

第 1 章 绪论

1. 何为大地水准面？大地水准面是规则的几何面吗？为什么？

【答】

- (1) 大地水准面：设想一个静止的平均海水面，延伸穿过陆地包围整个地球形成的封闭曲面，称为大地水准面。
- (2) 不是。由于地球内部质量分布不均匀，导致大地水准面是有微小起伏的不规则曲面。

2. 测绘外业工作的基准面和基准线分别是什么？

【答】

测量外业基准面：大地水准面；测量外业基准线：铅垂线。

3. 测绘工作内业计算的基准面和基准线分别是什么？

【答】

测量内业处理的基准面：地球椭球面；测量内业处理的基准线：法线。

4. 什么是总地球椭球体？为什么要建立参考椭球体？

【答】

- (1) 总地球椭球体：总体上与大地体最接近的地球椭球体。
- (2) 总地球椭球面不会在任何位置都与大地水准面吻合得好，为了提高外业观测数据投影在地球椭球面上的精度，不同国家根据所处地理位置，分别建立最适合自己的国家的参考椭球体。

5. 参考椭球体元素有哪些？

【答】

长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 e 。扁率 $e = (a - b) / a$ 。

6. 我国采用过哪些参考椭球体？分别建立什么坐标系？

【答】

椭球名称	坐标系
克拉索夫（斯基）椭球（前苏联 1940年）	1954北京坐标系
IUGG75椭球（国际大地测量与地球物理联合会 1975年）	1980西安坐标系
CGCS2000椭球（ITRF 97，参考框架2000.0历元）	2000国家大地坐标系

7. 测量坐标系有几类？分别是什么坐标系？

【答】

两类，分别为坐标参考系和高程参考系。坐标参考系包括地理坐标系、三维空间直角坐标系、高斯平面直角坐标系和独立平面直角坐标系。

8. 地理坐标系包括大地坐标系和天文坐标系，两者基准面和基准线有什么不同？

【答】

- (1) 大地坐标系基准面为参考椭球面，法线为基准线。
- (2) 天文坐标系基准面为大地水准面，铅垂线为基准线。

9. 空间直角坐标系有哪些应用优势？

【答】

三维空间直角坐标系有利于空间点位信息维护和快速更新，促进 GNSS、RS 及 GIS 技术在科学研究、国民经济建设、资源调查与环境监测等方面广泛应用。

10. 高斯投影具有哪些变形特征？分带投影目的是什么？

【答】

(1) 高斯投影的变形特点

- ① 中央经线投影后为直线，且长度不变。其他经线投影后为凹向中央子午线的曲线，并向两级收敛，距中央经线越远的经线，投影后弯曲程度越大，长度变形也越大。
- ② 赤道投影后为一直线，且长度有变形。其他纬线投影后为凸向赤道的曲线，赤道两侧纬差相同的纬线投影后对称
- ③ 经纬线投影后仍保持正交。

(2) 分带投影的目的是为了限制投影变形。

11. 高斯投影如何分带？每带中央子午线经度与带号有何关系？

【答】

- (1) 6°分带：从首子午线开始，自西向东以经差 6°分带，全球共有 60 带，带号以 N 表示，每带中央子午线经度为 $6N-3$ 。我国带号范围 13-23。
- (2) 3°分带：从东经 1.5° 开始，自西向东以经差 3°分带，全球共有 120 带，带号以 n 表示，每带中央子午线经度位 $3n$ 。我国带号范围 24-45。

12. 3°带、6°带高斯投影适用于多大比例尺地形图？

【答】

- (1) 3°带高斯投影适用于大于等于 1:1 万地形图；
- (2) 6°带投影适用于 1:2.5 万到 1:50 万地形图。

13. 高斯平面直角坐标系是如何定义的？

【答】

基于高斯投影建立的平面直角坐标系为高斯平面直角坐标系，高斯平面直角坐标系按投影带分别建立，具体规定：中央子午线的投影为 X 轴，北向为正，赤道投影为 Y 轴，东向为正，其交点为坐标原点 O ，象限按顺时针方向排列。

14. 测量平面直角坐标系与数学平面直角坐标系有何不同？

【答】

- (1) 坐标轴的位置不同。测量平面直角坐标系的 X 轴是竖轴， Y 轴是横轴，而数学中的平面直角坐标系中的 X 轴是横轴， Y 轴是竖轴。
- (2) 坐标轴象限的排序方向不同。两坐标系第一象限都是位于右上角，但测量学平面直角坐标系是以第一象限顺时针依次排列的，而数学中的平面直角坐标系是按照逆时针的顺序排列的。
- (3) 坐标系原点意义不同。测量平面直角坐标系的原点具有实际意义，而数学中的平面直角坐标系中的原点无实际意义。

15. 如何进行不同平面坐标系的坐标转换？

【答】

- (1) 大地坐标转换为三维空间直角坐标（记 L 为经度， B 为纬度， H 为高程）

$$\begin{cases} X = (N + H) \cos B \cos L \\ Y = (N + H) \cos B \sin L \\ Z = (N(1 - e^2) + H) \sin B \end{cases}$$

式中， e 为参考椭球第一扁率， $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$ ；

$$N \text{ 为大地水准面差距, } N = \frac{a}{\sqrt{1 - (e \sin B)^2}}。$$

(2) 三维空间直角坐标转换为大地坐标

公式如下。

注意, 计算大地纬度 B 时需迭代计算, B 满足要求后再计算高程 H 。

$$\begin{cases} L = \arctan \frac{Y}{X} \\ B = \arctan \frac{Z + N \cdot e^2 \sin B}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \\ H = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos B} - N \end{cases}$$

(3) 平面直角坐标转换

记变换参数: 平移量 (X_0, Y_0) , 旋转角为 α 。

① 建筑坐标系 (x, y) 转换为国家坐标系 (X, Y)

$$\begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_P \\ y_P \end{bmatrix}$$

② 国家坐标系 (X, Y) 转换为建筑坐标系 (x, y)

$$\begin{bmatrix} x_P \\ y_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_P - X_0 \\ Y_P - Y_0 \end{bmatrix}$$

16. 何为绝对高程、相对高程、高差? 高差 h_{AB} 等于 h_{BA} 吗?

【答】

- (1) 绝对高程: 地面点沿铅垂线到大地水准面的距离。
- (2) 相对高程: 地面点沿铅垂线到假定水准面的距离。
- (3) 高差: 两点间的高程之差
- (4) 不相等。 $h_{AB} = -h_{BA}$ 。

17. 我国现行的高程基准是什么? 水准原点在哪里?

【答】

- (1) 我们国家把青岛验潮站获得的黄海平均海水面作为高程起算零面, 以 1952 到 1979 年其验潮资料为依据建立了现行的“1985 国家高程基准”。
- (2) 水准原点在青岛市观象山, 水准原点高程为 72.260m。

18. 测量工作基本原则是什么? 如何理解?

【答】

- (1) 由整体到局部、由高级到低级、先控制后细部。
- (2) 首先从测区整体出发进行高精度控制测量, 然后进行局部的地物、地貌特征点的细部测量。从整体到局部的工作方法, 从高级到低级的精度设计,

先控制后细部的工作程序，能够保证测区内点位测量精度均匀，也为测区工作的全面展开提供条件。

19. 地球曲率对观测量有何影响？

【答】

(1) 地球曲率对水平角测量的影响

地球自然表面上构成内角和为 180° 的平面三角形的三点沿铅垂线投影在水准面上，但投影在水准面上时内角和不是 180° ，产生球面角超 $\varepsilon = \rho \cdot \frac{P}{R^2}$ 。

其中 P 为球面三角形面积， R 为地球半径， $\rho = 206265''$ 是弧度与角度换算常数。一般认为在 100km^2 以内进行角度测量，可以用水平面代替水准面。

(2) 地球曲率对距离测量的影响

地球自然表面沿铅垂线在水准面距离记为 S ，和水平面距离的比例误差为

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{3} \left(\frac{S}{R} \right)^2$$

。半径为 10km 范围内，以水平面代替水准面带来的测距误差

差小于最精密测距容许误差百万分之一，可以不考虑水准面曲率改正。

(3) 地球曲率对高差测量的影响

地球曲率对高差测量的影响 $\Delta h \doteq \frac{S^2}{2R}$ ，一般情况下都不可以用水平面代替

水准面进行高差测量。

20. 小范围内确定地面点空间位置需要哪些观测数据？

【答】

角度、距离、高差。

第 2 章 角度测量

1. 何谓水平角？取值范围是怎样的？

【答】

水平角是相交的两条直线沿竖直面在水平面（基准面）上投影的夹角，水平角范围 0 到 360° 。

2. 计算水平角为什么用右方向观测值减左方向观测值？右方向观测值减左方向观测值如果为负值怎么办？

【答】

(1) 因为全站仪水平度盘是顺时针的。

(2) 对计算结果加 360° 。

3. 使用全站仪测量水平角时，同一竖直面内，不同高度的点在水平度盘上的读数是否相等？为什么？

【答】

相等。水平角是相交的两条直线沿竖直面在水平面（基准面）上投影的夹角，同意竖直面内，自然水平角投影结果相同。

4. 何谓垂直角？取值范围是怎样的？何谓天顶距？取值范围是怎样的？垂直角

与天顶距有何关系？

【答】

- (1) 垂直角：在同一铅垂面内，视线方向与水平方向的夹角 α ，垂直角范围 0 到 $\pm 90^\circ$ ，仰角为正，俯角为负。
- (2) 天顶距：在同一铅垂面内，视线方向与天顶方向的夹角 Z ，天顶距范围 0 到 180° 。
- (3) 同一方向上，垂直角和天顶距角度和为 90° 。

5. 电子经纬仪有哪些轴线？各轴线应该满足怎样几何关系？

【答】

- (1) 电子经纬仪有视准轴、横轴、竖轴。
- (2) 视准轴与横轴、竖轴三轴交于一点。当仪器对中整平之后，竖轴竖直，横轴水平，水平度盘水平，竖直度盘竖直，为角度测量提供了基准线（竖轴）和基准面（度盘平面），三轴之间关系满足角度测量几何要求。

6. 何为视差？为什么会产生视差？如何消除视差？

【答】

- (1) 在观测时，当眼睛相对目镜做少许运动，发现十字丝与观测目标的像有相对运动，这种现象称为视差。
- (2) 物像平面与十字丝平面不重合，结果会产生读数误差。
- (3) 目镜精确调焦，清楚看清十字丝分划板，物镜精确调焦，清楚看见观测目标的像，直至目标的像与十字丝相对静止。

7. 角度观测时，对中整平目的是什么？

【答】

- (1) 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。
- (2) 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。

8. 角度测量为什么要采用两个盘位进行观测？何谓上半测回和下半测回？

【答】

- (1) 两个盘位进行观测以消除或减弱某些仪器的系统误差或测量数据的影响。
- (2) 上半测回，称盘左或正镜，是竖直度盘位于望远镜左侧时的观测。
下半测回，称盘右或倒镜，是竖直度盘位于望远镜右侧时的观测。

9. 多测回观测水平角，为什么要配置起始方向度盘读数？观测 3 测回时，各测回起始方向度盘如何配置？

【答】

- (1) 为了消除度盘分划误差对测量数据的影响。
- (2) 一测站观测 3 个测回时，第 i 个测回零方向度盘读数配置为 $60^\circ \times (i-1)$ 。

10. 测回法和方向（全圆）观测法分别适用什么情况？

【答】

- (1) 测回法适用于观测两个方向形成的单角。
- (2) 一个测站上需要观测的方向数在 2 个以上时，要用方向观测法观测。

11. 垂直角观测时，若望远镜仰起时，盘左度盘读数减小，如何计算盘左、盘右垂直角观测值？若望远镜仰起时，盘左度盘读数增大，如何计算盘左、盘右垂直角观测值？

【答】

- (1) 望远镜仰起时，盘左读数减小，盘右读数增大，则竖直度盘为顺时针方向

注记。盘左、盘右垂直角分别为：

$$\begin{cases} \alpha_{\text{左}} = 90^\circ - L \\ \alpha_{\text{右}} = R - 270^\circ \end{cases}$$

(2) 盘左读数增大，盘右读数减小，则竖直度盘为逆时针方向注记。

$$\begin{cases} \alpha_{\text{左}} = L - 90^\circ \\ \alpha_{\text{右}} = 270^\circ - R \end{cases}$$

12. 何谓竖直度盘指标差？如何消除指标差对观测成果的影响？

【答】

- (1) 竖直度盘指标差：竖直度盘指标线与铅垂线方向的一微小角度。
- (2) 用盘左、盘右观测取平均值计算竖角，可使角值不受竖直度盘指标差影响。

13. 同一测站两次安置仪器，分别观测 A 、 B 间的水平角和 A 方向上的垂直角，在不考虑误差的情况下，两次观测结果有何异同？

【答】

不影响水平角，影响垂直角。因两次仪器安置高度不同。

14. 电子经纬仪常规检验与校正内容有哪些？

【答】

水准器、十字丝分划板、视准轴、竖盘指标差、对中器、横轴的检验与校正。水准器的检验与校正包括长水准器轴垂直于竖轴的检验与校正和圆水准器轴平行于竖轴的检验与校正。

15. 角度测量时，主要误差来源有哪些？盘左盘右观测可以消除哪些误差影响？

【答】

- (1) 仪器误差：照准部偏心差；视准轴误差；竖轴误差；横轴误差。
- (2) 观测误差：仪器对中误差；目标偏心误差；照准误差。
- (3) 外界环境影响。

第 3 章 距离测量

1. 在测量工作中，常用的距离测量方法有哪些？

【答】

钢尺测距；视距测距；电磁波测距（分为脉冲测距和相位测距法）。

2. 若采用钢尺量距，超过一个尺段需要定线，定线方法有几种？各有什么特点？

【答】

- (1) 目视定线。测量员分别在 A 、 B 两点上立花杆，在 A 点（或 B 点）的测量员目视 B （或 A 点），指挥另一个测量员在 AB 之间合适位置左右移动花杆，当三根花杆在一条直线上，标记点位，即为定线点。
- (2) 仪器定线。使用电子经纬仪进行，采用盘左、盘右两个盘位定线（正倒镜分中法），精度高于一个盘位（盘左或盘右）定线。

3. 钢尺检定方程式有何意义？

【答】

钢尺出厂时给出名义长度，由于使用时温度不同，钢尺的实际长度有变化，精密测距需根据钢尺使用时的实际长度计算总长度，专业人员对钢尺检定后会给出钢尺检定方程式，通过尺长方程式能够计算出钢尺使用温度下实际长度。

4. 解释钢尺检定方程式中符号含义。

【答】

尺长方程式 $l = l_0 + \Delta l + \alpha \cdot l_0 \cdot (t - t_0)$ ；其中 l_0 (m) 为钢尺名义长度； Δl 为钢尺尺长改正数，即标准温度 t_0 时在规定拉力下钢尺实际长度与名义长度之差； α (m/m·°C) 是钢尺材料的膨胀系数，其值在 $(1.15 - 1.25) \times 10^{-5}$ 之间； t_0 和 t 分别是钢尺检定时和使用时的温度； l 为钢尺改正后长度。

5. 用钢尺进行精密测距要进行几项改正？写出计算公式。

【答】

记 l_0 (m) 为钢尺名义长度； Δl 为钢尺尺长改正数，即标准温度 t_0 时在规定拉力下钢尺实际长度与名义长度之差； α (单位 m/m·°C) 是钢尺材料的膨胀系数； t_0 和 t 分别是钢尺检定时和使用时的温度； l 为钢尺改正后长度。

用钢尺沿倾斜地面量得的实际距离 $D = S + \Delta S_{\Delta l} + \Delta S_t$ ；其中尺长误差改正

$\Delta S_{\Delta l} = \frac{\Delta l}{l_0}$ ；温度误差改正 $\Delta S_t = \alpha S(t - t_0)$ ；若距离为地面倾斜距离时，还要

计算倾斜改正，其计算的公式为 $\Delta D_h = D - S = \sqrt{S^2 - h^2} - S \doteq - \frac{h^2}{2S}$ 。

6. 钢尺测距的误差来自哪些方面？如何减弱或消除？

【答】

- (1) 定线误差。对于一般量距，定线偏差应不大于 0.1m，目视定线可满足要求。精密量距或所测距离较大，用仪器定线。
- (2) 钢尺垂曲误差。倾斜地面，平量法会产生垂曲误差，所量距离大于实际长度。实践证明，当距离长度为 30m，尺两端高差为 0.4m 时，量距的相对误差仅 1/11250，此项影响不大。
- (3) 温度变化引起的误差。温度每变化 1°C，对测距影响约为 1/80000，温度变化小于 10°C 时，可不加改正，但在精密量距中，要加温度改正，而且要直接测量钢尺本身的温度，而不是测量大气温度。
- (4) 地面倾斜产生的误差。如果量距精度要求高于 1/3000，地面坡度大于 1% 时，应加倾斜改正。
- (5) 尺长误差。尺长误差属于系统误差，具有积累作用，对距离测量影响很大，必需使用检定过的钢尺，一般要求尺长改正值大于尺长 1/10000 时，应加尺长改正。
- (6) 丈量误差。在量距过程中会产生许多随机误差，如读数误差、对点误差、拉力误差、尺段相接不准等，工作中要尽力克服，必要时进行往返测量或多次测量，取平均值作为测量结果，可以提高测量精度，同时避免大误差出现。

7. 画图说明视距测量的原理（视线水平）

【答】

在望远镜的十字丝分划板上有上、下两根平行于中丝的短丝，称为视距丝。配合带有刻度的视距尺（如水准尺）使用，便可进行视距测量。

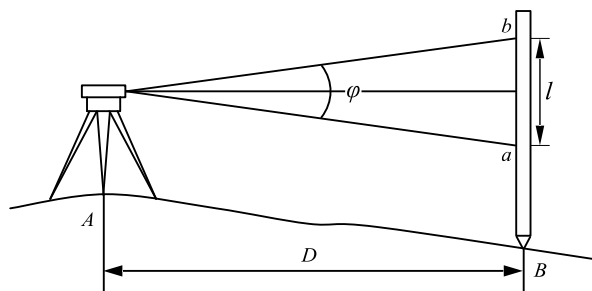
视距测量原理如图所示。视线水平时，仪器瞄准目标视距尺，分别获取下丝读

数 a 、上丝读数 b 。设水平距离为 D ，则 $D = \frac{\frac{1}{2}(b-a)}{\tan \frac{\varphi}{2}} = \frac{1}{2 \tan \frac{\varphi}{2}} (b-a) = k \cdot l$ 。

式中 φ 为望远镜视角。

令 $k = \frac{1}{2 \tan \frac{\varphi}{2}} = 100$ ，则 $\varphi \doteq 34'23''$ 。在仪器制造过程中，望远镜视角设置为

$34'23''$ ，使得 $k = 100$ ，方便计算。所以，只要读取上丝读数和下丝读数，便可快速计算出测站点到目标点之间水平距离。



8. 视距测量精度比较低，主要什么因素影响？

【答】

视距测量精度比较低，一般相对误差不高于 $1/300$ ，其主要误差来源为：

- (1) 读数误差。读数到 cm ，测距精确到 m ；读数到 mm ，测距精确到 dm 。
- (2) 标尺倾斜误差。视距尺要尽量立直，可以采用带有水准器的视距尺。
- (3) 大气折光误差。减少垂直折光的影响，观测时应尽可能使视线离地面 1m 以上。
- (4) 视距乘常数误差。在仪器使用过程中，视距乘常数会有变化，要尽量准确测定乘常数。一般乘常数在 100 ± 0.1 之内对于水准测量前后视距离测量不会有太大影响。

9. 电磁波测距的基本原理是什么？脉冲式测距和相位式测距原理有何区别？

【答】

电磁波测距仪以速度 c 发射电磁波，记录电磁波在测站点与目标点之间的往返时间 t ，计算两点间距离 $S = \frac{1}{2} c \cdot t$ 。电磁波测距直接观测量为斜距，通过测量

垂直角，计算水平距离。电磁波在空气中传播速度会受温度和气压影响，所以，在电磁波测距的同时要进行温度测量和气压测量对所测距离进行改正。

根据记录往返传播时间方法不同，电磁波测距分为脉冲测距法和相位测距法。

(1) 脉冲测距法

脉冲式测距仪将发射光波调制成高频脉冲光，经发射器发出，同时开始记录脉冲信号，经目标反射后的脉冲信号被接收器接收，记录脉冲总数，计算待测距离。若脉冲光周期为 t_0 ，往返脉冲数为 n ，则往返时间为 $n \cdot t_0$ ，

$$\text{所测距离 } S = \frac{1}{2} c \cdot t = \frac{1}{2} c \cdot n \cdot t_0。$$

(2) 相位测距法

相位式测距仪利用高频率电振荡将发射光源进行振幅调制，使光强随电震

荡的频率而周期性地明暗变化，通过测定调制光在测线上往返传播的相位差来获取时间再计算距离。若调制光频率为 f ，在待测距离上往返传播经过

N 个整周期，产生相位差为 $\Delta\varphi$ ，则所测距离 $S = \frac{1}{2}c \cdot t = \frac{1}{2} \frac{c}{f} \left(N + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right)$ 。

相位测距法精度一般高于脉冲测距法。

10. 全站仪既可以测角，又可以测距，测角原理与电子经纬仪相同，测距的功能是怎样实现的？

【答】

全站仪配套使用的工具有反射器应用于全站仪测距。反射器有两类，全反射棱镜和反射片。全反射棱镜包括单棱镜和三棱镜，单棱镜用于中短程测距，三棱镜用于远程测距。精度要求不高的细部点测量时，棱镜可以直接安置在对中杆上；精度要求高的控制测量时，棱镜安置在基座上，基座安置在脚架上，要严格对中、整平。反射片一般为塑料制造，具有反射功能，用于近距离测距。如果使用高频激光测距仪，近距离能够接收目标产生的激光漫反射，可以不使用棱镜或反射片，称为“免棱镜测距”，可用于人不易到达的地区。

11. 全站仪配套使用的工具有哪些？

【答】

全站仪配套使用的工具有三脚架、反射器等。

- (1) 三脚架与电子经纬仪脚架的功能与使用方法相同。
- (2) 反射器有两类，全反射棱镜和反射片。全反射棱镜包括单棱镜和三棱镜，单棱镜用于中短程测距，三棱镜用于远程测距。精度要求不高的细部点测量时，棱镜可以直接安置在对中杆上；精度要求高的控制测量时，棱镜安置在基座上，基座安置在脚架上，要严格对中、整平。反射片一般为塑料制造，具有反射功能，用于近距离测距。如果使用高频激光测距仪，近距离能够接收目标产生的激光漫反射，可以不使用棱镜或反射片，称为“免棱镜测距”，可用于人不易到达的地区。

12. 电磁波测距包括棱镜测距和无棱镜测距两种模式，两者在应用上有何区别？

【答】

电磁波测距有两种模式，一种是有棱镜测距，一种是无棱镜测距。电磁波测距应避免各种干扰因素影响，测距场所要避开电磁场、高压线，视线要避开发热物体上空，目标背景不能有反光物体等。

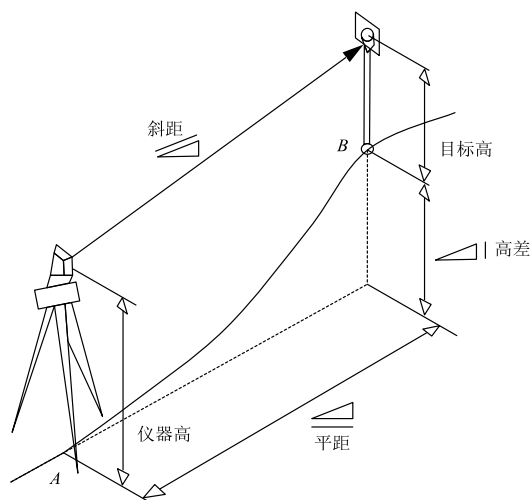
(1) 有棱镜测距

如下图所示， A 点安置仪器， B 点安置反射棱镜。对中、整平之后，接通测距仪电源，用十字丝分划板中心瞄准目标反射棱镜中心，按下测距功能键，屏幕显示测距状态（搜索符号），并把所测 AB 之间距离显示在屏幕上，根据需要可以测斜距、平距或者铅垂（仪器中心与棱镜中心）距离。若测量高差，需要输入仪器高和目标高。在测距时，若有物体穿过光束，测量数据会受到严重影响。

(2) 无棱镜测距

无棱镜测距可以无反射器配合，装有激光器的 TCR 全站仪可以进行无反射器测距。如果测距过程中有行人、车辆等通过测距光路，会有部分光束间接返回，导致距离结果不正确。在测量较远的距离时，由于激光扩散，也

会导致测量精度下降。为了保证精度，激光束应该是垂直打在反射面上，仪器必须经过很好的校正。无棱镜测距主要用于人不宜接近的目标。



13. 全站仪的直接观测值是斜距，还是平距？

【答】

斜距。

14. 电磁波测距有哪些改正计算和归化计算？

【答】

(1) 测距改正

① 加常数改正

由于测距仪的测距起算中心与安置中心不一致或反射器的等效反射面与安置中心不一致，使测量距离与实际距离不等，产生的误差与测距的长短无关，是仪器本身的误差。基于这项误差对测距结果的改正数称为测距仪的加常数 $\Delta S_a = C$ 。对于测距仪及其配套棱镜，加常数为一定值，单位取

mm，通过检验可以获得。实际工作中，可以将加常数预置在仪器中，在观测过程中对观测值进行自动改正。

② 乘常数改正

由于测距仪使用时的调制光频率与设计的标准频率之间有偏差，产生的误差与测距长度成比例，基于这项误差对测距结果的改正称为乘常数改正。

若测量斜距为 S ，改正数为 $\Delta S_b = k \cdot S$ 。式中， k 为测距仪乘常数，单位

取 mm/km。乘常数可以通过检验获得。在实际工作中，可以将乘常数预置在仪器中，观测过程中自动对观测值进行改正。

③ 气象改正

电磁波的传播速度受大气状态（主要是温度、气压）影响，仪器制造时根据某种大气状态定出调制光的波长，在不同的大气状态下使用就会产生测距误差，对这项误差的改正称为气象改正。若在温度 T 、压强 P 状态下测

距，某种测距仪气象改正公式 $\Delta S_{TP} = \left(279 - \frac{0.29P}{1 + 0.0037t} \right) S$ 。式中 S 为观

测斜距。气象改正相当于另一个乘常数，其单位为 mm/km，可以与仪器乘常数放在一起改正。不同型号的测距仪的气象改正数计算方法不同，根据仪器使用手册内给出的气象改正公式计算。

(2) 测距归算

电磁波测距的结果一般为斜距，需要归算为水平距离，较长的距离测量值要归算到大地水准面上。

① 距离归算

半径为 10km 范围内的距离测量小于最精密测距容许误差百万分之一，可以不考虑地球曲率的影响，投影面作为水平面进行处理。若测得垂直角 α ，根据三角函数把斜距 S 化算为平距为 $D = S \cos \alpha$ 。当待测距离比较大时，

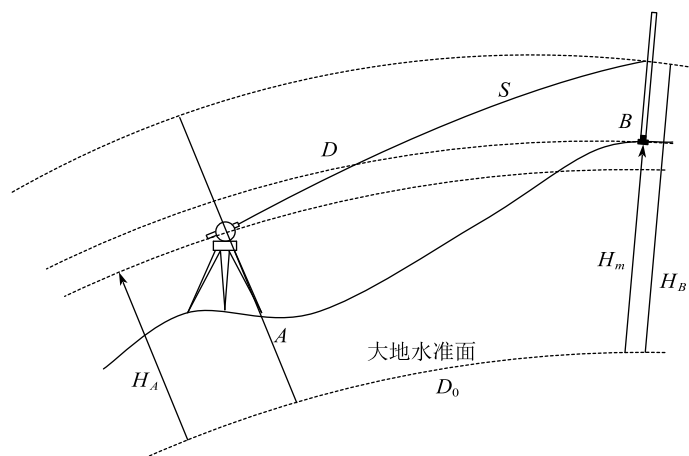
记地球半径为 R ，斜距受地球曲率影响改变为 $S' = S + \frac{S^3}{3R^2}$ 。

② 高程归算

如图，设 A 、 B 点高程、 AB 间视线平均高程分别为 H_A 、 H_B 、 H_m ；实测

距离为 S ，在大地水准面测区平均高程面上投影分别为 D_0 、 D ， R 为地球

半径，则有 $\frac{D}{D_0} = \frac{R + H_m}{R}$ ；距离改正数 $\Delta D = D - D_0 = \frac{H_m}{R} D_0 \doteq \frac{H_m}{R} D$ 。



通过计算可知，当 $H_m = 100\text{m}$ 时，相对误差为 $1/64000$ ；当 $H_m = 500\text{m}$ 时，

相对误差为 $1/13000$ ；根据精度要求，选择是否进行改正。

15. 电磁波测距误差来源有哪些？

【答】

电磁波测距误差可以分成两部分，一部分误差与距离成比例，称为比例误差；另一部分误差与距离无关，称为固定误差。另外，虽然周期误差与距离有关，但不成比例，仪器设计和调试时已严格控制。

(1) 比例误差

① 真空中光速 c 的误差

1975 年国际大地测量及地球物理协会联合采用 $c=299792458\pm 1.2$ (m/s), 这是目前国际上通用的数值, 这项误差对测距的影响很小, 可以忽略不计。

② 大气折射率 n 的误差

大气折射率的变化影响电磁波传播速度, 从而影响测距精度, 大气折射率是气温 t 、气压 P 及湿度 e 的函数。在一般气象条件下, 对于 1km 的距离、温度变化 1°C 所产生的测距误差为 0.95mm, 气压变化 1hPa 所产生的测距误差为 0.27mm, 湿度变化 1hPa 所产生的测距误差为 0.04mm, 对于实际气象条件与仪器设计时气象参数不同, 可加气象误差改正数, 不过温度、压强和湿度测量值要尽量准确。

③ 调制频率 f 的误差

调制频率是由仪器的主控振荡器产生的, 仪器在使用过程中, 电子元件会不断老化, 实际调制频率会与设计频率有误差, 进一步影响测距精度。根据测距仪测距原理, 当频率 f 存在误差 df 给距离 S 带来误差 $\frac{dS}{S} = -\frac{df}{f}$,

可以发现, 在调制频率误差影响下测距误差与距离成正比。通过检验, 测定测距仪乘常数, 对距离测量进行改正。

(2) 固定误差

① 相位差的测定误差

相位差的测定误差简称为测相误差, 测相误差是仪器误差, 包括测相设备本身误差、幅相误差、发射光束相位不均匀引起的误差。测相设备本身的误差与电路的稳定性和测相器的时间分辨率有关; 对于幅相误差, 有的测距仪有幅度控制系统, 能够使测量的信号强度控制在固定的幅值上; 对于发射光束相位不均匀引起的误差, 直接影响读数, 通过测定几组读数取其平均值, 就可以减小影响。

② 仪器加常数误差

多数仪器的加常数在出厂时已经预置, 但在使用过程中由于振动或不配套的反射器, 会使仪器加常数发生变化。仪器加常数误差可以通过检测得到, 对观测结果进行改正。

(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(精测尺长度)为周期重复出现的误差。串扰信号使得相位计测得的相位与测距信号的相位不一致形成串扰信号与测距信号合成矢量的相位导致测距误差, 所以, 要减小周期误差, 尽量减小仪器内部的信号串扰, 在制造仪器时应加强屏蔽; 另外, 仪器使用时, 尽量避免其他信号干扰。

16. 说明测距仪标称精度的含义和单位。

【答】

电磁波测距仪的“标称精度”一般表示为 $m_D = a + b \cdot D$, 式中 a 为固定误差, 单位为 mm, b 为比例误差系数, 单位为 mm/km, D 为距离测量值, 单位为 km。一般来说, 测程较长时, 比例误差占主要地位; 而测程较短时, 固定误差处于突出地位。在仪器说明书中, b 一般以百万分率 (ppm) 表示。如 $a=5\text{mm}$, $b=5\text{mm/km}$, 距离 D 的单位为 km, 则其测距仪和全站仪的测距标称精度为 $\pm(5 + 5 \times 10^{-6} D)\text{mm}$ 。

17. 电磁波测距仪检验校正的内容有哪些？

【答】

(1) 发射、接收、照准三轴关系正确性的检验与校正

- ① 检验：在距测距仪 200 到 300m 处安置反射棱镜，用望远镜十字丝瞄准棱镜中心，接通测距仪电源，记录返回信号强度（用电表指针读取光强值），然后转动水平微动螺旋和垂直微动螺旋，观察信号强度变化，如果光强值没有明显增加，那么视准轴和光轴之间是平行的。而且，当返回信号最大的位置，望远镜仍然瞄准棱镜中心，反之需要校正。
- ② 校正：首先将望远镜十字丝中心照准棱镜中心，然后用扳手谨慎地调整照准头上的水平和垂直校正螺丝，直到电流计指示出最强的回波信号为止。反复进行，直到满足要求。

(2) 测距常数的检验

测距常数检验可以用比较法，在基线场上进行，用待检验仪器测量已知基线，已知基线值尽量选择与仪器最佳测程一致。测量结果与已知基线值进行比较，列出方程组解算加常数 a 和乘常数 b 。一般用“六段比较法”，也可以有更多的多余观测，提高解算精度。

“六段比较法”点号一般取 $0, 1 \cdots 6$ ，测定此 7 个点两两之间的距离 D_{ij} ，

$(i = 0, 1 \cdots 5; j = 1, 2 \cdots 6)$ 。观测值改正数为 V_{ij} ，加常数 a ，乘常数 b ，已知基线值为 A_{ij} ，则有观测方程 21 个 $D_{ij} + V_{ij} + a + b \cdot D_{ij} = A_{ij}$ ；误差方程

为 $V_{ij} = -a - b \cdot D_{ij} - l_{ij}; l_{ij} = A_{ij} - D_{ij}$ 。方程没有唯一解，在一定准则下，

求取加常数 a 和乘常数 b 。

(3) 周期误差的检验

检验周期误差一般采用“平台法”。在室外选择平坦场地设置一平台，平台的长度比被测仪器的精测尺略长，平台上设置高精度基线尺和反射器距平台一端（距仪器远的一端）50 到 100m 处与反射器等高度安置仪器，反射器首先对准基线尺零点开始测距，然后由近及远依次移动反射器，每次移动距离为检测尺的 $1/40$ 或 $1/20$ ，移动一次观测一次距离。为了减小外界条件的影响，尽量缩短观测时间。

设距离近似值为 D_0 ，其改正数为 V_0 ，观测值为 D_i ($i = 1, 2 \cdots 40$)，改正数

为 V_i ，加常数为 a ，周期误差幅值为 A ，初相角为 φ_0 ， θ_i 为相位角，则观测方程 40 个为 $D_0 + V_0 + i \cdot d = D_i + V_i + a + A \sin(\varphi_0 + \theta_i)$ ，误差方程为

$V_i = V_0 - a - A \sin(\varphi_0 + \theta_i) - l_i; l_i = D_i - D_0 - i \cdot d$ 。设 $\Delta\theta$ 为对应距离 d 的

相位差，则有 $\theta_i = \theta_1 + (i - 1)\Delta\theta$ 。令 $\varphi_1 = \varphi_0 + \theta_1$ ，考虑到观测时间较短，

认为观测值等权，误差方程式组成法方程式可解算求 A 和 φ_1 ，再计算周期

误差的改正数 $V_i = A \sin(\varphi_1 + (i-1)\Delta\theta)$ 。

第 4 章 高差测量

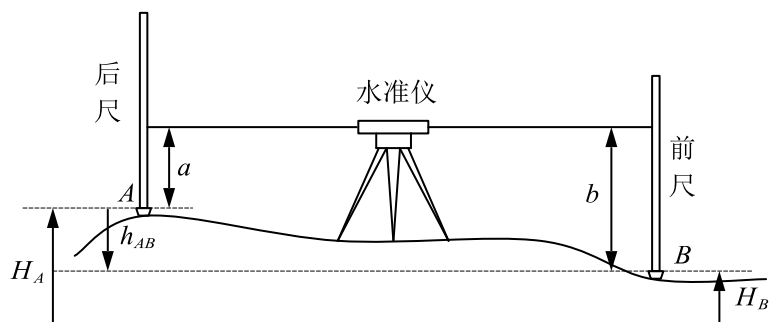
1. 高差测量的方法有几种？

【答】

水准测量、三角高程测量、GNSS 高程测量、雷达干涉测量。

2. 画图说明水准测量的原理。

【答】



水准测量是通过水准仪提供一条水平视线实现高差测量。如图所示，已知点 A 、 B 高程分别是 H_A 、 H_B ，若想测出两点高差，只要在两点之间安置水准仪，在两点上立水准尺（带有刻度，零点在下），调整水准仪使视线水平，分别在 A 尺上获取读数 a ，在 B 尺上获取读数 b ，便可计算 A 、 B 两点高差。

高差有方向性， A 点到 B 点的高差 $h_{AB} = a - b$ ，式中 a 为后视读数， b 为前视读数， B 点到 A 点的高差 $h_{BA} = b - a$ ，式中 b 为后视读数， a 为前视读数。

若 A 点低， B 点高，则 h_{AB} 为正值， h_{BA} 为负值，反之 h_{AB} 为负值， h_{BA} 为正值。

当 A 点高程 H_A 已知时，可计算 B 点高程 $H_B = H_A + h_{AB} = H_A - h_{BA}$

3. 水准测量时，若 A 、 B 两点之间高差 $h_{AB} > 0$ ，后视读数大还是前视读数大？

哪点高？

【答】

后视数大， B 点高。

4. S3 水准仪的含义是什么？

【答】

即 DS3 型水准仪。“S”表示“水准仪”，是水准仪拼音的开头。数字“3”代表 1km 往返测高差中数的中误差为 3mm，水准仪以此作为标称精度。

5. 自动安平水准仪主要由几部分组成？

【答】

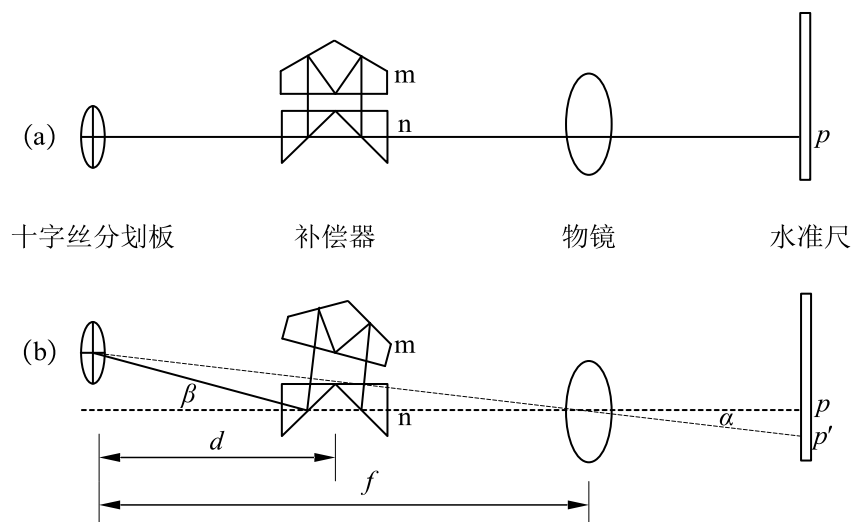
主要包含：基座、支架、望远镜、自动安平装置。

(1) 基座。基座底板中心有螺孔，可以连接脚架中心螺旋进行仪器安置。基座上安置三个脚螺旋，用于仪器整平。

(2) 支架。支架上安置圆水准器，在脚架架头大致水平的情况下调整脚螺旋可以使圆水准器气泡居中，支架粗略水平。支架上安置制动螺旋和微动螺旋

用于控制支架围绕竖轴旋转，带动望远镜瞄准不同方向。

- (3) 望远镜。望远镜主要由目镜、目镜调焦螺旋、物镜、物镜调焦螺旋、瞄准器组成。从外观看与电子经纬仪一样，但是由于望远镜光路系统安置了自动安平补偿装置，使用原理有区别。

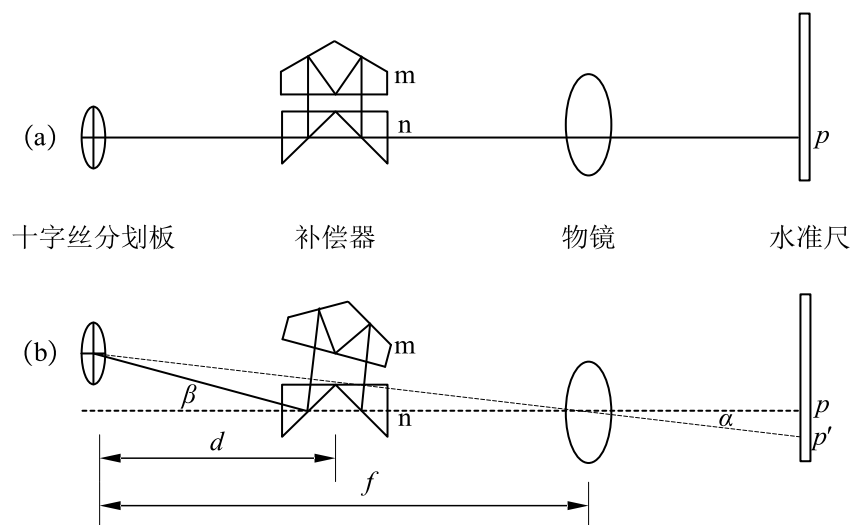


- (4) 自动安平装置。自动安平装置由一个屋脊棱镜 m 和两个直角棱镜 n 构成，屋脊棱镜与望远镜固连在一起，随望远镜一起转动，直角棱镜与自由重锤相连，在重力作用下自然下垂，随着视线改变不断调整与屋脊棱镜的相对位置，保证视准轴倾斜时能够读取水平视线的读数。如图 (a) 所示，视准轴水平时，来自 p 点的水平光线经过补偿器方向不变，分划板接收的是水平视线读数。若视准轴倾斜时，如图 (b) 所示，望远镜视准轴（虚线）倾角为 α ，来自 p 点的水平光线经过补偿器方向发生改变，倾角为 β ，使分划板仍然获得水平视线的读数。补偿器应该满足的几何条件是 $f \cdot \alpha = d \cdot \beta$ ，

式中 f 为物镜焦距， d 为补偿器中心至十字丝分划板距离。

6. 画图说明自动安平水准仪工作原理。

【答】



为使在视准轴倾斜的情况下经过物镜光心的水平视线能通过十字丝交点,可采用以下两个方法。

- (1) 在光路中安置一个补偿器,使光线偏转一个 β 角而通过十字丝交点,可采用自动安平装置。自动安平装置由一个屋脊棱镜 m 和两个直角棱镜 n 构成,屋脊棱镜与望远镜固连在一起,随望远镜一起转动,直角棱镜与自由重锤相连,在重力作用下自然下垂,随着视线改变不断调整与屋脊棱镜的相对位置,保证视准轴倾斜时能够读取水平视线的读数。如图(a)所示,视准轴水平时,来自 p 点的水平光线经过补偿器方向不变,分划板接收的是水平视线读数。若视准轴倾斜时,如图(b)所示,望远镜视准轴(虚线)倾角为 α ,来自 p 点的水平光线经过补偿器方向发生改变,倾角为 β ,使分划板仍然获得水平视线的读数。补偿器应该满足的几何条件是 $f \cdot \alpha = d \cdot \beta$,

式中 f 为物镜焦距, d 为补偿器中心至十字丝分划板距离。

- (2) 将十字丝位置调整至与水平视线同水平处,也可达到“补偿”的目的。

7. 水准仪配套使用的主要工具有哪些?作用是什么?

【答】

水准仪配套使用的工具有三脚架、水准尺、尺垫。

- (1) 三脚架与电子经纬仪脚架相似,功能与使用方法相同,三脚架主要用于仪器和目标的安置,有辅助对中和整平的作用。三脚架有木制和合金制两种,架头有中心螺旋,用来与仪器连接,三脚架架腿下部有金属制的尖头,有助于踩到地下(疏松土质),稳定脚架。三脚架的架腿可以伸缩,使仪器能够架设不同的高度,方便不同身高的观测者使用。在使用过程中,架腿的螺丝不能有松动,架腿之间角度不能过大或者过小,以免摔倒。
- (2) 水准尺作为水准测量的目标,自动安平水准仪配套使用的水准尺一般为双面水准尺,由干燥木材或合金制成,长为3m,一面是黑色分划,零起点,一面红色分划,常数起点。水准尺最小分划为厘米,有米、分米注记,厘米不注记。水准尺一般成对使用,一尺立于后视点,一尺立于前视点,两根水准尺红面起点常数不同,一尺是4687mm,一尺是4787mm,用于双面读数检核。因瓦合金水准尺用于精密水准测量,一般为单面分划,两侧分别为基本分划和辅助分划,基辅分划起点不同,存在一个常数差,用于读数检核。
- (3) 尺垫用于连续水准测量转点定位,可以防止水准尺下沉。尺垫由金属制作,三角形或圆形,下面一般有三个脚尖,有助于踩入地下(疏松土质),稳定点位。上面有半球凸起,用于准确确定点位,同时方便尺面转换。

8. 精密水准尺与双面水准尺用途有什么区别?

【答】

- (1) 精密水准尺一般用于一、二等水准测量,其尺长更稳定,分划是漆在因瓦合金带上,因瓦合金带则以一定的拉力引张在木质尺身的沟槽中。这样因瓦合金带的长度不会受到木质尺身伸缩变形的影响。
- (2) 双面水准尺一般用于三、四等水准测量或普通水准测量,用干燥木料或玻璃纤维合成材料制成,分为折尺、直尺、塔尺等。由于折尺接头易损坏,三、四等水准测量只能用直尺。

9. 光学水准仪与电子水准仪区别是什么?

【答】

- (1) 电子水准仪也称数字水准仪，具有自动安平功能，区别于自光学水准仪的主要方面是读数系统。电子水准仪在望远镜中安置了光敏二极管构成的线阵探测器，采用数字图像自动识别处理系统进行读数，并配有条码水准标尺。另外，电子水准仪内置微处理器，可以自动记录、存储、传输及数据处理，测量速度快、精度高，能够实现水准测量内、外业一体化。
- (2) 电子水准仪较于光学水准仪的特点
 - ① 读数客观，不存在误读误记的错误。
 - ② 消除标尺分划误差，而且很多仪器具有多次读数取平均数的功能，精度高。
 - ③ 自动记录、存储，没有重复测量，速度快。
 - ④ 可以进行数据处理，实现内外业一体化，效率高。

10. 双面水准尺可以直接读取几位数？同一测站黑面读数计算高差和红面读数计算高差相等吗？为什么？

【答】

- (1) 双面水准尺可以直接读取四位数。
- (2) 在不考虑读数误差/错误的情况下相等。不考虑读数误差/错误时，黑面或红面各自的前后尺读数相减会消除各自尺的起点常数，得到的高差则会相同。

11. 何为转点？转点作用是什么？

【答】

- (1) 在连续水准测量中，中间的立尺点称为转点。
- (2) 转点的作用是传递高程。一定不要移动相邻两站之间的尺垫，各站测量数据才能保持连续。

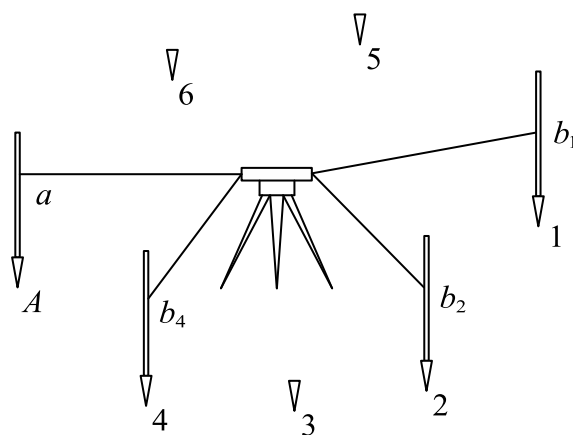
12. 转点上为什么用尺垫？待测高程点上是否用尺垫？

【答】

- (1) 转点上的尺垫可以防止水准尺下沉。尺垫上面有半球凸起，用于准确确定点位，同时方便尺面转换。
- (2) 否。

13. 面水准测量时，如何计算测点高程？

【答】



如图所示，A 点高程已知，需要测出地表面上若干点的高程，即以 A 为后视点，把所有待测点作为前视点，安置好水准仪，瞄准 A 尺，获取后视读数 a ，然后依次瞄准前视点，分别获取读数 b_1 、 b_2 、 b_n （图中 $n=6$ ）。首先计算视线高程 H

$=H_A+a$ ，然后计算各点前视高程 $H_i=H-b_i$ 。在面水准测量中，仪器安置尽量照顾到所有点的前视距离，但是不可能严格按照前后视距离相等，所以面水准测量精度较低。

14. 水准测量误差来源主要有哪些方面？如何减弱或消除？

【答】

(1) 水准仪与水准尺的误差

① 水准仪的视准轴误差影响

主要是水准管轴与视准轴不平行（ i 角误差）导致。减弱或消除办法是观测时尽量使前后视距相等，以抵消轴系误差。

② 水准尺误差影响

水准尺误差主要包括尺长误差、刻划误差和零点差。减弱或消除办法是同一测段内两根水准尺交替使用，且把测段测站数控制为偶数，能减弱或抵消水准尺误差影响。

(2) 观测误差

① 仪器置平误差影响

设水准管分划值 $\tau=20''/2\text{mm}$ ，水准气泡偏离居中 0.5 格，则 100m 的视距引起读数误差为 $100 \times 0.5 \times 20/206265=0.005\text{m}$ ，即 $\pm 5\text{mm}$ 。减弱或消除办法是水准仪必须置平。

② 调焦误差影响

物镜调焦会使调焦透镜产生非直线移动而改变视线位置，产生调焦误差。可通过前、后视距相等减弱或消除，后视调焦之后前视不必重新调焦。

③ 读数误差影响

读数误差主要与十字丝横丝的粗细、望远镜放大率及视线长度等因素有关。减弱或消除办法是作业时应认真执行有关规范对不同等级水准测量仪器的规定。

④ 水准尺倾斜产生的误差影响

水准尺必须竖直，水准尺在视线方向倾斜，观测者不会发觉。视线越高，影响越大。减弱或消除办法是当观测者瞄准水准尺时，尺上的圆水准器气泡必须居中。水准尺要尽量扶直，若尺上有水准器，气泡必须居中，必要时可用摇尺法，读取最小的读数。

(3) 外界环境影响

① 仪器下沉影响

当仪器安置在比较松软的土质中而脚架没有踩实，在观测过程中仪器会下沉，使读数偏小。减弱或消除办法是按照一定顺序进行读数，如“后、前、前、后”的观测程序，取两次高差的平均值作为最后观测值，可消除或减弱仪器下沉的影响。

② 水准尺下沉影响

水准尺下沉，使尺上读数增大，产生读数误差。减弱或消除办法是水准测量的转点需用尺垫，尺垫必须踩实，才能避免沉降。转点尺垫要尽量踩实。另外，采取往返观测，取往返高差的平均值，可以减弱水准尺下沉的影响。

③ 日光和风力的影响

日光照射到水准仪时，使仪器部件受热不匀，产生不规则膨胀，破坏仪器轴线的正常关系，使置平、读数产生误差。因此必须撑伞防晒。

④ 地球曲率和大气折光的影响

- 1° 对于高程测量而言，任何时候都要考虑地球曲率的影响，但是在实际测量过程中采用前后视距离相等予以消除。
- 2° 大气折光是由于日光照射地面，使近地空气升温产生对流，视线通过时产生折射，使视线成为一条曲率约为地球半径 7 倍的曲线，使读数减小，视线离地面越近，折射越大。也使望远镜中成像不稳定。成像晃动时，应停止观测；视线必须高出地面 0.3m 以上；选择有利观测时间，大气折光的影响可以通过前后视距离相等予以减弱或消除。

15. 自动安平水准仪检验校正内容主要有哪些？

【答】

(1) 圆水准器轴检验校正

- ① 检验：安置水准仪，转动脚螺旋，使圆水准器气泡居中，将仪器绕竖轴旋转 180° 。如果气泡居中，说明圆水准器轴平行于仪器竖轴，如果气泡偏移，说明圆水准器轴不平行于仪器竖轴，需要校正。
- ② 校正：气泡在一个方向居中后，仪器旋转 180° 有偏移，根据气泡偏移量，调整脚螺旋使气泡回移一半，拨动圆水准器校正螺钉使气泡居中。然后，重新用脚螺旋整平圆水准器，再将仪器绕竖轴旋转 180° 。反复进行检验校正，直到完全满足要求，旋紧水准器固定螺钉。

(2) 十字丝横丝检验校正

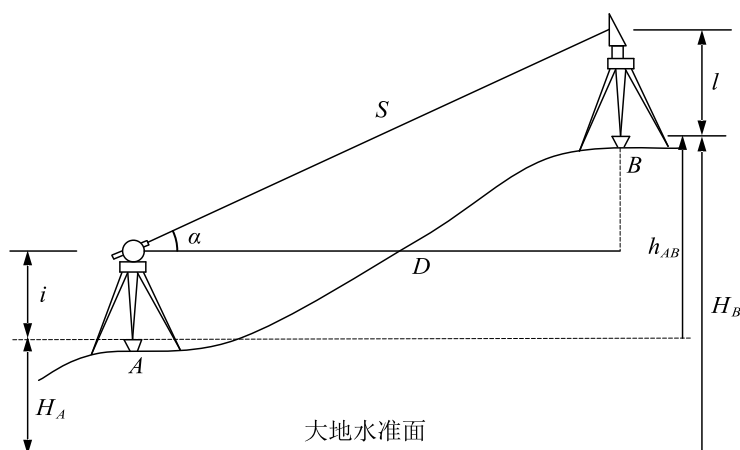
- ① 检验：安置水准仪，调整圆水准气泡居中，用望远镜十字丝横丝一端瞄准远处某点（背景反差清晰），制动螺旋旋紧，转动微动螺旋，随着望远镜左右转动，如果十字丝横丝离开目标点说明十字丝横丝不垂直仪器纵轴，需要校正。
- ② 校正：打开十字丝分划板，松开固定螺丝，调整十字丝位置，使横丝水平，竖丝垂直，固定好螺丝，旋紧目镜盖。

(3) 自动安平补偿器的检查

如果补偿器的补偿性能正常，在补偿范围内，无论视线上、下、左、右倾斜都可获得水平视线读数，测得的高差为正确高差。如果补偿器性能不正常，视线倾斜测得的高差将与正确的高差有明显的差异。无论上、下、左、右倾斜，四次倾斜的角度尽量相同，一般取补偿器所能补偿的最大角度。

16. 画图说明三角高程测量原理。

【答】



若测量地球表面上两点 A 、 B 间的高差，如图所示，在 A 点安置全站仪， B 点安置棱镜。若 A 点处的高程 H_A 已知，待测的 B 点高程为 H_B ，则测量 A 、 B 之间平距 D （或斜距 S ）、垂直角 α 、仪器高 i 、目标高 l ，便可计算两点间高差为 $h_{AB}=D \tan\alpha+i-l$ 或 $h_{AB}=S \sin\alpha+i-l$ ， B 点高程为 $H_B=H_A+h_{AB}$ 。

17. 三角高程测量的主要误差来源是什么？如何减弱或消除？

【答】

三角高程测量误差除受测距、测角、量取仪器高和目标高的误差影响外，三角高程测量的主要误差来源为地球曲率与大气折光的影响。

- (1) 水准测量时，前、后视距相等可以抵消地球曲率对高差测量的影响。三角高程测量时，将仪器安置在两点等距处分别观测前后视高差也可消除地球曲率的影响。但三角高程测量不易实现双向观测，一般是单向观测，必须考虑地球曲率对高差的影响。
- (2) 视线从高密度向低密度穿过空气介质，折射角总是大于入射角，使视线成为一条向上凸起的曲线，使得所测高差偏大，视线从低密度向高密度穿过大气层时影响正好相反，使得所测高差偏小。所以采用往返观测高差取平均值可以抵消大气折光的影响，但是，单向观测必须对观测高差进行大气折光改正，由于大气折光对高差测量的影响无法用精准的函数模型描述，实践中采用经验值进行改正。
- (3) 若 A 、 B 之间平距为 D ，垂直角为 α ，仪器高为 i ，目标高为 l 。地球半径为 R ， A 点设站观测 B 点，地球曲率和大气折光对观测高差的影响分别为 C_1 、 C_2 ，记 k 为大气折光系数，则高差 $h_{AB}=D \tan\alpha+i-l+C_1-C_2$ 。其中

$$C_1 = \frac{D^2}{2R}, \quad C_2 = -k \frac{D^2}{2R}。k \text{ 受温度、植被等很多自然因素影响，变化范围}$$

在 0.08-0.20 之间，一般近似地取 0.14。在三角高程测量中将上述两项影响

称为“球气差”，两项改正称为“两差改正”计算公式为 $C=(1-k)\frac{D^2}{2R}$ 。

如果在短时间内进行对向观测，则可认为 C 值相同，取平均数，抵消球气差的影响。如果远距离三角高程测量，要顾及距离归算至参考椭球面。根据分析，边长在 400m 以内，大气折光影响不是主要的，只要在最佳时刻测距和观测垂直角，采用合适的照准标志，精确地量取仪器高和目标高，达到毫米级的精度是可能的。实践证明，如测角中误差不超过 $\pm 2.0''$ ，边长在 2km 范围内，光电测距三角高程测量完全可以替代四等水准测量。

第 5 章 测量误差基础知识

1. 如何说明观测误差是客观存在的？

【答】

- (1) 测量值与理论值不等。如三角形三个内角的观测值之和不等于 180° ，闭合水准路线高差观测值之和不等于零。
- (2) 同一量的不同次观测值不等。如一段距离的往测与返测观测值不等，一个角的两次观测值不等。

2. 测量误差的来源有几个方面？举例说明。

【答】

(1) 仪器方面

测量数据必须凭借仪器及配套的工具获取。由于任何测量仪器和工具都不尽完善，观测值的精度会受到一定程度限制。目前，精度比较好的全站仪一测回方向观测中误差为 $0.5''$ ，每公里距离观测中误差为 1.0mm ；精度比较好水准仪每公里往返观测高差中误差为 0.5mm 。虽然随着科学技术发展，测量仪器与工具会不断地趋于完善，但是总会存在一定的误差。

(2) 观测者方面

人的视觉识别能力有限，人眼能分辨最小距离是 0.1mm 。仪器安置、瞄准、读数等操作都会带来一定的误差，影响观测数据的精度。另外，观测者对业务是否熟练、能否按规范操作仪器、能否以认真的态度对待工作，都不可避免地影响观测精度，给观测成果带来一定程度的影响。

(3) 外界环境方面

观测工作是在一定的外界环境下完成的，日照、折光、气压、风力等气象因素都会影响到观测精度，例如，大气折光会影响瞄准视线的方向，气压、温度会影响测距过程中电磁波的传播速度等。另外，GPS 测量信号会受到电磁场干扰、建筑物的遮挡等。

3. 何为观测条件？观测条件对观测成果有何影响？

【答】

在测量工作中，把仪器、观测者、外界环境三方面称为观测条件，并认为观测条件相同情况下获取的观测数据是等精度观测数据。否则认为是不等精度观测数据。

4. 根据误差性质，观测误差分几类？各有什么特点？在测量工作中如何处理？

【答】

根据误差的性质，测量误差分为系统误差和偶然误差两类

(1) 系统误差

在相同的观测条件下，对某一个量进行一系列观测，观测值的误差在大小、符号上都相同或呈现出一定的变化规律，这种误差称为系统误差。例如水平角测量的 $2C$ 误差、电磁波测距固定误差和比例误差、钢尺量距的尺长误差、高差测量的 i 角误差、三角高程测量中地球曲率与大气折光带来的误差等，系统误差主要由于测量仪器或工具的限制、外界环境中客观因素的影响所产生。系统误差对观测成果影响很大，但是系统误差规律性很强。**处理方法：**通过多余观测及长期工作经验可以发现系统误差的规律性，然后采用科学的方法进行处理，包括观测手段和计算方法等。例如，角度测量中的视准轴误差可以通过测回法观测予以消除，水准测量中的 i 角误差可以通过前、后视距相等的手段予以消除；尺长误差可以通过加尺长改正数方法予以消除，电磁波测距误差可以通过设置加常数、乘常数、温度、气压等参数进行改正。对于无法控制的系统误差，可以通过建立数学模型，将系统误差设为参数，将其解算出来。

(2) 偶然误差

在相同的观测条件下，对某一个量进行一系列观测，观测值的误差在大小、符号上没有什么规律性，具有偶然性，这种误差称为偶然误差。例如，瞄

准误差、读数误差、对中误差等，偶然误差主要因为观测者的主观因素和外界环境不确定因素影响所产生。偶然误差表面上看没有什么规律性，但是大量偶然误差具有统计规律性。经过粗差和系统误差处理的观测值，偶然误差占主导，观测误差整体呈现出偶然性。

处理方法：偶然误差是离散型随机变量，在相同的观测条件下，大量偶然误差近似地服从标准正态分布，在足够的多余观测条件下，根据几何条件建立函数模型，根据观测条件建立随机模型，在一定准则下，通过优化理论计算待求量的最可靠值。对于单一变量，在相同的观测条件下，算术平均值为最可靠值，在不同观测条件下，加权平均值为最可靠值，对于多观测量的复杂测量模型，在最小二乘准则下，能够获得观测量和未知参数的最优无偏估计量。

(3) 粗差

在测量工作中，由于观测员的粗心大意或意外重大因素干扰，会导致观测成果含有远大于测量误差的错误，即粗差，如瞄错目标、读错数等。系统误差、偶然误差都是不可避免的，但是，粗差必须尽量避免。

处理方法：多余观测可以发现大的粗差，直接剔除。另外，在测量工作中，无论外业和内业都要遵守行业规范，规范对不同的作业方案有限差要求，各项限差都是依据误差理论确定的，超过限差的观测值认为含有粗差。对于上述方法未被发现的较小的粗差，可以根据粗差探测理论，通过假设检验，在一定的置信度下，把含有粗差的观测值剔除掉。

- (4) 多余观测是提高测量成果质量和可靠性的必要手段。在测量工作中，为了获取某量必须进行的观测称为必要观测，多于必要观测的观测称为多余观测。通过多余观测可以发现系统误差规律性和粗差，还可以通过多余观测计算只含有偶然误差观测值的最可靠值。

5. 粗差是怎么产生的？工作中如何控制？

【答】

(1) 粗差的产生

在测量工作中，由于观测员的粗心大意或意外重大因素干扰，会导致观测成果含有远大于测量误差的错误，即粗差，如瞄错目标、读错数等。系统误差、偶然误差都是不可避免的，但是，粗差必须尽量避免。

(2) 粗差的控制

多余观测可以发现大的粗差，直接剔除。另外，在测量工作中，无论外业和内业都要遵守行业规范，规范对不同的作业方案有限差要求，各项限差都是依据误差理论确定的，超过限差的观测值认为含有粗差。对于上述方法未被发现的较小的粗差，可以根据粗差探测理论，通过假设检验，在一定的置信度下，把含有粗差的观测值剔除掉。

6. 什么是多余观测？为什么要进行多余观测？

【答】

- (1) 多余观测是提高测量成果质量和可靠性的必要手段。在测量工作中，为了获取某量必须进行的观测称为必要观测，多于必要观测的观测称为多余观测。
- (2) 通过多余观测可以发现系统误差规律性和粗差，还可以通过多余观测计算

只含有偶然误差观测值的最可靠值。

7. 何为真误差？大量的只含有偶然误差的观测误差服从什么分布？

【答】

- (1) 被观测量客观上存在一个真值，观测值与真值之差为真误差，也称测量误差。
- (2) 正态分布。

8. 举例说明什么情况下可以获得真误差？

【答】

观测值的真误差一般无法求得，只能间接获取。例如，三角形内角和理论值为 180° ，通过观测三个内角能够计算内角和的真误差。

9. 在相同观测条件下，大量偶然误差具有统计规律性，统计规律性的内容包括哪些？

【答】

- (1) 绝对值大于一定数值 ($24''$) 的误差出现频率为 0。
- (2) 在绝对值相等的正负误差区间正误差与负误差出现的频率接近。
- (3) 绝对值小的误差出现频率大，绝对值大的误差出现频率小。
- (4) 当观测次数趋于无穷大时，误差之和趋近于 0。

10. 如何根据误差分布曲线描述观测值精度高低？

【答】

- (1) 标准差越小，误差分布曲线越陡峭，误差分布越集中，小误差比较多，观测值精度比较好。
- (2) 标准差越大，误差分布曲线越平缓，误差分布越离散，大误差比较多，观测值精度比较差。

11. 用中误差评定观测值精度的依据是什么？

【答】

标准差具有观测次数趋于无穷大时的理论意义。而测量工作中观测次数总是有限的，计算结果都是标准差的估值。根据测绘工作习惯，称标准差为中误差作为精度评定指标。不同的标准差将对应着不同形状的误差分布曲线，标准差愈小，误差分布曲线愈为陡峭，愈大则误差分布曲线愈为平缓。误差分布曲线具有两个拐点，它们在横轴上的坐标为 $E(X) \pm \sigma$ ， $E(X)$ 为变量 X 的数学期望。对于偶然误差而言，由于其数学期望为 0，所以拐点在横轴上的坐标应为 σ 。因此，根据统计学原理，采用标准差作为评定只含有偶然误差观测值精度的指标。中误差是衡量观测值整体的精度指标，不是某个观测值的精度指标，是观测条件的表征。中误差比较小，观测条件比较好，观测精度比较高，反之中误差比较大，观测条件比较差，观测精度比较低。

12. 相对中误差是如何定义的？主要用于哪些观测量的精度评定？

【答】

- (1) 观测值的中误差与观测值的比值称为相对中误差，表示成分子为 1 的形式。
- (2) 一些只用中误差不足以反映观测精度高低的量，如长度等涉及量测绝对值的量等。另外，相对中误差也适合面积测量的精度评定。

13. 极限误差如何确定？极限误差有什么作用？

【答】

- (1) 实际工作中一般以 2 倍或 3 倍中误差作为极限误差。

- (2) 极限误差可以控制含有粗差的观测值对计算成果的影响, 以极限误差作为指标衡量观测误差是否超限, 大于极限误差的误差认为是粗差。

14. 偶然误差传播定律阐述的内容是什么?

【答】

直接观测值的误差如何传递给观测值函数。

15. 何为等精度观测? 如何计算等精度观测值的最可靠值及其中误差?

【答】

- (1) 在观测条件基本相同的情况下进行的观测, 称为等精度观测。

- (2) 等精度观测值的最可靠值及其中误差

在相同的观测条件下, 对某一量进行 n 次观测, 观测值为 x_i ($i=1, 2, \dots, n$)。

- ① 等精度观测值的最可靠值

真误差 $\Delta_i = \tilde{x} - x_i$ (\tilde{x} 为真值), 两边求和除以 n , 得 $\frac{[\Delta]}{n} = \tilde{x} - \frac{[x]}{n}$ 。当 $n \rightarrow \infty$

时, 根据偶然误差特性, 有 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0$, 即 $\tilde{x} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[x]}{n} \approx \frac{[x]}{n} = \bar{x}$ 。因此,

取观测值的算数平均值作为该量的最可靠值。([] 为加和运算, 下同。)

- ② 等精度观测值的中误差

算术平均值 \bar{x} 为观测量的线性函数, 根据线性函数误差传播规律:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{1}{n}\right)^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{1}{n}\right)^2 \sigma_{x_n}^2}, \text{ 在相同观测条件下,}$$

$$\sigma_{x_1} = \sigma_{x_2} = \dots = \sigma_{x_n} = \sigma_x. \text{ 故 } \sigma_{\bar{x}} \text{ 可化简为 } \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}.$$

16. 何为权? 权有何实用意义?

【答】

- (1) 在测量工作中, 对于不同观测条件下获取的观测量, 用“权”作为表征观测值相对精度指标。观测量的精度好, 权大; 观测量精度差, 权小。权 (p)

的定义式为 $p_i = \frac{C}{\sigma_i^2}$ 。式中 C 为任意正数, σ_i 为观测量中误差, 权等于 1

的中误差称为单位权中误差 (σ_0), 即 $C = \sigma_0^2$, 权等于 1 的观测量称为单

位权观测量。所以权与中误差关系也可以表达为 $p_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2}$, 该式为实用定

权公式。

- (2) 权的实用意义举例

- ① 高差测量: 每站观测为单位权观测, 等精度观测 n 站, 计算高差之和的权。

根据误差传播定律, $\sigma_h^2 = \sigma_0^2 + \sigma_0^2 + \cdots + \sigma_0^2 = n\sigma_0^2$, 则根据定权公式,

$$p_n = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_h^2} = \frac{1}{n}。$$

- ② 距离测量: 每尺段观测为单位权观测, 等精度观测 n 段, 计算距离之和的权。

$$\text{与高差测量者同理, } p_n = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_l^2} = \frac{1}{n}。$$

- ③ 角度测量: 方向观测为单位权观测, 一测回角度观测权? n 测回角度算术平均值的权?

设方向观测值为 L , 一测回水平角观测值 $\beta_1 = L_{\text{右}} - L_{\text{左}}$ 。根据误差传播定

$$\text{律, } \sigma_{\beta_1}^2 = \sigma_0^2 + \sigma_0^2 = 2\sigma_0^2, \text{ 再根据定权公式, } p_1 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_{\beta_1}^2} = \frac{1}{2}。$$

$$n \text{ 测回角度算术平均值的权为 } p_1 = \frac{\sigma_0^2}{(\sigma_{\beta_1}/\sqrt{n})^2} = \frac{n}{2}。$$

17. 何为不等精度观测? 如何计算不等精度观测值的最可靠值及其中误差?

【答】

(1) 在观测条件基本不相同的情况下进行的观测称为不等精度观测。

(2) 不等精度观测值的最可靠值及其中误差

- ① 不等精度观测值的最可靠值

在不同观测条件下对某一量进行 n 次观测, 观测向量为 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \cdots, x_n)^T$,

观测向量的权为 $\mathbf{p} = (p_1, p_2, \cdots, p_n)^T$ 则该量的带权平均值为:

$$\bar{x} = \frac{p_1 x_1 + p_2 x_2 + \cdots + p_n x_n}{p_1 + p_2 + \cdots + p_n} = \frac{p_1}{[p]} x_1 + \frac{p_2}{[p]} x_2 + \cdots + \frac{p_n}{[p]} x_n。$$

取其带权平均值 (也称加权平均值) 作为该量的最可靠值。

- ② 不等精度观测值的中误差

设中误差为 $\sigma = (\sigma_{x_1}, \sigma_{x_2}, \cdots, \sigma_{x_n})^T$, 带权平均值为观测量的线性函数, 根据

线性函数误差传播律 $\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\left(\frac{p_1}{[p]}\right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{p_2}{[p]}\right)^2 \sigma_{x_2}^2 + \cdots + \left(\frac{p_n}{[p]}\right)^2 \sigma_{x_n}^2}$ 。且由于

$$\sigma_{x_i}^2 = \frac{\sigma_0^2}{p_i}, \text{ 整理得不等精度观测值的中误差为 } \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_0}{\sqrt{[p]}}。$$

18. 改正数与真误差有何区别？

【答】

- (1) 改正数为观测值最可靠值与观测值之差，即改正数=观测值最可靠值-观测值。
- (2) 真误差为真值与观测值之差，即真误差=真值-观测值。

19. 观测值中误差计算方法有几种？分别在什么情况下使用？

【答】

- (1) 用观测量真误差计算。需已知真值才可使用。
- (2) 用改正数计算。观测量真误差一般无法获得，此时无法用真误差计算观测量中误差，因此在实际工作中常用改正数计算中误差。

20. 测量平差准则是最小二乘准则，算术平均值、带权平均值符合最小二乘准则吗？

【答】

符合。

第 6 章 小区域控制测量

1. 控制测量的目的是什么？控制测量的原则是什么？

【答】

- (1) 为较低等级测量工作提供测绘基准，控制测量误差累积。
- (2) “整体到局部，从高级到低级，分层控制，逐级加密”。高等级控制点精度高，密度小，控制范围大；低等级控制点精度低，密度大，控制面积小。

2. 平面控制测量方法有哪些？

【答】

根据控制点构网形式及数据处理方法不同，平面控制测量方法有三角测量、导线测量、交会测量、全球卫星导航系统（GNSS）测量。

3. 高程控制测量方法有哪些？

【答】

- (1) 高程控制测量方法主要是水准测量。水准测量是将相邻高程控制点（水准点）连接成线状走向的图形，测量相邻控制点之间的高差，在起算数据足够情况下计算出所有待定控制点高程。为了扩大控制面积，增强控制网强度，可以使用含有若干节点水准网。水准测量精度高，适合地势平坦地区。
- (2) 三角高程测量精度较低，一般用于地势起伏地区。三角高程测量的基本思想是根据观测两点间垂直角和水平距离计算两点之间的高差。这种方法受地形条件的限制较少。

4. 测量工作标准方向有几种？分别如何定义的？

【答】

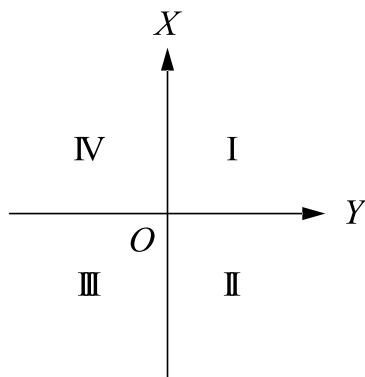
测量工作中常用标准方向一般称为“三北方向”。

- (1) 真北方向：真子午线切线的北方向，过某点真北方向可以通过天文测量方法获取，也可以通过陀螺经纬仪测定或 GNSS 测定。
- (2) 磁北方向：磁针自由静止时的北方向，过某点磁北方向可以通过罗盘仪测定。
- (3) 坐标北方向：平行坐标纵轴的北方向，过某点坐标北方向可以通过方向测设方法得到。

5. 何为坐标方位角？何为象限角？两者之间关系如何？

【答】

- (1) 从某直线起点的标准北方向顺时针到该直线的水平角为该直线的方位角 α ，取值范围为 0° - 360° 。
- (2) 某直线与坐标纵轴（北端或南端）之间小于 90° 的水平角为该直线的象限角。取值范围 0° - 90° 。I、III象限取正值，II、IV象限取负值。



- (3) 若 A 、 B 两点坐标分别为 (X_A, Y_A) 、 (X_B, Y_B) ，则 A 、 B 间象限角计算公式为

$$R = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}^\circ$$

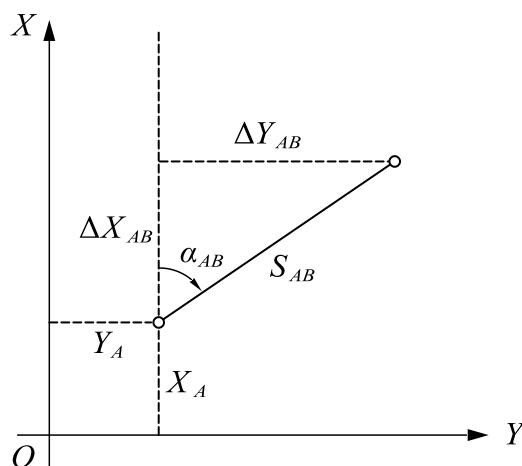
第I象限， $\alpha=R$ ，第II、III象限 $\alpha=180^\circ+R$ ，第IV象限 $\alpha=360^\circ+R$ 。

6. 画图说明何为坐标正算和坐标反算？

【答】

- (1) 坐标正算

如图所示，已知 A 点坐标 (X_A, Y_A) 、坐标方位角 α_{AB} 及水平距离 S_{AB} ，计算 B 点坐标 (X_B, Y_B) 。



$$\textcircled{1} \text{ 计算坐标增量 } \begin{cases} \Delta X_{AB} = S_{AB} \cos \alpha \\ \Delta Y_{AB} = S_{AB} \sin \alpha \end{cases}$$

$$\textcircled{2} \text{ 计算 } B \text{ 点坐标 } \begin{cases} X_B = X_A + \Delta X_{AB} \\ Y_B = Y_A + \Delta Y_{AB} \end{cases}$$

(2) 坐标反算

如图所示，已知 A 点坐标 (X_A, Y_A) 和 B 点坐标 (X_B, Y_B) ，计算坐标方位角 α_{AB} 及水平距离 S_{AB} 。

① 计算距离 $S_{AB} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$

② 计算象限角 $R_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}$

③ 根据坐标增量判断象限角所在象限

$\Delta X_{AB} > 0$, $\Delta Y_{AB} > 0$ ，则象限角在第 I 象限；

$\Delta X_{AB} < 0$, $\Delta Y_{AB} > 0$ ，则象限角在第 II 象限；

$\Delta X_{AB} < 0$, $\Delta Y_{AB} < 0$ ，则象限角在第 III 象限；

$\Delta X_{AB} > 0$, $\Delta Y_{AB} < 0$ ，则象限角在第 IV 象限。

7. 单一水准路线有几种？各有什么特点？

【答】

(1) 附和导线

附和导线是从已知点出发，经过一系列的导线点，附和到另一个已知点，其中，两端都具有已知方向的导线为双定向导线，一端有已知方向的导线为单定向导线，两端都无已知方向的导线为无定向导线。附和导线具备足够的起算数据，对观测数据有一定的检核条件，尤其双定向附和导线，检核条件最好，可用于等级控制测量。

(2) 闭合导线

闭合导线可以理解为双定向附和导线特殊情况，两已知点重合，虽然具备足够的起算数据，但只对观测数据有检核，对起算数据无检核，尽量避免单独使用。

(3) 支导线

支导线从已知点出发，不附和（或闭合）到已知点，只有起算数据，不具有检核条件，所以一般不超过三点，必要时要进行往返测量。支导线主要用于图根控制测量的局部控制点加密。

8. 三、四等水准测量测站观测顺序是怎样的？

【答】

一般观测顺序为“黑黑红红”或“后前前后”，具体含义是按照后尺黑面、前尺黑面、前尺红面、后尺红面的顺序观测。四等水准测量也可以采用后尺黑面、后尺红面、前尺黑面、前尺红面的顺序，即“黑红黑红”或“后后前前”。

9. 全球现有的 GNSS 系统主要有哪些？

【答】

美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、欧洲的 Galileo、中国的北斗卫星导航系统，以及相关的增强系统，如美国的 WAAS（广域增强系统）、欧洲的 EGNOS（欧洲静地导航重叠系统）和日本的 MSAS（多功能运输卫星增强系统）等。还涵盖在建和以后要建设的其他卫星导航系统。

10. GPS 是由哪几部分组成的？

【答】

GPS 包括三大部分：空间部分—GPS 卫星星座；地面控制部分—地面监控系统

统；用户设备部分—用户接收机。

(1) GPS 卫星星座

GPS 卫星星座由 21 颗工作卫星和 3 颗在轨备用卫星组成，记作 (21+3)

GPS 星座。使用 GPS 信号导航定位时为了解算测站的三维坐标必须观测 4 颗 GPS 卫星，称为定位星座。

(2) 地面监控系统

对于导航定位来说，GPS 卫星是一已知动态点。卫星的位置是依据卫星发射的星历（描述卫星运动及其轨道的参数）算得的。每颗 GPS 卫星所播发的星历是由地面监控系统提供的。卫星上的各种设备是否正常工作以及卫星是否一直沿着预定轨道运行都要由地面设备进行监测和控制。地面监控系统的另一重要作用是保持各颗卫星处于同一时间标准-GPS 时间系统。这就需要地面站监测各颗卫星的时间求出钟差。然后由地面注入站发送给卫星再由卫星导航电文。

(3) 用户接收机

完整的 GPS 用户设备由接收机硬件和机内软件以及 GPS 数据的后处理软件包构成。GPS 接收机的结构分为天线单元和接收单元两大部分。

11. GNSS 测量具有哪些优势？

【答】

- (1) GNSS 测量技术能够快速、高效、准确地提供点、线、面要素的精确三维坐标以及其他相关信息，具有全天候、高精度、自动化、高效益等显著特点，广泛应用于军事、民用交通（船舶、飞机、汽车等）导航、大地测量、摄影测量、野外考察探险、土地利用调查、精确农业以及日常生活（人员跟踪、休闲娱乐）等不同领域。
- (2) 通过 GNSS 与现代通信技术相结合，使得测定地球表面三维坐标的方法由静态发展到动态；从数据后处理发展到实时的定位与导航，极大地扩展了它的应用广度和深度。
- (3) 载波相位差分法 GNSS 技术可以极大提高相对定位精度，在小范围内可以达到厘米级的精度。此外，由于 GNSS 测量技术对测点间的通视和几何图形等方面的要求比常规测量方法更加灵活、方便，完全可以用来施测各种等级的控制网。
- (4) GNSS 与全站仪结合形成的 GNSS 全站仪，在地形和土地测量以及各种工程、变形、地表沉陷监测中已经得到广泛应用，在精度、效率、成本等方面有着巨大的优越性。

12. 简述 GNSS 定位的基本原理。

【答】

利用 GNSS 进行定位的基本原理是空间后方交会，即以 GNSS 卫星和用户接收机天线之间的距离（或距离差）的观测值为基础，根据已知的卫星瞬时坐标来确定用户接收机所对应的位置即待定点的三维坐标。

13. 简述 GNSS 伪距定位测量的基本原理。

【答】

伪距定位所采用的观测值为 GNSS 伪距观测值，所采用的伪距观测值既可以是 C/A 码伪距，也可以是 P 码伪距，在定位时，接收机震荡产生与卫星发射信号相同的一组测距码，通过延迟器与接收机收到的信号进行比较，当两组信号彼

此完全重合时,测出本机信号延迟量即为卫星信号的传输时间,加上一系列的改正后乘以光速,得出卫星与天线相位中心的斜距,如果同时观测了4颗卫星,即可以按距离交会法算出站的位置和时钟误差4个未知数。

14. 从误差来源划分, GNSS 测量误差可以分为哪几类?

【答】

(1) 与 GNSS 卫星有关的误差

与 GNSS 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 GNSS 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 GNSS 卫星信号传播有关的误差

与 GNSS 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 GNSS 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。

(3) 与 GNSS 信号接收机有关的误差

与 GNSS 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。接收机时钟误差是指接收机内部安装的高精度石英钟的钟面时间相对于 GNSS 标准时间的偏差,是种系统误差,但可采取一定的措施予以消除或减弱。在 GNSS 测量中,是以接收机天线相位中心代表接收机位置的,由于天线相位中心随着 GNSS 信号强度和输入方向的不同而发生变化,致使其偏离天线几何中心而产生系统误差。

15. 什么是多路径误差? 怎样减弱多路径误差对 GNSS 测量的影响?

【答】

(1) 在 GNSS 测量中,测站周围的反射物所反射的卫星信号进入接收机天线,将和直接来自卫星的信号产生干涉,从而使观测值产生偏差,即为多路径误差。

(2) 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。

16. GNSS 控制测量常用的布网形式有哪几种?

【答】

跟踪站式、会战式、多基准站式(枢纽点式)、同步图形扩展式、单基准站式。

17. 跟踪站式 GNSS 网的特点是怎样的?

【答】

若干台接收机长期固定安放在测站上,进行常年、不间断的观测,这种观测方式与跟踪站方式相似,因此,这种布网形式被称为跟踪站式。数据处理通常采用精密星历。

接收机在各个测站上进行了不间断的连续观测,观测时间长、数据量大,而且在处理采用这种方式所采集的数据时,一般采用精密星历,因此,采用此种形式布设的 GNSS 网具有很高的精度和框架基准特性。每个跟踪站为保证连续观

测，一般需要建立专门的永久性建筑即跟踪站，用以安置仪器设备，这使得这种布网形式的观测成本很高。此种布网形式一般用于建立 GNSS 跟踪站，对于普通用途的 GNSS 网，由于此种布网形式观测时间长、成本高，故一般不被采用。

18. 会战式 GNSS 网的布网形式和特点是怎样的？

【答】

在布设 GNSS 网时，一次组织多台 GNSS 接收机，集中在一段不太长的时间内，共同作业。在作业时，所有接收机在若干天的时间里分别在同一批点上进行多天、长时段的同步观测，在完成一批点的测量后，所有接收机又都迁移到另外一批点上进行相同方式的观测，直至所有的点观测完毕，这就是会战式布网。所布设的 GNSS 网因为各基线均进行过较长时间、多时段的观测，因而具有特高的尺度精度。此种布网方式一般用于布设 A、B 级网。

19. 多基准站式 GNSS 网的布网形式及特点是怎样的？

【答】

若干台接收机在一段时间里长期固定在某几个点上进行长时间的观测，这些测站称为基准站，在基准站进行观测的同时，另外一些接收机则在这些基准站周围相互之间进行同步观测。所布设的 GNSS 网由于在各个基准站之间进行了长时间的观测，因此可以获得较高精度的定位结果。这些高精度的基线向量可以作为整个 GNSS 网的骨架，具有较强的图形结构，适合 C、D 级网。

20. 同步图形扩展式 GNSS 网的布网形式及特点是怎样的？

【答】

多台接收机在不同测站上进行同步观测，在完成一个时段的同步观测后，又迁移到其他的测站上进行同步观测，每次同步观测都可以形成一个同步图形，在测量过程中，不同的同步图形间一般有若干个公共点相连，整个 GNSS 网由这些同步图形构成。具有扩展速度快、图形强度较高且作业方法简单的优点。同步图形扩展式布网是布设 GPS 网时最常用的一种布网形式，适合 C、D 级网。

21. 单基准站式 GNSS 网的布网形式及特点是怎样的？

【答】

单基准站式布网又称作星形网方式，它是以一台接收机作为基准站，在某个测站上连续开机观测，其余的接收机在此基准站观测期间，在其周围流动，每到一点就进行观测，流动的接收机之间一般不要求同步，这样，流动的接收机每观测一个时段，就与基准站间测得一条同步观测基线，所有这样测得的同步基线就形成了一个以基准站为中心的星形。流动的接收机有时也称为流动站。单基准站式的布网方式的效率很高，但是由于各流动站一般只与基准站之间有同步观测基线，故而图形强度很弱。为提高图形强度，一般需要每个测站至少进行两次观测，适于 D、E 级网。

22. GNSS 网的选点要求有哪些？

【答】

- (1) 为保证对卫星的连续跟踪观测和卫星信号的质量，要求测站上空应尽可能的开阔，在 10° - 15° 高度角以上不能有成片的障碍物。
- (2) 为减少各种电磁波对 GNSS 卫星信号的干扰，在测站周围约 200m 的范围内不能有强电磁波干扰源，如大功率无线电发射设施、高压输电线等。
- (3) 为避免或减少多路径效应的发生，测站应远离对电磁波信号反射强烈的地形、地物，如高层建筑、成片水域等。

- (4) 为便于观测作业和今后的应用, 测站应选在交通便利、架设仪器方便的地方。
- (5) 应选择易于保存的地方设站。

23. 提高 GNSS 网精度的方法有哪些?

【答】

- (1) 为保证 GNSS 网中各相邻点具有较高的相对精度, 对网中距离较近的点一定要进行同步观测, 以获得它们间的直接观测基线。
- (2) 为提高整个 GNSS 网的精度, 可以在全面网之上布设框架网, 以框架网作为整个 GNSS 网的骨架。
- (3) 在布网时要使网中所有最小异步环的边数不大于 6 条。
- (4) 在布设 GNSS 网时, 引入高精度激光测距边, 作为观测值与 GNSS 观测值(基线向量)一同进行联合平差, 或将它们作为起算边长。
- (5) 若要采用高程拟合的方法, 测定网中各点的正常高/正高, 则需在布网时, 选定一定数量的水准点, 水准点的数量应尽可能的多, 且应在网中均匀分布, 还要保证有部分点分布在网的四周, 将整个网包含其中。
- (6) 为提高 GNSS 网的尺度精度, 可采用增设长时间、多时段的基线向量等方法。

24. 布设 GNSS 网时起算点的选取与分布的要求是怎样的?

【答】

- (1) 若要求新布设的 GNSS 网的成果与原有成果吻合较好, 则起算点数量越多越好。
- (2) 若不要求新布设的 GNSS 网的成果完全与原有成果吻合, 则一般可选 3~5 个起算点, 这样既可以保证新老坐标成果的一致性, 也可以保持 GPS 网的原有精度。
- (3) 为保证整网的点位精度均匀, 起算点一般应均匀地分布在 GPS 网的周围。尽量避免所有的起算点分布在一侧的情况。

25. GNSS 网平差包括哪几个步骤?

【答】

- (1) 提取基线向量, 构建 GNSS 基线向量网

GNSS 网平差, 首先必须提取基线向量, 构建 GNSS 基线向量网。提取基线向量时需要遵循以下几项原则: 必须选取相互独立的基线, 否则平差结果会与真实的情况不相符合; 所选取的基线应构成闭合的几何图形; 选取质量好的基线向量, 基线质量的好坏, 可以依据 RMS、RDOP、RATIO、同步环闭和差、异步环闭和差与重复基线较差来判定; 选取能构成边数较少的异步环的基线向量, 选取边长较短的基线向量。

- (2) 三维无约束平差

在构成了 GNSS 基线向量网后, 需要进行 GNSS 网的三维无约束平差, 通过无约束平差主要达到以下几个目的: 根据无约束平差的结果, 判别在所构成的 GNSS 网中是否有粗差基线, 如发现含有粗差的基线, 需要进行相应的处理, 必须使得最后用于构网的所有基线向量均满足质量要求。调整各基线向量观测值的权, 使它们相互匹配。

- (3) 约束平差/联合平差

在进行完三维无约束平差后，需要进行约束平差或联合平差，平差可根据需要在三维空间进行或二维空间中进行。约束平差的具体步骤是：指定进行平差的基准和坐标系统；指定起算数据；检验约束条件的质量；进行平差解算。

(4) 质量分析与控制

在进行质量评定时，发现有质量问题，需要根据具体情况进行处理，如果发现构成 GNSS 网的基线中含有粗差，则需要采用删除含有粗差的基线、重新对含有粗差的基线进行解算或重测含有粗差的基线等方法加以解决；如果发现个别起算数据有质量问题，则应放弃有质量问题的起算数据。

26. RTK 测量的基本原理是什么？

【答】

实时动态相对定位原理为基准站将接收到的所有卫星信息如基准站坐标、天线高等都通过无线电通信系统传递到流动站，流动站在接收卫星数据的同时也接收基准站传递的卫星数据，在流动站完成初始化后，把接收到的基准站信息传送到控制器内并将基准站的载波观测信号与本身接收到的载波观测信号进行差分处理，即可实时求得未知点的坐标。载波相位差分算法包括一次差分、二次差分和三次差分。技术主要应用二次差分算法实现实时定位。技术的关键在于数据处理和数据传输，主要有三个关键方面：一是求解初始的整周模糊度初始化，二是基准站与流动站间的数据传输，三是合适的坐标转换参数。

目前应用最多的确定整周模糊度的方法为运动中求解整周模糊度算法，它是在流动站近似坐标和协方差的基础上确定整周模糊度的搜索空间，在此空间内计算所有的可能模糊度解，然后通过比较最小方差选择最优解和次优解，最后确定整周模糊度，它能在 1 秒中内确定模糊度，对于失锁后再次锁定将更快。

27. RTK 技术的主要应用领域有哪些？

【答】

(1) 各种控制测量

传统的大地测量、工程测量采用三角网、导线网方法来施测，不仅费工费时，要求点间通视，而且精度分布不均匀，且在外业不知精度。采用常规的 GPS 方法，在外业测量过程中也不能实时知道定位精度。采用 RTK 来进行控制测量，能够实时知道定位精度，如果点位精度要求满足，用户就可以停止观测而且能够知道观测质量，这样可以大大提高作业效率。

(2) 地形图测量

采用 GNSS RTK 测图可以省去传统方法测图如全站仪测图建立图根控制网这个中间环节，从建立测图首级控制网直接进行碎部测量，同时还可以全天候的观测，这样可以大大加快测量速度，提高工作效率。

(3) 图根控制点加密

在测区首级控制网建好后要在其基础上布设图根控制网。如果用传统方法布设如使用全站仪，工作量大、速度慢、时间长，并且测量结果和精度必须经室内计算平差后才能知道。采用 RTK 建立测区图根控制网能够实时获得图根点的坐标，当达到要求的点位精度即可停止观测，大大提高了作业效率。且点与点之间不要求必须通视，只要求相邻两点之间通视即可。这使得测量更简便易行。

(4) 工程放样

在地质勘查详查、勘探阶段常需要测量定位，如钻孔定位、竖井定位、坑道坑口定位等，如果采用全站仪放样，在作业区附近控制点少、地形复杂的情况下很难完成，采用 RTK 只需将定位点的坐标输入到手簿中，系统就会定出放样的点位。由于每个点的测量都是独立完成的，不会产生累积误差，各点放样精度趋于一致。

(5) 地质特征点采集

地质勘查中，通常需要对地表的一些地质特征点进行实地坐标采集，像探槽的端点、物化探异常点、钻孔位置等。如果用全站仪在作业区控制点少、地形复杂的情况下很难实现，采用 RTK 在测区首级控制网的基础上使用简单的数据采集功能就可轻松完成。

(6) 物化探测网布设

传统的物化探测布网是采用基线加测线的方法，这种方法工作量大，效率低。采用 RTK 就可以很容易完成这项工作。测量系统有一种线放样功能，只要把一条线段的两个端点坐标输入手簿，线放样功能就会自动把这条线段上需要每隔一定距离的测点位置自动标定出来，从而可以轻松实施放样。

(7) 地质剖面测量

地质勘查中常常需要实测勘探线的地表特征，即实测地质剖面，如果用传统方法如使用全站仪测量，既要支站，又要定向，在地形复杂的情况下作业效率很低。采用 RTK 施测地质剖面，利用其线放样功能，只要把剖面的端点坐标输入手簿，在测量过程中就会自动定出剖面线的位置，把剖面上地物特征点坐标采集回来按顺序连线就可轻松绘出剖面图。

28. 采用 RTK 进行工程放样具有哪些优点？

【答】

在地质勘查详查、勘探阶段，有许多探矿工程需要测量定位，如钻孔定位、竖井定位、坑道坑口定位等，如果采用全站仪放样，在作业区附近控制点少、地形复杂的情况下很难完成，采用 RTK 测量，只需将定位点的坐标输入到手簿中，系统就会定出放样的点位。由于每个点的测量都是独立完成的，不会产生累积误差，各点放样精度趋于一致。

第 7 章 地形图测绘及应用

1. 地形图比例尺如何定义？比例尺精度有何意义？

【答】

(1) 比例尺：图上距离与对应的实地距离的比值。

(2) 比例尺精度的意义

- ① 根据测图比例尺大小确定测图的详细程度。如测绘比例尺为 1:2000 的地形图，20cm 以下的实际长度已无法在图上表示，若不是特殊的地形要素，就没有必要测量。
- ② 根据地形图要求的详细程度确定测图比例尺。如若需要表现不小于 10cm 的实际地物变化细节，测图比例尺不应小于 1:1000。

2. 何谓地形图图式？

【答】

为了保证地形图的通用性，我们国家统一使用《地形图图式》规定的符号。《地形图图式》是由国家质量监督检验检疫总局与国家标准化委员会发布的

“国家标准”，我国现行大比例尺地形图图式为《国家基本比例尺地形图图式 第一部分：1:500 1:1000 1:2000 地形图图式》（GB/T 20257.1—2007），从 2007 年 12 月 1 日开始实施。《地形图图式》中规定地物符号、地貌符号、注记与整饰标准以及使用符号的原则、方法和要求等。

3. 何谓等高线？等高线有哪些特性？

【答】

- (1) 等高线是地面上高程相等的相邻地面点连接而成的闭合曲线。某一高程的等高线可以理解为过该高程的水准面与地表面的交线。不同高程的水准面与地表面交线投影到地形图上得到不同高程的等高线，表征地表高低起伏。
- (2) 等高线的特性
 - ① 同一条等高线上各点高程相等。
 - ② 等高线是闭合曲线，在本图幅不闭合也会在相邻图幅闭合。
 - ③ 等高线遇陡崖重合，遇悬崖相交，否则不重合、不相交。
 - ④ 同一幅地形图内等高线之间平距与坡度成反比。
 - ⑤ 等高线与地性线正交，山脊等高线凸向低处，山谷线等高线凸向高处。

4. 何谓等高距、等高线平距和地面坡度？它们三者之间的关系如何？

【答】

- (1) 等高距是相邻两条等高线之间的高差。同一幅地形图上等高距相等，称为基本等高距。
- (2) 在地形图上，等高线平距是两条相邻等高线之间的水平距离即为。
- (3) 地面坡度是坡面与地面所成锐角的正切值。
- (4) 等高线平距 d 与坡度 i 成反比。二者与等高距 h 的关系为 $i = \frac{h}{d}$ 。

5. 简要说明 1:100 万地形图分幅编号方法。

【答】

- (1) 从赤道起，向两极以纬差 4° 分行，至南纬、北纬 88° ，分别分 22 行，行号依次用 A, B, C, D, ..., V 表示；从经度 180° 起，自西向东以经差 6° 分列，共 60 列，列号依次用 1, 2, 3, 4, ..., 60 表示。
- (2) 1:100 万地形图编号是行号在前，列号在后，如 J52。为区别南北半球，编号前加 N 或 S，我国领土全部位于北半球，省略 N。由于图幅的面积随纬度增高而减小，规定在纬度 60° 至 76° 之间同一行双幅合并，每幅图跨经差 12° 、纬差 4° ，在纬度 76° 至 88° 之间同一行四幅合并，每幅图跨经差 24° 、纬差 4° ，在编号中，行号不变，列号合并，如 NP47, 48、NP49, 50, 51, 52，我国位于北纬 60° 以下，没有合幅图。以两极为中心，以纬度 88° 为界的圆形区域用 Z 表示。
- (3) 我国领土 1:100 万地形图行号从 A 至 N，列号从 43 至 53。

6. 何谓矩形分幅？矩形分幅如何编号？

【答】

- (1) 大于（根据需要也可等于）1:5000 地形图采用矩形分幅。矩形分幅按照坐标线进行分幅，适合大比例尺地形图分幅。优点是便于图幅拼接，各图幅面积相对均衡，能保证重要地物在图幅中的完整性。缺点是制图区域只能一次投影，变形较大。
- (2) 矩形分幅编号通用方法是用图幅西南角坐标千米数编号，即纵横坐标以千

米为单位的。数值用“—”连接作为该图幅的编号。矩形分幅编号方法还有采用基本图幅编号法和行列编号法等。

7. 图根控制测量有哪些方法？

【答】

- (1) 图根平面控制测量可以采用图根导线、图根 RTK 测量、交会测量等方法。
- (2) 图根高程控制测量可以采用图根水准测量和图根三角高程测量方法。

8. 在大比例尺数字化测图时，如何选择地物特征点及地貌特征点？

【答】

(1) 地物特征点选择

应选取地物几何形状的特征点测绘。例如：地物轮廓的转折点、交叉点、直线端点、曲线上的曲率变化点、独立地物的中心点等。连接相应的特征点，得到与实际地物相似的图形。

- ① 凡是能依比例尺表示的地物，则测定其轮廓边界，在轮廓的几何图形中加绘地物属性符号，例如房屋的结构和层数、耕地和树林的种类等符号。一般直线型边界测两 endpoint，弧线型边界测三点，即弧线中点及两 endpoint，曲线边界根据比例尺精度测定曲率变化点。
- ② 半依比例尺表示的地物，需测定其中心线拐点，例如围墙、篱笆等。选点时注意满足其主线位置的比例尺精度要求。
- ③ 凡是面积较小，不能依比例尺表示的地物，则测定其主点位置，不同地物有不同的主点位置规定，一般来说为其中心位置，然后在中心位置处绘以相应的地物符号，如导线点、水准点、界址点、电线杆、消防栓、水井等。

(2) 地貌特征点选择

- ① 对于等高线地貌，沿着地性线选择特征点测绘，包括山顶点、谷底点、鞍部点、山脊线和山谷线上的坡度变化处、山脚线拐弯点等，如果地形变化不明显，测绘的地形点也要有一定的密度，以便准确地绘制等高线。
- ② 对于特殊地貌如陡崖、悬崖、崩塌残蚀地貌、坡、坎等，沿着边界选择特征点，更准确地绘制特殊地貌符号。

9. 何为数字化测图系统？采集数据包括哪些？

【答】

- (1) 数字化测图系统是以计算机及测图软件为核心，在外接输入输出设备的支持下，对地形空间数据和属性信息进行采集、输入、成图、输出、管理的测绘系统。数字化测图工作包括外业数据采集、内业机助成图和地形图输出三部分。
- (2) 采集的数据包括获取地形特征点的空间位置和属性信息。空间位置主要采集坐标、高程等，可以采用全站仪测量、RTK 测量、航空摄影测量及三维激光扫描等方法。属性信息主要采集地类、相关性等，采集方法有地形编码、绘制草图及拍摄相片等方式。

10. 等高线插绘原理是什么？如何插绘等高线？

【答】

- (1) 插绘的原理是“相邻两点之间坡度相同，平距与高差成正比”。
- (2) 认为沿地性线两相邻高程点间为等坡度，插绘出两高程点间通过的等高线点。当所有等高线点插绘完成，将高程相等的相邻点连接成闭合曲线，必要时情况下可以加绘间曲线和四分之一等高线。

11. 地形图图廓外有哪些内容？

【答】

图名、图号、接图表、比例尺、坡度尺、三北方向、坐标系统、高程系统、图例。

12. 纸质地形图和数字地形图有何区别？

【答】

(1) 基于数字技术电子地图的根本特征是“屏幕上可视化”，而且使用向量式图像储存，比例可放大、缩小或旋转而不影响显示效果。另外，数字地形图的地形要素可以分层显示、组合与拼接，结合虚拟现实技术可实现立体化和动态化显示并实现图上的长度、角度、面积等自动化测量。数字地形图也可以以图纸为载体进行输出，但是表达方式、图面精度及使用方法将发生改变。

(2) 纸质地形图和数字地形图区别

特征	数字地形图	纸质地形图
信息载体	计算机存取的介质	图纸
表达方法	计算机可识别的代码系统和属性特征	线划、颜色、符号、注记等
数学精度	测量精度	测量及绘图综合精度
工程应用	借助计算机及其外围设备	几何作图

13. 在纸质地形图上，用直尺量测距离和量测坐标计算距离，有何区别？

【答】

- (1) 量测两点之间图上距离，根据比例尺，计算实地距离（即图上距离与比例尺相乘）。
- (2) 量测两点坐标，根据两点间距离公式计算实地距离。
- (3) 第二种方法量测精度优于第一种，因为第一种方法受图纸变形影响。

14. 在地形图上，如何根据给定坡度设计最短路线？

【答】

若选定坡度小于 i 的最短路线，只需计算相邻两条等高线间满足要求的最短图上距离便可在图上选定路线。设比例尺分母为 M ，根据坡度 i 、等高距 h 及等高线平距 D 之间的关系，则图上两条等高线之间按坡度 i 应走的最短距离为

$$d = \frac{h}{i \cdot M}$$
。并计算起始点到最近等高线应走的最短距离 d_1 ，用卡规从起点开始，以 d_1 为半径画弧线，交起始点最近的等高线。选择一点，然后分别以 d 为半径画弧，选择路线与各等高线交点。有时可能交点不止一个，尽量选择直伸路线，还要顾及地形施工方便等。最后，将相邻的点连接起来便是按照坡度设计的最短路线。

15. 说明根据地形图制作地形断面图的步骤。

【答】

- (1) 在地形图上，连接一条直线，依次量测该直线与各条等高线交点距起始点的水平距离和交点高程。
- (2) 绘制该水平直线作为距离轴，绘制该直线的垂直直线作为高程轴。
- (3) 根据水平距离和高程将每个交点展在图上，一般距离比例尺与地形图比例尺一致。高程比例尺是距离比例尺的 10-20 倍，也可以根据实际需要确定

比例尺。

(4) 用光滑曲线依次连接各点，形成剖面图。

16. 场地平整为某高程面，说明在地形图上土方量估算的步骤（采用方格网法）。

【答】

- (1) 在测区范围内绘制方格网，一般边长为 2cm，并对方格进行编号。
- (2) 量测每个方格顶点地面高程标注在图上。
- (3) 计算设计高程。
- (4) 计算方格顶点的填挖值，确定填挖分界线。填挖值=测量高程-设计高程，挖点为“+”，填点为“-”。并确定填挖值为“0”的点，并用光滑曲线连接起来，即为填挖分界线。
- (5) 土方量估算。设每个方格面积为 a （可以通过边长和比例尺计算），不是整格的面积可以通过面积量测得到。最后累加所有挖方量和填方量。

第 8 章 施工测量的基本工作

1. 工程建设一般分为哪几个阶段？各阶段的主要测量工作是什么？

【答】

工程建设一般分为勘测设计、施工和运营管理三个阶段。

- (1) 工程勘测设计阶段的测量工作主要提供设计人员所需比例尺的地形图 and 进行其他有关测量。
- (2) 工程施工阶段的主要测量工作是施工放样（有时称测设），将设计的建（构）筑物的位置和形状在实地标定出来作为施工的依据，是为工程施工服务的；另外还包括工程监理测量。
- (3) 工程运营管理阶段的测量工作主要是工程建筑物的变形监测，变形监测又称变形观测、变形测量，有时亦称健康监测、安全监测。所谓变形，是指监测点位置的变化，被监测对象的位移、沉降、倾斜、摆动、振动等变化；所谓监测，就是用测量的手段，定期地、动态地或持续地描述出来。变形监测包括建立变形监测网，进行水平位移、沉降、倾斜、裂缝、挠度、摆动和振动等监测。

2. 何谓施工测量？其主要任务是什么？

【答】

- (1) 在工程建设施工阶段所进行的测量工作，称为施工测量。
- (2) 施工测量的主要任务是在施工控制测量的基础上，将设计的建（构）筑物的位置和形状在实地标定出来，作为施工的依据，称为放样，也叫测设。

3. 测量和测设有什么不同？

【答】

测量与测设的原理一样，但工作程序恰好相反。测量是获取客观世界中被测物体或对象的位置信息（用坐标和高程），测设是根据设计物体或对象的位置信息确定其在客观世界中的位置。

4. 何谓建筑限差？依据哪些因素确定建筑限差？并举例说明。

【答】

- (1) 建筑限差是指建筑物竣工后实际位置相对于设计位置的极限偏差，又称设计或施工允许的总误差。
- (2) 建筑限差与建筑结构、用途、建筑材料和施工方法有关。

- (3) 如按建筑结构和材料分钢结构、钢筋混凝土结构、毛石混凝土和土石结构，其建筑限差由小到大排列；按施工方法分预制件装配式和现场浇筑式，前者的建筑限差要小一些；钢结构中用高强度螺栓连接比用电焊连接法的建筑限差要小。一般工程如混凝土柱、梁、墙的建筑限差为 10-30mm；高层建筑物轴线倾斜度的建筑限差要求高于 1/1000-1/2000；钢结构的建筑限差为 1-8mm；土石结构可达 10cm；有特殊要求的工程项目，设计图纸上有明确的建筑限差要求。

5. 如何确定放样精度？

【答】

- (1) 放样的精度要求与工程性质及施工方法有着密切联系，通常根据建筑限差 Δ 确定。对于多数工程，一般先进行测量、施工方面的误差分配，然后得出测量工作应达到的精度。例如，设点位中误差 $m_{\text{点}} = \Delta/2$ ，它由测量中误差和施工中误差组成。测量中误差又由控制点误差引起和施工放样误差引起，则 $m_{\text{点}}^2 = m_{\text{测量}}^2 + m_{\text{施工}}^2 = m_{\text{控制}}^2 + m_{\text{放样}}^2 + m_{\text{施工}}^2$ 。由此可见，根据建筑限差，并给予 $m_{\text{控制}}$ 、 $m_{\text{放样}}$ 、 $m_{\text{施工}}$ 之间一定的比例关系就可以确定放样的精度。
- (2) 放样精度也可以根据《工程测量规范》(GB50026-2007) 中直接规定的部分建(构)筑物施工放样的允许误差，直接取其 1/2 确定。

6. 按照施工放样的基本内容，一般分为哪几类放样？按照施工放样的组织程序，一般分为哪两类放样？

【答】

- (1) 按照施工放样的基本内容，放样可分为角度放样、距离放样、平面点位放样和高程放样等。
- (2) 按照施工放样的组织程序，放样可分为直接法放样和归化法放样。

7. 平面点位放样和高程放样的方法有哪些？

【答】

- (1) 对于平面点位放样，常用方法有极坐标法、直角坐标法、方向线交会法、角度交会法和测边交会法等。随着全站仪和 GNSS 的出现，测量人员能够直接获取置镜点或 GNSS 流动站的坐标，从而可以实现实时、快速点位放样。
- (2) 对于高程放样，通常采用水准测量方法。近年来全站仪垂距测量法因其不量仪器高、不量觇标高、不用对中的优点而用于高差悬殊高程点的快速、高精度放样。

8. 什么是直接法放样？什么是归化法放样？

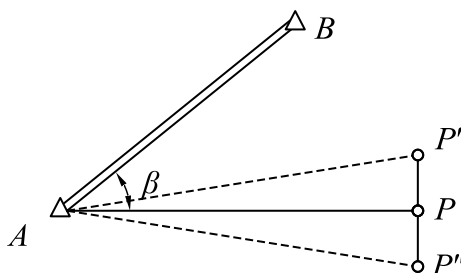
【答】

- (1) 直接法放样是根据已知点，在实地直接放样出设计量（角度或距离等）的放样方法。
- (2) 归化法放样是先用直接法放样一个过渡点（埋设临时标桩），接着测量该过渡点与已知点之间的关系（距离、角度、高差等）。把测算得到的值与设计量比较得差数，最后从过渡点出发修正这一差数把过渡点归化到更精确的位置上去，在精确位置处埋设永久标石。对于精度要求较高的放样，常采用归化法。

9. 何谓角度放样？说明正倒分中法角度放样的步骤。若采用归化法，如何放样？

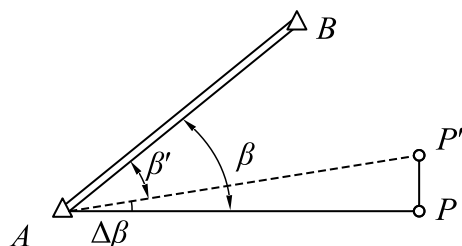
【答】

- (1) 角度放样实际上是从一个已知方向出发放样出另外一个方向，使它与已知方向间的夹角等于预定角值的工作。
- (2) 正倒分中法（直接法）角度放样的步骤



如图所示，地面上有已知控制点 A 、 B ，要求在实地放样出与已知方向 AB 夹角为 β 的另外一个方向的标桩 P 。步骤如下：在 A 点安置全站仪，盘左瞄准 B 点，读取度盘读数；松开照准部，旋转至度盘读数增加 β 后，固定照准部，在此视线方向上定出 P' ；然后倒转望远镜（盘右），用同样的步骤在视线方向上定出 P'' ；取 P' 、 P'' 的中点 P ，则 $\angle BAP = \beta$ 。

- (3) 归化法放样角度的步骤



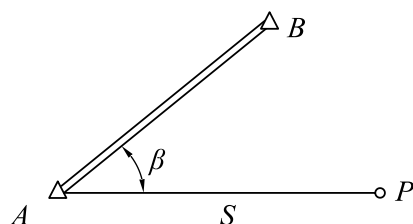
如图所示，在 A 点安置全站仪，先用直接法放样 β 角（在 A 点安置全站仪，盘左（或盘右）瞄准 B 点，读取度盘读数；松开照准部，旋转至度盘读数增加 β 后，固定照准部，在此视线方向上定出过渡点 P' ），再用适当的测回数较精密地测出 $\angle BAP' = \beta'$ ，并测量 AP' 的距离为 S ，将 β' 与设计值 β 比较得差数 $\Delta\beta = \beta' - \beta$ ，进而求出归化值 $PP' = \frac{\Delta\beta}{\rho} \cdot S$ 。接着，从 P' 点出发，在与 AP' 相垂直的方向上，向外（当 $\Delta\beta < 0$ ）或向内（当 $\Delta\beta > 0$ ）归化 PP' 即得到待定点 P ，则 $\angle BAP = \beta$ 。

10. 说明极坐标法点位放样的原理、步骤，并写出放样点位中误差估算公式。

【答】

- (1) 极坐标法点位放样的原理

极坐标法放样是通过一个水平角和一个距离来放样点位的，也就是说，角度和距离的放样是极坐标法放样的基本操作。



如图所示，设 A 、 B 为已知的控制点， P 为待放样点。根据 A 、 B 已知的坐标 (x_A, y_A) 、 (x_B, y_B) 和 P 的设计坐标 (x_P, y_P) ，计算极坐标法点位放样的放样数据 β 和 S 。

- ① 计算 A 、 P 和 A 、 B 的象限角 R_{AP} 、 R_{AB} 。

$$R_{AP} = \arctan \frac{y_P - y_A}{x_P - x_A}; \quad R_{AB} = \arctan \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}。$$

- ② 根据 R_{AP} 、 R_{AB} 所在象限将 R_{AP} 、 R_{AB} 换算为方位角 α_{AP} 、 α_{AB} 。

- ③ 放样角度 $\beta = \alpha_{AP} - \alpha_{AB}$ 。

- ④ 放样距离 $S = \sqrt{(x_P - x_A)^2 + (y_P - y_A)^2} = \frac{\Delta x_{AP}}{\cos \alpha_{AP}} = \frac{\Delta y_{AP}}{\sin \alpha_{AP}}$

- (2) 极坐标法点位放样的步骤

极坐标法放样 P 点时，将全站仪安置在 A 点，以 B 点定向，放样角度 β 得一方向线，在此方向线上放样距离 S 就可以得到设计点 P ，用标桩固定。实际作业时，为提高 P 点的放样精度还可以采用一测回或多测回放样。

- (3) 极坐标法点位放样的中误差估算公式

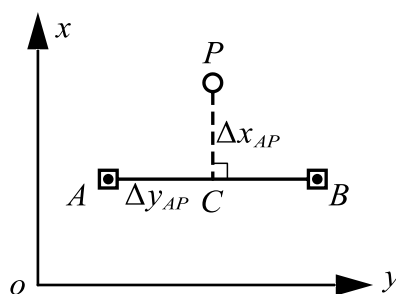
如果只考虑放样角度的误差 m_β 和放样距离的误差 m_S 对于 P 的点位影响，

则极坐标法放样 P 点的点位中误差 m_P 可估算为 $m_P = \sqrt{\left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \cdot S^2 + m_S^2}$ 。

11. 简要说明直角坐标法点位放样的适用场合及理由，简述放样步骤并写出点位放样中误差估算公式。

【答】

- (1) 直角坐标法点位放样适用于在建筑工业场地常常建立的控制点连线平行于坐标轴的建筑方格网。因为待放样点与控制点间的坐标差就是放样元素。
- (2) 直角坐标法点位放样的放样步骤



如图所示， A 、 B 为建筑方格网点，坐标已知， P 为待建矩形建筑物的一个角点。设计坐标为 (x_P, y_P) ，则直角坐标法放样 P 的放样元素为

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{AP} &= x_P - x_A \\ \Delta y_{AP} &= y_P - y_A \end{aligned} \right\}$$

放样 P 点时，先将全站仪安置在 A 点，以 B 点定向，并自 A 点沿 AB 放样距离 Δy_{AP} 得到 C 点；将全站仪置于 C 点，仍以 B 点定向，逆时针放样 90°

得到 CP 方向，同样自 C 沿此方向放样距离 Δx_{AP} 即可以得到设计点 P ，固定标桩。

(3) 直角坐标法点位放样的中误差估算公式

如果只考虑放样角度的误差和放样距离的误差对于 P 的点位影响，则直角

坐标法放样 P 的点位中误差可估算为 $m_P = \sqrt{m_{\Delta x_{AP}}^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \cdot \Delta x_{AP}^2 + m_{\Delta y_{AP}}^2}$ 。

12. 方向线交会法适用于什么场合？如何放样？放样方法与前方交会法有何区别？

【答】

(1) 方向线交会法适用于建筑物细部点平面位置的测设。

(2) 方向线交会法的放样方法

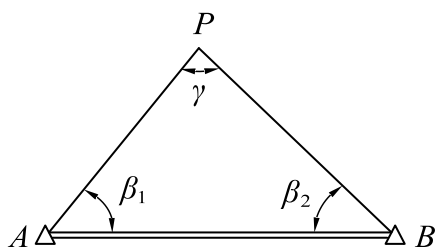
1、1'及 2、2'是通过量距，在方格网边上定出的方向线的定向点，在定向点 1 及 2 上安置经纬仪，各自瞄准 1'及 2'两方向线的交点即为放样点 P 的位置。

(3) 放样方法与前方交会法的区别

方向线交会法在未知点设站观测已知点，前方交会法在已知点设站观测未知点。

13. 如何计算角度交会法点位放样数据？

【答】



(1) 角度交会法放样点位是分别在两个或两个以上控制点上放样角度得到两条方向线，则方向线交点即为待放样点位。其放样元素是两个交会角，如图所示， A 、 B 为已知控制点，。放样数据 β_1 、 β_2 可通过 A 、 B 的已知坐标和 P 点的设计坐标求得。

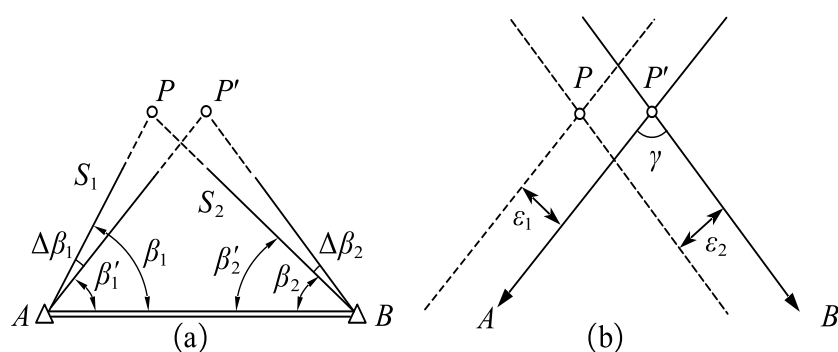
(2) 当放样精度要求较高时，可采用归化法放样。如图 (a)，先用角度交会法（分别在 A 、 B 放样角度 β_1 、 β_2 ）得到过渡点 P' ，然后精确测量 $\angle P'AB = \beta'_1$ ，

$\angle ABP' = \beta'_2$ ，并计算角差 $\Delta\beta_1 = \beta'_1 - \beta_1$ 、 $\Delta\beta_2 = \beta'_2 - \beta_2$ ，然后计算归化

值 $\varepsilon_1 = \frac{\Delta\beta_1}{\rho} \cdot S_1$ ， $\varepsilon_2 = \frac{\Delta\beta_2}{\rho} \cdot S_2$ 。当 ε_1 、 ε_2 较小时，用图解法确定 P 。如图

(b) 所示，在纸上刺出点 P' ，画夹角为 γ 的两条直线，分别指明 $P'A$ 、 $P'B$ 的方向，然后作 $P'A$ 、 $P'B$ 的平行线，其间距分别为 ε_1 、 ε_2 ，则平行线交点即为 P 点。将图纸上 P 点与实地的过渡点重合，并使图纸上的 $P'A$ 、 P'

B 方向与实地方向重合, 这时图纸上的 P 点位置就是 P 点的设计位置。



14. 距离交会法放样点位的交会角应尽量控制在什么范围?

【答】

30° - 150° 。

15. 全站仪坐标放样与 RTK 坐标放样有何不同?

【答】

(1) 全站仪坐标测量法

把全站仪安置在已知点 A 上, 输入已知点 A 、后视点 B 及待放样点 P 的坐标, 瞄准后视点定向后, 按下反算方位角键, 则仪器自动将测站与后视的方位角设置在该方向上。接着按下放样键, 仪器就会自动在显示屏上用左右箭头提示, 应该将仪器向左转还是向右转, 使仪器到达设计的放样方向上。再通过距离测量, 仪器自动提示棱镜前后移动的距离, 直至放样出设计距离, 方便地完成点位放样。若需要放样下一个点位, 只要重新输入或调用待放样点的坐标, 再按下放样键, 仪器会自动提示旋转的角度和移动的距离, 操作同上。

用全站仪放样点位, 可事先输入气象元素 (温度、气压), 仪器会自动进行气象改正。因此用全站仪放样点位, 既能保证精度, 同时操作方便, 无需任何手工计算。且放样点位时如果视线受阻, 还可以利用全站仪的自由设站功能, 即选一通视良好的设站点, 通过全站仪测量至少两个已知点的方向和距离, 就可以利用其自由设站功能解算出新站点的坐标, 再以其为基础, 完成后续放样工作。

(2) RTK 法

RTK 能够实时提供任意坐标系中的三维坐标数据, 是目前实时、准确地确定待测点位的最佳方式, 因而 RTK 法在物化探测量、道路工程测量等测量工作中已得到广泛应用。野外作业时, 步骤如下:

- ① 将基准站 GNSS 接收机安置在参考点上。
- ② 打开接收机, 读入工程项目参数 (当地坐标系的椭球参数、中央子午线、测区西南角和东北角的大致经纬度、测区坐标系间的转换参数), 输入参考点的施工坐标和天线高, 输入放样点的设计坐标。
- ③ 流动站接收机的手控器上实时显示流动站的施工坐标。
- ④ 将实时位置与设计值比较, 指导放样。

RTK 能够在不通视条件下远距离传递三维坐标, 不产生误差累积, 可以快速、高效地完成放样任务, 有着其他仪器所不可比拟的优势。

16. 举例说明哪些施工场合需要进行高程放样？

【答】

场地平整、基坑开挖、建筑物地坪高程确定、隧道底板高程标定、线路按设计坡度放样等。

17. 采用水准测量法进行高程放样，有一般法、倒尺法和悬尺法，各适用于什么情况？

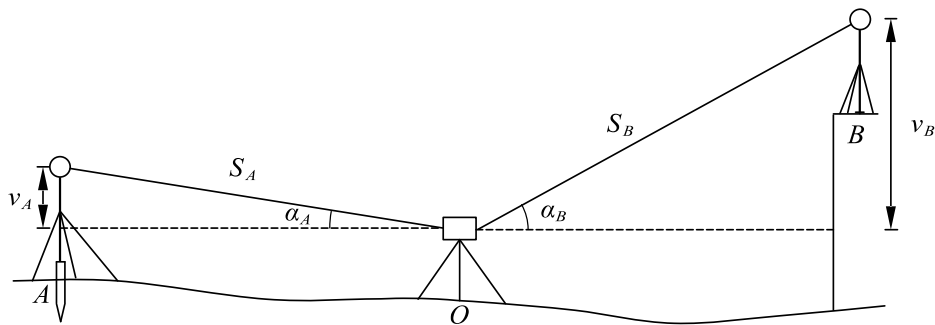
【答】

- (1) 一般法适用于要求在实地定出与待放样高程相应的高程位置。
- (2) 倒尺法适用于待放样的高程高于仪器视线高程时，比如放样隧道顶板标高。
- (3) 悬尺法适用于待放样高程与已知水准点高程之间的高差很大时，如向高楼或深坑传递高程，这时可以采用悬挂钢尺代替水准尺放样高程。

18. 不量高全站仪垂距测量法如何进行高程放样？该法有何优点？

【答】

- (1) 如图所示，在 O 处安置全站仪，在已知高程点 A 及待放样高程 B 处架设等高的棱镜。测量 A 、 B 的垂距分别为 v_A 、 v_B （代数值），则 A 、 B 两点之间的高差 $h_{AB}=v_B-v_A$ 。由此可求出 B 点高程 $H_B=H_A+h_{AB}=H_A+v_B-v_A$ 。将测得的 B 点高程与设计值比较，在 B 处，指挥并归化放样出高程 H_B ，做上标记。



- (2) 对于起伏较大的高程放样，如大型厂房屋架的高程放样，用水准测量法放样比较困难，则可以采用不量高全站仪垂距测量法进行高程放样。该法不仅解决了大高差的高程放样问题，而且无须量取仪器高，作业速度快，放样精度高。

19. 何谓内插定线？何谓外插定线？

【答】

- (1) 内插定线是在已知的两点之间放样一系列点，使它们位于这两点所在的直线上。
- (2) 外插定线是在已知的两点延长线上放样一系列点。

20. 简述铅垂线放样的几种方法。

【答】

- (1) 悬吊垂球法
该法是用钢丝悬吊重锤构成铅垂线，以控制建筑结构竖向偏差的方法。
- (2) 全站仪垂直投影法
在两个大致垂直的方向上安置全站仪，两仪器置平后视准轴上下转动形成两个铅垂面相交获取铅垂线。
- (3) 激光垂准仪法
激光垂准仪是一种竖向测量的专用仪器，可以发射铅垂激光束来获得铅垂

线。为提高投点精度，采用光电探测系统，激光束铅垂精度可达 $0.3''-0.5''$ 。

21. 何谓平面曲线、竖曲线和立交曲线？

【答】

- (1) 在平面内连接不同方向的曲线称为平面曲线。
- (2) 在线路的纵断面连接两个不同坡度的曲线称为竖曲线。
- (3) 连接不同平面上直线的曲线称为立交曲线。

22. 缓和曲线和单圆曲线有何不同？

【答】

平面曲线按其半径不同分为圆曲线和缓和曲线。

- (1) 缓和曲线是变半径曲线，用来连接直线和圆曲线或者连接两个不同半径的圆曲线。
- (2) 平面曲线按照连接形式不同，分为单圆曲线、缓圆曲线、复曲线、回头曲线等。

23. 单圆曲线的主点包括哪几个？都用什么符号表示？圆曲线的要素有哪些？

【答】

- (1) 单圆曲线的主点包括直圆点 (ZY)、曲中点 (QZ)、圆直点 (YZ)。
- (2) 圆曲线的要素有半径 R 、偏角 α 、切线长 T 、外矢距 E 、和切曲差 q 。

24. 如何根据曲线半径 R 和偏角 α 计算圆曲线的切线长 T 、曲线长 L 、外矢距 E 和切曲差 q ？

【答】

$$T = R \cdot \tan \frac{\alpha}{2}, \quad L = \frac{\pi}{180^\circ} \alpha \cdot R, \quad E = R \cdot \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right), \quad q = 2T - L。$$

25. 写出单圆曲线主点里程的计算公式。

【答】

$$ZY_{\text{里程}} = JD_{\text{里程}} - T, \quad QZ_{\text{里程}} = ZY_{\text{里程}} + \frac{L}{2}, \quad YZ_{\text{里程}} = QZ_{\text{里程}} + \frac{L}{2}。$$

并用 $YZ_{\text{里程}} = JD_{\text{里程}} + T - q$ 验证计算结果。

26. 说明单圆曲线主点放样方法。

【答】

- (1) 在 JD 上安置全站仪，分别以线路的两个切线方向定向，自 JD 起沿两切线方向分别量出切线长 T ，即得曲线起点 ZY 和曲线终点 YZ 。
- (2) 在 JD 上以 ZY 定向转角 $\frac{180^\circ - \alpha}{2}$ 得分角线方向，沿此方向量出外矢距 E 即得曲中点 QZ 。

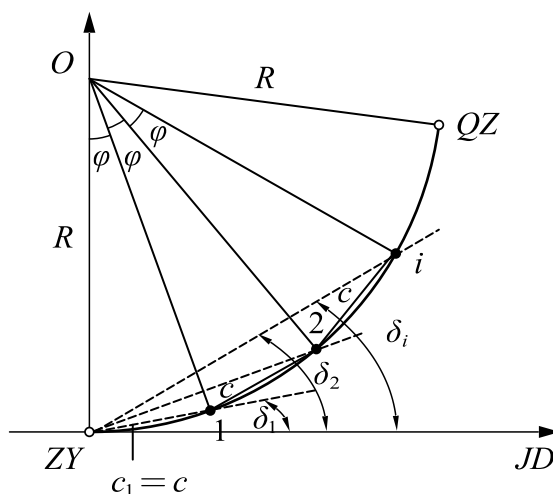
- (3) 圆曲线主点对整条曲线起控制作用，放样完成后还要对其进行检核。

27. 说明偏角法放样单圆曲线细部点的方法。

【答】

偏角法实质是方向与距离的交会法，即依据曲线点 i 切线偏角 δ_i 和弦长 c_i 作方向与定长的交会。放样曲线细部点如图所示。在 ZY 点安置全站仪，以 JD 定向。根据偏角 δ_1 和弦长 $c_1(ZY-1)$ 放样细部点 1；根据偏角 δ_2 和弦长 $c_2(1-2)$ 放样细部点 2，依此类推，可测至 QZ 点。然后搬站至 YZ 点，放样曲线另一半。可根据偏角（弦切角），等于弧长所对圆心角 φ_i 的一半的几何原理，利用弧长

l_i 和半径 R 计算放样的偏角 $\delta_i = \frac{\varphi_i}{2} = \frac{l_i}{2R} \rho$ 。

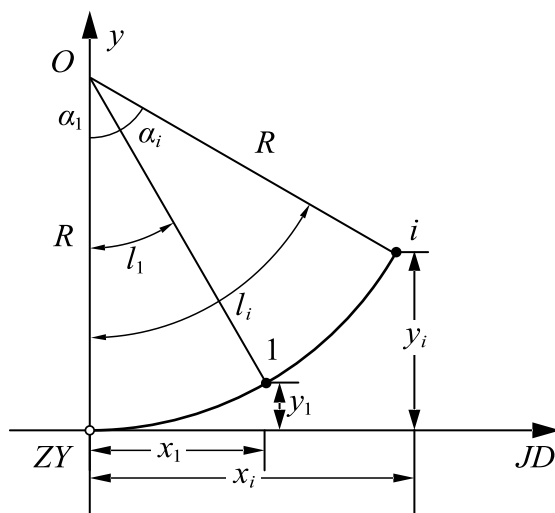


实际工作中一般要求圆曲线细部点的里程为 20m（或 10m）的整倍数，但曲线的起点 ZY（或 YZ）的里程经常不是 20m 的整倍数，所以在曲线的两端就会出现分弦（或称破链）。圆曲线的半径一般较大，此时认为可用弧长代替弦长，即 $c_1 = l_1$, $c_2 = c_3 = \dots = c_{n-1} = c$ 。 $c_n = l_n - l_{n-1}$ 。放样的偏角数据可按如下公式计算。放样 δ_i 角时，注意正拨（曲线在切线的右侧）和反拨（曲线在切线的左侧）。

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= \frac{\varphi_1}{2} = \frac{l_1}{2R} \rho \\ \delta_2 &= \delta_1 + \frac{\varphi}{2} = \delta_1 + \delta \\ &\dots\dots \\ \delta_n &= \delta_1 + (n-2)\delta + \frac{\varphi_n}{2} \end{aligned} \right\}$$

28. 说明切线支距法放样单圆曲线细部点的方法。

【答】



切线支距法实质是直角坐标法，即根据曲线点的坐标 (x_i, y_i) 放样细部点。如图所示，建立以 ZY 点（或 YZ 点）为坐标原点，以切线方向为 x 轴，过 ZY 点（或

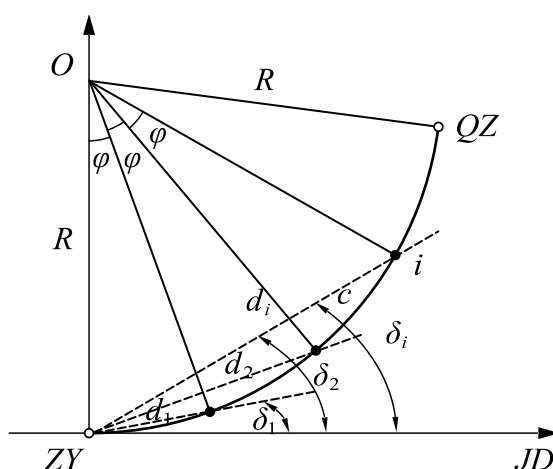
YZ 点) 的垂线方向为 y 轴的直角坐标系, 则曲线上任意一点的坐标可表示为:

$$\begin{cases} x_i = R \cdot \sin \varphi_i = R \cdot \sin \left(\frac{l_i}{R} \right) \\ y_i = R(1 - \cos \varphi_i) = R \left(1 - \cos \left(\frac{l_i}{R} \right) \right) \end{cases}$$

放样时, 可在 ZY 点安置全站仪, 沿切线方向自 ZY (或 YZ) 依次量出 x_i , 定出各垂足点, 然后在各垂足点处沿着 x 轴垂直方向分别量出 y_i , 即可定出各细部点。

29. 说明采用主点设站的全站仪极坐标法放样单圆曲线细部点的方法。

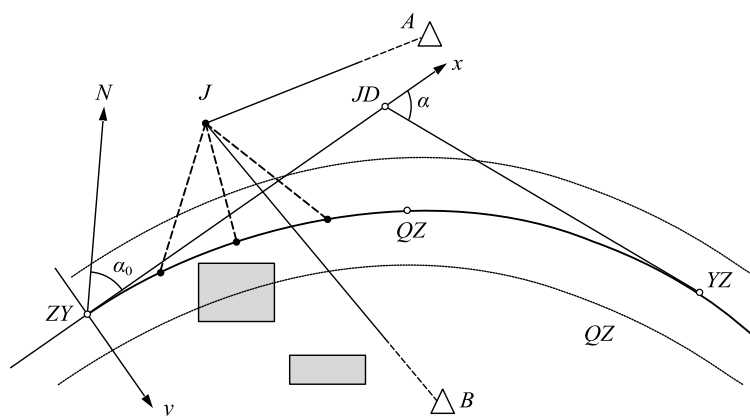
【答】



如图所示, 测站安置在 ZY 点上, 根据曲线上任意一点的切线偏角 δ_i 及该点至曲线起点 ZY 的弦长 d_i 即可放样细部点。按照偏角 (弦切角) δ_i 等于弧长所对圆心角 φ_i 的一半的几何原理, 放样数据 (δ_i , d_i) 可由弧长 l_i 及半径 R 求得。放样时, 将仪器置于 ZY 点, 以 JD 方向定向, 配置度盘为 $0^\circ 00' 00''$, 依次放样 δ_i 角及相应的弦长 d_i , 则得曲线上各细部点。

30. 什么是自由设站法? 当曲线主点不能设站时, 如何采用自由设站法实现单圆曲线细部点放样?

【答】



(1) 自由设站指全站仪通过与已知点连测, 快速确定测站在三维空间中的位置。

(2) 如果曲线主点上不能设站或放样时通视受阻, 可以选一个与曲线有着良好通视条件且能看到至少 2 个已知点的位置设站。如图所示, 在已知点 J 设站, 依次照准至少两个已知点上的棱镜 (如 A 、 B 点), 在程序控制系统配合下就能快速算出新的测站点坐标。根据测站坐标和曲线上任意一点坐标, 依极坐标法放样原理即可计算放样数据, 完成放样工作。

31. 带有缓和曲线的圆曲线主点包括哪几个? 都用什么符号表示? 其曲线要素如何计算?

【答】

- (1) 有缓和曲线的圆曲线有 5 个, 分别是直缓点 (ZH)、缓圆点 (HY)、曲中点 (QZ)、圆缓点 (YH)、缓直点 (HZ)。
- (2) 引入缓和曲线参数 m 、 p 、 β_0 , 其含义为内移量 p 使得切线增长了 m , 圆曲线的圆心角也减少了 $2\beta_0$ 。若圆曲线半径 R 及缓和曲线长度 l_0 由设计给出, 线路的转角 α 在定测时测出, 则有缓和曲线的圆曲线其他要素切线长 T 、总曲线长 L 、外矢距 E 、和切曲差 q 和缓和曲线参数 m 、 p 、 β_0 如下公式计算。

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta_0 = \frac{l_0}{2R} \cdot \rho \\ m = \frac{l_0}{2} - \frac{l_0^3}{240R^2} \\ p = \frac{l_0^2}{24R} \\ T = (R + p) \cdot \tan \frac{\alpha}{2} + m \\ L = \frac{\pi}{180^\circ} (\alpha - 2\beta_0) \cdot R + 2l_0 \\ E = (R + p) \cdot \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) - R \\ q = 2T - L \end{array} \right.$$

32. 写出带有缓和曲线的圆曲线主点里程计算公式。

【答】

$$ZH_{\text{里程}} = JD_{\text{里程}} - T, \quad HY_{\text{里程}} = ZH_{\text{里程}} + l_0, \quad QZ_{\text{里程}} = ZH_{\text{里程}} + \frac{L}{2},$$

$$HZ_{\text{里程}} = QZ_{\text{里程}} + \frac{L}{2}, \quad YH_{\text{里程}} = HZ_{\text{里程}} - l_0。$$

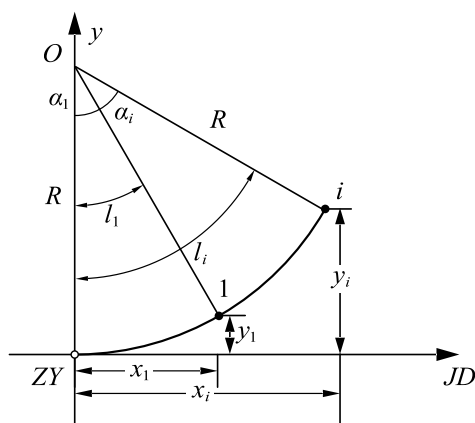
并用 $HZ_{\text{里程}} = JD_{\text{里程}} + T - q$ 验证计算结果。

33. 说明带有缓和曲线的圆曲线主点放样方法。

【答】

- (1) 在 JD 上安置全站仪, 分别以线路的两个切线方向定向, 自 JD 起沿两切线方向分别量出切线长 T , 即得直缓点 ZH 和缓直点 HZ 。
- (2) 在 JD 上以 ZH 定向转角 $\frac{180^\circ - \alpha}{2}$ 得分角线方向, 沿此方向量出外矢距 E 即得曲中点 QZ 。

- (3) 根据 HY 和 YH 的坐标, 采用切线支距法放样。如图所示建立以 ZH (HZ) 点为坐标原点, 以切线方向为 x 轴, 过 ZH (HZ) 点的垂线方向为 y 轴的直角坐标系。放样时, 可在 ZH 点安置全站仪, 沿切线方向自 HY (YH) 依次量出 x_i , 定出各垂足点, 然后在各垂足点处沿 x 轴垂直方向分别量出 y_i , 即可定出 HY (YH) 点。



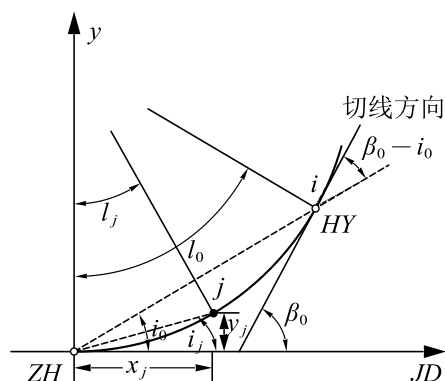
34. 阐述偏角法放样带有缓和曲线的圆曲线细部点的方法。

【答】

用偏角法放样有缓和曲线的圆曲线细部点时缓和曲线段和圆曲线段分开放样。

(1) 如图所示, 对缓和曲线段一般按固定弦长 c (10m 或 20m) 等分缓和曲线,

则缓和曲线上第 j 点的放样偏角值 $i_j = \tan i_j = \frac{y_j}{x_j} = \frac{l_j^2}{6R \cdot l_0}$ 。



鉴于缓和曲线细部点一般为其等分点, 设有 $n-1$ 个等分点, 把 $ZH-HY$ 段的缓和曲线分成了 n 份, 则偏角值的计算可简化为:

$$\begin{cases} i_n = i_0 = \frac{l_0}{6R} = \frac{1}{3} \beta_0 \\ i_1 = \frac{1}{3n^2} \beta_0 \\ i_j = j^2 \cdot i_1 \\ \dots \end{cases}$$

在 ZH 点安置全站仪, 以 JD 定向。根据偏角 i_1 和弦长 $c_1(ZY-1)$ 放样细部点 1; 根据偏角 i_2 和弦长 $c_2(1-2)$ 放样细部点 2, 依此类推, 可测至 QZ 点。然后搬站至 HY 点, 放样曲线另一半。

35. 阐述切线支距法放样带有缓和曲线的圆曲线细部点的方法。

【答】

(1) 在缓和曲线部分

如图所示, 以 ZH 点为坐标原点, 以切线为 x 轴。在缓和曲线内, 距 ZH 点

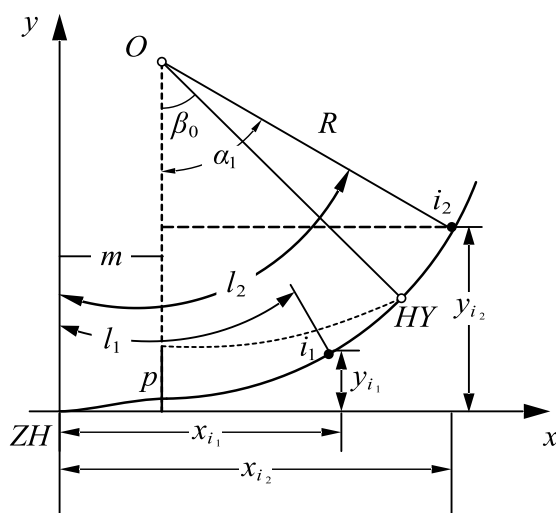
$$\text{为 } l_1 \text{ 的 } i_1 \text{ 点在此坐标系内的坐标为 } \begin{cases} x_{i_1} = l_1 - \frac{l_1^5}{40R^2l_0^2} \\ y_{i_1} = \frac{l_1^3}{6Rl_0} \end{cases}。$$

$$\text{当 } l = l_0 \text{ 时, 则 } \begin{cases} x_0 = l_0 - \frac{l_0^3}{40R^2} \\ y_0 = \frac{l_0^2}{6R} \end{cases}。 \text{此式即为测设曲线主点 } HY \text{ 和 } YH \text{ 的资料。}$$

(2) 在圆曲线部分

设曲线上有一点 i_2 , 距 ZH 点曲线长为 l_2 , 由图可得 i_2 点坐标为:

$$\begin{cases} x_{i_2} = R \cdot \sin\left(\frac{l_2 - l_0}{R} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} + \beta_0\right) + m \\ y_{i_2} = R\left(1 - \cos\left(\frac{l_2 - l_0}{R} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} + \beta_0\right)\right) + p \end{cases}$$



36. 采用全站仪自由设站法放样带有缓和曲线的圆曲线细部点的两个关键要点是什么?

【答】

- (1) 判断待放样点所在曲线单元并计算线路中桩、左右边桩的测量坐标。
- (2) 根据测站、后视点及测设点的坐标计算极坐标放样元素。

37. 何种情况下需要设定复曲线？复曲线放样的关键要点是什么？

【答】

- (1) 复曲线往往是为了克服线路转向时地形的限制而设定。
- (2) 复曲线放样的关键要点是是在于现场选定的两个曲线的交点的位置，并测定路线的转向角及选定的两个曲线的交点间的距离。

38. 何谓变坡点？何谓坡度代数差？在何种情况下需要加设竖曲线？

【答】

- (1) 纵断面上坡度变化之点称为变坡点。
- (2) 在变坡点处，相邻两坡度的代数差称为变坡点的坡度代数差。
- (3) 为了缓和坡度在变坡点处的急剧变化，我国I、II级铁路的变坡点处的两相邻坡度的代数差 Δi 应分别小于 0.003 和 0.004。当 Δi 超过此限值时，应设置竖曲线。

39. 写出计算竖曲线要素的实用公式。

【答】

竖曲线半径 R 由设计给定，由于线路允许的坡度一般较小，纵断面上的转折角 α 可用坡度代数差代替，并记变坡点处的两相邻坡度的代数差为 Δi ，切线长为 T 、总曲线长为 L 、外矢距为 E 。由于 α 也很小，则计算公式为

$$\begin{cases} T = R \cdot \tan \frac{\alpha}{2} = \frac{R}{2} \Delta i \\ L \approx 2T \\ E = \frac{T^2}{2R} \end{cases}$$

40. 说明竖曲线放样方法。

【答】

竖曲线放样常用切线支距法，建立以竖曲线起点为原点，切线方向为 x 轴的坐标系，因竖曲线两相邻坡度及纵断面上的转折角很小，可认为半径方向的 y 值等于该点处切线与曲线的高程差，于是有 $y = \frac{x^2}{2R}$ 。曲线上各点设计高程可由各点的切线高程加减（凸-、凹+） y 值获得。放样时，把切线长 T 和 x 值均作平距处理，认为产生的误差可以忽略。根据切线长 T ，可由变坡点定出曲线的起点和终点以及放样高程；接着根据 x 定出各细部点。根据附近的已知高程点进行各点的设计高程的放样。

第 10 章 物化探工程测量

1. 什么是物化探工程测量？

【答】

物化探工程测量是地球物理勘探工程测量和地球化学勘探工程测量的合称，简称物化探测量。它是应用大地测量、航空摄影测量与工程测量等方法，解决物化探工程中的空间定位问题。

2. 规则测网和非规则测网各适用于多大比例尺的物化探工作？它们是如何布设于实地的？

【答】

一般小于 1:5 万比例尺的物化探工作常采用非规则测网，大于或等于 1:5 万比例尺的物化探工作常采用规则测网；

- (1) 非规则测网是按照物化探工作比例尺所规定的测点密度，在一定范围内构成的具有一定自由度的面状测网。通常由物化探人员与测量人员初步议定测区范围、路线和点距然后测量人员结合测区实际情况尽量均匀布点，也可能沿一条路线布点进行路线测量再由物化探人员进行物理观测（采样）。
- (2) 规则测网是依据物化探工作比例尺规定的网点密度（线距×点距）所构成的矩形或正方形测网。规则测网先布设基线，基线方向平行于矿体走向，最好通过矿体异常轴。在基线方向上按线距设置基线点然后通过基线点布设垂直于基线的测线，在测线方向上按点距设置测点，基线与测线组成测网。

3. 测网密度如何表示？说明它与工作比例尺的相关性？

【答】

用“线距×点距”表示测网密度，例如，线距为 50m，点距为 20m 时，测网密度表示为“50×20”。测网密度和大小依工作比例尺和测区大小而定。通常采用的工作比例尺越大，线距和点距越小。

4. 如何根据物化探工作比例尺确定测网的线距和点距？

【答】

线距等于图上 1cm 对应的实地距离，点距等于图上 1mm-5mm 对应的实地距离。

5. 规则测网中的自由网和固定网有何不同？

【答】

- (1) 适用性不同：自由网用于新测区，固定网常用于工作过的测区或在已有测网基础上扩展的测区，也用于大面积的新测区。
- (2) 测网布设要求不同：自由网一般要求测线（或基线）方向可以在一定范围内变动，测点位置不做具体规定，一般在实地先布设基线网，基线网合格后再布设测线形成测网；而固定网是先在地形图上设计测网，计算测设数据，然后进行实地测设。
- (3) 测网位置确定方法不同：自由网一般先实地布设，然后通过连测来确定测网位置；而固定网是在图上设计测网位置，然后通过测设将设计的测网位置布设于实地。

6. 测网的布设方式有哪些？

【答】

利用地形图或影像布设测网、利用全站仪布设测网和利用 RTK 法布设测网等。

7. 物化探测量的主要任务有哪些？

【答】

- (1) 物化探测量设计。
- (2) 物化探控制测量。
- (3) 物化探测网及剖面的布设。
- (4) 重要地质标志、异常点等与测网的连测。
- (5) 工作报告的编写。

8. 说明物化探测网设计的主要步骤。

【答】

根据物化探的任务、要求（包括勘测目的、测区位置、测区范围、工作比例尺、测网密度、测线方位角、测网位置和执行的测量规范等）进行物化探测网的设计。

计，具体内容包括：

- (1) 基线条数、方位、通过位置、检核方法、连测控制点、连测方法、布设基线方法。
- (2) 测线条数、布设方法、检核方法。
- (3) 测点编号。
- (4) 仪器设备。
- (5) 人员组织。
- (6) 上交资料等。

9. 物化探测量的测区范围如何划定？

【答】

根据物化探工作任务书要求及测区具体条件确定。

- (1) 普查工作的测区，范围一般较大，应包括整个地质条件有利地段；详查工作一般根据普查发现的地质异常情况划定测区范围，测区范围要大于探测对象或异常分布范围，使获得的异常轮廓完整；
- (2) 兼顾测区边界整齐原则和使测区与附近曾做过的物化探工作区相衔接，也要考虑今后物化探工作的扩展空间。

10. 物化探测网的基线起何作用？如何确定基线位置？

【答】

- (1) 基线主要用于控制和布设测线。
- (2) 基线方向平行于矿体走向，最好通过矿体异常轴。当测区内已有或设计有物化探工程时，应尽可能兼顾或与其一致，以便资料对比。基线位置要考虑通视较好、便于布设、连测和保存。

11. 如何确定物化探网的测线方位？

【答】

测线以垂直于探测对象或已知异常的走向为原则，往往与基线相垂直（或者说与异常走向相垂直）布设测线。当异常走向改变时，测线也应随着改变。但不应过于杂乱。

12. 说明测点编号的基本原则。

【答】

- (1) 测点编号用分数式表示，分母代表测线号，分子代表测点号，分子和分母都是由南向北、由西向东递增。
- (2) 考虑到今后工作发展，测网西南角点一般不从 $\frac{0}{0}$ 起编，而从某整数起编，

如 $\frac{1000}{1000}$ 。

- (3) 目前生产中常用编号方法有连续编号法、双号法、跳号法、里程编号法等。

13. 物化探测网如何施测？

【答】

- (1) 采用传统方法如全站仪布设测网时，物化探测网的施测分为基线的布设和测线的施测。根据拟定基线位置，先确定起始基点，然后测设基线方向，按线距确定其它基点。特殊情况下设转站点，并通过与已知点联测进行检核。基线布设经检核合格后，方可布设测线。测线可起闭于控制点、基线点、基线转站点的任何两点之间。布设方法与基线基本相同，只是精度要

求较低。

- (2) 采用RTK法布设测网时，一般采用基准站方式或CORS方式，结合设计的各测线点坐标，逐条测线逐点进行点位放样，并通过不少于3%的复测点进行质量检查。

14. 为什么要进行物化探网的高程测量？高程测量可采用什么方法？

【答】

- (1) 重力勘探时，为进行重力值的改正，需要测定所有测点和基点的高程，以确定它们相对于重力总基点的高差。
- (2) 高程测量一般采用水准测量、三角高程测量、全站仪垂距测量等方法。随着GNSS技术普及，GNSS高程拟合也成为物化探高程测量的一种有效方法。

15. 为什么要进行测网连测与埋石？

【答】

测网连测是为了把自由网纳入到统一坐标系统中，为地质、物化探成果在地形图上正确表示提供数学基础。埋石是在实地标定测网和异常位置，以便今后恢复测网及满足进一步布设地质、探矿工程的需要。连测点主要是埋石点。此外对重要的地质标志（地质点、探槽、浅井和钻孔等）以及影响异常解释的地物，如铁路，高压线等也要连测。

16. 使用全站仪布设物化探测网，如何检查测网质量？

【答】

分为基线的质量检查和测线的质量检查。

- (1) 基线的质量检查贯穿于布设的全过程中，其检查方法有闭合检核、附和到已知点上以及连测检核等。经检查发现问题，及时处理。每条基线布设的精度，

以其闭合差 f_G 表示， $f_G = \sqrt{(X_{\text{联测}} - X_{\text{已知}})^2 + (Y_{\text{联测}} - Y_{\text{已知}})^2}$ 。其中， $X_{\text{联测}}$ 、

$Y_{\text{联测}}$ 、 $X_{\text{已知}}$ 、 $Y_{\text{已知}}$ 分别为连测坐标和已知坐标。然后与允许闭合差比较，当小于允许闭合差时，则基线质量合格。

- (2) 测线的质量检查地段应均匀分布全测区，尤其应对测区最弱点部位重点检查。检查的数量和要求通常按《物化探工程测量规范》(DZ/T 0153-2014)进行。检查方法有：

- ① 重复观测法：它是对某条测线重新布设测点（检查点），或在某测线转站点上重新布设部分测点。量取原测点与检查点位置的差值，以及原测点距与检查点距的差值。
- ② 横切测线法：它是起闭于基线点、横穿测线布设一条检查线，在检查线上重新布设测点（检查点），同时在实地量取原测点与检查点位置之间的差值。

每条测线的精度，以实地量取的测线闭合差衡量，小于允许闭合差时则测线质量合格。

17. 使用全站仪布设物化探测网，如何估算测点精度？

【答】

综合考虑相对于基本控制点的点位中误差 $m_{\text{控}}$ 、基线最弱点的点位中误差 $m_{\text{基}}$ 、测线相对于基线点的最弱点点位中误差 m_d ，进行测点的最终精度估算。

- (1) 当测区较大、基线条数较多时，整个测区基线点相对于控制点的最弱点点

位中误差可计算为 $m_{\text{基}} = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{f_G}{2}\right)^2}{N_G}}$ ，式中 f_G 为基线实测闭合差； N_G 为闭合差个数。

(2) 整个测区测点相对于基线点的最弱点点位中误差 $m_{\text{测}}$ ，按闭合差计算的公

式为 $m_{\text{测}} = \sqrt{\frac{[f_c f_c]}{N_c}}$ ，式中 f_c 为测线闭合差。 N_c 为测线闭合差个数。

(3) 测点相对于基线点的点位中误差 m_d 的计算公式为 $m_d = \sqrt{\frac{[dd]}{2n}}$ ，式中 d 为检查点与原测点位置的较差（等精度观测）。

(4) 当检查观测起闭于基线点时， $m_{\text{点}}$ 计算公式为 $m_{\text{点}} = \sqrt{m_{\text{控}}^2 + m_{\text{基}}^2 + m_d^2}$ 。式中 $m_{\text{控}}$ 为控制点相对于基本控制点的中误差。所谓基本控制点，这里是指 10" 级以上的控制点。

18. RTK 物化探测量与全站仪物化探测量有何不同？

【答】

RTK 物化探测量与全站仪物化探测量比较，不需要布设基线和确定起始基点，测网仅由一系列平行的测线构成，测线上每隔一定距离设置物化探测点。

19. 简述 RTK 物化探测量的作业流程。

【答】

分为基准站模式和 CORS 模式。

(1) 当采用基准站模式时，作业流程如下：

准备工作→控制点的布设→坐标转换参数解算→测线布设。

(2) 当采用 CORS 模式时，作业方法和流程相对简单：

准备工作→流动站接收机设置（设置测区中央子午线、坐标系统、数据链为 CORS 模式及相应账号密码等信息）→已知点坐标检查→测点坐标放样。

20. RTK 物化探测量采用基准站模式时，如何获取坐标转换参数？

【答】

有两种方法。

(1) 直接利用工区内已有坐标转换参数。

(2) 利用工区内和周边具有 WGS-84 坐标和国家坐标（或地方坐标）的控制点解算坐标转换参数。精度要求较高时，采用至少三个已知点解算坐标转换七参数；精度要求不高时，可以采用一个已知点解算坐标转换三参数。

21. RTK 物化探测量采用基准站模式时，如何布设测线？

【答】

采用 RTK 布设测线时，首先在手簿上通过创建项目，设置中央子午线、坐标系、投影等，将控制点坐标及设计测线（点）坐标导入手簿，然后根据测区实际情况采用已知点或未知点架设基准站，设置移动站，进行各测线上测点的 RTK 坐标放样。

(1) 当基准站架设在已知点上时，首先设置基准站参数（已知点坐标、仪器高、数据链方式等）配置好基准站后，断开基准站进行流动站设置（输入基准

站 SN 码、杆高、数据链方式), 固定解后到另一控制点上进行校核, 在限差内, 就可以选择任意测线开始放样工作。

- (2) 当基准站架设在未知点上时, 首先设置基准站数据链方式, 然后平滑采集基准站位置坐标, 断开基准站进行流动站设置 (输入基准站 SN 码、杆高、数据链方式), 当流动站数据链接收正常达到固定解后, 根据至少两个已知点进行工地校正, 使流动站手簿显示已知点正确坐标值, 接着流动站到另外已知点上进行校核, 在限差内, 则开始进行各测点的 RTK 坐标放样。

22. 如何利用地形图布设物化探测网?

【答】

该法一般用于工作比例尺等于或小于 1:10000 的物化探测网布设, 尤其适合于地物较多便于定点的测区, 分为不规则测网布点和规则测网布点。

- (1) 不规则测网布点: 首先根据设计的点距或每平方公里的点数, 在图上圈出点的概略位置。然后拟定布设路线。布点时沿设计的布设路线, 并结合实际点位情况选定测点位置, 再将其填绘到图上并标明点号, 即图上定点法。可以根据手持 GPS 测量的坐标定点; 也可以根据地形、地物目估定点, 或者采用罗盘仪交会法定点。
- (2) 规则测网布点: 首先按设计的测线方向和测网密度将测网展绘于地形图上, 并每隔 5 行写出编号。到实地可利用手持 GPS 测量与地形地物判读相结合的方式确定点位。点位确定后, 插下标志旗并标以点号。如果测线上明显地物较少, 可以采用手持 GPS 测量、后方交会、侧方交会或罗盘仪交会检查所设点位; 如果测点位于池塘、深谷等无法布点的位置, 可以空其位置和点号, 或在其附近另补一点, 但须注明。

23. 利用正射影像图布设物化探测网有哪些优越性和局限性?

【答】

- (1) 优越性: 正射影像信息丰富, 直观性强, 有立体感。用正射影像布设测网, 定点容易, 劳动强度小, 节省人力物力。
- (2) 局限性: 图解精度低, 地物地貌特征不明显时受限制。该法适用于高差不超过 20-50m 的平坦、丘陵、地物地貌特征明显的地区, 常用于布设工作比例尺等于或小于 1:1 万的物化探测网。

24. 如何利用正射影像图布设物化探测网?

【答】

将物化探测网展绘到正射影像上再到实地布点。如果航摄比例尺大于 1:1.4 万, 放大成 1: 5000 的正射影像, 布点时辅以测绳。