

第一章 绪 论

1 测量学的定义

测量学是研究地球形状、大小及确定地球表面空间点位，以及对空间点位信息进行采集、处理、储存、管理的科学。按照研究的范围、对象及技术手段不同，又分为诸多学科：普通测量学、大地测量学、摄影测量学、海洋测量学、**工程测量学**、地图制图学、GPS 卫星测量。

本教材主要介绍土木建筑工程中的测绘工作内容，称为**土木工程测量学**。它属于工程测量的范畴，也与其他测量学科有着密切的联系。

工程测量的的内容包括测量，测设（施工放样），变形观测。

概念：**水准面**。与水准面相切的平面，称为**水平面**。水准面与水平面可以有无数个，其中通过平均海水面的水准面称为**大地水准面**。

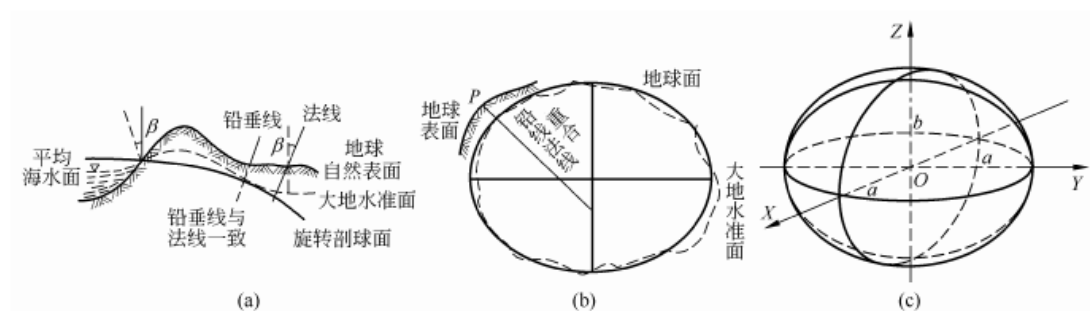


图 1.1 地球自然表面、大地水准面和旋转椭球面

水准面上任一点的铅垂线都垂直于该曲面，这是水准面的一个重要特征。由于地球内部质量分布不均匀，重力受到影响，致使铅垂线方向产生不规则变化，导致大地水准面成为一个有微小起伏的复杂曲面，如果在此曲面上进行测量工作，测量、计算、制图都非常困难。

为此，根据不同轨迹卫星的长期观测成果，经过推算，选择了一个非常接近大地体又能用数学式表达的规则几何形体来代表地球的整体形状。这个几何形体称为**旋转椭球体**，其表面称为**旋转椭球面**。测量上概括地球总形体的旋转椭球体称为**参考椭球体**，如图 1.1(c)所示，相应的规则曲面称为**参考椭球面**。其数学表达式为：

$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$ ， a 为长半轴， b 短半轴，参考椭球体扁率 α 为 $\alpha = \frac{a-b}{b}$ ，我国现采用的参考椭球体的几何参数为： $a=6378.136\text{km}$ ， $b=6356.752\text{km}$ ，推算得 $\alpha=1/298.257$ ，由于 α 很小，当测区面积不大时，可将地球当作圆球体，其半径采用地球平均半径 $R=(2a+b)/3$ ，取近似值为 6371km 。

2 坐标系统

确定地面点位必须建立测量坐标系统和高程系统。坐标系统用来确定地面点在地球椭球面或投影平面上的位置。测量上通常采用地理坐标系统、高斯-克吕格平面直角坐标系统，独立平面直角坐标系统和 WGS-84 坐标系统。

2.1 地理坐标系统

用经度、纬度来表示地面点位置的坐标系，称为地理坐标系。若用天文经度 λ 、天文纬度 φ 来表示则称为**天文地理坐标系**，如图 1.2 所示；而用大地经度 L 、大地纬度 B 来表示称为**大地地理坐标系**。天文地理坐标是用天文测量方法直接测定的，大地地理坐标是根据大地测量所得数据推算得到的。地理坐标为一种球面坐标，常用于大地问题解算、地球形状和大小的研究、编制大面积地图、火箭与卫星发

射、战略防御和指挥等方面。

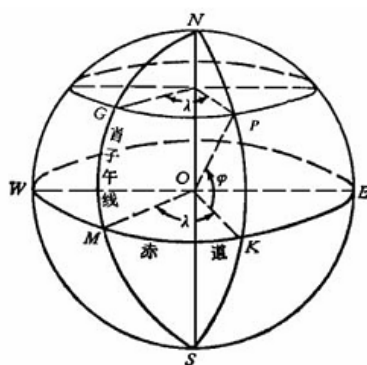


图 1.2 地理坐标

由地理学可知，地球北极 N 与南极 S 的连线称为地轴。过地面点 P 和地轴的平面称为子午面，子午面与地球表面的交线称为子午线；通过英国伦敦格林威治天文台的子午面 NGMSO 称为本初子午面，相应的子午线称为本初子午线，其经度为 0。地面上任意一点 P 的子午面 NPKSO 与本初子午面间所夹的二面角 λ 称为 P 点的经度。经度由首子午面向东、向西各由 0~180 度量，在首子午线在以东称为东经，以西称为西经。通过地心且垂直于地轴的平面称为赤道面，赤道面与地球表面的交线称为赤道；地面点 P 的铅垂线与赤道面所形成的夹角 φ 称为 P 点的纬度。。例如北京某点的天文地理坐标为东经 $116^{\circ} 28'$ ，北纬 $39^{\circ} 54'$ 。

大地经纬度是根据一个起始大地点(称为大地原点，该点的大地经纬度与天文经纬度一致)的大地坐标，再按大地测量所得数据推算而得。20 世纪 50 年代，在我国天文大地网建立初期，鉴于当时的历史条件，采用了克拉索夫斯基椭球元素，并与前苏联 1942 年普尔科沃坐标系进行联测，通过计算，建立了我国的 1954 年北京坐标系；我国目前使用的大地坐标系，是以位于陕西省泾阳县境内的国家大地点为起算点建立的统一坐标系，称为 1980 年国家大地坐标系。

地面上同一点的天文坐标与地理坐标是不完全相同的,因为二者采用的基准面和基准线不同,天文坐标采用的为大地水准面和铅垂线,而大地坐标采用的是旋转椭球面和法线。

2.2 高斯-克吕格平面直角坐标系

地理坐标建立在球面基础上,不能直接用于测图、工程建设规划、设计、施工,所以需要将球面坐标按一定的数学算法归算到平面上去,即按照地图投影理论(高斯投影)将球面坐标转化为平面直角坐标。

高斯投影,是设想将截面为椭圆的柱面套在椭球体外面,如图 1.3(a)所示,使柱面轴线通过椭球中心,并且使椭球面上的中央子午线与柱面相切,而后将中央子午线附近的椭球面上的点、线正形投影到柱面上,如 M 投影点为 m 。再沿过极点 N 的母线将柱面剪开,展成平面,如图 1.3(b)所示,这样就形成了高斯投影平面。由此可见,经高斯投影后,中央子午线与赤道呈直线,其长度不变,并且二者正交。而离开中央子午线和赤道的点、线均有变形,离得越远变形越大。

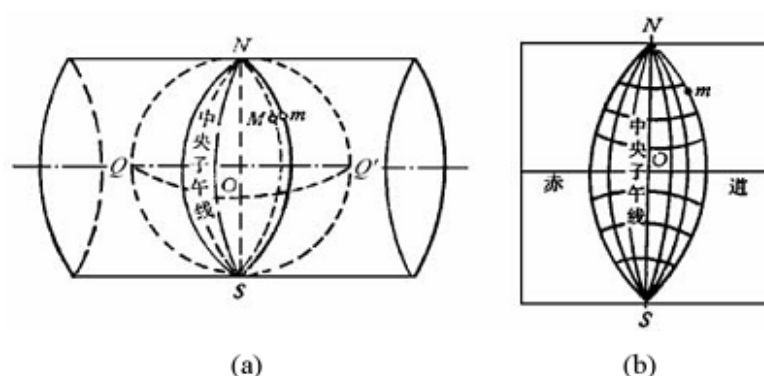


图 1.3 高斯投影

为了控制由曲面等角投影(正形投影)到平面时引起的变形在测量容许值范围内,将地球按一定的经度差分成若干带,各带分别独立进行投影。从首子午线自西向东每隔 6° 划为一带,称为 6°

带。每带均统一编排带号，用 N 表示。自西向东依次编为 1~60，如图 1.4 所示。位于各带边界上的子午线称为分带子午线，位于各带中央的子午线称为中央子午线或轴子午线。各带中央子午线的经度按下式计算 $\lambda_0^6 = 6^\circ N - 3^\circ$ 。

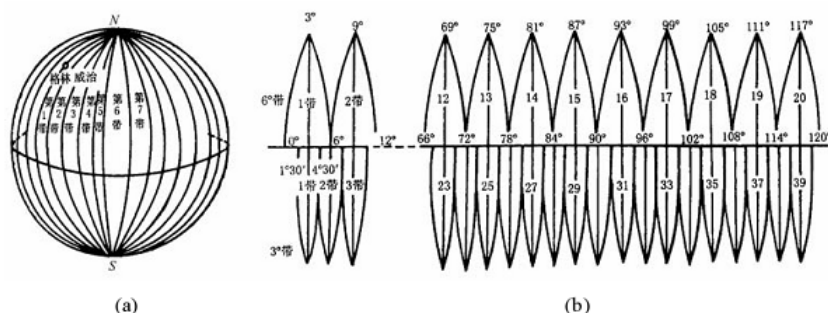


图 1.4 高斯投影分带

亦可从经度 $1^\circ 30'$ 自西向东按 3° 经差分带，称为 3° 带，其带号用 n 表示，依次编号 1~120，各带的中央子午线经度 按式 $\lambda_0^3 = 3^\circ n$ 计算。

例如：北京某点的经度为 $116^\circ 28'$ ，它属于 6° 带的带号

$$N = INT \left[\frac{116^\circ 28'}{6^\circ} + 1 \right] = 20, \text{ 中央子午线经度 } \lambda_0^6 = 6^\circ \times 20 - 3^\circ = 117^\circ.$$

$$3^\circ \text{ 带的带号 } n = INT \left[\frac{116^\circ 28' - 1^\circ 30'}{3^\circ} + 1 \right] = 39, \text{ 相应的中央子午线经度}$$

$\lambda_0^3 = 3^\circ \times 39 = 117^\circ$ 。分带应视测量的精度选择，工程建设一般选择 6° 、 3° 带，亦可按 9° （宽带）、 $1^\circ 5'$ （窄带）分带。

分带投影后，以各带中央子午线为纵轴(x 轴)，北方向为正；赤道为横轴(y 轴)，东方向为正；其交点为原点，即建立起各投影带的高斯-克吕格平面直角坐标系，如图 1.5(a)所示。

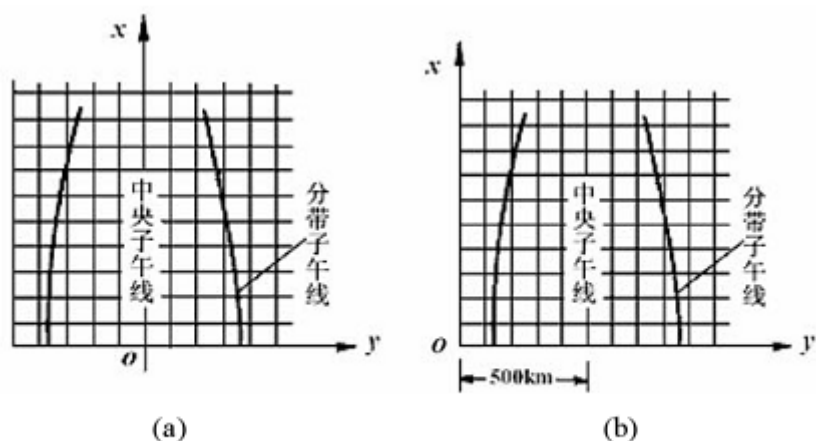


图 1.5 高斯-克吕格平面直角坐标系

我国领土位于北半球，在高斯-克吕格平面直角坐标系中， x 值均为正值。而地面点位于中央子午线以东 y 为正值，以西 y 为负值。这种以中央子午线为纵轴的坐标值称为自然值。为了避免 y 值出现负值，规定每带纵轴向西平移 500km，如图 1.5(b)所示，来计算横坐标。而每带赤道长约 667.2km，这样在新的坐标系下，横坐标纯为正值。为了区分地面点所在的带，还应在新坐标系横坐标值(以米计的 6 位整数)前冠以投影带号。这种由带号、500km 和自然值组成的横坐标 Y 称为横坐标通用值。例如，地面上两点 A、B 位于 6° 带的 18° 带，横坐标自然值分别为： $y_A=34\ 257.38\text{m}$ ， $y_A=-104\ 172.34\text{m}$ ，则相应的横坐标通用值为： $y_A=18\ 534\ 257.38\text{m}$ ， $y_A=18\ 395\ 827.66\text{m}$ 。我国境内 6° 带的带号在 13~23 之间，而 3° 带的带号在 24~45 之间，相互之间带号不重叠，根据某点的通用值即可判断该点处于 6° 带还是 3° 带。

2.3 独立平面直角坐标系

当测区范围较小(半径 $\leq 10\text{km}$)

)时，可将地球表面视作平面，直接将地面点沿铅垂线方向投影到水平面上，用平面直角坐标系表示该点的投影位置。以测区子午线方向(真子午线或磁子午线)为纵轴(x 轴)，北方向为正；横轴(y 轴)与 x 轴垂直，东方向为正。这样就建立了独立平面直角坐标系，如图 1.6。实际测量中，为了避免出现负值，一般将坐标原点选在测区的西南角，故又称假定平面直角坐标系。

两种平面直角坐标系，与数学坐标系相比较，区别在于纵、横轴互换，且象限按顺时针方向 I、II、III、IV 排列，如图 1.6 所示，目的是便于将数学中的三角和几何公式不作任何改变直接应用于测量学中。

2.4 WGS-84 坐标系

WGS-84 坐标系的几何定义是：原点在地球质心，z 轴指向国际时间局 BIH 1984 年(Bureau International de l'Heure)定义的协议地球极 CTP(Conventional Terrestrial Pole)方向，x 轴指向 BIH-1984.0 的零子午面和 CTP 赤道面的交点，y 轴与 z、x 轴构成右手坐标系，如图 1.7 所示。

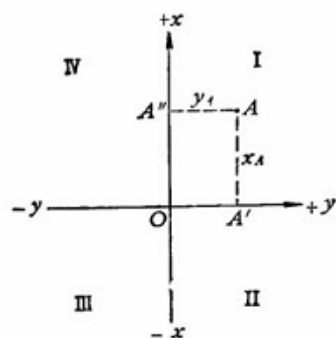


图 1.6 独立平面直角坐标系

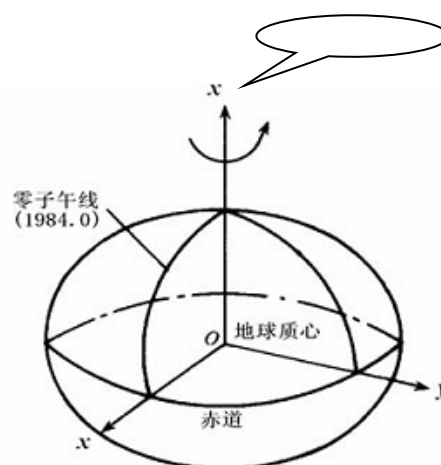


图 1.7 WGS-84 坐标系

由于地球自转轴相对地球体而言,地极点在地球表面的位置随着时间而发生变化,这种现象称为极移运动,简称极移。国际时间局(BIH)定期向外公布地极的瞬间位置。WGS-84 坐标系是由美国国防部以 BIH—1984 年首次公布的瞬时地极(BIH—1984.0)作为基准建立并于 1984 年公布的空间三维直角坐标系,为世界通用的世界大地坐标系(World Geodetic System, 1984),简称 WGS-84 坐标系。GPS 卫星测量获得的是地心空间三维直角坐标,属于 WGS-84 坐标系。我国国家大地坐标系、城市坐标系、土木工程中采用的独立平面直角坐标系与 WGS-84 坐标系之间存在相互转换关系。

2.5 高程系统

地面点至水准面的铅垂距离,称为该点的高程。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)或海拔。用 H 表示。A、B 两点的高程为 H_A 、 H_B (图 1.8)。建国以来,我国把以青岛市大港 1 号码头两端的验潮站多年观测资料求得的黄海平均海水面作为高程基准面,其高程为 0.000m,建立了 1956 年黄海高程系。并在青岛市观象山建立了中华人民共和国水准原点,其高程为 72.289m。随着观测资料的积累,采用 1953~1979 年的验潮资料,1985 年精确地确定了黄海平均海水面,推算得国家水准原点的高程为 72.260m,由此建立了 1985 国家高程基准,作为统一的国家高程系统,1987 年开始启用。现在仍在使用的 1956 年黄海高程系以及其他高程系(如吴淞江高程系、珠江高程系等)都应统一到“1985 国家高程基准”上。在局部地区,若采用国家高程基准有困难时,也可以假定一个水准面作

为高程基准面。地面点到假定水准面的铅垂距离，称为该点的相对高程或假定高程，通常用 H' 表示。如图 1.8 所示 A、B

点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B 。地面上两点之间的高程之差，称为高差，用 h 表示。由图 1.8 可知，A、B 两点间的高差为 $h_{AB}=H_B-H_A=H'_B-H'_A$ ，由此可见，如已知 H_A 和 h_{AB} ，即可求得 H_B ，即 $H_B=H_A+h_{AB}$ 。

3 地面点定位的基本概念

欲确定地面点的位置，必须求得它在椭球面或投影平面上的坐标 (λ 、 φ 或 x 、 y) 和高程 H 三个量，这三个量称为三维定位参数。而将 (λ 、 φ 或 x 、 y) 称为二维定位参数。无论采用何种坐标系，都需要测量出地面点间的距离 D 、相关角度 β 和高程 H ，则 D 、 β 和 H 称为地面点的定位元素。

3.1 地面点定位的原理

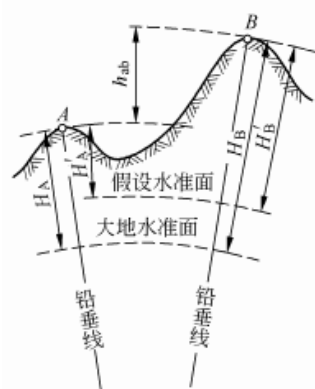


图 1.8 高程系统

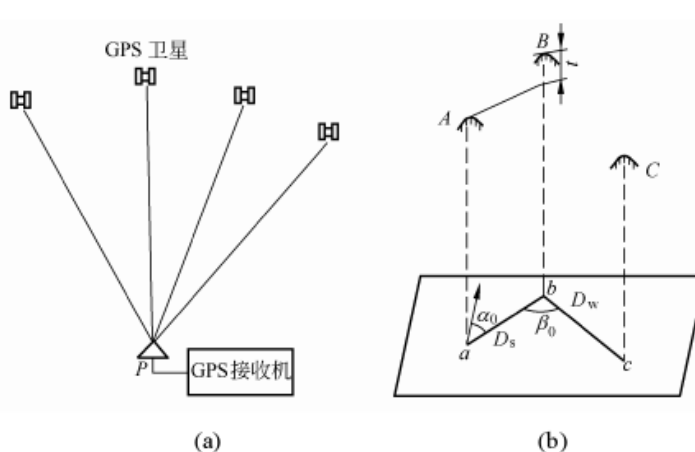


图 1.9 地面点定位原理

如图 1.8 所示，欲确定地面上某特征点 P 的位置，在工程建设中，通常采用卫星定位和几何测量的定位方法。卫星定位是利用卫星信号接收机，同时接收多颗定位卫星的信号，解算出待定点 P 的定位元素，如图 1.9(a)所示。设各卫星的空间坐标为 x_i 、 y_i 、 z_i ， P 的空间坐标为 x_P 、 y_P 、 z_P ， P 点接收机与卫星间的距离为 D_i ，则有

$$D_i = \sqrt{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2 + (z_p - z_i)^2}$$

将上式联立可解得 x_P 、 y_P 、 z_P 。在解算过程中通过高斯投影即可转化为平面直角坐标。几何测量定位如图 1.9(b)所示，地面上有 A、B、C 三点，其中已知 A 点的三维坐标 x_A 、 y_A 、 H_A ，B、C 为待定点，若测定 A、B 间的距离 D_{AB} ，AB 边与坐标纵轴 x 间的夹角 α_{AB} (称为方位角)和 h_{AB} ，则有

$$\left. \begin{aligned} x_B &= x_A + D_{AB} \cos \alpha_{AB} \\ y_B &= y_A + D_{AB} \sin \alpha_{AB} \\ H_B &= H_A + h_{AB} \end{aligned} \right\}$$

同理，若 A、B 点的坐标已知，只要测定 AB 边和 BC 边的夹角 β 和距离 D_{BC} 、高差 h_{BC} ，推算出 α_{BC} 后，即可按上式求得 C 点的空间坐标。

地面点定位的方法除上述之外，还有如图 1.10 所示的极坐标法(图 1.10(a))、直角坐标法(图 1.10(b))、角度交会法(图 1.10(c))、距离交会法(图 1.10(d))、边角交会法(图 1.10(e))等，只要测定其中相应的距离 D_i 和角度 β_i ，即可确定 P 的平面位置。

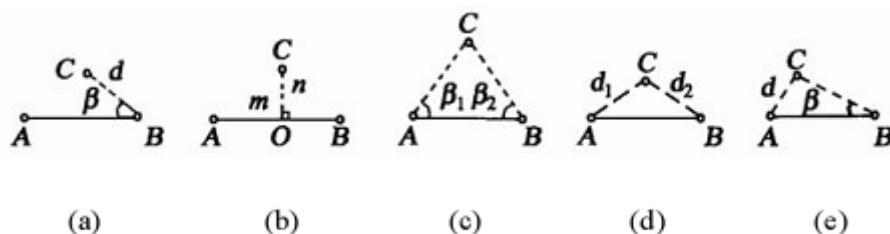


图 1.10 地面点定位方法

3.2 地面点定位的程序与原则

测量地面点定位元素时，不可避免地会产生误差，甚至发生错误。如果按上述方法逐点连续定位，不加以检查和控制，势必造成由于误差传播导致点位误差逐渐增大，最后达到不可容许的程度。为了限制误差的传播，测量工作中的程序必须适当，控制连续定位的延伸。同时也应遵循特定的原则，不能盲目施测，造成恶劣的后果。测量工作应逐级进行，即先进行控制测量，而后进行碎部测量和与工程建设相关的测量。

控制测量，就是在测区范围内，从测区整体出发，选择数量足够、分布均匀，且起着控制作用的点(称为控制点)，并使这些点的连线构成一定的几何图形(如导线测量中的闭合多边形、折线形，三角测量中的小三角网、大地四边形等)，用高级精度精确测定其空间位置(定位元素)，以此作为测区内其他测量工作的依据。控制点的定位元素必须通过坐标

形成一个整体。控制测量分为平面控制测量和高程控制测量(在第六章介绍)。

碎部测量，是指以控制点为依据，用低一级精度测定周围局部范围内地物、地貌特征点的定位元素，由此按成图规则依一定比例尺将特征点标绘在图上，绘制成各种图件(地形图、平面图等)。

相关测量，是指以控制点为依据，在测区内用低一级精度进行与工程建设项目有关的各种测量工作，如施工放样、竣工图测绘、施工监测等。它是根据设计数据或特定地要求测定地面点的定位元素，为施工检验、验收等提供数据和资料。

由上述程序可以看出，确定地面点位(整个测量工作)

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/568132107017006134>