各专业的教学大纲,结合多年来的教学研究、学术交流和工程实践编写而成。全书共 11 章,主要介绍了测量学的基本知识、基本理论以及测量仪器的构造和使用方法、控制测量、地形图的常识和使用方法、大比例尺地形图的测绘、测设的基本工作、建筑工程施工测量、道路与桥梁工程施工测量以及地下工程施工测量知识。本书较多地融入了当前最新的测绘技术和仪器以及工程中的实用方法,如电子数字水准仪、全站仪、全球卫星定位系统(GPS)以及数字化测图等。

全书由蒋辉、潘庆林统稿,参加编写的有南京工业大学李明峰(第 1 章)、蒋辉(第 2、3、9、10 章)、高俊强(第 4 章)、郑国才(第 5 章)、胡灿(第 6 章)、刘三枝(第 7 章)、潘庆林(第 8、11 章)。

本书由河海大学章书寿教授主审。

书中的 CASIO fx-3950P 算例程序由南京工业大学陈欣、王红梅同学编写,在此表示感谢。

尽管我们尽了很大的努力,但书中还可能存在不少缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

2005 年 4 月于南京

目 录

第1章 绪论	1
1.1 测量学的任务及其作用	1
1.2 地球的形状和大小	2
1.3 地面点位的确定	3
1.4 测量工作概述	9
习题1	11
第2章 水准测量	12
2.1 水准测量原理	12
2.2 水准测量仪器及其操作	13
2.3 普通水准测量及其成果整理	18
2.4 DS ₃ 型水准仪的检验与校正	25
2.5 水准测量的误差及注意事项	28
2.6 自动安平水准仪	30
2.7 电子数字水准仪	31
习题2	33
第3章 角度和距离测量	35
3.1 角度测量	35
3.2 距离测量	45
3.3 全站型电子速测仪	52
习题3	59
第4章 测量误差基本知识	61
4.1 测量误差	61
4.2 评定精度的标准	64
4.3 观测值的成果计算与精度评定	65
4.4 误差传播定律及其应用	69
习题4	71
第5章 控制测量	73
5.1 控制测量概述	73
5.2 导线测量	75
5.3 角度前方交会法	83
5.4 三、四等水准测量	85
5.5 三角高程测量	87

5.6 全球定位系统简介	89
习题 5	91
第 6 章 地形图的基本知识和应用	94
6.1 地形图的基本知识	94
6.2 地形图的应用	106
习题 6	115
第 7 章 大比例尺地形图的测绘	117
7.1 测图前的准备工作	117
7.2 碎部点的测定方法	118
7.3 经纬仪测绘法	121
7.4 地形图的绘制与拼接	125
7.5 数字化测图概述	127
习题 7	130
第 8 章 测设的基本工作	131
8.1 已知水平距离、水平角和高程的测设	131
8.2 点的平面位置的测设方法	134
8.3 已知坡度线的测设	137
8.4 测设直线	138
习题 8	139
第 9 章 建筑工程施工测量	141
9.1 概述	141
9.2 施工场地的控制测量	142
9.3 民用建筑施工测量	144
9.4 工业厂房施工测量	148
9.5 建筑物的变形观测	151
9.6 竣工总平面图的编绘	156
习题 9	157
第 10 章 道路与桥梁施工测量	159
10.1 概述	159
10.2 道路中线测量	159
10.3 圆曲线的测设	163
10.4 缓和曲线的测设	168
10.5 路线纵、横断面测量	175
10.6 道路施工测量	181
10.7 桥梁施工测量	186
习题 10	190
第 11 章 地下工程施工测量	191
11.1 概述	191
11.2 地面平面与高程控制测量	192

11.3 隧道施工测量	194
11.4 竖井联系测量	197
11.5 地下平面与高程控制测量	201
11.6 隧道贯通误差的测定与调整	202
11.7 隧道竣工测量	203
习题 11	203
附录 CASIO fx-3950P 的操作方法	204
参考文献	216

第 1 章 绪 论

1.1 测量学的任务及其作用

1.1.1 测量学的概念

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。其内容包括测定和测设两部分。测定是指利用测量仪器和工具,通过测量、计算和绘图,获得描述地面点绝对位置或相对位置的数据或成果,包括点的坐标或高程、两点间的距离或方位、描述整个地形情况的地形图等。测设是指按照一定的测量方法,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。

按照研究的范围和对象的不同,测量学可分为大地测量学、普通测量学、摄影测量与遥感、海洋测量学、工程测量学及地图制图学等。随着人类探索自然、开发自然、利用自然研究的深入和近代科学技术的发展,尤其是计算机科学与电子技术的高速发展,传统的测绘技术(Surveying and Mapping)已发展成为融入多学科知识的测绘信息科学(Geomatics):常规大地测量已扩展到空间卫星大地测量(以 GPS 定位技术为代表);航空摄影测量已发展至遥感技术(简称 RS 技术);测量对象由地球表面扩展到空间星球,由静态发展到动态;测量仪器已趋向精密化、电子化和自动化;测量数据处理已由经典的最小二乘平差扩展到广义平差、统计检验、稳健估计、小波理论、神经网络理论;测量技术、成果的管理和应用已与地理信息系统(GIS)实现了集成。

本书主要介绍普通测量学及部分工程测量学的内容,同时顾及测绘新技术的发展与应用介绍,服务对象为建筑学、城市规划、土木工程、给水排水工程、市政工程、交通工程、勘查技术与工程、工程管理、房地产管理、地理信息系统、资源环境与城乡规划管理等专业的高校师生和相关科研、生产单位的技术人员。

1.1.2 测绘技术的应用

测量作为了解自然和改造自然的重要手段,不仅是国民经济建设中一项基础性、前期和超前期的工作,而且在国防建设和科学研究中起着十分重要的作用,应用十分广泛。

1. 测绘地形图

通过测量和绘图,可以形成各种比例尺的现状地形图或专题图,为建筑设计、城镇规划、市政工程、城市交通与旅游、土地与房地产开发、农业、林业、防灾等提供测绘资料。例如,为了出让某地块的使用权,必须标明其地理位置、地形、面积以及与周围建筑的关系等,这些要素可通过地形图简便、直观地表示出来;要设计一条道路,必须根据地形图设计出最佳路线;土木工程的设计和工程土方量的计算必须依赖现状地形图;农业与林业的调查与规划,必须根据地形图估算现有各类农作物或树林所占面积;城市的交通和旅游在很

大程度上反映了城市的现代化进程和投资环境,绘制现势性强的交通图和旅游图是进行城市交通规划设计和开发城市旅游业的基础性工作,实现城市智能化交通管理必须以城市现时电子交通图为基础。

2. 定线、拨地、勘察测量

按照规划设计部门的要求,进行道路规划定线、拨地测量以及各种土木工程的勘察测量,直接为建设工程项目的设计与施工服务。规划定线、拨地测量可确保规划实施的准确性和完整性,勘察测量可保证地质勘察报告的准确性,为提高建设工程项目的经济效益和社会效益提供测量依据。

3. 施工测量

在各项土木工程如建筑物、构筑物、道路、桥梁、地铁、过江隧道等的施工中,测量工作贯穿着全过程,起着十分重要的作用。点位平面位置、高程、轴线位置的误差,都会影响工程的质量。若误差较大,则可能造成工程质量不合格,甚至造成重大经济损失,带来严重的社会影响。

4. 变形监测

在工程施工过程和运营管理阶段,对高层、大型建(构)筑物进行沉降、位移、倾斜等变形观测,可以检验设计方案的可行性和施工过程的严密性,确保建(构)筑物的安全,并为建(构)筑物结构和地基基础的研究提供多种可靠的测量数据。变形监测是否规范、及时、准确,将直接关系到工程的质量和经济效益,是各项土木工程、交通工程建设中不可缺少的一项重要工作。

5. 国防建设

测绘科学在国防建设和科学研究中发挥着十分重要的作用:军事地图的制作、空间武器和人造卫星的发射,都必须依靠准确和全面的测绘与计算;GPS 导航定位技术、航天遥感技术(RS)、基于 GIS 的军事情报分析与辅助决策系统已成为现代化战争的必备技术武器。

6. 科学研究

随着人类活动范围的扩大,研究地球和外部空间已成为开发自然资源、提高生活质量、保证人民生命安全的前沿性工作。探索星际奥秘、研究地极周期性运动和地壳形变、预报地震及其他自然灾害等,都要应用精密测量技术和建立系统的测绘资料库。只有不断发展与应用测绘技术,使测绘能提供更多、更准确、更及时的信息服务,才能加快人类探索自然、开发自然与应用自然的步伐。

1.2 地球的形状和大小

测量工作是在地球的自然表面上进行的,而地球的自然表面很不规则,既有高达 8 848.13m 的珠穆朗玛峰,也有深至 11 022m 的马里亚纳海沟。因此,要描述地面点的位置,采用地球自然表面是无法建立数学模型和直接描述的。

尽管地球的表面高低起伏悬殊,但对于平均半径为 6 371km 的地球而言,这种高低起伏还是可以忽略不计的。此外,海洋面积约占地球表面总面积的 71%,陆地面积仅占 29%。因此,人们设想以一个静止不动的水面向陆地延伸,形成一个闭合的曲面包围整个

地球,称这个闭合曲面为水准面。水准面有无数个,其中通过平均海水面的一个水准面称为大地水准面,由大地水准面所包围的地球形体称为大地体,如图 1-1(a)所示。大地水准面是测量工作的基准面。

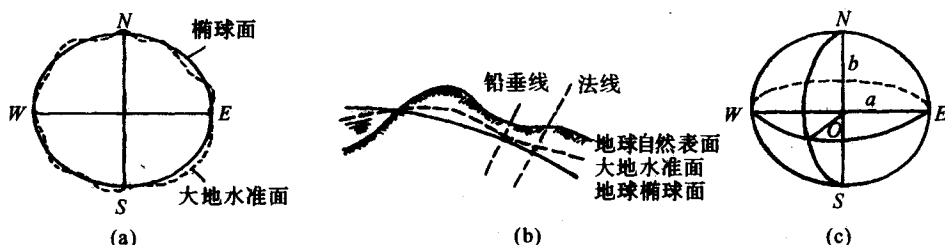


图 1-1 大地水准面与地球椭球

水准面是受地球重力影响而形成的,其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,而铅垂线则是测量工作的基准线。

由于地球内部质量分布的不均匀,重力的大小和方向也受其影响,故引起了铅垂线方向的改变,致使大地水准面成为一个有微小起伏的复杂曲面,如图 1-1(b)所示,它是一个物理概念的曲面。若将地球表面的图形投影到这个复杂曲面上,则其测量计算或地形绘图工作都是非常困难的。为此,人们经过几个世纪的观测和计算,选用一个既非常接近大地体,又能用数学式表示的规则几何形体来代表地球的形状。该几何形体是由一个椭圆 $NWSE$ 绕其短轴 NS 旋转而成的形体,称为地球椭球或旋转椭球,如图 1-1(c)所示。

地球椭球的形状和大小取决于椭圆的长半径 a 、短半径 b 及扁率 α ,其关系式为

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

在 20 世纪 80 年代以前,我国采用的地球椭球为克拉索夫斯基椭球,椭球元素数据为 $a = 6\,378\,245\text{m}$, $b = 6\,356\,863\text{m}$, $\alpha = 1:298.3$ 。所建立的坐标系称为“1954 年北京坐标系”,是新中国成立初期,通过与前苏联普尔科沃坐标系进行联测和计算得到的。随着我国国民经济的发展和测绘技术的进步,我国采用了国际上通用的 IAG-75 地球椭球,椭球元素数据为 $a = 6\,378\,140\text{m}$, $b = 6\,356\,755\text{m}$, $\alpha = 1:298.257$,并以陕西省泾阳县永乐镇某点为大地原点(东经 $108^{\circ}46'$,北纬 $34^{\circ}32'$),进行了大地定位和全国天文大地网联合平差,由此建立了新的全国统一坐标系,即目前使用的“1980 年国家大地坐标系”。

目前,我国主要采用“1980 年国家大地坐标系”,但由于旧坐标系的成果仍然在一些领域应用着,所以,目前实际存在着“1954 年北京坐标系”、“新 1954 年北京坐标系”、“1980 年国家大地坐标系”并存的局面。因此,在实际测量中,特别要注意坐标系统的转换和统一。

1.3 地面点位的确定

测量工作的实质是确定地面点的位置,地面点的空间位置需要用三维表示。对于空间大地测量而言,通常采用三维空间直角坐标表示;对于常规测量研究和应用而言,通常用二维的平面(或球面)坐标和一维的高程来表示。二维平面(或球面)坐标分为下列三

种:地理坐标、高斯平面直角坐标和独立平面直角坐标;高程系统则分为国家高程基准和相对高程基准两种。

1.3.1 地理坐标

地理坐标是表示地面点在球面(水准面)上的位置,用经度和纬度表示。按照基准面和基准线及推算坐标方法的不同,地理坐标又分为天文地理坐标和大地地理坐标两种。

天文地理坐标是表示地面点在大地水准面上的位置,用天文经度 λ 和天文纬度 ϕ 表示,如图 1-2 所示。天文经度和天文纬度是用天文测量的方法直接测定的。

大地地理坐标是表示地面点在地球椭球面上的位置,用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。大地经度和大地纬度则根据大地测量所得数据推算求得。经度是从首子午线(首子午面)向东或向西自 0° 起算至 180° ,向东者为东经,向西者为西经;纬度是从赤道(赤道面)向北或向南自 0° 起算至 90° ,分别称为北纬和南纬。我国国土均在北纬,例如,南京市中心区的大地地理坐标为东经 $118^\circ 47'$,北纬 $32^\circ 03'$ 。

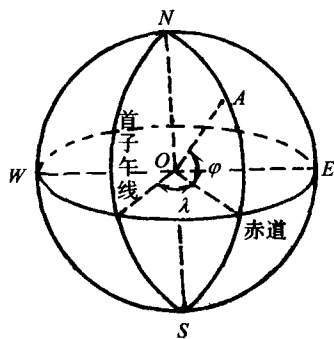


图 1-2 天文地理坐标

1.3.2 高斯平面直角坐标

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,不能直接用于测图和工程测量。测量的最佳计算基准面是平面,而地球椭球面是一个曲面,不能简单地展开成平面,应按照一定的数学方法将其展开成平面,从而建立其平面直角坐标系。我国是采用高斯投影来实现这一目标的。

首先,将地球按经线分为若干带,称为投影带。投影带按照规定经差的不同分为 6° 带和 3° 带两种。 6° 带是从首子午线(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,中央子午线经度 $L_0 = 6N - 3$,如图 1-3 所示。 3° 带是由东经 $1^\circ 30'$ 开始,自西向东每隔 3° 划为一带,其带号用 n 表示,中央子午线经度 $L'_0 = 3n$ 。我国国土所属范围大约为 6° 带的第 13 号带至第 23 号带,即带号 $N = 13 \sim 23$ 。相应地,在 3° 带中大约为第 24 号带至第 46 号带,即带号 $n = 24 \sim 46$ 。

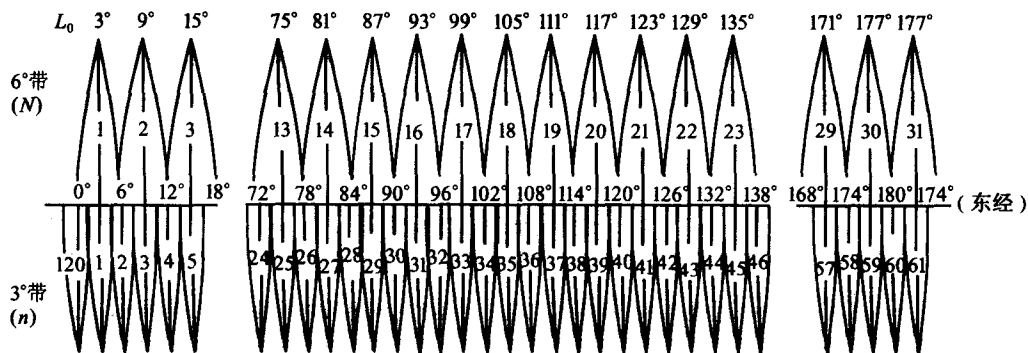


图 1-3 投影分带与 6° (3°) 带

确定某点所在投影带带号的计算公式为

$$6^\circ \text{ 带: } N = (L + 3^\circ) / 6^\circ (\text{四舍五入取整数}) \quad (1-2)$$

$$3^\circ \text{ 带: } n = L / 3^\circ (\text{四舍五入取整数}) \quad (1-3)$$

例如,陕西省泾阳县永乐镇处于东经 $108^\circ 46'$, 在 6° 带中, $N = (108^\circ 46' + 3^\circ) / 6^\circ = 19$ (四舍五入取整数), $L_0 = 6N - 3 = 6 \times 19 - 3 = 111^\circ$; 在 3° 带中, $n = 36$, $L'_0 = 108^\circ$ 。同理,南京市处于东经 $118^\circ 47'$, 则有 $N = 20$, $L_0 = 117^\circ$; $n = 40$, $L'_0 = 120^\circ$ 。

高斯投影的几何解释是,设想将一个横椭圆柱体套在椭球外面,使横椭圆柱的轴心通过椭球的中心,并与椭球面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)椭球面上的点、线投影到横椭圆柱面上,如图 1-4 所示。然后,顺着过南北极的母线将圆柱面剪开,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。我们规定中央子午线的投影为高斯平面直角坐标系的 x 轴,赤道的投影为高斯平面直角坐标系的 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 1-5(a) 所示。在该图中,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_a 、 y_a , x_b 、 y_b 来表示。

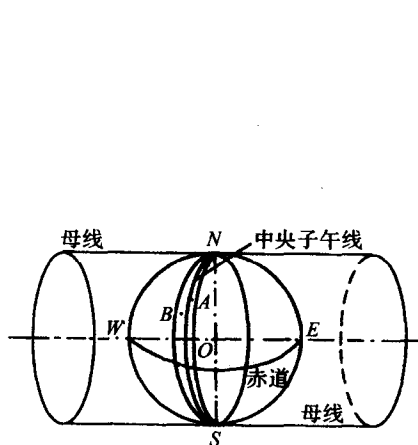


图 1-4 高斯平面直角坐标的投影

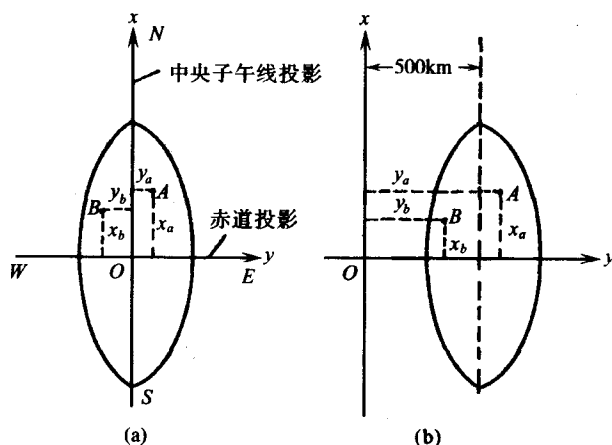


图 1-5 高斯平面直角坐标

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 坐标值出现负值,我国规定将每带的坐标原点向西移 500km,如图 1-5(b) 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,为了能正确区分某点所处投影带的位置,规定在横坐标 y 值前面冠以投影带带号。例如,在图 1-5(a) 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 $y_b = -124\ 625.723\text{m}$, 按照上述规定, y 值应改写为 $y_b = 20(-124\ 625.723 + 500\ 000) = 20\ 375\ 374.277\text{m}$ 。

高斯投影是正形投影,一般只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,然后在高斯平面直角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内的坐标。

1.3.3 独立平面直角坐标

若测量工作是在半径不大于 10km 的范围内进行,可以将该测区的球面看作平面,直接将地面点沿铅垂线方向投影到水平面上,用平面直角坐标来表示该点的投影位置。在实际测量中,一般将坐标原点选在测区的西南角,使测区内的点位坐标均为正值(第一象限),并以该测区的子午线(或磁子午线)的投影为 x 轴,向北为正,与之相垂直的为 y 轴,向东为正,由此建立了该测区的独立平面直角坐标系,如图 1-6 所示。

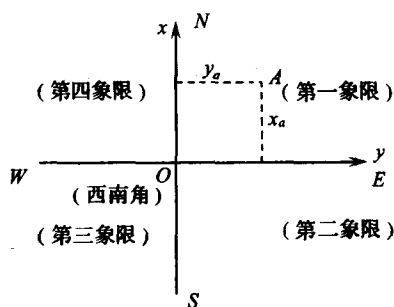


图 1-6 独立平面直角坐标

上述三种坐标系是以不同的方式来表示地面点的平面位置,它们之间是相互联系的,可以相互转换。例如,独立平面直角坐标通过平移和旋转也可转换成高斯平面直角坐标。其转换公式为

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} \quad (1-4)$$

式中: (x_0, y_0) 为平移参数; α 为旋转参数。

1.3.4 直线定向

前述点位平面直角坐标是对单个点位置的描述,若要描述两点之间的相对关系,则必须确定两点间的水平距离和两点间直线与标准方向之间的关系。确定直线与标准方向之间的关系(水平角度)称为直线定向。

1. 标准方向的种类

1) 真子午线方向

通过地球表面某点的真子午面的切线方向,称为该点真子午线方向;真子午线方向是用天文测量方法或用陀螺经纬仪测定的。

2) 磁子午线方向

磁子午线方向是在地球磁场的作用下,磁针自由静止时其轴线所指的方向。磁子午线方向可用罗盘仪测定。

3) 坐标纵轴方向

对于 6° 带或 3° 带投影得到的高斯平面直角坐标系,以该带的中央子午线的投影作为坐标纵轴,因此,该带内的直线定向以该带的坐标纵轴方向为标准方向。若采用假定坐标系,则用假定的坐标纵轴(x 轴)作为标准方向。

2. 表示直线方向的方法

测量工作中,常采用方位角来表示直线的方向。由标准方向的北端起,顺时针方向量到某直线的夹角,称为该直线的方位角。方位角的取值范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

如图 1-7 所示,若标准方向 ON 为真子午线,并用 A 表示真方位角,则 A_1, A_2, A_3, A_4 分别为直线 $O1, O2, O3, O4$ 的真方位角。若 ON 为磁子午线方向,则各角分别为相应直线的磁方位角。磁方位角用 A_m 表示。若 ON 为坐标纵轴方向,则各角分别为相应直线

的坐标方位角,用 α 来表示。

3. 几种方位角之间的关系

1) 真方位角与磁方位角之间的关系

由于地磁南北极与地球的南北极并不重合,因此,过地面上某点的真子午线方向与磁子午线方向常不重合,两者之间的夹角称为磁偏角,如图 1-8 中的 δ 。磁针北端偏于真子午线以东称东偏,偏于真子午线以西称西偏。直线的真方位角与磁方位角之间可用下式进行换算:

$$A = A_m + \delta \quad (1-5)$$

上式中的 δ 东偏取正值,西偏取负值。我国磁偏角的变化大约为 $+6^\circ \sim -10^\circ$ 。

2) 真方位角与坐标方位角之间的关系

中央子午线在高斯投影平面上是一条直线,作为该带的坐标纵轴,而其他子午线投影后为收敛于两极的曲线,如图 1-9 所示。地面点 M 、 N 等点的真子午线方向与中央子午线之间的角度,称为子午线收敛角,用 γ 表示。 γ 角有正有负。在中央子午线以东地区,各点的坐标纵轴偏在真子午线的东边, γ 为正值;在中央子午线以西地区, γ 为负值。某点的子午线收敛角 γ ,可有该点的高斯平面直角坐标为引数,在测量计算时从表中查到。也可近似地用下式计算:

$$\gamma = (L - L_0) \sin B \quad (1-6)$$

式中: L_0 为中央子午线的经度; L 、 B 为计算点的经纬度。

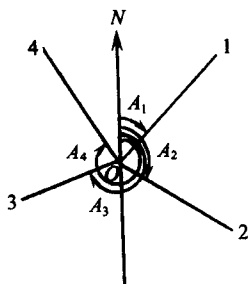


图 1-7 直线方位表示方法

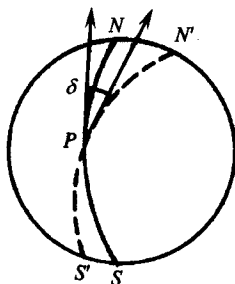


图 1-8 磁偏角 δ

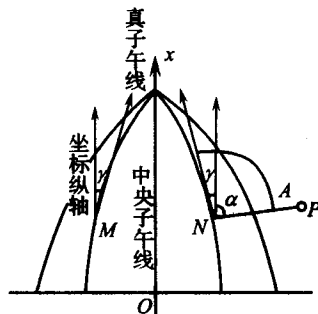


图 1-9 子午线收敛角

真方位角 A 与坐标方位角之间的关系,如图 4-22 所示,可用下式进行换算

$$A_{12} = \alpha_{12} + \gamma \quad (1-7)$$

3) 坐标方位角与磁方位角之间的关系

若已知某点的磁偏角 δ 与子午线收敛角 γ ,则坐标方位角与磁方位角之间的换算式为

$$\alpha = A_m + \delta - \gamma \quad (1-8)$$

1.3.5 高程系统

建国初期,我国以青岛验潮站多年的观测资料求得黄海平均海水面,作为我国的大地水准面(即高程基准面),由此建立了“1956 年黄海高程系”,并在青岛市观象山上建立了国家水准基点,水准基点高程 $H = 72.289\text{m}$ 。以后,随着几十年来验潮站观测资料的积累

与计算,更加精确地确定了黄海平均海水面,1987年开始启用“1985国家高程基准”,此时测定的国家水准基点高程 $H = 72.260\text{m}$ 。根据国家测绘总局[1987]198号文件通告,此后全国都应以“1985国家高程基准”作为统一的国家高程系统。现在仍在使用的“1956年黄海高程系”及其他高程系统(如吴淞高程系统)均应统一到“1985国家高程基准”的高程系统上。在实际测量中,特别要注意高程系统的统一。

地面点的高程分为绝对高程(海拔)和相对高程两种。地面点的绝对高程是指地面点到大地水准面的铅垂距离,通常简称为该点的高程,一般用 H 表示。例如,在图 1-10 中,地面点 A 、 B 的高程分别为 H_A 、 H_B 。在个别测区,若远离已知国家高程控制点或为便于施工,也可以假设一个高程起算面(即假定水准面),此时地面点到假定水准面的铅垂距离,称为该点的假定高程或相对高程。在图 1-10 中, A 、 B 两点的相对高程为 H'_A 、 H'_B 。

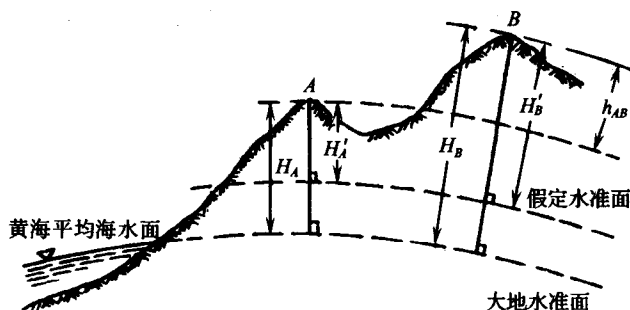


图 1-10 高程和高差

地面上两点间的高程之差称为高差,一般用 h 表示。图 1-11 中 A 、 B 两点间的高差 h_{AB} 为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$$

式中: h_{AB} 有正有负,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。

综上所述,通过测量与计算,求得了表示地面点位置的三个量 x 、 y 、 H ,那么地面点的空间位置就可以确定了。

1.3.6 控制点与必要起算数据

一般地说,测量工作的第一步是根据测区地形和有关规范在地面上布设若干点,埋设标志,由这些点构成几何图形,然后测定点与点之间的相对位置关系。这种几何图形称为控制网,组成控制网的点称为控制点。控制点的点位精度相对较高,是作为后续应用或测量的基准。

控制点分为平面控制点和高程控制点。一般情况下,两种控制点并置,便于应用。但对于大地垂直形变监测和工程垂直变形监测等而言,只涉及点的高程,故只需设立高程控制点(水准点)。按照控制点精度和用途的不同,控制点分为国家级等级控制点、GPS 控制点、工程控制网控制点、图根控制点等。不同等级和用途的控制点,其制作材料、埋设方法以及表示符号都不相同,图 1-11 中为部分控制点的外形和符号形式。

对于测量控制网而言,测量的最终目标就是要确定控制点的坐标和高程。无论采用

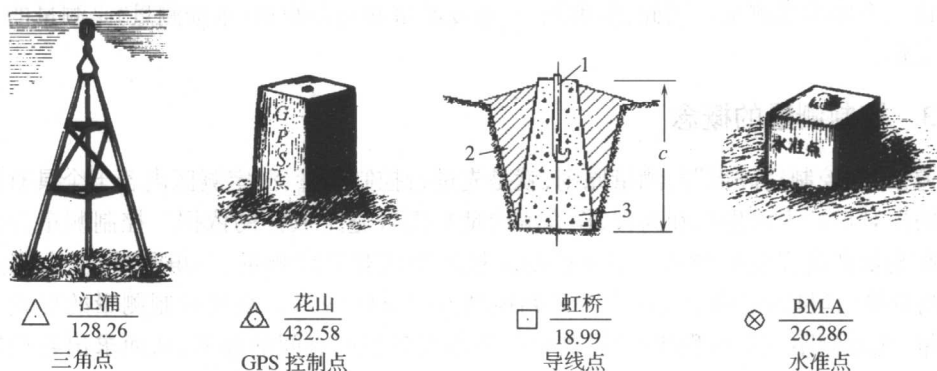


图 1-11 控制点符号

何种坐标系,都必须有起算点,即应具备已知的点位坐标和高程。我们称必要的已知点坐标和高程为必要起算数据。平面控制网必须具备两个点的坐标,或一个点的坐标、一条边的方位和一条边的长度;高程控制网必须具备一个点的高程。

1.4 测量工作概述

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过程,为学习后面各章建立初步的概念。

1.4.1 测量工作的基本原则

地球表面形态复杂多样,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。

由于地形和环境的复杂多样以及测量手段的限制,要在某一个点上测绘出该测区全部地形或者放样出建筑物的全部位置是不可能的。另一方面,任何测量工作都会产生不可避免的误差,而且随着测量的深入,误差会积累。所以,每点(站)上的测量都应采取一定的程序和方法,遵循测量的基本原则,以防误差积累,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基本原则:

- (1) 在测量布局上,应“由整体到局部”;
- (2) 在测量精度上,应“由高级到低级”;
- (3) 在测量程序上,应“先控制后碎部”;
- (4) 在测量过程中,应“随时检查,杜绝错误”。

1.4.2 测量的基本工作

测量工作的实质是为了确定点的位置。碎部测量是将地面上的点位测定后标绘到图纸上或为用户提供测量数据与成果,而施工放样则是把设计图上的建(构)筑物点位测到实地上,作为施工的依据。确定点的位置实际上是根据已知点坐标或高程,通过测定已知点到未知点的距离、角度及高差计算求得的,所有要测定的数据都离不开距离、角度及

高差这三个基本观测量。因此,距离测量、角度测量和高差测量(水准测量)是测量的三项基本工作。

1.4.3 控制测量的概念

遵循“先控制后碎部”的测量原则,就是先进行控制测量,测定测区内若干个具有控制意义的控制点的平面坐标和高程,作为测绘地形图或施工放样的依据。控制测量分为平面控制测量和高程控制测量。平面控制测量的形式有导线测量、三角测量、交会定点及GPS测量等,其目的是确定测区中一系列控制点的坐标(x, y);高程控制测量的形式有水准测量、光电测距三角高程测量等,其目的是测定各控制点间的高差,从而求出各控制点高程 H 。

1.4.4 碎部测量的概念

碎部测量就是以控制点为依据,测定控制点至碎部点(地形的特征点)之间的水平距离、高差及其相对于某一已知方向的角度,来确定碎部点的位置。运用碎部测量的方法,在测区内测定一定数量的碎部点位置后,按一定的比例尺和图式符号将这些碎部点位标绘在图纸上,绘制成图。

1.4.5 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。施工放样常用的方法为极坐标法,此外还有直角坐标法、方向(角度)交会法和距离交会法等。

由于施工控制网是一个整体,并具有相应的精度和密度,因此不论建(构)筑物的范围多大,由各个控制点放样出的建(构)筑物各个点位位置,也必将联系为一个整体。

同样,根据施工控制网点的已知高程和建筑物的图上设计高程,可用水准测量方法测设出建(构)筑物的实地设计高程。

1.4.6 测量的度量单位

1. 长度单位

$$1\text{m} = 10\text{dm} = 100\text{cm} = 1\,000\text{mm}, 1\text{km} = 1\,000\text{m}$$

2. 面积、体积单位

房屋等小面积的单位是平方米,用 m^2 表示,农业和土地交易的面积单位常为市亩,大面积则用公顷或 km^2 表示。

$$1\text{公顷} = 10\,000\text{m}^2 = 15\text{市亩}, 1\text{km}^2 = 100\text{公顷} = 1\,500\text{市亩}, 1\text{市亩} = 666.67\text{m}^2$$

体积单位为 m^3 ,在工程上简称“立方”或“方”。

3. 角度单位

测量上常用的角度单位有度分秒制和弧度制。

1) 度分秒制

$$1\text{圆周} = 360^\circ, 1^\circ = 60', 1' = 60''$$