
第1章 绪论

1.1 考研点睛

大纲总结：测绘学的概念、任务、分支学科，数字测图的发展与其他学科关系。

出题特点总结：

本章在往年年的真题中会考察一道简答题，涉及一些基本概念考察，需要重点掌握：

1. 测绘学的概念、任务、分支学科

1.2 考研知识点总结

1.2.1 一些基本概念

(1) 测绘学的内容与任务

测绘学是研究测定和推算地面的几何位置、地球形状及地球重力场, 据此测量地球表面自然形态和人工设施的几何分布, 并结合某些社会信息和自然信息的地球分布, 编制全球和局部地区各种比例尺的地图和专题地图的理论和技术的学科, 是地球科学的重要组成部分。

测绘学按照研究范围、研究对象及采用技术手段的不同, 分为以下几个分支学科: 大地测量学、摄影测量学、地图学、工程测量学、海洋测绘学。

① 大地测量学

大地测量学是研究和确定地球的形状、大小、重力场整体与局部运动和地表面点的几何位置以及它们的变化和理论技术的学科。

② 摄影测量学

摄影测量学是研究摄影影像与被摄物体之间的内在几何和物理关系, 进行分析、处理和解译, 以确定被摄物体的形状、大小和空间位置, 并判定其性质的一门学科。

③ 地图学

地图学是研究模拟和数字地图的基础理论、设计、编绘、复制的技术方法以及应用的学科。

④ 工程测量学

工程测量学是研究工程建设和自然资源开发中, 在规划、勘测设计、施工和运营管理各个阶段进行的控制测量、大比例尺地形测绘、地籍测绘、施工放样、设备安装变形监测及分析与预报等的理论和技术的学科。

⑤海洋测绘学

海洋测绘学是以海洋水体和海底为对象,研究海洋定位、测定海洋大地水准面和平均海面、海底和海面地形、海洋重力、海洋磁力、海洋环境等自然和社会信息的地理分布及编制各种海图的理论和技术的学科。内容包括海洋大地测量、海道测量、海底地形测量和海图编制。

(2) 测绘科学技术的地位与作用

测绘科学技术的应用范围非常广阔,测绘科学技术在国民经济建设、国防建设以及科学研究等领域,都占有重要的地位,对国家可持续发展发挥着越来越重要的作用。

测绘工作常被人们称为建设的尖兵,不论是国民经济建设还是国防建设,其勘测、设计、施工、竣工及运营等阶段都需要测绘工作,而且都要求测绘工作“先行”。

在国民经济建设方面,测绘信息是国民经济和社会发展规划中最重要的基础信息之一。测绘工作为国土资源开发利用,工程设计和施工,城市建设、工业、农业、交通、水利、林业、通信、地矿等部门的规划和管理提供地形图和测绘资料。土地利用和土壤改良、地籍管理、环境保护、旅游开发等都需要测绘工作,应用测绘工作成果。

在国防建设方面,测绘工作为打赢现代化战争提供测绘保障。各种国防工程的规划、设计和施工需要测绘工作,战略部署、战役指挥离不开地形图,现代测绘科学技术对保障远程导弹、人造卫星或航天器的发射及精确入轨起着非常重要的作用,现代军事科学技术与现代测绘科学技术已经紧密结合在一起。

在科学研究方面,诸如航天技术、地壳形变、地震预报、气象预报、滑坡监测、灾害预测和防治、环境保护、资源调查以及其他科学研究中,都要应用测绘科学技术,需要测绘工作的配合。地理信息系统(GIS)、数字城市、数字中国、数字地球的建设,都需要现代测绘科学技术提供基础数据信息。

(3) 数字测图的发展状况

传统数字测图的特点:工序多、劳动强度大、质量管理难;数字测图的特点:高自动化、全数字化、高精度。

广义的数字测图包括:利用全站仪或其他测量仪器进行野外数字化测图;利用数字化以纸质地形图的数字化;利用航摄、遥感像片进行数字化测图等技术。利用上述技术将采集到的地形数据传输到计算机,由数字成图软件进行数据处理,经过编辑、图形处理,生成数字地形图。

(4) 学习数字测图原理与方法的目的和要求

数字测图包括地面数字测图、地图数字化和数字摄影测量。

地面数字测图是利用电子全站仪或其他测量仪器在野外进行数字化地形数据采集,在成图软件的支持下,通过计算机加工处理,获得数字地形图的方法,其实质是一种全解析机助测图方法。地面数字测图的成果是可供计算机处理、远距离传输、多方共享的以数字形式储存在计算机存储介质上的数字地形图;或通过数控绘图仪输出的以图纸为载体的地形图。

数字化测图使地形图测绘实现了数字化、自动化,改变了传统的手工作业模式。地面数字测图与传统的图解法测图相比,具有自动化程度高、精度高、不受图幅限制、便于使用管理等特点。

地图数字化方法是对已有地形图利用数字化仪将其数字化,转换成计算机能存储、处理的数字地形图。

1.2.4 如何进行本课程的学习

上述所叙述的内容都是可能考简答题的,考生应该将上述内容熟记于心。

第2章 机构的结构分析

2.1 考研点睛

大纲总结：

测量坐标系（大地、空间直角、平面），高斯平面坐标系（高斯投影概念原理、地图投影、投影变形），水准面，大地水准面，铅垂面，地球椭圆法线，地面点表示方法，地形图测绘对地图投影要求，高斯坐标系建立（原点、坐标平面、地面点位置），高程（概念、高差概念），高程基准，验潮站，相对高程，水平角和距离影响规律、理解、结论（在多大范围内进行测量要考虑影响）方位角（参照物、基本方向、三种偏角、方位角间关系、方位角和正反方位角推算）

本章比较重要，历年简答题都涉及过。

2.2 考研知识点总结

2.2.1 地球形状和大小

（1）处于静止状态的水面称为**水准面**。

（2）在地球表面重力的作用空间,通过任何高度的点都有一个水准面,因而水准面有无数个。其中,把一个假想的、与静止的平均海水面重合并向陆地延伸且包围整个地球的特定重力等位面称为**大地水准面**。

（3）**大地水准面**和**铅垂线**是测量**外业**所依据的基准面和基准线；

参考椭球面和**法线**是测量**内业**所依据的基准面和基准线。

（4）代表地球形状和大小的旋转椭球称为“**地球椭球**”。

（5）与大地水准面最接近的地球椭球称为**总地球椭球**；

（6）与某个区域如一个国家大地水准面最为密合的椭球称为**参考椭球**,其椭球面称为**参考椭球面**。

2.2.2 测量常用坐标系和参考椭球定位

（1）大地坐标系

地面上一点的空间位置可用大地坐标(B, L, H)表示。大地坐标系是以参考椭球面为基准面,以起始子午面和赤道面作为在球面上确定某一点投影位置的两个参考面。

过地面点 P 的子午面与起始子午面之间的夹角, 称为该点的**大地经度**, 用 L 表示。规定从起始子午面起算, 向东为正, 由 0° 至 180° 称为东经; 向西为负, 由 0° 至 180° 称为西经。过地面点 P 的椭球面法线与赤道面的夹角称为**大地纬度**, 用 B 表示。规定从赤道面起算, 由赤道面向北为正, 从 0° 到 90° 称为北纬; 由赤道面向南为负, 由 0° 到 90° 称为南纬。P 点沿椭球面法线到椭球面的距离 D 称为**大地高**, 地面点沿铅垂线至大地水准面的距离称为**正高**; 地面沿铅垂线至似大地水准面的距离称为**正常高**。

(2) 空间直角坐标系

以椭球体中心 O 为原点, 起始子午面与赤道面交线为 X 轴, 赤道面上与 X 轴正交的方向为 Y 轴, 椭球体的旋转轴为 Z 轴, 构成右手直角坐标系 O-XYZ, 在该坐标系中, P 点的点位用 OP 在这三个坐标轴上的投影 X、Y、Z 表示。

(3) 平面直角坐标系

由于工程建设规划、设计是在平面上进行的, 需要将点的位置和地面图形表示在平面上, 通常需采用**平面直角坐标系**。测量中采用的平面直角坐标系有:**高斯平面直角坐标系**、**独立平面直角坐标系**以及**建筑施工坐标系**。

测绘工作中所用的平面直角坐标系与解析几何中所用的平面直角坐标系有所不同, 测量平面直角坐标系以纵轴为 x 轴, 表示南北方向, 向北为正; 横轴为 y 轴, 表示东西方向, 向东为正; 象限顺序依顺时针方向排列。这是由于测绘工作中以极坐标表示点位时其角度值是以北方向为准按顺时针方向计算, 而解析几何中则从横轴起按逆时针方向计算的缘故。当 x 轴与 y 轴如此互换后, 全部平面三角公式均可用于测绘计算中。

确定参考椭球面与大地水准面的相关位置, 使参考椭球面在一个国家或者地区范围内与大地水准面最佳拟合, 称为**参考椭球定位**。

2.2.3 地图投影和高斯平面直角坐标系

(1) **地图投影**简称投影, 简略说来就是将椭球面上各元素(包括坐标、方向和长度)按一定的数学法则投影到平面上。这里所说的一定的数学法则, 可用两个方程式表示:

$$\left. \begin{aligned} x &= F_1(L, B) \\ y &= F_2(L, B) \end{aligned} \right\}$$

式中, L 、 B 是椭球面上某点的大地坐标, 而 x 、 y 是该点投影后的平面直角坐标, 这里所说的平面通常也叫投影面。

(2) 我们知道, 椭球面是一个凸起的、不可展平的曲面。如果将这个曲面上的元素, 比如一段距离、一个角度、一个图形投影到平面上, 就会和原来的距离、角度、图形呈现差异, 这一差异称为**投影变形**。地图投影必然产生变形。投影变形一般分为**角度变形**、**长度变形**和**面积变形**三种。

(3) 高斯平面坐标系

①设想有一个椭圆柱面横套在地球椭球体外面, 使它与椭球上某一子午线(该子午线称为中央子午线)相切, 椭圆柱的中心轴通过椭球体中心, 然后用一定的投影方法, 将中央子午线两侧各一定经差范围内的地区投影到椭圆柱面上, 再将此柱面展开即成为投影面即为**高斯投影**。故高斯投影又称为横轴椭圆柱投影。

②**高斯投影的特点**: 高斯投影是正形投影的一种, 投影前后的角度相等。除此以外, 高斯投影还具有以下特点: 中央子午线投影后为直线, 且长度不变。距中央子午线越远的子午线, 投影后弯曲程度越大, 长度变形也越大; 椭球面上除中央子午线外, 其他子午线投影后均向中央子午线弯曲, 并向两极收敛, 对称于中央子午线和赤道; 在椭球面上对称于赤道的纬圈, 投影后仍成为对称的曲线, 并与子午线的投影曲线互相垂直且凹向两极。

③**高斯平面直角坐标系**: 在投影面上, 中央子午线和赤道的投影都是直线。以中央子午线和赤道的交点 O 作为坐标原点, 以中央子午线的投影为纵坐标轴 X , 规定 X 轴向北为正; 以赤道的投影为横坐标轴 Y , Y 轴向东为正, 这样便形成了高斯平面直角坐标系。

④**国家统一坐标系**: 我国位于北半球, 在高斯平面直角坐标系内, X 坐标均为正值, 而 Y 坐标值有正有负。为避免 Y 坐标出现负值, 规定将 X 坐标轴向西平移 500km, 即所有点的 Y 坐标值均加上 500km。此外, 为便于区别某点位于哪一个投影带内, 还应在横坐标值前冠以投影带带号。这种坐标称为国家统一坐标。

2.2.4 高程

地面点到高度起算面的垂直距离称为**高程**。地面点到高度起算面的垂直距离称为高程。高度起算面又称高程基准面。选用不同的面作高程基准面, 可得到不同的高程系统。在一般测量工作中是以大地水准面作为高程基准面。某点沿铅垂线方向到大地水准面的距离, 称为该点的绝对高程或海拔, 简称高程, 用 H 表示。

为了建立全国统一的高程系统,必须确定高程基准面。通常采用平均海水面代替大地水准面作为高程基准面平均海水面的确定是通过验潮站长期验潮来求定的。

验潮站是为了解当地海水潮汐变化的规律而设置的。为确定平均海面 and 建立统一的高程基准,需要在验潮站上长期观测潮位的升降,根据验潮记录求出该验潮站海面的平均位置。验潮站的标准设施包括:验潮室、验潮井、验潮仪、验潮杆和一系列水准点。

我国的高程基准:由青岛验潮站验潮结果推算的黄海平均海面作为我国高程起算的基准面。我国曾采用青岛验潮站 1950–1956 年期间的验潮结果推算了黄海平均海面,称为“1956 年黄海平均高程面”,以此建立了“1956 年黄海高程系”。我国自 1988 年 1 月 1 日起开始采用 1985 国家高程基准作为高程起算的统一基准。

由 1956 年黄海平均海水面起算的青岛水准原点高程为 72.289m,由 1985 国家高程基准起算的青岛水准原点高程为 72.260m。

相对高程在局部地区,如果引用绝对高程有困难时,可采用假定高程系统。即假定一个水准面作为高程基准面,地面点至假定水准面的铅垂距离,称为**相对高程**或**假定高程**。

2.2.5 用水准面代替水准面的限度

①水准面曲率对水平距离的影响

AB 为水准面上的一段圆弧,长度为 S,所对圆心角为 θ ,地球半径为 R。自 A 点作线 AC,长为 t。如果将切于 A 点的水平面代替水准面,即以切线段 AC 代替圆弧 AB,则在距离上将产生误差 ΔS :

$$\Delta S = AC - AB = t - s$$

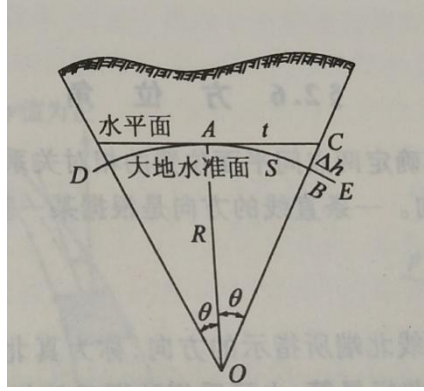
其中:

$$AC = t = R \tan \theta$$

$$AB = S = R \cdot \theta$$

则

$$\Delta S = R \left(\frac{1}{3} \theta^3 + \frac{2}{15} \theta^5 + \dots \right)$$



用水平面代替水准面

因为 θ 角值一般很小，故略去五次方以上各项，并以 $\theta = \frac{S}{R}$ 代入，则得：

$$\Delta S = \frac{1}{3} \frac{S^3}{R^2} \quad \text{或} \quad \frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{3} \frac{S^2}{R^2}$$

当 $S=10\text{km}$ 时， $\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{1217700}$ ，小于目前精密距离测量的容许误差。因此

可得出结论：在半径为 10km 的范围内进行距离的测量工作时，用水平面代替水准面所产生的距离误差可以忽略不计。

②水准面曲率对高差的影响（下面推导公式为 18 年真题）

在上图中，BC 为水平面代替水准面产生的高差误差。令 $BC = \Delta h$ ，则

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + t^2$$

即

$$\Delta h = \frac{t^2}{2R + \Delta h}$$

上式中可以用 S 代替 t ， Δh 与 $2R$ 相比可以忽略不计，故上式可以写成：

$$\Delta h = \frac{S^2}{2R}$$

此式表明， Δh 的大小与距离的平方成正比。当 $S=1\text{km}$ 时， $\Delta h=8\text{cm}$ ，因此，地球曲率对高差的影响，即使在很短的距离内也必须加以考虑。

2.2.6 方位角

(1) 真北方向：过地面某点真子午线的切线北端所指示的方向，称为**真北方向**。坐标北方向：坐标纵轴(X 轴)正向所指示的方向，称为**坐标北方向**。磁北方向：磁针自由静止时其指北端所指的方向，称为**磁北方向**。

(2) 子午线收敛角：过一点的真北方向与坐标北方向之间的夹角称为**子午线收敛角**，用 γ 表示。磁偏角：地面上一点的磁北方向与真北方向之间的夹角称为**磁偏角**，用 δ 表示。

(3) 真方位角：由真北方向起算的方位角，用 A 表示。坐标方位角：由坐标北方向起算的方位角，用 α 表示。磁方位角：由磁北方向起算的方位角，用 A_m

表示。 $A = A_m + \delta$ $A = \alpha + \gamma$ $\alpha = A_m + \delta - \gamma$

2.2.7 如何进行本课程的学习

上述所叙述的内容都是可能考简答题的，考生应该将上述内容熟记于心。

第3章 测量误差基本知识

3.1 考研点睛

大纲总结:

测量误差概念(真误差、测量误差),误差影响规律的来源、分类、特性,不同误差影响不同,处理原则不同,精度评定 确定标准(中误差、相对误差、允许误差、权概念及其计算、各自特点),平差(对象来讲,对直接观测值 水平角、高差、观测值(1、等精度 2 非等精度 最可靠值、精度))

本章算是专业课中最为重要的一章,因为要考三道计算的大题以及一道简答题。三道大题会考一道误差传播定律的题,一道条件平差或者间接平差,最后一到每年都有变化。

3.2 考研知识点总结

3.2.1 观测误差的分类

测量中真值与观测值之差称为误差,也即**真误差**。

一、误差产生的原因

人的原因: 由于观测者的感觉器官的辨别能力存在局限性,所以对于仪器的对中、整平、瞄准、读数等操作都会产生误差。**仪器的原因:** 测量工作是需要用测量仪器进行的,而每一种测量仪器具有一定的精确度,使测量结果受到一定的影响。**外界环境的影响:** 测量工作进行时所处的外界环境中的空气温度、气压、湿度、风力、日光照射、大气折光、烟雾等客观情况时刻在变化,使测量结果产生误差。

凡是观测条件相同的同类观测称为“**等精度观测**”,观测条件不同的同类观测则称为“**不等精度观测**”。

二、测量误差的分类与处理原则

测量误差按照其产生的原因和对观测结果影响性质的不同,可以分为**系统误差**、**偶然误差**和**粗差**三类。**系统误差:** 在相同的观测条件下,对某一量进行一系列的观测,如果出现的误差在符号和数值上都相同,或按一定的规律变化,这种误差称为“系统误差”。**偶然误差:** 在相同的观测条件下,对某一量进行一系列的观测,如果出现的误差在符号和数值上都不相同,从表面上看没有任何规律性,这

种误差称为“偶然误差”。**粗差**：由于观测者的粗心或各种干扰造成的大于限差的误差称为粗差。

粗差是大于限差的误差,是由于观测者的粗心或受到干扰所造成的错误。错误应该可以避免,包含有错误的观测值应该舍弃,并重新进行观测。为了防止错误的发生和提高观测成果的精度,在测量工作中,一般需要进行多于必要的观测,称为“**多余观测**”。有了多余观测,就可以发现观测值中的错误,以便将其剔除和重测。由于观测值中的偶然误差不可避免,有了多余观测,观测值之间必然产生矛盾(往返差、不符值、闭合差)。根据差值的大小,可以评定测量的精度。差值如果大到一定程度,就认为观测值误差超限,应予重测(返工);差值如果不超限,则按偶然误差的规律加以处理(称为闭合差的调整),以求得最可靠的数值。至于观测值中的系统误差,应该尽可能按其产生的原因和规律加以改正、抵消或削弱。

三、偶然误差的特性

(1) 在一定观测条件下的有限次观测中,偶然误差的绝对值不会超过一定的限值;(2) 绝对值较小的误差出现的频率大,绝对值大的误差出现的频率小;(3) 绝对值相等的正、负误差具有大致相等的出现频率;(4) 当观测次数无限增大时,偶然误差的理论平均值趋近于零,即偶然误差具有抵偿性。

3.2.2 衡量精度的标准

方差：标准差的平方 σ^2 为方差

中误差：按有限次观测的偶然误差求得的标准差为“中误差”，用 m 表示。

$$m = \pm \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}$$

平均误差：在一定观测条件下一组独立的偶然误差的绝对值的数学期望称为平均误差。

或然误差：误差出现在 $(-\rho, +\rho)$ 的概率等于 $1/2$ ，则 $\int_{-\rho}^{+\rho} f(\Delta) d\Delta = \frac{1}{2}$

极限误差：通常以两倍或三倍中误差作为偶然误差的极限

相对误差：观测值的中误差与观测值之比，将分子化为 1。

第 4 章 水准测量和水准仪

4.1 考研点睛

大纲总结：水准测量概念、原理、方法（仪器结构、使用、施测）、应用（如何完成技术使用），高程测量方法，各有何特点；误差及影响规律，如何消除，如何保证仪器设备符合要求，水准布设，水准网布设（类型），数据处理，仪器发展方向（自动化，电动化），电子水准仪与传统对比有何特点

出题特点总结：

本章在往年年的真题中会考察一道简答题，涉及一些基本概念的考察，需要重点掌握：1. 水准测量各方面的知识

2. 水准测量仪器

4.2 考研知识点总结

4.2.1 水准测量原理与方法

水准测量：水准测量是测定地面点高程的主要方法之一。水准测量是使用水准仪和水准尺，根据水平视线测定两点之间的高差，从而由已知点的高程推求未知点的高程。

水准测量原理：若已知 A 点的高程 H_A ，求未知点 B 的高程 H_B 。首先测出 A 点与 B 点之间的高差 h_{AB} ，于是 B 点的高程 H_B 为： $H_B = H_A + h_{AB}$ ，由此计算出 B 点的高程。

测出高差 h_{AB} 的原理如下：在 A、B 两点上各竖立一根水准尺，并在 A、B 两点之间安置一架水准仪，根据水准仪提供的水平视线在水准尺上读数。设水准测量的前进方向是由 A 点向 B 点，则规定 A 点为后视点，其水准尺读数为 a，称为后视读数；B 点为前视点，其水准尺读数为 b，称为前视读数。则 A、B 两点间的高差为： $h_{AB} = a - b$ ，于是 B 点的高程 H_B 可按下式计算出： $H_B = H_A + (a - b)$

高差 h_{AB} 本身可正可负，当 a 大于 b 时， h_{AB} 值为正，这种情况是 B 点高于 A 点；当 a 小于 b 时， h_{AB} 值为负，即 B 点低于 A 点。

4.2.2 水准仪和水准尺

水准仪是用于水准测量的仪器，水准仪的主要构造包括：望眼镜、水准器和基座。

视准轴是物镜光心和十字丝交点的连线。

如果目标像与十字丝平面不重合，则观测者的眼睛作移动时，就会发觉目标像与十字丝之间有相对移动，这种现象称为“视差”。

有了视差,就不可能进行精确的瞄准和读数,因此,必须消除视差。**消除视差的方法**如下:先转动目镜调焦螺旋,使十字丝十分清晰;然后转动物镜调焦螺旋,使目标像(水准测量时,为水准尺尺面的分划和注字)十分清晰;上、下(或左、右)移动眼睛,如果目标像与十字丝之间已无相对移动,则视差已消除;否则,重新进行物、目镜调焦,直至目标像与十字丝无相对移动为止。

自动安平水准仪:用水准仪进行水准测量的特点是,根据水准管的气泡居中而获得水平视线。因此,在水准尺上每次读数都要用微倾螺旋将水准管气泡调至居中位置,这对于提高水准测量的速度和精度是很大的障碍。自动安平水准仪上没有水准管和微倾螺旋,使用时只需将水准仪上的圆水准器的气泡居中,在十字丝交点上读得的便是视线水平时应该得到的读数。因此,使用这种自动安平水准仪可以大大缩短水准测量的工作时间。同时由于水准仪整置不当、地面有微小的震动或脚架的不规则下沉等造成的视线不水平,可以由补偿器迅速调整而得到正确的读数。

水准仪的使用:安置水准仪、粗平、瞄准、精平、读数。安置水准仪是在测站打开三脚架,按观测者身高调节三脚架腿的高度;粗平是用脚螺旋使圆水准器气泡居中,从而使仪器的竖轴大致铅垂;瞄准是在望远镜瞄准目标之前,必须先将十字丝调至清晰;精平是读数之前应用微倾螺旋调整水准管气泡居中,使视线精确水平;仪器已经精平后即可在水准尺上读数。

4.2.3 电子水准仪

电子水准仪具有光学水准仪无可比拟的优点,与光学水准仪相比,它具有**速度快、精度高、自动读数、使用方便、能减轻作业劳动强度、可自动记录存储测量数据、易于实现水准测量内外业一体化的优点。**

电子水准仪区别于水准管水准仪和补偿器水准仪(自动安平水准仪)的主要不同点是在望远镜中安置了一个由光敏二极管构成的线阵探测器,仪器采用数字图像识别处理系统,并配用条码水准标尺。水准尺的分划用条纹编码代替厘米间隔的米制长度分划。线阵探测器将水准尺上的条码图像用电信号传送给信息处理机。信息经处理后即可求得水平视线的水准尺读数和视距值。

电子水准仪的一般结构:比自动安平水准仪多了调教发送器、补偿器监视、分光镜和线阵探测器。

电子水准仪**相关法测量原理**：线阵探测器获得的水准尺上的条码图像信号(即测量信号),通过与仪器内预先设置的已知代码”(参考信息)按信号相关方法进行比对,使测量信号移动以达到两信号最佳符合,从而获得标尺读数和视距读数。

电子水准仪是以自动安平水准仪为基础,在望远镜光路中增加了分光镜和探测器(CCD),并采用条码标尺和图像处理电子系统而构成的光机电测量一体化的高科技产品。采用普通标尺时,又可像一般自动安平水准仪一样使用。它与传统光学水准仪相比具有以下优点:

(1)读数客观。不存在误读、误记问题,消除了人为读数误差。

(2)精度高。视线高和视距读数都是采用大量条码分划图像经过处理后取平均值得出来的,因此削弱了标尺分划误差的影响。多数仪器都有进行多次读数取平均值的功能,可以削弱外界条件如振动、大气扰动等的影响。这同时也要求标尺条码要有足够的可见范围,用于测量的条码不能被遮挡。

(3)速度快。由于省去了报数、听记、现场计算以及人为出错的重测数量,测量时间与传统仪器相比可以节省 1/3 左右。

(4)效率高。只需调焦和按键就可以自动读数,减轻了劳动强度。还能实现数据的自动记录、检核、处理,并能从仪器中直接把数据输入到计算机中进行存储或后处理,可实现内外业一体化。

(5)操作简单。由于仪器实现了读数和记录的自动化,并预存了大量测量和检核程序,在操作时还有实时提示,因此测量人员可以很快掌握使用方法,减少了培训时间,即使非专业的作业人员也能很快熟练使用仪器。

另外,电子水准仪也存在一些不如光学水准仪的明显不足,主要表现为:

(1)电子水准仪对标尺进行读数不如光学水准仪灵活。电子水准仪只能对其配套标尺进行照准读数,而在有些部门的应用中,使用自制的标尺,甚至是普通的钢板尺,只要有分划线,光学水准仪就能读数,而电子水准仪则无法工作。同时,电子水准仪要求有一定的视场范围,但有些情况下,只能通过一个较窄的狭缝进行照准读数,这时就只能使用光学水准仪。

(2) 电子水准仪受外界条件影响较大。由于电子水准仪是由 CCD 探测器来分辨标尺条有效电信号。因此, 水准标尺的亮度是很重要的, 要求标尺亮度均匀, 并且亮度适中。

4.2.4 水准测量外业观测

国家三、四等以下的水准测量为普通水准测量。一般情况下, 从一已知高程的水准点出发, 要用连续水准测量的方法才能算出另一待定水准点的高程。施测程序如下:

将水准尺立于已知高程的水准点上作为后视, 水准仪置于施测路线附近合适位置, 在施测路线的前进方向上取仪器至后视大致相等的距离放置尺垫, 在尺垫上竖立水准尺作为前视。观测员将仪器用园水准器粗平后瞄准后视标尺, 用微倾螺旋将水准管气泡居中, 用中丝读后视读数至毫米。掉转望远镜瞄准前视标尺, 再次将水准管气泡居中, 用中丝读前视读数至毫米。记录员根据观测员的读数在手册中记录相应数字, 并立即计算高差。此为第一测站的全部工作。第一测站结束后, 记录员通知标尺员向前转移, 并将仪器迁至第二测站。此时, 第一测站的前视点成为第二测站的后视点。依第一测站相同的工作程序进行第二测站的工作。依次沿水准路线方向施测直至全部路线观测完为止。

三、四等水准测量在一测站上水准仪照准双面水准尺的顺序为:

- 1) 照准后视标尺黑面, 进行视距丝、中丝读数;
- 2) 照准前视标尺黑面, 进行中丝、视距丝读数;
- 3) 照准前视标尺红面, 进行中丝读数;
- 4) 照准后视标尺红面, 进行中丝读数;

这样的顺序简称为“后前前后”(黑黑、红、红)。四等水准测量每站观测顺序也可为“后后前前”(黑、红、黑、红)。

4.2.5 水准测量的误差分析

水准测量误差包括: 仪器误差、观测误差和外界条件的影响三个方面。

1. 仪器误差包括视准轴与水准管轴不平行的误差、尺交叉误差和水准尺误差。

(1) 视准轴与水准管轴不平行的误差: 水准仪在使用前, 虽然经过检验校正, 但实际上很难做到视准轴与水准管轴严格平行。视准轴与水准管轴在竖直面投影的夹角称为 i 角, i 角的存在会给水准测量的观测结果带来误差, i 角误

差：水准管轴不平行于视准轴对高差的影响规律：水准仪在使用之前，虽然经过检验校正，但实际上很难做到视准轴与水准管轴严格平行。视准轴与水准管轴在竖直面上投影的夹角称为 i 角， i 角的存在会给水准测的观测结果带来误差。设 A、B 分别为同一测站的后视点和前视点， S_A 、 S_B 分别为后视和前视的距离， x_A 、 x_B 为由于视准轴与水准管轴不平行而引起的读数误差。如果不考虑地球曲率和大气折光的影响，B 点对 A 点的高差为：

$$h_{AB} = (a - x_A) - (b - x_B) = (a - b) - (x_A - x_B)$$

因 $x = S \tan i$

$$\text{故 } h_{AB} = (a - b) - (S_A - S_B) \tan i = (a - b) - (S_A - S_B) \frac{i}{\rho''}$$

$$\text{对于一测段则有 } \sum h = \sum (a - b) - \frac{i}{\rho''} \times \sum (S_A - S_B)$$

消除方法：为使一个测站的 $x_A = x_B$ ，应使 $S_A = S_B$ 。实际上，要求使后、前视的距离正好相等是比较困难也是不必要的。所以，根据不同等级的精度要求，对每一测站的后、前视距离之差和每一测段的后、前视距的累计差规定一个限值。这样，就可把残余 i 角对所测高差的影响限制在可忽略的范围内。

(2) **交叉误差：**交叉误差在水准测量中的影响，主要看它是否会引起视准轴不水平。假设水准仪在水准尺上读数时视准轴是水平的，那完全用不着考虑视准轴和水准管轴在水平面上的投影是否平行。可是水准测量时仪器旋转轴不严格竖直，两轴在水平面上的投影不平行可能会导致两轴在竖直面上不平行，即交叉误差转变为 i 角误差。

(3) **水准尺误差：**由于水准尺刻画不准确，尺长变化、弯曲等影响，会影响水准测量的精度。因此，水准尺需要经过检验才能使用。对于水准尺的零点差，可在一段中使测站数为偶数的方法来消除。

2. **观测误差**主要包括有精平误差、调焦误差、估读误差和水准尺倾斜误差。

(1) **精平误差：**水准测量于读数前必须精平，精平的程度反映了视准轴水平程度。这种误差在前视和后视读数中是不相同的，而且数字是可观的，不容忽视。因此，水准测量时一定要严格精平，并果断快速读数。

(2) 调焦误差在观测时,若在照准后、前尺时均调焦,必然使在前、后尺读数时 i 角高度不一致,从而引起读数误差。前后视距相等时可避免在一站中重复调焦。

(3) 估读误差普通水准测量中水准尺为厘米刻划,考虑仪器的基本性能,影响估读精度的因素主要与十字丝横丝的粗细、望远镜放大倍率及视线长度等因素有关。其中视线长度影响较大,有关规范对不同等级水准测量时的视线均作了规定,作业时应认真执行。

(4) 水准尺倾斜误差在水准测量读数时,若水准尺在视线方向前后倾斜,观测员很难发现,由此造成水准尺读数总是偏大。视线越靠近尺的顶端,误差就越大。消除或减弱的办法是在水准尺上安装圆水准器,确保尺子的铅垂。如果尺子上水准器不起作用,应用“摇尺法”进行读数,读数时,尺子前、后俯仰摇动,使尺上读数缓慢改变,读变化中的最小读数,即尺子铅垂时的读数。

3. 外界环境的影响包括水准仪水准尺下沉误差、大气折光的影响、日照及风力引起的误差。

(1) 水准仪水准尺下沉误差:在土壤松软区测量时,水准仪在测站上随安置时间的增加而下沉。发生在两尺读数之间的下沉,会使后读数的尺子读数比应有读数小,造成高差测量误差。消除这种误差的方法是,仪器最好安置在坚实的地面,脚架踩实,快速观测,采用“后一前一前一后”的观测程序等方法均可减少仪器下沉的影响。

水准尺下沉对读数的影响表现在两个方面:一种情况同仪器下沉的影响类似,其影响规律和应采取的措施同上;二是在转站时,转点处的水准尺因下沉而致其在两相邻观测中不等高,造成往测高差增大,返测高差减小。消除办法有:踩实尺垫;观测间隔间将水准尺从尺垫上取下,减小下沉量;往返观测,取高差平均值减弱其影响。

(2) 大气折光的影响视线在大气中穿过时,会受到大气折光影响。一般视线离地面越近,光线的折射也就越大。观测时应尽量使视线保持一定高度,一般规定视线须高出地面 0.3m,可减少大气折光的影响。

(3) 日照及风力引起的误差这种影响是综合的,比较复杂。如光照会造成仪器各部分受热不均使轴线关系改变、风大时会使仪器抖动、不易精平等都会

引起误差。除选择好的天气测量外,给仪器打伞遮光等都是消除和减弱其影响的好方法。

4.2.6 水准仪的检验与校正

1. 水准仪应满足的主要条件水准仪应满足的主要条件有两个:

一是水准管的水准轴应与望远镜的视准轴平行;二是望远镜的视准轴不因调焦而变动位置。

第一个主要条件的要求如果不满足,那么水准测量的水准管气泡居中后,即水准轴已经水平而视准轴却未水平,不符合水准测量基本原理的要求。

第二个主要条件是为满足第一个条件而提出的。如果望远镜在调焦时视准轴位置发生变动,就不能设想在不同位置的许多条视线都能够与一条固定不变的水准轴平行。望远镜的调焦在水准测量中是绝不可避免的,因此必须提出此项要求。

2. 水准仪应满足的次要条件水准仪应满足的次要条件也有两个:

一是圆水准器的水准轴应与水准仪的旋转轴平行;是十字丝的横丝应当垂直于仪器的旋转轴。

第一个次要条件的目的在于能迅速地整置好仪器,提高作业速度。第二个次要条件的目的是当仪器旋转轴已经竖直,在水准尺上的读数可以不必严格用十字丝的交点而可用交点附近的横丝。

第5章 角度、距离测量与全站仪

5.1 考研点睛

大纲总结:测角(水平、竖直)概念、原理(方法应用的基础),方法(水平和竖直仪器结构特点,应用,测站上的计算),应用(误差、如何保证成果符合质量),距离(钢尺、尺长改正、视距、水准测量中应用、经纬仪应用、光电),光电:原理、距离测量方法、内容、成果整理(误差改正)、误差分析问题,全站仪:概念、结构和功能特点。

出题特点总结:

本章在往年年的真题中会考察一道简答题,涉及一些基本概念的考察。

5.2 考研知识点总结

5.2.1 角度测量原理

所谓**水平角**,就是相交的两直线之间的夹角在水平面上的投影, $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$,角 AOC 为直线 OA 与 OC 之间的夹角,测量中所要观测的水平角是 AOC 角在水平面上的投影,即 $\angle A_1B_1C_1$,而不是斜面上的 $\angle AOC$ 。

$\angle A_1B_1C_1$ 就是通过 OA 与 OC 的两竖面所形成的两面角。此两面角在两竖面交线 OB_1 上任意一点可进行量测。设想在竖线 OB_1 上的 O 点放置一个按顺时针注记的全圆量角器(称为度盘),使其中心正好在 OB_1 竖线上,并呈水平位置。从 OA 竖面与度盘的交线得一读数 a,再从 OC 竖面与度盘的交线得另一读数 b,则 b 减 a 就是圆心角 β ,即 $\beta = b - a$ 这个 β 就是水平角 $\angle A_1B_1C_1$ 的值。

竖直角是同一竖直面内目标方向与一特定方向之间的夹角。目标方向与水平方向间的夹角称为高度角,又称为竖角,一般用 α 表示。视线上倾所构成的仰角为正,视线下倾所构成的俯角为负,角值都是由 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。另一种是目标方向与天顶方向(即铅垂线的反方向)所构成的角,称为天顶距,一般用 Z 表示,天顶距的大小从 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$,没有负值。

5.2.2 经纬仪

光学经纬仪的主要部件:

(1) 望远镜

测量望远镜是用于精确瞄准远处测量目标,与水准仪上的望远镜一样,经纬仪上的望远镜也是由物镜、调焦透镜、十字丝分划板和目镜等组成。

(2) 水准器

同水准仪一样,水准器有管状水准器(又称水准管)和圆水准器。

(3) 平度盘和竖直度盘

光学经纬仪的水平度盘和竖直度盘用玻璃制成,在度盘平面的圆周边缘刻有等间隔的分划线,两相邻分划线间距所对的圆心角称为度盘的格值,又称度盘的最小分格值。

电子经纬仪

电子经纬仪的轴系、望远镜和制动、微动构件与光学经纬仪类似,它与光学经纬仪的根本区别在于用微处理机控制的电子测角系统代替光学读数系统,能自动显示测量数据。

电子经纬仪测角系统有编码度盘、光栅度盘和条码度盘测角系统。无论哪种电子测角经纬仪,都应解决编码、识向和角度细分三方面的技术关键。

光栅度盘测角系统（真题考过）：在光学玻璃度盘的径向上均匀地刻制明暗相间的等角距细线条就构成光栅度盘。在敦璃圆盘的径向,均匀地按一定的密度刻划有交替的透明与不透明的辐射状条纹,条纹与间隙的宽度均为 a ,这就构成了光栅度盘。如果将两块密度相同的两块光栅重叠,并使它们的刻线相互倾斜一个很小的角度 θ ,就会出现明暗相间的条纹,称为莫尔条纹。两光栅之间的夹角越小,条纹越粗,即相邻明条纹(或暗条纹)之间的间隔越大。条纹亮度按正弦周期性变化。

条码度盘：条码是由一组按一定编码规则排列的线条、空白符号,用以表示一定的字符、数字及符号组成的信息,条码度盘使用条码信息区分度盘的角度信息。由发光管发出的光线通过一定光路照亮度盘上的一组条形码,该条形码由一线性 CCD 阵列识别,经一个 8 位 A/D 转换器读出。采用一次测量包含多组条码,在对径设置多个条码探测装置,以提高角度读数精度和消除度盘偏心差。

5.2.3 角度观测方法

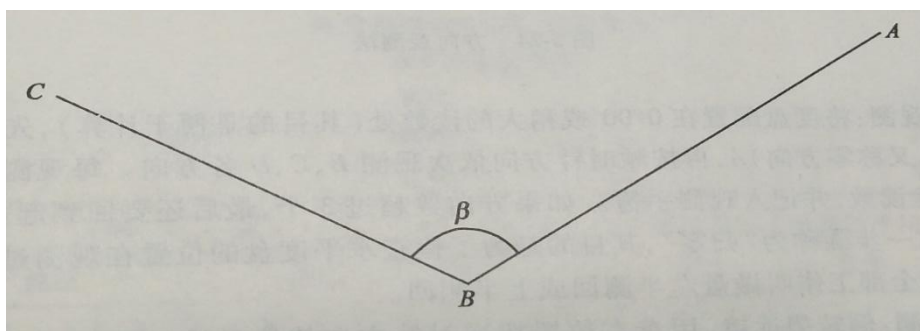
经纬仪安置包括**对中和整平**。对中的目的是使仪器的水平度盘中心与测站点标志中心在同一铅垂线上;整平的目的是使仪器的竖轴竖直,并使水平度盘居于水平位置。安置经纬仪可使用垂球或光学对中器进行对中。

测回法：

在测站点 B,需要测出 BA、BC 两方向间的水平角 B ,在 B 点安置经纬仪后,按下列照准顺序进行观测：

- (1) 盘左位置瞄准左目标 C,得读数 $c_{左}$ 。
- (2) 松开照准部制动螺旋,瞄准右目标 A,得读数 $a_{左}$,则盘左位置所得半测回角值为: $\beta_{左} = a_{左} - c_{左}$
- (3) 倒转望远镜成盘右位置,瞄准目标 A,得读数 $a_{右}$

(4)瞄准左目标 C, 得读数 $c_{右}$, 则盘右半测回角值为: $\beta_{右} = a_{右} - c_{右}$



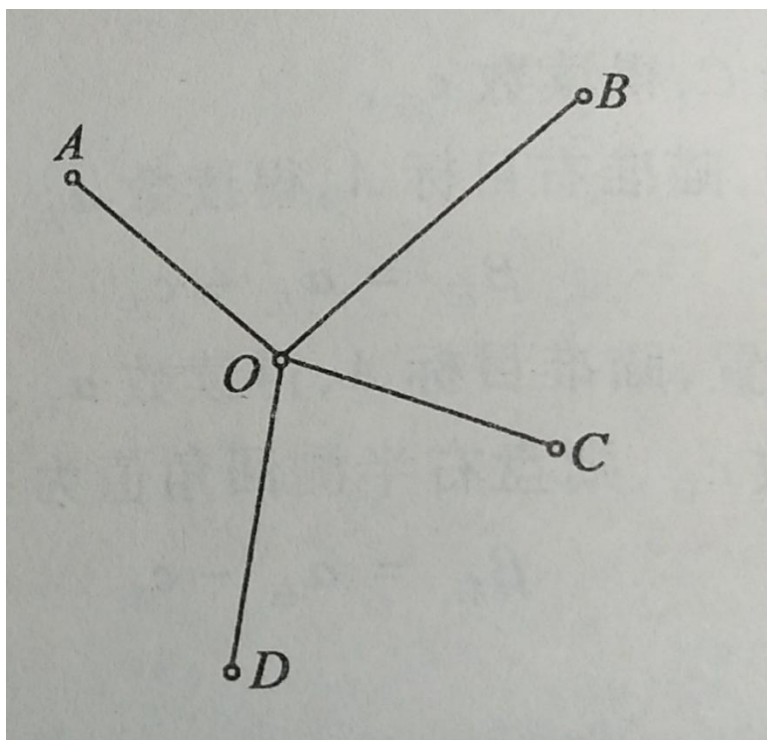
测回法观测水平角

方向观测法:

设在下图所示的测站 O 点, 观测 O 点到 A、B、C、D 各方向之间的水平角, 用方向观测法的操作步骤如下:

①盘左观测: 将度盘配置在 $000'$ 或稍大的读数处 (其目的是便于计算), 先观测所选定的起始方向 (又称零方向) A, 再按顺时针方向依次观测 B、C、D 各方向。每观测一个方向均读取水平度盘读数, 并记入观测手簿。如果方向数超过 3 个, 最后还要回到起始方向 A, 读数并记录。这一步骤称为“归零”, 其目的是为了检查水平度盘的位置在观测过程中是否发生变动。上述全部工作叫做盘左半测回或上半测回。

②盘右观测: 倒转望远镜, 用盘右位置按逆时针方向依次照准 A、D、C、B、A, 读数并记录。此为盘右半测回或下半测回。上、下半测回合起来为一测回。由于半测回中零方向有前后两次读数, 两次读数之差称为半测回归零差。



方向观测法

竖盘指标差

在推导竖角计算公式时,认为当视线水平且竖盘指标水准管气泡居中时,其读数是 90° 的整倍数。但实际上这个条件有时是不满足的。这是由于竖盘指标偏离了正确位置,使视线水平时的竖盘读数大了或小了一个数值 x , 这个偏离值 x 称为**竖盘指标差**。

当指标偏移方向与竖盘注记方向一致时,则使读数增大一个 x 值, x 取正号;反之,指标线偏移方向与竖盘注记方向相反时,则使读数减小一个 x 值, x 取负号。

当盘左视线水平且竖盘指标水准管气泡居中时,其竖盘指标读数不是 90° , 而是 $90^\circ + x$; 同样, 视线指向目标时的读数 L 也大了一个 x 值。此时, 盘左观测的竖角 $\alpha_{\text{左}}$ 应为:

$$\alpha_{\text{左}} = 90^\circ - (L - x)$$

同样, 盘右观测的竖角 $\alpha_{\text{右}}$ 应为: $\alpha_{\text{右}} = (R - x) - 270^\circ$

两者取平均值得竖角 α :

$$A = 1/2 [(90^\circ - L + x) + (R - 270^\circ - x)] = 1/2 [(R - L) - 180^\circ]$$

上式说明用盘左、盘右观测取平均值计算竖角 α , 其角值不受竖盘指标差的影响。若将两式相减, 则得

$$x=1/2[(L+R)-360^\circ]$$

上式即为竖盘的竖盘指标差计算公式。

5.2.4 水平角观测的误差和精度

水平角观测的误差:

①仪器误差包括以下几方面:

- a. 水平度盘偏心差: 是度盘分划线的中心与照准部旋转中心不重合所致;
- b. 视准轴误差: 是仪器的视准轴不与横轴正交所产生的误差;
- c. 横轴倾斜误差: 仪器的横轴与竖轴不垂直所产生的误差称为横轴倾斜误差, 仪器支架两端不等高、横轴两端轴径不相等都会产生横轴倾斜误差;
- d. 若视准轴与横轴正交, 横轴垂直于竖轴, 而竖轴与照准部水准管轴已垂直, 仅由于仪器未严格整平而使竖轴不在竖直位置, 竖轴偏离铅垂线一微小角度, 这就是竖轴倾斜误差。

②仪器对中误差;

③目标偏心误差;

④照准误差与读数误差

⑤外界条件的影响

减弱或消除误差的方法: 同一目标方向在水平度盘对径分划处读数取平均, 可以基本消除或大部分消除水平度盘偏心差的影响; 取盘左、盘右实际读数的中数, 可以消除视准轴误差的影响; 仪器支架两端等高及使横轴两端轴径相等可消除横轴倾斜误差; 适当增加测站至目标的距离可减小目标偏心差对水平角的影响; 选择有利的观测时间和避开不利的条件, 可以使外界条件的影响降低到较小的程度。

5.2.5 经纬仪的检验与校正

经纬仪主要轴线之间应该满足的条件:

- (1) 照准部水准管轴应该垂直于竖轴;
- (2) 视准轴应该垂直于横轴;

(3) 横轴应该垂直于竖轴;

(4) 观测水平角时, 如果用十字丝交点去瞄准目标很不方便, 通常是用竖丝去瞄准目标, 从而又要求竖丝应该垂直于横轴;

(5) 当经纬仪作竖角观测时, 还必须满足竖盘指标差在限差范围之内。

5.2.6 光电测距

随着光电技术的发展, 电磁波测距仪的使用越来越广泛。与传统量距方法比较, 电磁波测距具有测程远、精度高、操作简便、作业速度快和劳动强度低等优点。

电磁波测距的基本原理是通过测定电磁波在待测距离两端点间往返一次的传播时间 t , 利用电磁波在大气中的传播速度 c , 来计算两点间的距离。

若测定 A、B 两点间的距离 D , 把测距仪安置在 A 点, 反射镜安置在 B 点, 则其距离 D 可按下式计算:

$$D=1/2ct$$

以电磁波为载波传输测距信号的测距仪器统称为电磁波测距仪, 按其所采用的载波可分为:

①微波测距仪: 采用微波段的无线电波作为载波。

②光电测距仪: 采用光波作载波, 又分为以下两类: 激光测距仪, 用激光作为载波; 红外测距仪, 用红外光作为载波。

脉冲式光电测距仪:

脉冲式光电测距的**原理**: 脉冲式光电测距仪通过直接测定光脉冲在测线上往返传播的时间 t , 按照 $D=1/2ct$ 求得距离。

首先, 由光脉冲发射器发射出一束光脉冲, 经发射光学系统后射向被测目标。与此同时, 由仪器内的取样棱镜取出一小部分光脉冲送入接收光学系统, 再由光电接收器转换为电脉冲(称为主波脉冲), 作为计时的起点。从目标反射回来的光脉冲通过接收光学系统后, 也被光电接收器接收并转换为电脉冲(称为回波脉冲), 作为计时的终点。

相位式光电测距仪:

相位式光电测距仪的**原理**: 相位式光电测距通过测量调制光在测线上往返传播所产生的相位移来求出距离 D 。

由光源发出的光通过调制器后,成为光强随高频信号变化的调制光射向测线另一端的反光镜。经反光镜反射后被接收器所接收,然后由相位计将发射信号(又称参考信号)与接收信号(又称测距信号)进行相位比较,获得调制光在被测距离上往返传播所引起的相位移 φ 。

测距成果的整理:

电磁波测距是在地球自然表面上进行的,所得长度是距离的初步值。出于建立控制网等目的,长度值应化算为测点间的水平距离。因而要进行一系列改正计算。这些改正计算大致可分为三类:其一是仪器系统误差改正;其二是大气折射率变化所引起的改正;其三是归算改正。

仪器系统误差改正包括加常数改正、乘常数改正和周期误差改正。

电磁波在大气中传输时受气象条件的影响很大,因而要进行**大气改正**。

属于归算方面的改正主要有倾斜改正、归算到参考椭球面上的改正(简称归算改正)、投影到高斯平面上的改正(简称为投影改正)。如果有偏心观测的成果,还要进行归心改正。对于较长距离(例如 10km 以上),有时还要加入波道弯曲改正。

某些类型的测距仪,通过设置比例因子,在一定范围内可自动进行一些改正及计算。

下面讨论对**短程光电测距仪**测定的距离进行改正。

(1) 加常数改正

实际上,测距仪的加常数包含仪器加常数和反射镜常数,当测距仪和反射镜构成固定套设备后,其加常数可测出。由于加常数为一个固定值,可预置在仪器中,使之测距时自动加以改正。但是仪器在使用一段时间以后,由于振动等原因,往往使加常数发生变化,所以作业前应该准确测定仪器加常数,必要时可对观测成果加以改正。

(2) 乘常数改正

所谓乘常数,就是当频率偏离其标准值而引起的一个计算改正数的乘系数,也称为比例因子。乘常数可通过一定的检测方法求得,必要时可对观测成果进行改正。如果有小型频率计,直接测定实际工作频率,就可方便地求得乘常数改正值。

(3) 气象改正

光的传播速度受大气状态(温度 t 、气压 P 、湿度 e)的影响。仪器制造时只能选取某个大气状态(假定大气状态)来定出调制光的波长,而实际测距时的大气状态一般不会与假定状态相同,因而使测尺长度发生变化,使得测距成果中含有系统误差,所以必须加气象改正。

(4) 倾斜改正

由测距仪测得的距离观测值经过加常数、乘常数和气象改正后,得到改正后的倾斜距离,必须加倾斜改正后才能得到水平距离。

(5) 归算至大地水准面的改正

5.2.7 光电测距误差分析

测距误差可分为两部分:一部分是与距离 D 成比例的误差,即光速值误差、大气折射率误差和测距频率误差,称为比例误差;另一部分是与距离无关的误差,即测相误差、加常数误差,称为固定误差。周期误差有其特殊性,它与距离有关,但不成比例,仪器设计和调试时可严格控制其数值。故一般将测距仪的精度表达式简写成:

$$m_D = \pm (A + B \cdot D)$$

式中, A 为固定误差,以 mm 为单位; B 为比例误差系数,以 mm/km 为单位; D 为被测距离,以 km 为单位。

下面具体说明各项误差的来源、性质及其影响。

(1) 比例误差

比例误差包括真空中光速 C_0 的误差,大气折射率 n 的误差,调制频率 f 的误差。

(2) 固定误差

固定误差通常具有一定的数值,与测程无关。测程较长时,比例误差占主要地位,而测程较短时,固定误差可能处于突出地位。

相位差 $\Delta\varphi$ 的测定误差

相位差的测定误差简称为测相误差。测相误差是制约仪器精度的主要因素之在测距误差中,有些是通过检测求出其大小,然后在测量结果中进行校正。但

这些误差的检测精度,又要受到测相误差的限制。所以,只有测相精度好的仪器,加之正确使用,才可以取得较好的测量成果。

①测相设备本身的误差目前,绝大多数红外测距仪都采用脉冲数字式自动测相,它是依靠多次填充脉冲的方法实现的。若时钟脉冲有频率误差,则根据脉冲填充个数计算精测尺长度与实际的精测尺长度就不会相符。此时即使二路信号之间的相位差保持不变,多次测出的数值也不会完全致,这就是测相设备本身的误差。测定几组读数取其平均值,就可以减小测相误差的影响。

②幅相误差在测程不变的情况下,接收信号的强弱不同会使它的幅度发生变化,由此而引起的测距误差称为仪器的幅相误差。

③发射光束相位不均匀引起的误差

由于砷化镓发光二极管的空间相位不均匀性,使得发出的调制光束在同一横截面上各部分的相位出现差异。这时,不同的照准部位,会使反射镜位于光束同一横截面上的不同位置,测得的距离就不会相同,这种误差称为照准误差。

仪器加常数改正误差

测距加常数改正误差包括加常数的检定误差和加常数的变化。加常数是通过检定得到的,具有较高的精度。测距仪加常数的检定误差值应小于测距仪标准偏差的二分之一,否则不宜用该加常数改正其他距离。加常数发生变化后需要进行重新测定。

(3) 周期误差

周期误差是由测距仪内部的光电信号串扰引起的以一定距离(通常是一个精测尺长度)为周期重复出现的误差。例如发射的信号通过电子开关、电源线或空间等渠道耦合,串到接收部分,形成相位固定不变的串扰信号。使得相位计测得的相位未必是测距信号的相位,而是串扰信号与测距信号合成矢量的相位。

影响测距精度的因素很多,但其中比较主要的是调制频率误差、照准误差、仪器常数误差以及周期误差。对待这些误差,应该进一步通过仪器检验,客观地发现它们,或者调整仪器,或者加入改正数,以便将它们的影响控制在允许范围之内。

5.2.8 全站仪和自动全站仪

全站仪

全站仪是全站型电子速测仪的简称,它集电子经纬仪光电测距仪和微处理器于一体。全站仪的基本功能是在仪器照准目标后,通过微处理器的控制,能自动完成测距、水平方向和天顶距读数、观测数据的显示、存储等。

自动全站仪

自动全站仪是一种能自动识辨、照准和跟踪目标的一种全站仪,又称为测量机器人。

5.2.9 三角高程测量

用水准测量的方法测定点与点之间的高差,即可由已知高程点求得另一点的高程。应用这种方法求地面点的高程其精度较高,普遍用于建立国家高程控制点及测定高级地形控制点的高程。对于地面高低起伏较大的地区,用这种方法测定地面点的高程进程缓慢,有的甚至非常困难。这时在地面高低起伏较大或不便于水准测量的地区,常采用三角高程的测量方法传递高程。三角高程测量的基本思想是根据由测站向照准点所观测的竖角(或天顶距)和它们之间的水平距离,计算测站点与照准点之间的高差。这种方法简便灵活,受地形条件的限制较少。

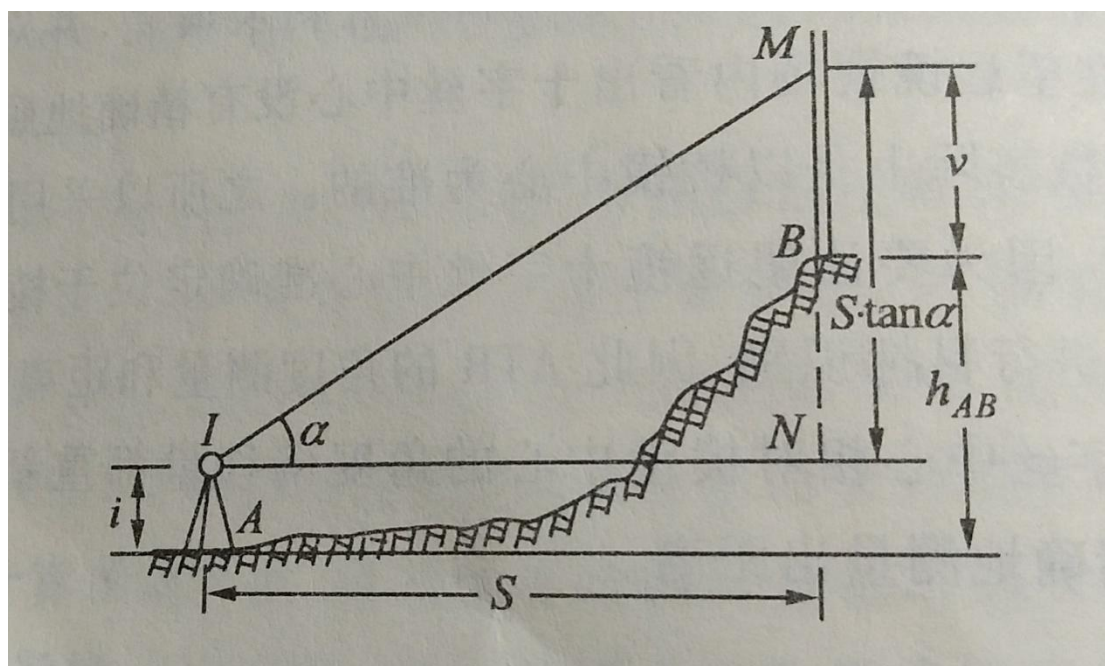
三角高程测量的基本原理

如图所示,在地面上 A、B 两点间测定高差 h_{AB} , A 点设置仪器,在 B 点竖立标尺。量取望远镜旋转轴中心 I 至地面点上 A 点的仪器高 i ,用望远镜中的十字丝的横丝照准 B 点标尺上的一点 M,它距 B 点的高度称为目标高 v ,测出倾斜视线 IM 与水平视线 IN 间所夹的竖角 α ,若 A、B 两点间的水平距离已知为 S ,则由图可得两点间高差 h 为:

$$h_{AB} = S \cdot \tan \alpha + i - v$$

若 A 点的高程已知为 H_A ,则 B 点高程为:

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + S \cdot \tan \alpha + i - v$$



三角高程测量原理

具体应用上式时要注意竖角的正负号,当 α 为仰角时取正号,相应地 $S \cdot \tan \alpha$ 也为正值,当 α 为俯角时取负号,相应地 $S \cdot \tan \alpha$ 也为负值。

若在 A 点设置全站仪(或经纬仪+光电测距仪),在 B 点安置棱镜,并分别量取仪器高 i 和棱镜高 v ,测得两点间斜距 D 与竖角 α 以计算两点间的高差,称为光电测距三角高程测量。A、B 两点间的高差可按下式计算

$$h_{AB} = D \cdot \sin \alpha + i - v$$

凡仪器设置在已知高程点,观测该点与未知高程点之间的高差称为直觐;反之,仪器设在未知高程点,测定该点与已知高程点之间的高差称为反觐。

三角高程测量的精度

三角高程测量的精度受垂直角误差、边长误差、大气折光误差、仪器高和目标高的量测误差等诸多因素的影响。其主要误差来源是以下几方面:

- (1)垂直角误差:包括仪器误差、观测误差和外界环境影响。
 - ①仪器误差:由经纬仪等级所决定,垂直度盘的分划误差、偏心误差都是影响因素;
 - ②外界条件:主要是大气垂直折光的影响;
 - ③观测误差:包括照准误差、读数误差及竖盘指标水准管气泡居中误差等,主要是照准误差的影响,目标的形状、颜色、亮度、空气对流、空气能见度都会影响照

准精度,给竖角测定带来误差。竖角观测误差对高差测定的影响与推算高差的边长成正比,边长越大,影响越大。

(2)边长误差:边长误差的大小决定于测量的方法,若边长根据两点坐标反算求得或测距仪测得,其精度是相当高的。

(3)大气折光误差:与观测条件密切相关,大气垂直折光系数 K 是随地区、气候、季节等条件的不同而变化的,要精确测定它的数值,目前尚不可能, K 值在中午前后数值最小,且较稳定,因此,竖角的观测时间最好在地方时 10 时至 16 时之间。

(4)丈量仪高和毡标高的误差:仪高和毡高的量测误差有多大,对高差的影响也会有多大。

第 6 章 全球定位与全球定位系统 (GPS)

6.1 考研点睛

大纲总结: GPS 测量: 基本原理、误差来源 (分类、产生原理、规律、消除方法)

RTK 基本工作方法

GPS 实施控制测量作业内容/工作步骤

出题特点总结:

本章在往年年的真题中会考察一道简答题, 涉及一些基本概念的考察。

6.2 考研知识点总结

6.2.1 全球导航卫星系统概述

全球导航卫星定位系统 (GNSS) 包括: 美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、中国“北斗”导航系统以及欧洲的 GALILEO 系统。

GPS: 全球定位系统 (GPS) 是 20 世纪 70 年代由美国陆海空三军联合研制的新一代空间卫星导航定位系统。其主要目的是为陆、海、空三大领域提供实时、全天候和全球性的导航服务, 并用于情报收集、核爆监测和应急通讯等一些军事目的, 是美国独霸全球战略的重要组成。经过 20 余年的研究实验, 耗资 300 亿美元, 到 1994 年 3 月, 全球覆盖率高达 98% 的 24 颗 GPS 卫星星座已布设完成。

GLONASS: 该系统最早开发于苏联时期, 后由俄罗斯继续该计划。俄罗斯 1993 年开始独自建立本国的全球卫星导航系统。该系统于 2007 年开始运营, 当时只开放俄罗斯境内卫星定位及导航服务。到 2009 年, 其服务范围已经拓展到全球。该系统主要服务内容包括确定陆地、海上及空中目标的坐标及运动速度信息等。“格洛纳斯”导航系统目前在轨运行的卫星已达 30 颗, 俄航天部门计划 2014 年内再发射 3 颗。

北斗: 中国北斗卫星导航系统 (BeiDou Navigation Satellite System, BDS) 是中国自行研制的全球卫星导航系统。是继美国全球定位系统 (GPS)、俄罗斯格洛纳斯卫星导航系统 (GLONASS) 之后第三个成熟的卫星导航系统。北斗卫星导航系统 (BDS) 和美国 GPS、俄罗斯 GLONASS、欧盟 GALILEO, 是联合国卫星导航委员会已认定的供应商。北斗卫星导航系统由空间段、地面段和用户段三部分组成, 可在全球范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度、高可靠定位、导航、授时服务, 并具短报文通信能力, 已经初步具备区域导航、

定位和授时能力，定位精度 10 米，测速精度 0.2 米/秒，授时精度 10 纳秒。
2017 年 11 月 5 日，中国第三代导航卫星顺利升空，它标志着中国正式开始建造“北斗”全球卫星导航系统。

GALILEO: 伽利略计划是欧洲于 1999 年初正式推出的旨在独立于 GPS 和 GLONASS 的全球卫星导航系统。目前全世界使用的导航定位系统主要是美国的 GPS 系统，欧洲人认为这并不安全。为了建立欧洲自己控制的民用全球导航定位系统，欧洲人决定实施“伽利略”计划。伽利略系统是由欧盟主导的新一代民用全球卫星导航系统，耗资超过 30 亿欧元。系统由两个地面控制中心和 30 颗卫星组成，其中 27 颗为工作卫星，3 颗为备用卫星。卫星轨道高度约 2.4 万公里，位于 3 个倾角为 56 度的轨道平面内。

6.2.2 GPS 系统的组成及卫星信号

GPS 定位系统由三部分组成，即 GPS 卫星(空间部分)、地面监控系统(地面监控部分)和 GPS 接收机(用户部分)。

一、空间部分

1. GPS 卫星

GPS 卫星的主体呈圆柱形，两侧有太阳能帆板，能自动对日定向。太阳能电池为卫星提供工作用电。每颗卫星装有微处理器、大容量的存储器和 4 台原子钟(发射标准频率、提供高精度的时间标准)。

2. GPS 卫星的基本功能是：

- (1)接收和存储由地面监控站发来的导航信息，接收并执行监控站的控制指令；
- (2)进行部分必要的数据处理工作；
- (3)通过高精度的原子钟提供精密的时间标准；
- (4)向用户发送导航电文与定位信息；
- (5)在地面站的指令下调整卫星姿态和启用备用卫星。

3. GPS 卫星星座

GPS 卫星星座由 24 颗卫星组成，其中包括 3 颗备用卫星。卫星分布在 6 个轨道平面内，每个轨道平面内分布有 4 颗卫星。卫星轨道面相对地球赤道面的倾角约为 55° ，卫星平均高度约为 20200km，卫星运行周期为 11h58min。

卫星在空间的上述配置,可在地球上任何地点、任何时刻均至少可以同时观测到 4 颗卫星。因此 GPS 是一种全球性、全天候、连续实时的导航定位系统。

二、地面监控部分

在导航定位中,首先必须知道卫星的位置,而位置是由卫星星历计算出来的。地面监控系统测量和计算每颗卫星的星历,编辑成导航电文发送给卫星,然后由卫星实时地播送给用户,这就是卫星提供的广播星历。

GPS 的地面监控部分主要由分布在全球的 5 个地面站组成,其中包括卫星监测站、主控站和信息注入站。

三、GPS 接收机

GPS 接收机包括接收机主机、天线和电源,其主要功能是接收 GPS 卫星发射的信号,以获得必要的导航和定位信息,并经过初步数据处理而实现实时的导航与定位。

四、GPS 卫星信号

GPS 卫星发射的信号包含三种信号分量:载波(L1 和 L2)、测距码(C/A 码、P 码或 Y 码)和数据码(D 码或导航电文)。

6.2.3 GPS 定位的基本原理及其误差来源

一、WGS-84 坐标系

WGS-84 坐标系是全球定位系统(GPS)采用的坐标系,属地心坐标系。WGS-84 坐标系采用 1980 年国际大地测量与地球物理联合会第 17 届大会推荐的椭球参数,WGS84 坐标系的原点位于地球质心;Z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议地球极(CIP)方向;X 轴指向 BIH1984.0 的零子午面和 CIP 赤道的交点;轴垂直于 X、Z 轴构成右手直角坐标系。

二、GPS 定位的基本原理

GPS 定位的基本原理是把 GPS 卫星视为一种飞行的动态已知点,在其瞬间位置已知的情况下(星历提供),以 GPS 卫星和用户的 GPS 接收机天线相位中心之间的距离为观测量,进行空间距离的后方交会,从而确定出用户所在的位置。

三、GPS 测量的误差

与 GPS 卫星有关的误差;与 GPS 卫星信号传播有关的误差;与 GPS 信号接收机有关的误差。

(1) 与 GPS 卫星有关的误差包括卫星的星历误差和卫星钟误差, 两者都属于系统误差, 可在 GPS 测量中采取一定的措施消除或减弱, 或采用某种数学模型对其进行改正。

(2) 与 GPS 卫星信号传播有关的误差包括电离层折射误差、对流层折射误差和多路径误差。电离层折射误差和对流层折射误差即信号通过电离层和对流层时, 传播速度发生变化而产生时延, 使测量结果产生系统误差, 在 GPS 测量中, 可以采取一定的措施消除或减弱, 或采用某种数学模型对其进行改正。多路径误差取决于测站周围的观测环境, 具有一定的随机性, 属于偶然误差。为了减弱多路径误差, 测站位置应远离大面积平静水面, 测站附近不应有高大建筑物, 测站点不宜选在山坡、山谷和盆地中。

(3) 与 GPS 信号接收机有关的误差包括接收机的观测误差、接收机的时钟误差和接收机天线相位中心的位置误差。接收机的观测误差具有随机性质, 是一种偶然误差, 通过增加观测量可以明显减弱其影响。接收机时钟误差是一种系统误差, 但可采取一定的措施予以消除或减弱。

(4) 建立误差改正模型;

误差改正模型既可以是通过误差特性、机理以及产生的原因进行研究分析、推导而建立起来的理论公式, 也可以是通过大量观测数据的分析拟合而建立起来的经验公式。在多数情况下是同时采用两种方法建立的综合模型(各种对流层折射模型则大体上属于综合模型)。

由于改正模型本身的误差以及所获取的改正模型各参数的误差, 仍会有一部分偏差残留在观测值中, 这些残留的偏差通常仍比偶然误差要大得多, 严重影响 GPS 的定位精度。

求差法;

仔细分析误差对观测值或平差结果的影响, 安排适当的观测纲要和数据处理方法(如同步观测、相对定位等), 利用误差在观测值之间的相关性或在定位结果之间的相关性, 通过求差来消除或削弱其影响的方法称为求差法。

例如, 当两站对同一卫星进行同步观测时, 观测值中都包含了共同的卫星钟误差, 将观测值在接收机间求差即可消除此项误差。同样, 一台接收机对多颗卫星进行同步观测时, 将观测值在卫星间求差即可消除接收机钟误差的影响。

又如, 目前广播星历的误差可达数十米, 这种误差属于起算数据的误差, 并不影响观测值, 不能通过观测值相减来消除。利用相距不太远的两个测站上的同步观测值进行相对定位时, 由于两站至卫星的几何图形十分相似, 因而星历误差对两站坐标的影响也很相似。利用这种相关性在求坐标差时就能把共同的坐标误差消除掉。

选择较好的硬件和较好的观测条件

有的误差(如多路径误差)既不能采用求差方法来解决也无法建立改正模型, 削弱它的唯一办法是选用较好的天线, 仔细选择测站, 远离反射物和干扰源。

6.2.4 GPS 静态定位

一、GPS 定位基本模式

GPS 定位模式包括静态定位、动态定位、绝对定位和相对定位。

1. 静态定位和动态定位

按照用户接收机天线在定位过程中所处的状态, 分为静态定位和动态定位两类。

(1) 静态定位: 在定位过程中, 接收机天线的位置是固定的, 处于静止状态。其特点是观测的时间较长, 有大量的重复观测, 其定位的可靠性强、精度高。主要应用于测定板块运动、监测地壳形变、大地测量、精密工程测量、地球动力学及地震监测等领域。

(2) 动态定位: 在定位过程中, 接收机天线处于运动状态。其特点是可以实时地测得运动载体的位置, 多余观测量少, 定位精度低。目前广泛应用于飞机、船舶、车辆的导航中。

2. 绝对定位与相对定位

按照参考点的不同位置, 分为绝对定位和相对定位两类。

(1) 绝对定位(也称单点定位): 是以地球质心为参照点, 只需一台接收机, 独立确定待定点在 WGS-84 坐标系中的绝对位置。其组织实施简单, 但定位精度较低(受星历误差星钟误差及卫星信号在大气传播中的延迟误差的影响比较显著)。该定位模式在船舶、飞机的导航, 地质矿产勘探, 暗礁定位, 建立浮标, 海洋捕鱼及低精度测量领域应用广泛。

(2) 相对定位:以地面某固定点为参考点,利用两台以上接收机,同时观测同一组卫星,确定各观测站在 WGS84 坐标系中的相对位置或基线向量。其优点:由于各站同步观测同一组卫星,误差对各站观测量的影响相同或大体相同,对各站求差(线性组合)可以消除或减弱这些误差的影响,从而提高了相对定位的精度;缺点:内外业组织实施较复杂。主要应用于大地测量、工程测量、地壳形变监测等精密定位领域。

在绝对定位和相对定位中,又都分别包含静态定位和动态定位两种方式。

整周跳变和整周未知数的确定。

整周跳变和整周未知数的确定是载波相位测量中的特有問題。由前述的载波相位测量可知,完整的载波相位测量值是由 N_0 , $\text{Int}(\phi)$ 和 $\text{Fr}(\phi)$ 三部分组成的,虽然 $\text{Fr}(\phi)$ 能以极高的精度测定,但这只有在正确无误地确定 N_0 和 $\text{Int}(\phi)$ 的情况下才有意义。

6.2.5 GPS 动态定位及实时动态定位 (RTK)

RTK 是载波相位差分技术,又称为实时动态定位技术,在一定范围内,能实时提供用户点位的三维实用坐标,并达到厘米级的定位精度。

RTK 的工作原理是在两台接收机间加上一套无线电通信系统,将相对独立的接收机连成一个有机的整体;基准站把接收到的伪距、载波相位观测值和基准站的一些信息(如基准站的坐标和天线高等)都通过通信系统传送到流动站;流动站在接收卫星信号的同时,也接收基准站传送来的数据并进行处理:将基准站的载波信号与自身接收到的载波信号进行差分处理,即可实时求解出两站间的基线向量,同时输入相应的坐标,转换参数和投影参数,即可求得实用的未知点坐标。

RTK 测量的基本工作方法

- (1) 在基准站安置 GPS 接收机,进行基准站设置;
- (2) 进行流动站设置;
- (3) 在至少 3 个公共点上,求 GPS 坐标与实用坐标系间的转换参数(有的称为点校正);
- 4) 实测流动点坐标,将其与检测点的已知坐标进行对比,之差应在允许范围内;
- (5) 流动接收机继续进行未知点的测量工作。

6.2.6 GPS 控制测量

目前,GPS 定位技术被广泛应用于建立各种级别、不同用途的 GPS 控制网。在这些方面,GPS 定位技术已基本上取代了常规的控制测量方法,成为了主要手

段。较之于常规方法, GPS 在布设控制网方面具有测量精度高、选点灵活、不需要造标、费用低、全天候作业、观测时间短、观测和数据处理全自动化等特点。

GPS 控制测量的主要内容包括控制网的技术设计、外业观测和 GPS 数据处理。

GPS 控制网的技术设计主要包括控制网精度指标的确定和网的图形设计。

GPS 控制测量的外业工作

1. 选点与埋设标志

由于 GPS 观测是通过接收天空卫星信号实现定位测量, 一般不要求观测站之间相互通视。而且, 由于 GPS 观测精度主要受观测卫星的几何状况的影响, 与地面点构成的几何状况无关。因此, 网的图形选择也较灵活。所以, 选点工作较常规控制测量简单方便。但由于 GPS 点位的适当选择, 对保证整个测绘工作的顺利进行具有重要的影响。所以, 应根据本次控制测量的目的、精度、密度要求, 在充分收集和了解测区范围、地理情况以及原有控制点的精度、分布和保存情况的基础上, 进行 GPS 点位的选定与布设。

2. 外业观测

GPS 观测与常规测量在技术要求上有很大差别, 在城市及工程的 GPS 控制网作业中, 观测步骤如下:

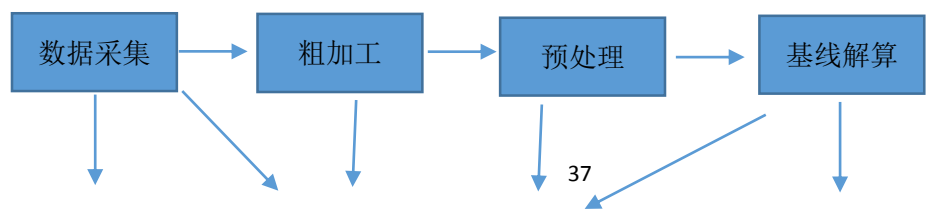
(1) 安置天线: 将天线架设在三脚架上, 进行整平对中, 天线的定向标志线应指向正北。

(2) 开机观测: 用电缆将接收机与天线进行连接, 启动接收机进行观测; 接收机锁定卫星并开始记录数据后, 可按操作手册的要求进行输入和查询操作。

(3) 观测记录: GPS 观测记录形式有以下两种: 一种由 GPS 接收机自动记录在存储介质上; 另一种是测量手簿, 在接收机启动前和观测过程中由观测者填写。

GPS 数据处理

GPS 测量数据处理可以分为观测值的粗加工、预处理、基线向量解算(相对定位处理)和 GPS 网或其与地面网数据的联合处理等基本步骤。





第7章 控制测量

7.1 考研点睛

大纲总结：控制测量：概念、目的、作用；导线测量，交会测量和高程控制测量。

出题特点总结：

本章在往年年的真题中会考察一道简答题，涉及一些基本概念的考察，需要重点掌握本章。

7.2 考研知识点总结

7.2.1 控制测量概述

由于任何一种测量工作都会产生误差,所以必须采取一定的程序和方法,即遵循一定的测量实施原则,以防止误差的积累。例如从一个碎部点开始逐点进行测量,最后虽然也能得到欲测点的坐标,但这种做法显然是不对的。因为前一点的测量误差,必然会传递到下一点,这样积累起来,最后有可能达到不可容许的程度。因此,为了防止误差的积累,提高测量精度,在实际测量中必须遵循“**从整体到局部,先控制后碎部**”的测量实施原则,即先在测区内建立控制网,以控制网为基础,分别从各个控制点开始施测控制点附近的碎部点。

在测量工作中,首先在测区内选择一些具有控制意义的点,组成一定的几何图形,形成测区的骨架,用相对精确的测量手段和计算方法,在统一坐标系中,确定这些点的平面坐标和高程,然后以它为基础来测定其他地面点的点位或进行施工放样,或进行其他测量工作。其中,这些具有控制意义的点称为**控制点**;由控制点组成的几何图形称为**控制网**;对控制网进行布设、观测、计算,确定控制点位置的工作称为**控制测量**。

通过控制测量可以确定地球的形状和大小。在碎部测量中,专门为地形测图而布设的控制网称为图根控制网,相应的控制测量工作称为图根控制测量;专门为工程施工而布设的控制网称之为施工控制网,施工控制网可以作为施工放样和变形监测的依据。由此可见,控制测量起到控制全局和限制误差积累的作用,为各项具体测量工作和科学研究提供依据。

控制测量分为平面控制测量和高程控制测量。平面控制测量确定控制点的平面坐标,高程控制测量确定控制点的高程。在传统测量工作中,平面控制网与高程控制网通常分别单独布设。目前,有时候也将两种控制网合起来布设成三维控制网。

一、平面控制测量

在传统测量工作中,平面控制通常采用三角测量、导线测量和交会测量等常规方法建立,必要时,还要进行天文测量。目前, GPS 控制测量已成为建立平面控制网的主要方法。

1. 三角网测量

三角网测量是在地面上选定一系列的控制点,构成相互连接的若干个三角形,组成各种网(锁)状图形。通过观测三角形的内角或(和)边长,再根据已知控制点的坐标、起始边的边长和坐标方位角,经解算三角形和坐标方位角推算可得到三角形各边的边长和坐标方位角,进而由直角坐标正算公式计算待定点的平面坐标。三角形的各个顶点称为三角点,各三角形连成网状的称为三角网,连成锁状的称为三角锁。按观测值的不同,三角网测量可分为三角测量、三边测量和边角测量。

2. 导线测量

将控制点用直线连接起来形成折线的夹角称为转折角,折线称为导线边,相邻导线边之为导线点,点间的折线边称为导线,这些折线角称为折线角。另外,与坐标方位角,导线角(又称导线折角)已知的导线边(称为定向边)相连接的转折角,称为连接角(又称定向角)。通过观测导线边的边长和转折角,根据起算数据经计算而获得导线点的平面坐标,即为导线测量。导线测量布设简单、每点仅需与前、后两点通视,选点方便,特别是在隐蔽地区和建筑物多而通视困难的城市,应用起来方便灵活。

3. 交会测量

交会测量即利用交会定点法来加密平面控制点。通过观测水平角确定交会点平面位置的称为测角交会;通过测边确定交会点平面位置的称为测边交会;通过边长和水平角同测来确定交会点平面位置的称为边角交会。

4. 天文测量

天文测量是在地面点上架设仪器,通过观测天体(如恒星、太阳)并记录观测瞬间的时刻来确定地面点的天文经度、天文纬度和该点至相邻点的方位角。天文经度的观测结果,可以用来推算天文大地垂线偏差,用于将地面上的观测值归算到天文椭球面上。由天文经度、天文纬度和方位角的观测成果,可以推算大地方位角,用来控制地面大地网中方位误差的积累。

二、高程控制测量

高程控制主要通过水准测量方法建立,而在地形起伏大、直接利用水准测量较困难的地区建立低精度的高程控制网以及图根高程控制网,可采用三角高程测量方法建立。

在全国范围内采用水准测量方法建立的高程控制网、称为国家水准网。国家水准网遵循**从整体到局部、由高级到低级逐级控制、逐级加密**的原则分四个等级布设、各等级水准网一般要求自身构成闭合环线或闭合于高一级水准路线上构成环形。国家一、二等水准网采用精密水准测量建立,是研究地球形状和大小、海洋平均海水面变化的重要资料、同时根据重复测量的结果,可以研究地壳的垂直形变规律,是地震预报的重要资料。国家三、四等水准网直接为地形测图和工程建设提供高程控制点。

在国家水准测量的基础上,城市高程控制测量分为二、三、四等,根据城市范围的大小城市首级高程控制网可布设成二等或三等水准网,用三等或四等水准网作进一步加密、在四等以下再布设直接为测绘大比例尺地形图用的图根水准网。

三、控制测量的一般作业步骤

控制测量作业包括**技术设计、实地选点、标石埋设、观测和平差计算**等主要步骤。在常规的高等级平面控制测量中,当某些方向受到地形条件限制不能使相邻控制点间直接通视采用时,需要在控制点上建造测标。采用 GPS 控制测量建立平面控制网由于不要求相邻控制点间通视,因此不需要建立测标。

控制测量的技术设计主要包括**精度指标的确定和控制网的网形设计**。在实际工作中,控制网的等级和精度标准应根据测区大小和控制网的用途来确定。当测区范围较大时,为了既能使控制网形成一个整体,又能相互独立地进行工作,必须采用“**从整体到局部,分级布网,逐级控制**”的布网程序。若测区面积不大,也可布设同级全面网。控制网网形设计是在收集测区的地形图、已有控制点成果及测区的人文、地理、气象、交通、电力等资料的基础上,进行控制网的图上设计。首先在地形图上标出已有的控制点和测区范围,再根据测量目的对控制网的具体要求,结合地形条件在图上设计出控制网的形式和选定控制点的位置,然后到实地踏勘,判明图上标定的已知点是否与实地相符,并查明标石是否完好;查看预选的路线和控制点点位是否合适,通视是否良好;如有必要再作适当的调整并

在图上标明。根据图上设计的控制网方案到实地选点, 确定控制点的最适宜位置。控制点点位一般应满足:**点位稳定, 等级控制点应能长期保存;便于扩展、加密和观测**。经选点确定的控制点点位, 要进行标石埋设, 将它们在地面上固定下来。控制点的测量成果以标石中心的标志为准, 因此标石的埋设、保存至关重要。标石类型很多, 按控制网种类、等级和埋设地区地表条件的不同而有所差别。控制网中控制点的坐标或高程是由起算数据和观测数据经平差计算得到的。控制网中只有一套必要起算数据(三角网中已知一个点的坐标、一条边的边长和一边的坐标方位角;水准网中已知一个点的高程)的控制网称为独立网。如果控制网中多于一套必要起算数据, 则这种控制网称为附合网。

控制网中的观测数据按控制网的种类不同而不同, 有水平角或方向、边长、高差以及三角高程的竖直角或天顶距。观测工作完成后, 应对观测数据进行检核, 保证观测成果满足要求, 然后进行平差计算。对于高等级控制网需进行严密平差计算(由测量平差课程讲述), 而低等级的控制网(例如图根控制网)允许采用近似平差计算。

7.2.2 导线测量

一、导线的布设形式

导线可布设成单一导线和导线网。两条以上导线的汇聚点, 称为**导线的节点**。单一导线与导线网的区别, 在于导线网具有节点, 而单一导线则不具有节点。

按照不同的情况和要求, 单一导线可布设为附合导线、闭合导线和支导线。导线网可布设为自由导线网和附合导线网。

1. 附合导线

导线起始于一个已知控制点而终止于另一个已知控制点。已知控制点上可以有一条或几条定向边与之相连接, 也可以没有定向边与之相连接。

2. 闭合导线

由一个已知控制点出发, 最终又回到这一点, 形成一个闭合多边形。在闭合导线的已知控制点上至少应有一条定向边与之相连接。应该指出, 由于闭合导线是一种可靠性极差的控制网图形, 在实际测量工作中应避免单独使用。

3. 支导线

从一个已知控制点出发,既不附合于另一个已知控制点,也不闭合于原来的起始控制点。由于支导线缺乏检核条件,故一般只限于地形测量的图根导线中采用。

4. 附合导线网

附合导线网具有一个以上已知控制点或具有附合条件。

5. 自由导线网

自由导线网仅有一个已知控制点和一个起始方位角。

导线网中只含有一个节点的导线网,称之为单节点导线网,多于一个节点的导线网,称之为多节点导线网。导线节是组成导线网的基本单元,它是指导线网内两端点中至少有一个点是节点,另一点是节点或已知点的一段导线。应该指出,与闭合导线类似,自由导线网是一种可靠性极差的控制网图形,在实际测量工作中应避免单独使用。

二、导线的观测

导线的观测包括转折角的观测和导线边的观测以及导线点的高程测量。

三、导线测量的近似平差计算

导线测量的目的是获得各导线点的平面直角坐标。计算的起始数据是已知点坐标,已知坐标方位角,观测数据为观测角值和观测边长。通常情况下,导线平差应进行严密平差,但对于二级及其以下等级的图根导线允许对以单一导线、单结点导线网采用近似平差方法进行计算。导线近似平差的基本思路是将角度误差和边长误差分别进行平差处理,先进行角度闭合差的分配,在此基础上再进行坐标闭合差的分配,通过调整坐标闭合差,以达到处理角度的剩余误差和边长误差的目的。

在进行导线测量平差计算之前,首先要按照规范要求对外业观测成果进行检查和验算,确保观测成果无误并符合限差要求,然后对边长进行加常数改正、乘常数改正气象改正和倾斜改正,对角度值和边长进行归心改正(有偏心观测时),以消除系统误差的影响。

四、导线测量错误的检查方法

在导线计算中,角度闭合差或导线全长相对闭合差超限时,很可能是转折角或导线边观测值含有粗差,或可能在计算时有错误。测角错误将表现为角度闭合

差超限,而测边错误或计算中用错导线边的坐标方位角则表现为导线全长相对闭合差的超限。

7.2.3 交会测量

交会测量是加密控制点常用的方法,它可以在数个已知控制点上设站,分别向待定点观测方向或距离,也可以在待定点上设站向数个已知控制点观测方向或距离,而后计算待定点的坐标。常用的交会测量方法有**前方交会**、**后方交会**、**测边交会**和**自由设站法**。

一、前方交会

在已知控制点 A、B 上设站观测水平角 α 、 β , 根据已知点坐标和观测角值, 计算待定点 P 的坐标, 称为**前方交会**。在前方交会图形中, 由未知点至相邻两已知点间的夹角称为交会角。当交会角过小(或过大)时, 待定点的精度较差, 交会角一般应大于 30° 并小于 150° 。

二、后方交会

仅在待定点设站, 向三个已知控制点观测两个水平夹角 α 和 β , 从而计算待定点的坐标, 称为**后方交会**。

三、测边交会

交会测量中, 除了观测水平角外, 也可以测量边长交会定点。

四、自由设站

自由设站法是在待定控制点上设站, 向多个已知控制点观测方向和距离, 并按同接平差方法计算待定点坐标的一种控制测量方法。间接平差以待定点的坐标平差值作为未知参数, 根据方向观测值和边长观测值建立方向误差方程式和边长误差方程式, 然后按最小二乘原理计算待定点坐标平差值。

7.2.4 高程控制测量

高程控制测量主要采用**水准测量**和**三角高程测量**方法, 测定各等级水准点和平面控制点的高程。按用途可分为国家高程控制测量、城市高程控制测量和工程高程控制测量。国家水准测量按精度可分为国家一、二、三、四等, 城市水准测量按精度分为二、三四等以及用于地形测量的图根水准测量。工程水准测量按精度分为二、三、四、五等以及用于地形测量的图根水准测量。三角高程用于测定各等级平面控制点的高程。在城市和工程高程控制测量中, 光电测距高程导线, 采用对向观测或中间设站观测, 可以代替三等及其以下水准测量。

国家高程系统,现采用“1985 国家高程基准”。城市和工程高程控制,凡有条件的都应采用国家高程系统。

一、水准测量路线的布设

水准测量路线的布设分为**单一水准路线**和**水准网**。单一水准路线的形式有三种,即**附和水准路线**、**支水准路线**和**闭合水准路线**。如果是从一个已知高程的水准点开始,沿一条路线进行水准测量,以测定其他若干水准点的高程,最后联测至另外一个已知高程的水准点上,称为附和水准路线。如果最后没有联测到已知高程的水准点,则称之为支水准路线。为了对水准测量成果进行检核,支水准路线必须进行往返观测或单程双转点观测。从一个已知高程的水准点开始,沿一条环形路线进行水准测量,测定沿线若干水准点的高程,最后又回到起始水准点上,称之为闭合水准路线。

水准网由若干条单一水准路线相互连接构成。单一路线相互连接的交点称为**结点**。在水准网中,如果只有一个已知高程的水准点,则称为**独立水准网**;如果已知高程的水准点的数目多于一个,则称为**附和水准网**。

二、水准测量的观测

一,二等水准测量采用精密水准仪和铟瓦水准尺,用光学测微法读数进行往返观测。三等水准测量采用中丝读数法进行往返观测。当用光学测微法观测时,也可以用单程双转点法观测。四等水准测量采用中丝读数法,当水准路线为附和路线或闭合路线时,可只进行单程观测。

三、水准测量数据处理

水准测量数据处理的目的是为了检查外业观测成果的质量,消除观测数据中的系统误差,对偶然误差进行平差处理,以及对观测成果和平差结果进行精度评定。通常按下列步骤进行:

(1)按照规范要求对外业观测成果进行检查与核算,确保无误并符合限差要求。

(2)经过各项改正计算,消除观测数据中的系统误差。其中包括水准标尺 1m 长度的改正和对三等以上的观测高差加入正常位水准面不平行改正,从而计算出消除系统误差后的观测高差。

(3)对观测精度进行评定,其中包括计算附和路线闭合差、往返测不符值、进而计算每公里高差中数的偶然中误差 M_{Δ} 和全中误差 M_w 。

(4) 以消除系统误差后的观测高差为观测数据, 对水准路线或水准网进行平差计算, 求出高差的平差值和各待定点平差后的高程值。

(5) 对平差后的高差和高程进行精度评定, 计算出高差和高程的中误差。水准网平差的基本方法有以最小二乘原理为基础的条件平差法、间接平差法和单一水准路线平差法、单结点水准网平差法、等权代替水准网平差法等适宜手工解算的平差方法。

第8章 地形图基本知识

8.1 考研点睛

大纲总结：地形图的基本知识：概念，地图，地形图，比例尺，内容，分幅编号（目的、原则、方法，地物/地貌及符号，分类

表示方法（等高线：类型 原理（表示地貌） 方法 及相关概念） 绘制方法
出题特点总结：

本章在往年年的真题中会考察一道简答题，涉及一些基本概念考察

8.2 考研知识点总结

8.2.1 地形图的内容

地球表面复杂多样的形体,归纳起来可分为**地物**和**地貌**两大类。

凡地面各种固定性的物体,如道路、房屋、铁路、江河、湖泊、森林、草地及其他各种)建筑物等,均称为**地物**。

地表面的各种高低起伏形态,如高山、深谷、陡坎、悬崖峭壁和雨裂冲沟等,都称为**地貌**。

地形是地物和地貌的总称。

地形图是按照一定的数学法则,运用符号系统表示地表上的地物、地貌平面位置及基本的地理要素,且高程用等高线表示的一种普通地图。

地形图的内容丰富,归纳起来大致分为三类:数学要素,如比例尺、坐标格网;地形要素,即各种地物、地貌;注记和整饰要素,包括各类注记、说明资料和辅助图表。

一、地图比例尺

地图上任一线段的长度与地面上相应线段水平距离之比,称为**地图的比例尺**。常见的比例尺表示形式有两种:**数字比例尺**和**图示比例尺**。

1.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。设图上一条线段长为d,相应的实地水平距离为D,则该地图的比例尺为:

$$\frac{d}{D} = \frac{1}{M}$$

式中,M称为比例尺分母。比例尺的大小视分数值的大小而定。M越大,比例

尺越小; M 越小,比例尺越大。

2.图示比例尺

最常见的图示比例尺是直线比例尺。用一定长度的线段表示图上的实际长度,并按图上比例尺计算出相应地面上的水平距离注记在线段上,这种比例尺称为直线比例尺。

二、比例尺精度

在测量工作中,相当于图上 0.1mm 的实地水平距离称为比例尺精度。

根据比例尺精度,可参考决定:

(1)按工作需要,多大的地物须在图上表示出来或测量地物要求精确到什么程度,由此可参考决定测图的比例尺。

(2)当测图比例尺决定之后,可以推算出测量地物时应精确到什么程度。

三、地形图符号

地形图符号有三类:地物符号、地貌符号和注记符号。

1.地物符号

地物符号是用来表示地物的类别、形状、大小及其位置的。分为比例符号、非比例符号和半比例符号。

2.地貌符号

地形图上表示地貌的方法有多种,目前最常用的是等高线法。在图上,等高线不仅能表面高低起伏的形态,还可确定地面点的高程,对峭壁、冲沟、梯田等特殊地形,不使用等高线表示时,则绘注相应的符号。

3.注记

注记包括地名注记和说明注记。

地名注记主要包括行政区划、居民地、道路名称,河流、湖泊、水库名称,山脉、山岭、岛礁名称等。

说明注记包括文字和数字注记,主要用以补充说明对象的质量和数量属性。如房屋的结构和层数、管线性质及输送物质、比高、等高线高程、地形点高程以及河流的水深流速等。

8.2.2 地物符号和等高线

一、地物符号

地物的类别、形状、大小及其在图上的位置,是用地物符号表示的。根据地物的大小及描绘方法不同,地物符号可分为**比例符号**、**非比例符号**、**半比例符号**。

1.比例符号

凡按照比例尺能将地物轮廓缩绘在图上的符号称为**比例符号**,如房屋、江河、湖泊、森林、果园等。这些符号与地面上实际地物的形状相似,可以在图上量测地物的面积。

当用比例符号仅能表示地物的形状和大小,而不能表示出其类别时,应在轮廓内加绘相应符号,以指明其地物类别。

2.半比例符号

凡长度可按比例尺缩绘,而宽度不能按比例尺缩绘的狭长地物符号,称为半比例符号,也称线性符号,如道路、河流通信线以及管道等。半比例符号的中心线即为实际地物的中心线。这种符号可以在图上量测地物的长度,但不能量测其宽度。

3.非比例符号

当地物的轮廓很小或无轮廓,以致不能按测图比例尺缩小,但因其重要性又必须表示时,可不管其实际尺寸,均用规定的符号表示。这类地物符号称为非比例符号,如量控制点、独立树、里程碑、钻孔、烟囱等。这种地物符号和有些比例符号随着比例尺的不同是可以相互转化的

非比例符号不仅其形状和大小不能按比例尺去描绘,而且符号的中心位置与该地物实心的位置关系也将随各类地物符号不同而不同,其定位点规则如下:

(1)圆形、正方形、三角形等几何图形的符号(如三角点等)的几何中心即代表对应地物的中心位置;

(2)符号(如水塔等)底线的中心,即为相应地物的中心位置;

(3)底部为直角形的符号(如独立树等),其底部直角顶点,即为相应地物中心的位置;

(4)几种几何图形组成的符号(如旗杆等)的下方图形的中心,即为相应地物的中心位置;

(5)下方没有底线的符号(如窑洞等)的下方两端点的中心点,即为对应地物的中心位置。

二、等高线

1. **等高线**即地面上高程相等的相邻点连成的闭合曲线。

2. 地形图上相邻等高线间的水平间距称为**等高线平距**。

3. **等高线的分类**:

(1) 首曲线

按规定的等高距(称为基本等高距)描绘的等高线称为首曲线,亦称基本等高线,用细实线描绘。

(2) 计曲线

为了识图和用图时等高线计数方便,通常将基本等高线从 0m 起算每隔 4 条加粗描绘,称为计曲线,也称加粗等高线。在计曲线的平缓处断开,注记其高程,字头朝向高处。

(3) 间曲线

当用首曲线不能表示某些微型地貌而又需要表示时,可加绘等高距为 $1/2$ 基本等高距的等高线,称为间曲线(又称半距等高线)。常用长虚线表示之。在平地当首曲线间距过稀时,可加绘间曲线。间曲线可不闭合而绘至坡度变化均匀处为止、但一般应对称。

(4) 助曲线

当用间曲线仍不能表示应该表示的微型地貌时,还可在间曲线的基础上再加绘等高距为 $1/4$ 基本等高距的等高线,称为助曲线,常用短虚线表示。助曲线可不闭合而绘至坡度变化均匀处为止,但一般应对称。

4. 等高线的特性

(1) **在同一条等高线上的各点的高程都相等**。因为等高线是水平面与地表面的交线而在同一个水平面的高程是一样的,所以等高线的这个特性是显然的。但是不能得出结论说:凡高程相等的点一定位于同一条等高线上。当同一水平截面横截两个山头时,会得出同样高程的两条等高线。

(2) **等高线是闭合曲线**。一个无限伸展的水平面与地表的交线必然是闭合的。所以某高程的等高线必然是一条闭合曲线。但在测绘地形图时,应注意到:其一,由于图幅的范围限制,等高线不一定在图面内闭合而被图廓线截断;其二,为使图面清晰易读,等高线应在遇到房屋、公路等地物符号及其注记时断开;其三,由于

间曲线与助曲线仅应用于局部地区,故可在不需要表示的地方中断。

(3) **除了陡崖和悬崖处之外,等高线既不会重合,也不会相交。**由于不同高程的水平面不会相交或重合,它们与地表的交线当然也不会相交或重合。但是一些特殊地貌,如陡壁、陡坎、悬崖的等高线就会重叠在一起,这些地貌必须加绘相应地貌符号表示。

(4) **等高线与山脊线和山谷线成正交。**山脊等高线应凸向低处,山谷等高线应凸向高处。

(5) **等高线平距的大小与地面坡度大小成反比。**在同一等高距的情况下,地面坡度越小,等高线的平距越大,等高线越疏;反之,地面坡度越大,等高线的平距越小,等高线越密。

8.2.3 地形图的分幅与编号

为便于测绘、印刷、保管、检索和使用,所有地形图均须按规定的大小进行统一分幅并进行有系统的编号。地形图的分幅方法有两种:一种是按经纬线分幅的梯形分幅法;另一种是按坐标格网线分幅的矩形分幅法。

第9章 碎部测量

9.1 考研点睛

大纲总结：碎部测量，碎部测图方法，测定碎部点的基本方法，地物地貌的测绘
出题特点总结：

本章在往年年的真题中会考察一道简答题，涉及一些基本概念的考察，需要认真对待。

9.2 考研知识点总结

9.2.1 碎部测图方法

碎部测量即以控制点为基础,测定地物、地貌的平面位置和高程,并将其绘制成地形图的测量工作。在碎部测量中,地物的测绘实际上就是地物平面形状的测绘,地物平面形状可用其轮廓点(交点和拐点)或中心点来表示,这些点被称为地物的特征点(又称碎部点)。由此,地物的测绘可归结为地物碎部点的测绘。地貌尽管形态复杂,但可将其归结为许多不同方向、不同坡度的平面交合而成的几何体,其平面交线就是方向变化线和坡度变化线,只要确定这些方向变化线和坡度变化线上的方向和坡度变换点(称为地貌特征点或地性点)的平面位置和高程,地貌的基本形态也就反映出来了。因此,无论地物还是地貌,其形态都是些特征点(即碎部点)的点位所决定。碎部测量的实质就是测绘地物和地貌碎部点的由平面位置和高程。碎部测量工作包括两个过程:一是测定碎部点的平面位置和高程,二是利用地图符号在图上绘制各种地物和地貌。

碎部测图的方法有**传统测图**、**航空摄影测量**及**地面数字测图**等。

一、传统测图

传统测图的实质即图解测图,通过测量将碎部点展绘在图纸上,以手工方式描绘地物和地貌,具有**测图周期长**、**精度低**等缺点,它是摄影测量、地面数字测图普及以前最主要的大比例尺地形图测绘方法。常用的方法有平板仪测图和经纬仪测图。下面以经纬仪测图为例,简单介绍传统测图的基本方法。传统测图应按照一定的程序进行工作,即:

- (1) 在收集资料和现场初步踏勘的基础上,拟订技术计划;
- (2) 进行测区的基本控制测量和图根控制测量;
- (3) 进行测图前的一系列准备工作,以保证测图工作的顺利进行;
- (4) 在测站点密度不够时对测站点进行加密;

-
- (5) 逐点完成碎部测图工作;
 - (6) 进行图边测图和野外交图;
 - (7) 组织检查和验收;
 - (8) 野外原图整饰及清绘等工作。

测图准备工作包括:资料准备,仪器与工具准备,图板准备等。资料准备包括收集测图规范、地形图图式、控制点成果以及任务书和技术计划书等。测图用的仪器与工具种类繁多,特别是小物件较多,测图前应认真准备,以免遗漏,测图前应对测图仪器按规定进行检查、检验与校正,使其能满足测图要求。图板准备一般包括图纸的准备、绘制坐标格网和展绘控制点。

二、航空摄影测量

摄影测量是在两个不同的位置(通常称为摄站)对一物体进行摄影,从而得到两张影像(分别为左影像与右影像)。然后用摄影测量仪器分别对左、右影像上的同一物体(通常称为同名点)进行测量,从而得到某物体坐标。

航空摄影测量是在飞机上对地表拍摄航空像片,然后对像片上的信息进行分析、处理和解译,以确定被摄物体的形状、大小和空间位置,并判定其性质的一门技术。兼于航空像片具有**信息量大、反映物体细致、客观**等特点,与地面测图相比,航空摄影测量测图具有**速度快、精度均匀、效率高**等优点。它可以将大量野外测绘工作移到室内进行,以减轻测绘工作者的劳动强度。尤其对高山区或人不易到达的地区,航空摄影测量更具有优越性。目前,航空摄影测量被广泛用于大面积的地形图测绘。

航空摄影测量大致分为**航空摄影、航测外业和航测内业**三个阶段。其基本作业程序和内容包括航空摄影、影像处理、外业控制测量、外业调绘、内业控制点加密、内业成图。

三、地面数字测图

地面数字测图是指对利用全站仪、GPS 接收机等仪器采集的数据及其编码,通过计算机图形处理而自动绘制地形图的方法。地面数字测图基本硬件包括:全站仪或 GPS 接收机计算机和绘图仪等。软件基本功能主要有:野外数据的输入和处理、图形文件生成、等高线自动生成、图形编辑与注记和地形图自动绘制。与传统测图作业相比,地面数字测图具有以下特点:

(1) 传统测图经过坐标格网绘制,控制点手工展绘、碎部点手工刺绘等工序,且距离通常用视距法测取,而地面数字测图直接利用碎部点坐标在计算机上自动成图,且距离用电磁波测距法测取,因此,与传统测图相比,地面数字测图具有**较高的测图精度**。

(2) 传统测图在野外基本完成地形原图的绘制,在获得碎部点的平面坐标和高程后,还需手工绘制地形图,而地面数字测图外业测量工作实现自动记录、自动解算处理,自动成图因此,地面数字测图具有**较高的自动化程度**。

(3) 传统测图先完成图根控制测量,经计算获得图根控制点坐标,并展绘到图板上,而后进行碎部测图。**地面数字测图的图根控制测量与碎部测量可同时进行**,即在图根控制测量的同时,可在图根控制点上同步测量本站的碎部点,再根据图根控制点的平差后坐标,对碎部点坐标重新计算,以提高碎部点坐标的精度,而后进行计算机处理并自动生成图形(这种方法被称为“一步测图法”)。

(4) 地面数字测图主要采用极坐标法测量碎部点,根据电磁波测距的精度,在几百米范围内误差均在 1cm 左右,因此在通视良好、定向边较长的情况下,**碎部点到测站点的距离与传统测图相比,可以放得更长一些**。

(5) 传统测图是以一幅图为单元组织施测,这种规则的划分测图单元给图幅边缘测图造成困难,并带来图幅接边问题。**地面数字测图在测区内可不受图幅的限制**,作业小组的任务可按河流、道路等自然分界线划分,以便于碎部测图,也减少了图幅接边问题。

(6) 在传统测图中,测图员可对照实地用简单的几何作图法测绘规则的地物轮廓,用目测绘制细小地物和地貌形态,而地面数字测图必须有足够的特征点坐标才能绘制地物符号;有足够而又分布合理的地形特征点才能绘制等高线,因此,**地面数字测图中直接测量碎部点的数目比传统测图有所增加,且碎部点(尤其是地形特征点)的位置选择尤为重要**。

9.2.2 测定碎部点的基本方法

一、碎部点的坐标计算

在地面数字测图中,测定碎部点的基本方法主要有**极坐标法、方向交会法、量距法、方向距离交会法、直角坐标法等**。

1.极坐标法

所谓极坐标法即在已知坐标的测站点(P)上安置全站仪,在测站定向后,观测测站点至碎部点的方向、天顶距和斜距,进而计算碎部点的平面直角坐标。

2.方向交会法

实际测量中当有部分碎部点不能到达时,可利用方向交会法计算碎部点的坐标。方向交会法分为两个测站的前方交会以及一个测站观测方向和一个已知方向的交会两种。

3.量距法

如果部分碎部点受到通视条件的限制不能用全站仪直接观测、计算坐标,则可根据周围已知点通过丈量距离计算碎部点的坐标。包括距离交会法、偏距法、插点法。

9.2.3 地物和地貌测绘

一、等高线绘制的原则

地物的类别、形状、大小及其在图上的位置,是用地物符号表示的。地物在地形图上表示的原则是:凡能按比例尺表示的地物,则将它们的水平投影位置的几何形状依照比例尺描绘在地形图上,如房屋、双线河等,或将其边界位置按比例尺表示在图上,边界内绘上相应的符号,如果园、森林、耕地等;不能按比例尺表示的地物,在地形图上是用相应的地物符号表示在地物的中心位置上,如水塔、烟囱、纪念碑等;凡是长度能按比例尺表示,而宽度不能按比例尺表示的地物,则其长度按比例尺表示,宽度以相应符号表示。

地物测绘必须根据规定的比例尺,按规范和图式的要求,进行综合取舍,将各种地物表示在地形图上。

二、地物测绘

1.居民地测绘

居民地是人类居住和进行各种活动的中心场所,它是地形图上一项重要内容。在居民地测绘时,应在地形图上表示出居民地的类型、形状、质量和行政意义等。

2.独立地物测绘

独立地物是判定方位、确定位置、指定目标的重要标志,必须准确测绘并按规定的符号予以正确表示。

3.道路测绘

道路包括铁路、公路及其他道路。所有铁路、有轨电车道、公路、大车路、乡村路均应测绘。车站及其附属建筑物、隧道、桥涵、路堑、路堤、里程碑等均需表示。在道路稠密地区,次要的人行道可适当取舍。

4.管线与垣栅测绘

永久性的电力线、通信线路的电杆、铁塔位置应实测。同一杆上架有多种线路时,应表示其中主要线路,并要做到各种线路走向连贯、线类分明。居民地、建筑区内的电力线、通信线可不连线,但应在杆架处绘出连线方向。电杆上有变压器时,变压器的位置按其于电杆的相应位置绘出。

5.水系的测绘

水系测绘时,海岸、河流、溪流、湖泊、水库、池塘、沟渠、泉、井以及各种水工设施均应实测。河流、沟渠、湖泊等地物,通常无特殊要求时均以岸边为界,如果要求测出水涯线(水面与地面的交线)、洪水位(历史上最高水位的位置)及平水位(常年一般水位的位置)时,应按要求在调查研究的基础上进行测绘。

6.植被与土质测绘

植被测绘时,对于各种树林、苗圃、灌木林丛、散树、独立树、行树、竹林、经济林等,要测定其边界。若边界与道路、河流、栏栅等重合时,则可不绘出地类界,但与境界、高压线等重合时,地类界应移位表示。对经济林应加以种类说明注记。要测出农村用地的范围,并区分出稻田、旱地、菜地、经济作物地和水中经济作物区等。一年几季种植不同作物的耕地,以夏季主要作物为准。田埂的宽度在图上大于 1mm(1:500 测图时大于 2mm)时用双线描绘,田块内要测注有代表性的高程。

地形图上要测绘沼泽地、沙地、岩石地、龟裂地、盐碱地等。

三、地形图上各要素配合表示的一般原则

地形图上各要素配合表示是地形图绘制的一个重要问题。配合表示的原则是:

(1)当两个地物重合或接近难以同时准确表示时,可将重要地物准确表示,次要地物移位或缩小表示。

(2)独立地物与其他地物(如房屋、道路、水系等)重合时,可将独立地物完整绘出,而将其他地物符号中断 0.2mm 表示;两独立地物重合时,可将重要独立地物准确表示,次要独立地物移位表示,但应保证其相关位置正确。

(3) 房屋或围墙等高出地面的建筑物, 直接建筑在陡坎或斜坡上的建筑物, 应按屋或围墙等高出地面的建筑物置绘出, 坡坎无法准确绘出时, 可移位 0.2mm 表示; 悬空建筑在水上的房屋轮廓与水涯线重正确位合时, 可间断水涯线, 而将房屋完整表示。

(4) 水涯线与陡坎重合时, 可用陡坎边线代替水涯线; 水涯线与坡脚重合时, 仍应在坡脚将水涯线绘出。

(5) 双线道路与房屋、围墙等高出地面的建筑物边线重合时, 可用建筑物边线代替道路边线, 且在道路边线与建筑物的接头处, 应间隔 0.2mm。

(6) 境界线以线状地物一侧为界时, 应离线状地物 0.2mm 按规定符号描绘境界线; 若以线状地物中心为界时, 境界线应尽量按中心线描绘, 确实不能在中心线绘出时, 可沿两侧每隔 3~5mm 交错绘出 3~4 节符号; 在交叉、转折及与图边交接处须绘出符号以表示走向。

(7) 地类界与地面上有实物的线状符号重合时, 可省略不绘; 与地面无实物的线状符号(如架空的管线、等高线等)重合时, 应将地类界移位 0.2mm 绘出。

(8) 等高线遇到房屋及其他建筑物、双线路、路堤、路堑、陡坎、斜坡、湖泊、双线河及其注记, 均应断开。

(9) 为了表示出等高线不能显示的地貌特征点的高程, 在地形图上要注记适当的高程注记点。高程注记点应均匀分布, 其密度为每平方分米 5-15 点。山顶、鞍部、山脊、山脚、谷底、谷口、沟底、沟口、凹地、台地、河岸和湖岸旁、水涯线上以及其他地面倾斜变换处, 均应有高程注记点。城市建筑区的高程注记点应测注在街道中心线、交叉口、建筑物墙基脚、管道检查井井口、桥面、广场、较大的庭院内或空地上以及其他地面倾斜变换处。基本等高距为 0.5m 时, 高程注记点应注记至厘米(cm), 基本等高距大于 0.5m 时, 高程注记点应注记至分米(dm)。

第 10 章 计算机绘图基础

10.1 考研点睛

大纲总结: 基本图形显示、地形图地物符号的自动绘制、等高线的自动绘制、数字图像概念和栅格数据的运算。

出题特点总结:

本章在往年年的真题中会考察一道简答题, 涉及一些基本概念的考察。

10.2 考研知识点总结

10.2.1 基本图形显示

数字测图是将碎部点的坐标和图形信息输入计算机,在计算机屏幕上显示地物、地貌图形,经人机交互式编辑,生成数字地形图或由绘图仪绘制地形图。由于测量坐标、计算机屏幕坐标和绘图仪坐标各自定义在不同的坐标系里,因此,在计算机图形显示或绘图仪绘制地形图时必须进行坐标变换。

一、坐标系

大比例尺测图中测量坐标系采用高斯-克吕格坐标系或者是独立坐标系,它们都是种平面直角坐标系统。高斯-克吕格坐标系以 X 轴为纵轴,表示南北方向,Y 轴为横轴,表示东西方向。在测量坐标系中一般以米为单位,从理论上讲测量坐标系中的取值范围可以是整个实数域,在实际工作中它的取值往往和某一地理区域有关。

数学中的笛卡儿平面直角坐标系,以水平线 x 轴为横轴,正方向由左向右,y 轴为纵轴,正方向由下向上。这里以毫米为距离单位,取值范围是实数域。

计算机屏幕坐标系与笛卡儿坐标系有所不同,它的坐标原点在屏幕的左上角。在屏幕坐标系中以屏幕点阵为坐标单位,它的取值范围只能是正整数,具体和屏幕的分辨率有关。

二、二维图形裁剪

编码顺序从右到左,每一编码对应线段端点的位置为:第一位为 1,表示端点位于窗口左边界的左边;第二位为 1,表示端点位于右边界的右边;第三位为 1,表示端点位于下边界的下边;第四位为 1,表示端点位于上边界的上边。若某位为 0,则表示端点的位置情况与取值 1 时相反。

10.2.2 数字图像概念和栅格数据的运算（重要）

地形图的图形数据形式有**矢量数据形式**和**栅格数据形式**,简称矢量数据和栅格数据。以矢量数据表示图形的地形图称为数字线划地形图(DLC),以栅格数据表示图形的地形图称为数字栅格地形图(DRG)。地形图图形可分解为点、线、面三种图形元素,它们均可用矢数据和栅格数据表示。

各种图形元素在二维平面上的矢量数据表示为:点用一对 x、y 坐标表示;线用一串有序的 x、y 坐标对表示;面用一串有序的但首尾相同的 x、y 坐标对表示其轮廓范围。

各种图形元素以栅格数据表示为:点用其中心点所处的单个像元来表示;线用其中轴线上的像元集合来表示,但线的宽度仅为一个像元,即仅有一条途径可以从一个像元到达相邻的另一个像元;面用其所覆盖的像元来表示。

第 11 章 大比例尺数字地形图测绘

11.1 考研点睛

大纲总结：大比例尺测图的技术设计，图根控制测量和测站点测定，野外采集数据，数字地形图的编辑与输出，大比例尺数字地形图质量控制，地形图数据库，地形图数字化。

出题特点总结：

本章在往常年的真题中会考察一道简答题，但是 18 年涉及到大比例尺测绘的简答题高达 40 分，所以请认真对待。

11.2 考研知识点总结

11.2.1 大比例尺测图的技术设计

通常所指的大比例尺测图系指 1:500~1:5000 比例尺测图,而 1:10000~1:50000 比例尺测图目前多用航测法成图。小于 1:50000 的小比例尺图,则是根据较大比例尺地图及各种资料编绘而成。

大比例尺测图除测绘地形图以外,还有地籍图、房产图和地下管线图等,它们的基本测绘方法是相同的,并具有本地统一的平面坐标系统、高程系统和图幅分幅方法。

地籍图表示的内容有地籍要素和必要的地形要素。地籍要素包括行政境界、土地权属界线、界址点及编号、土地编号、房产情况、土地利用类别、土地等级、土地面积等。必要的地形要素包括测量控制点、房屋道路、水系以及与地籍有关的地物、地理名称等。

房产图是地形图和地籍图的派生图,主要包括控制点、界址点、房屋权界线、房屋结构及层次、房产类别及用途、用地界线、附属设施、围护物、道路、水系以及与房产有关的其他地形要素等。

地下管线图的主要内容是各类地下管线的地面特征点、地下管线探测点、地下管线尺寸及用途、地下管线的附属设施以及地下管线周边的地形要素等。在测图开始前,应编写技术设计书,拟订作业计划,以保证测量工作在技术上合理、可靠,在经济上节省人力、物力,有计划、有步骤地开展工作。

根据测量任务书和有关的测量规范,并依据所收集的资料,其中包括测区踏勘等资料来编制技术计划。

技术计划的主要内容有:任务概述,测区情况,已有资料及其分析,技术方案的设计,组织与劳动计划,仪器配备及供应计划,财务预算,检查验收计划以及安全措施等。

测量任务书应明确工程项目或编号,设计阶段及测量目的,测区范围(附图)及工作量,对测量工作的主要技术要求和特殊要求,以及上交资料的种类和日期等内容。

在编制技术计划之前,应预先搜集并研究测区内及测区附近已有测量成果资料,扼要说明其施测单位、施测年代、等级、精度、比例尺、规范依据、范围、平面坐标和高程系统、投影带号、标石保存情况及可以利用的程度等。大比例尺测图的平面坐标系统,采用国家统一平面直角坐标系统。但在工程建设中,一般面积多为几至十几平方公里,这时可利用国家控制网一个点的坐标和一个方向。

11.2.2 野外采集数据

大比例尺数字测图野外采集的数据包括:

一般数据,如测区代号、施测日期、小组编号等。

仪器数据,如仪器类型、仪器误差、测距仪加常数、乘常数等。

测站数据,如测站点号、零方向点号、仪器高、零方向读数等。

方向观测数据,如方向点号、目标的觇标高、方向、天顶距和斜距的观测值等。

碎部点观测数据,如点号、连接点号、连接线型、地形要素分类码、方向、天顶距和斜距的观测值以及觇标高(或者是计算的 x 、 y 坐标和高程)等。

控制点数据,如点号、类别、等级、 x 、 y 坐标和高程等。

为区分各种数据的记录内容,用不同的记录类别码放在每条记录的开头来表示。各种数据需要规定它们的字长,根据数据的字长和数据之间的关系,确定一条记录的长度。每条记录具有相同的长度和相同的数据段,按记录类别码可以确定一条记录中各数据段的内容,对于不用的数据段可以用零填充。

11.2.3 数字地形图编辑和输出

野外采集的碎部数据,在计算机上显示图形,经过计算机人机交互编辑,生成数字地形图。计算机地形图编辑是操作测图软件(或菜单)来完成的。大比例尺地面数字测图软件具有以下功能:

碎部数据的预处理,包括在交互方式下碎部点的坐标计算及编码、数据的检查及修改图形显示、数据的图幅分幅等。

地形图的编辑,包括地物图形文件生成等高线文件生成、图形修改、地形图注记、图廓生成等。

地形图输出,包括地形图的绘制、数字地形图数据库处理及储存。

11.2.4 大比例尺数字地形图质量控制

一、大比例尺数字地形图的基本要求

大比例尺数字地形图的平面坐标系采用以“1980 年西安坐标系”为大地基准、高斯-克吕格投影的平面直角坐标系,按 3° 分带,也可选择任意经度作为中央子午线的高斯克吕格投影。待殊情况下 1:500-1:2000 可采用独立坐标系。高程基准采用“1985 国家高程基准”。

大比例尺数字地形图地物点的平面位置精度,要求地物点相对最近野外控制点的图上点位中误差在平地 and 丘陵地区不得大于 0.6mm。高程精度要求高程注记点相对最近野外控制点的高程中误差在平地 and 丘陵地区,1:500 不得大于 0.4m,1:1000 和 1:2000 不得大于 0.5m,等高线对最近野外控制点的高程中误差在平地 and 丘陵地区,1:500 不得大于 0.5m,1:1000 和 1:2000 不得大于 0.7m。高程注记点密度为图上每 100cm² 内 8-20 个。

二、大比例尺数字地形图的质量要求

大比例尺数字地形图的质量要求通过对产品的数据说明、数学基础、数据分类与代码、位置精度、属性精度、逻辑一致性、完备性等质量特性的要求来描述。

数据说明包括:产品名称和范围说明、存储说明、数学基础说明、采用标准说明、数据采集方法说明、数据分层说明、产品生产说明、产品检验说明、产品归属说明和备注等。

数学基础是指地形图采用的平面坐标和高程基准、等高线等高距。

位置精度包括:地形点、控制点、图廓点和格网点的平面精度、高程注记点和等高线的高程精度、形状保真度、接边精度等。

地形图属性数据法的精度是指描述每个地形要素特征的各种属性数据必须正确无误。

地形图数据的逻辑一致性是指各要素相关位置应正确,并能正确反映各要素

的分布特征及密度特征。线段相交,无悬挂或过头现象,面状区域必须封闭等。

地形要素的完备性是指各种要素不能有遗漏或重复现象,数据分层要正确,各种注记要完整,并指示明确等。相应比例尺地形图图式规定。注记应尽量避免压盖地物,其字体、字大、字向等一般应符合数字地形图模拟显示时,其线画应光滑、自然、清晰、无抖动、重复等现象。符号应符合地形图图式规定。

11.2.5 地形图数据库

一、数据库概念

数据库是一种计算机数据管理技术,它是以一定的组织形式存储在一起的互相有关的数据集合。数据库通过对数据的组织、加工,能以多种组合方式为多个用户所共享。

数据库一般由三个基本部分构成:

(1)数据集。一个结构化的相关数据的集合体,包括数据本身和数据间的联系。数据集独立于应用程序而存在,是数据库的核心和管理对象。

(2)物理存储介质。指计算机的外存储器和内存储器。前者存储数据,后者存储操作系统和数据库管理系统,并有一定数量的缓冲区,用于数据处理,以减少内外存交换次数,提高数据存取效率。

(3)数据库软件。其核心是数据库管理系统(DBMS)。主要任务是对数据库进行管理和维护。具有对数据进行定义、描述、操作和维护等功能,接受并完成用户程序和终端命令对数据库的请求,负责数据库的安全。

地形图数据库是某一区域地形图数据的集合,地形图数据包括地形要素的空间数据和属性数据。地形图数据库的主要特点是以精确的坐标来描述空间数据和属性数据定位于空间数据,因此地形图数据库具有明显的空间特征。

二、数据模型

目前在数据库领域常用的数据模型有层次模型、网状模型、关系模型以及面向目标或称面向对象模型。

1.层次模型

层次模型是一种树结构模型,它把数据按自然的层次关系组织起来,以反映数据之间的隶属关系。层次模型是数据库技术中发展最早、技术上比较成熟的一种数据模型。它的特点是地理数据组织成有向有序的树结构,也叫树形结构。结

构中的节点代表数据记录,连线描述位于不同节点数据间的从属关系(一对多的关系)。

2.网状模型

网状模型将数据组织成有向图结构,图中的节点代表数据记录,连线描述不同节点数据间的联系。这种数据模型的基本特征是,节点数据之间没有明确的从属关系,一个节点可与其他多个节点建立联系,即节点之间的联系是任意的,任何两个节点之间都能发生联系,可表示多对多的关系。

3.关系模型

关系模型是将数据的逻辑结构归结为满足一定条件的二维表,也称关系。一个实体由若干关系组成,而关系表的集合就构成了关系模型。

4.面向对象模型

面向对象数据模型是 20 世纪 90 年代兴起的,它是将客观世界的一切实体模型化为对象。每个对象都是由数据和对数据的操作组合而成。对象、类、消息是面向对象数据模型的基本概念。

三、地形图数据

地形图数据包括空间数据、非空间数据和时间因素。

1.空间数据

空间数据也叫图形数据,是用来表示地理物体的位置、形态、大小和分布特征诸方面信息。根据空间数据的几何特点,地形图空间数据可分为点数据、线数据、面数据和混合性数据四种类型。

2.非空间数据

非空间数据又叫做非图形数据,主要包括专题属性数据和质量描述数据等。它表示地理实体的本质特性,是地理实体相互区别的质量准绳,如土地利用、土壤类别等专题数据和地物要素分类信息等。

3.时间因素

地理要素的空间分布规律是地理系统中的中心研究内容,但空间和时间是客观事物存在的形式,两者之间是互相联系而不能分割的。时间因素为地理信息增加了动态性质。这种动态变化特征,一方面要求信息及时获取并定期更新,另一方面要重视自然历史过程的积累和对未来的预测和预报。

第 12 章 数字地形图的应用

12.1 考研点睛

大纲总结：数字地形图的概述，地形图的应用，格网数字高程模型，数字高程模型的可视化

出题特点总结：

本章在往年年的真题中会考察一道简答题，涉及一些基本概念的考察，需要认真对待。

12.2 考研知识点总结

12.2.1 概述

在国民经济建设和国防建设中,各项工程建设的规划、设计阶段,都需要了解工程建设地区的地形和环境条件等资料,以便使规划、设计符合实际情况。在一般情况下,都是以地形图的形式提供这些资料的。在进行工程规划、设计时,要利用地形图进行工程建(构)筑物的平面、高程布设和量算工作。因此,地形图是制定规划、进行工程建设的重要依据和基础资料。

传统地形图通常是绘制在纸上的,它具有直观性强、使用方便等优点,但也存在易损、不便保存、难以更新等缺点。数字地形图是以数字形式存储在计算机存储介质上的地形图。与传统的纸质地形图相比,数字地形图具有明显的优越性和广阔的发展前景。随着计算机技术和数字化测绘技术的迅速发展,数字地形图已广泛地应用于国民经济建设、国防建设和科学研究的各个方面,如工程建设的设计、交通工具的导航、环境监测和土地利用调查等。

过去,人们在纸质地形图进行的各种量测工作,利用数字地形图同样能完成,而且精度高、速度快。在计算机软件的支持下,利用数字地形图可以很容易地获取各种地形信息,如量测各个点的坐标,量测点与点之间的距离,量测直线的方位角、点的高程、两点间的坡度和在图上设计坡度线等。

利用数字地形图,可以建立数字高程模型(DEM)。利用 DEM 可以绘制不同比例尺的等高线地形图、地形立体透视图、地形断面图,确定汇水范面和计算面积,确定场地平整的填挖边界和计算土方量。在公路和铁路设计中,可以绘制地形的三维轴视图和纵、横断面图进行自动选线设计。

随着科学技术的高速发展和社会信息化程度的不断提高,数字地形图将会发挥越来越大的作用。对于数字地图而言,其应用原理与纸质地图一样,所不同的是各项功能都是通过计算机软件来自动实现。

12.2.2 地形图的应用

一、量取图上点的坐标值

在大比例尺地形图图廓的四角注有实地坐标值。

二、量测两点间的距离

分别量取两点的坐标值,然后按坐标反算公式计算两点间的距离。

当量测距离的精度要求不高时,可以用比例尺直接在图上量取或利用复式比例尺量取两点间的距离。

三、量测直线的坐标方位角

先量取直线两端点的平面直角坐标,再用坐标反算公式求出该直线的坐标方位角。

若量测精度要求不高时,可用量角器直接在图上量测直线的坐标方位角。

四、确定地面点的高程和两点间的坡度

P 点正好在等高线上,则其高程与所在的等高线高程相同。

五、按一定方向绘制断面图

在工程设计中,当需要知道某一方向的地面起伏情况时,可按此方向直线与等高线交点的平距与高程,绘制断面图。

六、确定汇水面积

在桥涵设计中,桥涵孔径的大小;水利建设中,水库水坝的设计位置与水库的蓄水量等都是根据汇集于这一地区的水流量来确定的。汇集水流量的区域面积称为汇水面积。山脊线也称为分水线。雨水、雪水是以山脊线为界流向两侧的,所以汇水面积的边界线是由一系列的山脊线连接而成。量算出该范围的面积即得汇水面积。

七、按限制坡度选线

在道路、管道等工程设计时,要求在不超过某一限制坡度条件下,选定最短线路或等坡度线路。

八、根据等高线整理地面

在工程建设中,常需要把地面整理成水平或倾斜的平面。

12.2.3 格网数字高程模型

一、概述

地球表面高低起伏,呈现为一种连续变化的曲面,这种曲面是无法用平面地图来确切表示的。随着计算机数据处理能力的提高以及计算机制图技术的发展,一种全新的数字描述地球表面的方法—**数字高程模型**被普遍采用。

数字高程模型 DEM,是以数字的形式按一定结构组织在一起,表示实际地形特征空间分布的模型,是定义在 x 、 y 域离散点(规则或不规则)上以高程表达地面起伏形态的数字集合。

DEM 的核心是地形表面特征点的三维坐标数据和对地表提供连续描述的算法。最基本的 DEM 由一系列地面点 x 、 y 位置及其相联系的高程 Z 所组成。

二、数字高程模型的特点

与传统地形图比较,DEM 作为地形表面的一种数字表达形式有如下特点:

(1)容易以多种形式显示地形信息。地形数据经过计算机软件处理后,产生多种比例尺的地形图、纵横断面图和立体图。而常规地形图一经制作完成后,比例尺不容易改变,改变或者绘制其他形式的地形图,则需要人工处理。

(2)精度不会损失。常规地形图随着时间的推移,图纸将会变形,失掉原有的精度。而 DEM 采用数字媒介,因而能保持精度不变。另外,由常规地形图用人工的方法制作其他种类的地图,精度会受到损失,而由 DEM 直接输出,精度可得到控制。

(3)容易实现自动化、实时化。常规地形图要增加和修改都必须重复相同的工序,劳动强度大而且周期长,不利于地形图的实时更新。而 DEM 由于是数字形式的,所以增加或改变地形信息只需将修改信息直接输入到计算机,经软件处理后立即可产生实时化的各种地形图。

概括起来,数字高程模型具有以下显著的特点:便于存储、更新、传播和计算机自动处理;具有多比例尺特性,如 1m 分辨率的 DEM 自动涵盖了更小分辨率如 10m 和 100m 的 DEM 内容;特别适合于各种定量分析与三维建模。

四、数字高程模型的应用

自 20 世纪 50 年代末期提出后,数字高程模型发展非常迅速,在许多领域,如测绘、土木工程、地质、矿业工程、军事工程、土地规划、通信及地理信息系统等领域得到广泛的应用。

下面介绍由 DEM 派生的几个简单地形属性数据的计算方法。

1.计算单点高程

DEM 最基础的应用是求 DEM 范围内任意点的高程。

2.计算地表面积

地表面积的计算可以看做是其所包含的各个网格的表面积之和。

3.计算体积

DEM 体积由四棱柱（无特征高程点格网）与三棱柱体积进行累加得到。

4.剖面计算

从 DEM 可以很方便地制作任一方向上的地形剖面。根据工程设计的路线,只要知道所绘剖面线在 DEM 中的起点位置和终点位置,就可以唯一地确定其与 DEM 格网的各个交点的平面位置和高程以及剖面线上相邻交点之间的距离,然后按选定的垂直比例尺和水平比例尺,依距离和高程绘出地形剖面图。

5.坡度和坡向的计算

坡度和坡向是相互联系的两个参数。坡度反映斜坡的倾斜程度;坡向反映斜坡所面对的方向。空间曲面的坡度是点位的函数,除非曲面是一平面,否则曲面上不同位置的坡度是不相等的,给定点位的坡度是曲面上该点的法线方向 N 与垂直方向 Z 之间的夹角 α 。坡向是过格网单元所拟合的曲面片上某点的切平面的法线的正方向在平面上的投影与正北方向的夹角,即法线方向水平投影向量的方位角 β 。

12.2.4 数字高程模型的可视化

传统的地图常采用等高线来反映地面高程、山体、坡度、坡形、山脉走向等基本形态及其变化,在等高线图上可进行地面点的高程、地表坡度等量算,但缺乏视觉上的立体效果。为在平面地图上显示地貌的立体效果,在有些地图上采用晕渲法、分层设色来显示地貌形态。有了数字高程模型,可进一步利用透视原理生成透视立体图,极大地提高地形的可视化效果。

一、透视变换原理

数字高程模型可视化是根据数字高程模型绘制透视立体图,而透视立体图是根据透 投影原理绘制的。透视投影的投影线汇聚到一点,这个点称为消失点。真透视立体图具有两个消失点(对应观察者左边的称为左消失点,右边的称为右消失点),其特点是等高矩形格网立体模型的平行网格线分别集合于左、右两个消失点。

二、隐藏线的处理

绘制立体图时,如果前面的透视剖面线的高程 y 坐标值大于其后面出现的剖面线某些部分的 y 坐标值,后面的剖面线上的那些部分就要被遮盖,这就是隐藏线。在绘制透视立体图时,要防止那些隐藏线被画出来。将制图区域按 X 方向进行分割,计算剖面线各分点处的 y 坐标值。在一条剖面线绘之前,把已绘过的剖面线在各分点处的最大 y 坐标值保存下来。将当前所绘剖面线各分点处的 y 坐标值与保存的最大 y 坐标值进行比较,则高于保存的最大 y 坐标值的可视线段绘出,而低于的部分为隐藏线不绘出,同时将新的最大 y 坐标值保存。

三、三维透视立体图的显示

绘制三维真透视立体图的步骤可归结为:建立绘图区域的格网数字地面模型,确定左右两个消失点,计算透视变换网格点的坐标和高程修正值,处理隐藏线和绘制剖面线立体图。

四、地形三维景观图

各类遥感影像数据记录了地形表面丰富的地物信息和纹理信息,通过建立纹理影像与地形立体图之间的映射关系,然后确定 DEM 数据每一地面点在影像上的位置,通过重采样获取其灰度,最后经过透视变换、消隐、灰度转换等处理,生成一幅以真实影像纹理构成的三维地形景观图。