

公路外业勘测信息化教学设计教案

一、控制测量(平面控制测量和高程控制测量)

控制测量是指在整个测区范围内,选定若干个具有控制作用的点(称为控制点),设想用直线连接相邻的控制点,组成一定的几何图形(称为控制网),使用测量仪器和工具,进行外业测量获得相应的外业资料,对外业观测资料和已知数据进行数据处理,确定控制点的平面位置和高程的工作,以其统一全测区的测量工作。控制测量分为平面控制测量和高程控制测量。平面控制测量按照控制点之间组成几何图形分为导线测量)和三角测量;高程控制测量根据采用测量方法分为水准测量和三角高程测量。

1. 平面控制测量

平面控制测量主要测定每一个控制点平面位置(平面坐标 x 、 y),测量实训采用导线测量,已知点坐标由老师提供,学生完成踏勘选点与埋石、角度测量、距离测量并进行导线内业数据处理。

(1) 踏勘选点与埋石

结合测区实际条件,选定路线导线,要求总长不小于1.5公里,导线点数不少于12个(实训要求)。导线应满足以下要求:

- 1) 导线点应选在地势较高、视野开阔的地点,便于施测周围地形;
- 2) 相邻两导线点间要互相通视,便于测量水平角;
- 3) 导线应沿着平坦、土质坚实的地面设置,以便于丈量距离;
- 4) 导线边长要选得大致相等,相邻边长不应悬殊过大;
- 5) 导线点位置须能安置仪器,便于保存。
- 6) 导线点应尽量靠近路线位置,距路中心的位置宜大于50m且小于100m。

7) 在桥梁和隧道处,应考虑桥隧控制网的要求,在桥梁或隧道两侧应分别布设至少两个平面控制点。

导线点位置选好后要在地面上标定下来,一般方法是打一木桩并在桩顶中心钉一小铁钉。为了便于测量和使用管理,导线点要统一编号并编制导线点一览表,并绘制导线路线草图和点之记。

(2) 角度测量

导线的转折角有左角和右角之分,以导线为界,按编号顺序方向前进,在前进方向左侧的角称为左角;在前进方向右测的角称为右角。在闭合导线中,一般均测其内角,闭合导线若按逆时针方向编号,其内角均为左角;反之均为右角。在附合导线中,可测其左角亦可测其右角(在公路测量中一般测右角),但全线要统一。角度测量采用测绘法,每个角测两个

测回。

1) 测绘法的观测步骤

①安置仪器，竖立观测目标。

②盘左观测（上半测回）：盘左瞄准左边 A，读取 $a_{左}$ ，顺时针旋转瞄准右边 B，读取 $b_{左}$ 。则上半测回角值： $\beta_{左}=b_{左}-a_{左}$ 。

③盘右观测（下半测回）：倒镜成盘右，逆时针瞄准右边 B，读取 $b_{右}$ ，逆时针旋转瞄准左边 A，读取 $a_{右}$ 。则下半测回角值： $\beta_{右}=b_{右}-a_{右}$ 。

④记录与计算。： $\beta = (\beta_{左} + \beta_{右}) / 2$ 要求 $\beta_{左} - \beta_{右} \leq \pm 40''$

水平角观测记录手簿 表 3-2

测站	盘位	目标	水平度盘读数 (° ' ")	半测回角值 (° ' ")	一测回角值 (° ' ")	各测回平均值 (° ' ")
O	左	A	0 06 24	111 39 54	111 39 51	111 39 52
		B	111 46' 18			
	右	A	180 06 48	111 39 48		
		B	291 46 36			
O	左	A	90 06 18	111 39 48	111 39 54	
		B	201 46 06			
	右	A	270 06 30	111 40 00		
		B	21 46 30			

(3) 距离测量

导线边采用普通钢尺丈量导线边长或用测距仪（全站仪）进行导线边长测量。测量实训要求距离测量进行往返测，相对误差满足要求。记录计算格式如表 3-3 所示。

距离测量记录手簿 表 3-3

导线边	往测距离	返测距离	距离平均值	相对误差 K
D ₁ D ₂	185. 239	185. 248	185. 244	1/20582
D ₂ D ₃	102. 945	102. 941	102. 943	1/25735

(4) 附和导线内业数据处理

1) 闭合导线的近似平差计算

① 角度闭合差的计算与调整

$$\text{闭合导线: } f_{\beta} = \sum \beta_{\text{测}} - \sum \beta_{\text{理}} = \sum \beta_{\text{测}} - (n-2) \times 180^{\circ}$$

$$\text{附合导线: } f_{\beta} = \alpha_{\text{始}} - \alpha_{\text{终}} \pm \sum \beta_i \mp n \times 180^{\circ}$$

$$\text{角度闭合差容许值: } f_{\beta_{\text{容}}} = \pm 40 \sqrt{n}$$

② 角度闭合差的调整

$f_{\beta} \leq f_{\beta_{\text{容}}}$ 角度闭合差满足精度要求。 $f_{\beta} > f_{\beta_{\text{容}}}$ 角度闭合差超限, 必须返工重测。

$$\text{闭合导线: } V_{\beta_i} = -\frac{f_{\beta}}{n}$$

$$\text{附合导线: 左角: } V_{\beta_i} = -\frac{f_{\beta}}{n} \quad \text{右角: } V_{\beta_i} = -\frac{f_{\beta}}{n}$$

$$\text{改正后角值: } \beta = \beta_{\text{测}} + V_{\beta}$$

2) 导线边坐标方位角推算

$$\text{左角: } \alpha_{\text{前}} = \alpha_{\text{后}} + \beta_{\text{左}} - 180^{\circ}$$

$$\text{右角: } \alpha_{\text{前}} = \alpha_{\text{后}} - \beta_{\text{右}} + 180^{\circ}$$

3) 坐标增量的计算

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_{ij} &= D_{ij} \cdot \cos \alpha_{ij} \\ \Delta Y_{ij} &= D_{ij} \cdot \sin \alpha_{ij} \end{aligned} \right\}$$

4) 坐标增量闭合差的计算与调整

$$\text{闭合导线: } \begin{aligned} f_x &= \sum \Delta X_{ij\text{测}} \\ f_y &= \sum \Delta Y_{ij\text{测}} \end{aligned}$$

$$\text{附合导线: } \begin{aligned} f_x &= \sum \Delta X_{ij\text{测}} - (x_{\text{终}} - x_{\text{始}}) \\ f_y &= \sum \Delta Y_{ij\text{测}} - (y_{\text{终}} - y_{\text{始}}) \end{aligned}$$

$$\text{导线全长闭合差: } f_D = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

$$\text{导线全长相对闭合差: } K = \frac{f_D}{\sum D} = \frac{1}{\sum D / f_D}$$

如果 $K > K_{\text{容}}$, 表明导线全长相对闭合差, 应查明原因进行补测或重测。若 $K \leq K_{\text{容}}$,

则表明导线的精度符合要求，即可进行坐标增量闭合差的调整，调整方法如下：

$$v_{\Delta x_{ij}} = -\frac{f_x}{\sum D} D_{ij}$$

$$v_{\Delta y_{ij}} = -\frac{f_y}{\sum D} D_{ij}$$

$$\Delta X_{ij} = \Delta X_{ij\text{测}} + V_{\Delta x_{ij}}$$

$$\Delta Y_{ij} = \Delta Y_{ij\text{测}} + V_{\Delta y_{ij}}$$

5) 导线点坐标计算

$$\left. \begin{aligned} X_j &= X_i + \Delta X_{ij} \\ Y_j &= Y_i + \Delta Y_{ij} \end{aligned} \right\}$$

2. 高程控制测量

在地形图测绘和施工测量中, 高程控制测量多采用三、四等水准测量，测量综合实训采用四等水准测量, 要求测算出各导线点高程。

(1) 四等水准测量技术指标

四等水准测量技术指标 表 3-4

等级	水准 仪型 号	视线 长度 (m)	前后 视距较差 (m)	前后视距 累计差 (m)	视线离地 面最低高 度 (m)	黑、红面度 数差 (mm)	黑红面 高差之差 (mm)
四等	DS ₃	100	5	10	0.2	3.0	5.0

(2) 四等水准测量的方法和步骤

水准路线可布设成闭合水准路线或附合水准路线，四等水准测量采用往返测，当两端点为高级点或自成闭合环时，可只进行单程测量。

四等水准测量一般采用双面尺法进行观测, 测站观测程序为“后-后-前-前”或称为“黑-红-黑-红”，具体观测、记录计算和检核方法见第二章测量实训三。

(3) 高程控制测量近似平差计算

1) 高差闭合差计算和容许值计算

①高差闭合差计算

闭合水准路线: $f_h = \sum h_{\text{测}} - \sum h_{\text{理}} = \sum h_{\text{测}}$

附合水准路线: $f_h = \sum h_{\text{测}} - \sum h_{\text{理}} = \sum h_{\text{测}} -(H_{\text{终}} - H_{\text{始}})$

②高差闭合差容许值

山区: $f_{h容} = \pm 20\sqrt{L}$

平原微丘区: $f_{h容} = \pm 6\sqrt{n}$

如果即 $f_h \leq f_{h容}$, 外业观测成果合格, 即可进行高差闭合差调整。否则须进行重测。

2) 高差闭合差的调整

高差闭合差调整原则: 将高差闭合差 f_h 按与距离 L 或测站数 n 成正比反号分配到各段观测高差上。

按测站数调整高差闭合差: $v_i = -\frac{f_h}{\sum n} \times n_i = v_{\text{每站}} \times n_i$

按测段长度调整高差闭合差: $v_i = -\frac{f_h}{\sum L} \times L_i = v_{\text{每公里}} \times L_i$

3) 计算改正后高差: $h'_i = h_i + v_i$

4) 计算各待定点高程

二、大比例尺地形图测绘

a) 测图准备工作

(1) 绘制坐标格网

地形图测绘采用聚酯薄膜作为绘图图纸, 测图比例尺为 1:1000, 图幅尺寸一般采用 50cm × 50cm。采用直尺对角线法绘制坐标格网, 坐标格网的绘制步骤和精度要求参考《工程测量》教材。

(2) 展绘控制点

采用直尺或坐标展点仪展绘控制点, 在控制点右侧画一短横线, 上方注明点号, 下方注明点的高程, 展绘完所有控制点后应进行检查, 要求相邻控制点间距最大误差在图纸上不应超过 0.3mm, 否则应重新展绘控制点。

(3) 绘图者:

(4) 立尺者:

1) 测绘地物的跑尺方法: 测绘地物时, 除了正确选择地物轮廓点外, 还要根据实地地物的分布情况, 采用不同的跑尺方法, 尽量做到不遗漏、不重复, 并使测图方便。否则, 对劳动强度、测图效率和质量都有很大的影响。一般实地地形点间最大距离为 (2~3)M (M 为比

例尺分母,以 cm 为单位),图上地形点间隔 2cm~3cm,若地形复杂,可适当增加。地物较多时,应分类立尺,以避免绘图者连线出现差错。例如,可先沿道路立尺,测完视距范围内的道路后,再按房屋立尺,不能单纯为了立尺方便,当一类地物尚未测完,就转到另一类地物上去立尺,特别不应留单点(即某一地物只测一点)。地物较少时,可采用螺旋形跑尺法,即从测站附近起由近到远。搬站后,再由远到近,这样可使立尺者少跑弯路,当然也可以分区采用“之”字形跑尺法,即在一个测站上将周围分成三或四个区,由近到远跑完一个区后,再由远到近跑另一区。如有两个立尺者,要做到分工明确,可采用分区包干法,将测站周围分成几个区,由立尺者分工专门负责在某一区内立尺。另外,也可按地物类别分工立尺。晴天上午测图时,最好在测站的西方立尺,下午最好在测站的东方立尺,这样尺面正对阳光,标尺分画在望远镜中成像清晰,使读数准确。

2) 测绘地貌的跑尺方法:立尺者除了应按地性线正确选择地貌特点外,还应考虑测绘方便,少出差错。

①沿等高线跑尺法:如图 3-3 所示,立尺者从山脚开始,基本上按“之”形沿等高线一排一排地往山顶立尺,遇到山脊线和山谷线时顺便立尺。这种方法既便于观测,又使立尺者的体力消耗较小。但勾绘等高线时,却不易判断地性线上的点子,故绘图者要特别注意,在测绘过程中可预先对地性线上的点子作些记号,以便正确地勾绘等高线。

②沿方向变换线跑尺法:如图 3-4 所示,如立尺者从第一个山脊的山脚开始,沿山脊线往上立尺,到山顶后,又沿相邻的山谷线往下立尺,直至山脚,这样依次又跑第二个山脊线和山谷线,直至全部跑完为止。用这种方法跑尺,图上的地性线位置比较清楚,便于勾绘等高线,但立尺者的体力消耗较大。

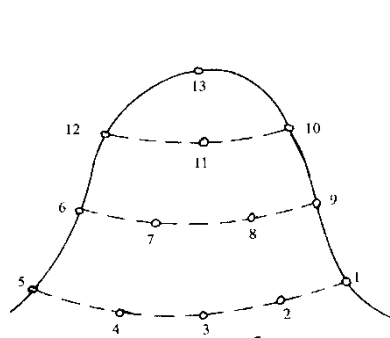


图 3-3

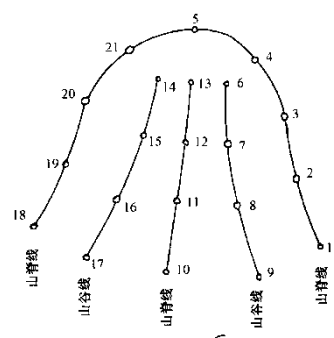


图 3-4

3. 地物地貌的绘制、检查。

(1) 地物的绘制

绘图前应对整个测区和各测站周围的地物分布、地貌特征进行仔细观察,做到心中有数。

测图过程中当所测地物的特征点数能够描绘出地物完整图形时，应立即勾绘地物轮廓线，并用规范的图式符号或文字标明地物类别和名称。做到随测随绘，逐渐展绘局部以至全幅的地物。

(2) 地貌(等高线)的绘制

在测碎部点的同时，要对照实地情况，将可以勾绘的等高线随时勾绘出来。首先根据所测地形线上各点，把地形线在图上轻轻绘出，可用实线表示山脊线；用虚线表示山谷线。然后在两相邻碎部点之间，按其高程内插等高线。

由于测图时在地面坡度变化的地方都测有碎部点，因此相邻碎部点之间坡度是均匀的。这样就可两相邻碎部点之间，按水平距离与高差成正比，内插出该两点之间各等高线通过的位置。

4. 地形图整饰要求

(1) 地形原图整饰的顺序是：“先图内后图外，先地物后地貌，先注记后符号”。

(2) 具体做法是擦去多余的线条，如坐标格网线，只保留交点处纵横 1.0 的“+”字；擦去用实线和虚线表示的地性线，擦去多余的碎部点，只保留制高点、河岸重要的转折点、道路交叉点等重要的碎部点。

(3) 加深地物轮廓线和等高线，加粗计曲线并在计曲线上注记高程，注记高程的数字应成列，字头朝向高处。

(4) 按图示规范要求填注符号和注记，各种文字注记，标在适当位置，一般要求字头朝北，字体端正。在等高线通过注记和符号时必须断开。

(5) 应按照图式要求，绘制图廓，填写图名、图号、比例尺、等高距、坐标及高程系统、图例施测单位、测量者、测量日期和指北针等。

三、道路中线测量

1. 纸上选线。

在数字化成图中按照《公路测设技术》课程的要求，按四级路进行 JD 的选择

1) 计算转角：

$\beta_{\text{右}} < 180^\circ$ 时，路线右偏， $\alpha_{\text{右}} = 180^\circ - \beta_{\text{右}}$

$\beta_{\text{右}} > 180^\circ$ 时，路线左偏， $\alpha_{\text{左}} = \beta_{\text{右}} - 180^\circ$

(2) 采用全站仪选线

在控制测量的基础上，采用全站仪的坐标测量功能测量各交点的坐标后进行计算。

1) 计算路线导线各边方位角。

$$\alpha = \arctan \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i}$$

第一象限: $\alpha_{ij} = \alpha$ $\alpha > 0$

第二象限: $\alpha_{ij} = \alpha + 180^\circ$ $\alpha < 0$

第三象限: $\alpha_{ij} = \alpha + 180^\circ$ $\alpha > 0$

第四象限: $\alpha_{ij} = \alpha + 360^\circ$ $\alpha < 0$

2) 计算路线导线各边边长。

$$D_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$$

2) 计算转角

公路测路线导线的右角: $\beta_{\text{右}} = \alpha_{\text{后}} - \alpha_{\text{前}} + 180^\circ$

$\beta_{\text{右}} < 180^\circ$ 时, 路线右偏, $\alpha_{\text{右}} = 180^\circ - \beta_{\text{右}}$

$\beta_{\text{右}} > 180^\circ$ 时, 路线左偏, $\alpha_{\text{左}} = \beta_{\text{右}} - 180^\circ$

2. 道路中线里程桩的设置。

(1) 里程桩的设置

1) 设整桩:

按地形条件和工程要求, 从路线起点开始, 直线部分在山岭重丘区沿路线每隔 20 m 设置里程整桩。当平曲线半径 $R \geq 50$ m 时, 每隔 20 m 设置整桩, 当 $R < 50$ m 时, 每隔 10 m 设置整桩, 当 $R \leq 20$ m 时, 每隔 5 m 设置整桩, 并将桩标定在地面上, 进行编号, 用红油漆书写在本桩上。

2) 设加桩:

在地形变化或重要地物处设置里程加桩, 并将桩标定在地面上, 进行编号, 用红油漆书写在本桩上。

(2) 计算曲线测设元素

根据《公路工程技术标准》和实习队统一要求, 结合现场地形条件选定圆曲线和缓和曲线的曲线半径 R 和缓和曲线长度 l_s , 再进行曲线测设元素计算。

1) 圆曲线的测设元素计算:

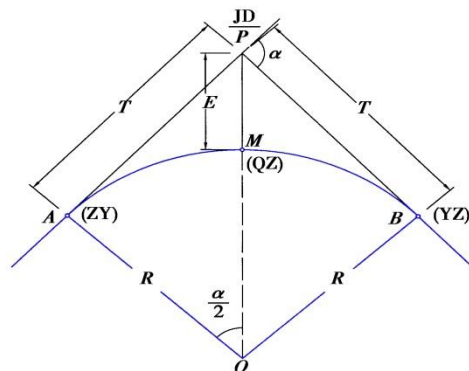


图 3-6

$$T = R \tan \frac{\alpha}{2} \quad E = R \left[\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right]$$

$$L = \frac{\pi}{180^\circ} R \alpha \quad D = 2T - L$$

主点里程桩的计算：

$$\text{直圆点：} ZY_{\text{里程}} = JD_{\text{里程}} - T$$

$$\text{圆直点：} YZ_{\text{里程}} = ZY_{\text{里程}} + L$$

$$\text{曲中点：} QZ_{\text{里程}} = YZ_{\text{里程}} - \frac{L}{2}$$

$$\text{交点：} JD_{\text{里程}} = QZ_{\text{里程}} + \frac{D}{2}$$

2) 带有缓和曲线的圆曲线的测设元素计算。

①缓和曲线角：

$$\beta_0 = \frac{l_s}{2R} = \frac{l_s \times 180^\circ}{2\pi R}$$

②内移值 P 和切线增长值 q：

$$P = \frac{l_s^2}{24R}$$

$$q = \frac{l_s}{2} - \frac{L_s^3}{240R^2}$$

③测设元素：

$$\text{切线长：} T_H = (R + p) \tan \frac{\alpha}{2} + q$$

$$\text{曲线长：} L_H = R (\alpha - 2\beta_0) \frac{\pi}{180^\circ} + 2l_s \quad \text{其中：} L_Y = \frac{\pi R (\alpha - 2\beta_0)}{180^\circ}$$

$$\text{外距：} E_H = (R + p) \sec \frac{\alpha}{2} - R$$

$$\text{切曲差：} D_H = 2T_H - L_H$$

④主点里程计算与测设

$$\text{直缓点：} ZH_{\text{里程}} = JD_{\text{里程}} - T_H$$

$$\text{缓圆点：} HY_{\text{里程}} = ZH_{\text{里程}} + L_s$$

$$\text{圆缓点：} YH_{\text{里程}} = HY_{\text{里程}} + L_Y$$

$$\text{缓直点：} HZ_{\text{里程}} = YH_{\text{里程}} + L_s$$

$$\text{曲中点：} QZ_{\text{里程}} = HZ_{\text{里程}} - \frac{L_H}{2}$$

$$\text{交点：} JD_{\text{里程}} = QZ_{\text{里程}} + \frac{D}{2}$$

(3) 道路中线逐桩里程计算

测量综合实训要求公路中线里程按整桩号法进行计算。从路线起点开始一直到路线终点，利用路线导线边长 D_{ij} 和曲线测设元素计算每一个中桩的里程。

4. 道路中线逐桩坐标计算

(1) 直线段中桩坐标计算

$$x_j = x_i + D_{ij} \cos \alpha_{ij}$$

$$y_j = y_i + D_{ij} \sin \alpha_{ij}$$

(2) 圆曲线段中桩坐标计算

曲线长: $l_i = \text{曲线中桩里程} - \text{曲线起点里程}(\text{ZY})$

或者 $l_i = \text{曲线终点里程} - \text{曲线中桩里程}(\text{YZ})$

① 偏角 Δ_i 和弦长 C_i 计算。

$$\Delta_i = \frac{l_i}{2R} = \frac{90^\circ l_i}{\pi R} \quad C_i = 2R \sin \Delta_i$$

② 弦的方位角计算:

$$\alpha_{C_i} = \alpha_{i-1,i} \pm \Delta_i \quad (\text{左传取} +, \text{右传取} -)$$

③ 曲线主点坐标计算。

$$x_{ZY} = x_{JD} + T_i \cos \alpha_{i-1,i}$$

$$y_{ZY} = y_{JD} + T_i \sin \alpha_{i-1,i}$$

$$x_{YZ} = x_{JD} + T_i \cos \alpha_{i,i+1}$$

$$y_{YZ} = y_{JD} + T_i \sin \alpha_{i,i+1}$$

$$x_{QZ} = x_{JD} + E_i \cos \alpha_{E_i}$$

$$y_{QZ} = y_{JD} + E_i \sin \alpha_{E_i}$$

χ 圆曲线详细中桩坐标计算。

$$x_{ZY} = x_{ZY} + C_i \cos \alpha_{C_i}$$

$$y_{ZY} = y_{ZY} + C_i \sin \alpha_{C_i}$$

圆曲线中桩坐标计算在 QZ, YZ 和交点进行检核。

5. 道路中桩放样 (测设)

全站仪坐标放样

在道路中桩逐桩坐标计算完以后，采用全站仪的放样功能进行道路中桩放样，放样步骤如下：

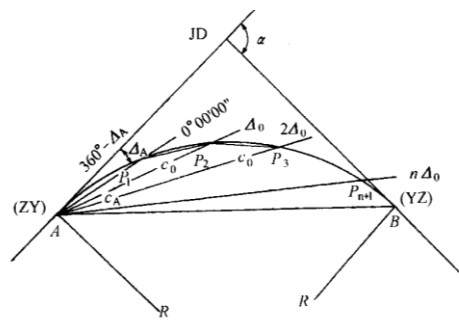


图3-7

- 1) 在菜单下选择 “放样” 功能。
- 2) 测距参数设置
- 3) 设置测站点坐标、仪器高和棱镜高。。
- 4) 设置后视点坐标或后视坐标方位角
- 5) 设置放样数据。
- 6) 放样

四、路线纵横断面测量

在道路中线测定之后，进行纵断面测量，测定中线上各里程桩的地面高程，并绘制路线纵断面图，用以表示沿路线中线位置的地形起伏状态，主要用于路线纵坡设计。进行横断面测量，测定中线上各里程桩处垂直于中线方向的地形起伏状态，并绘制横断面图，供路基设计、计算土石方数量以及施工放边桩之用。

1. 纵断面测量

纵断面测量一般分为两步：基平测量和中平测量。

(1) 基平测量

采用水准测量方法应将起始水准点与附近国家水准点进行联测，以获取水准点的绝对高程。

(2) 中平测量(又称中桩抄平)

基平测量结束后，在已知水准点的基础上，采用视线高法，逐个测定中桩处的地面高程。

(3) 纵断面图绘制

选定的里程比例尺和高程比例尺(一般平原微丘区里程比例尺常用 1: 5000 或 1: 2000，相应的高程比例尺为 1: 500 或 1: 200；山岭重丘区里程比例尺常用 1: 2000 或 1: 1000，相应的高程比例尺为 1: 200 或 1: 100)，打格制表，填写里程、地面高程、直线与曲线、土壤地质说明等资料，绘出地面线。

2. 横断面测量

先确定横断面方向，采用标杆皮尺法(抬杆法)进行横断面测量，要求中桩左右各测 15m，采用 1: 200 或 1: 100 的比例尺绘制横断面图。