

用全站仪进行工程施工放样
(路桥方向)

培 训 教 材

第一部分:TOPCON GTS-312 全站仪的使用

一、仪器外观和功能说明

1.仪器外观

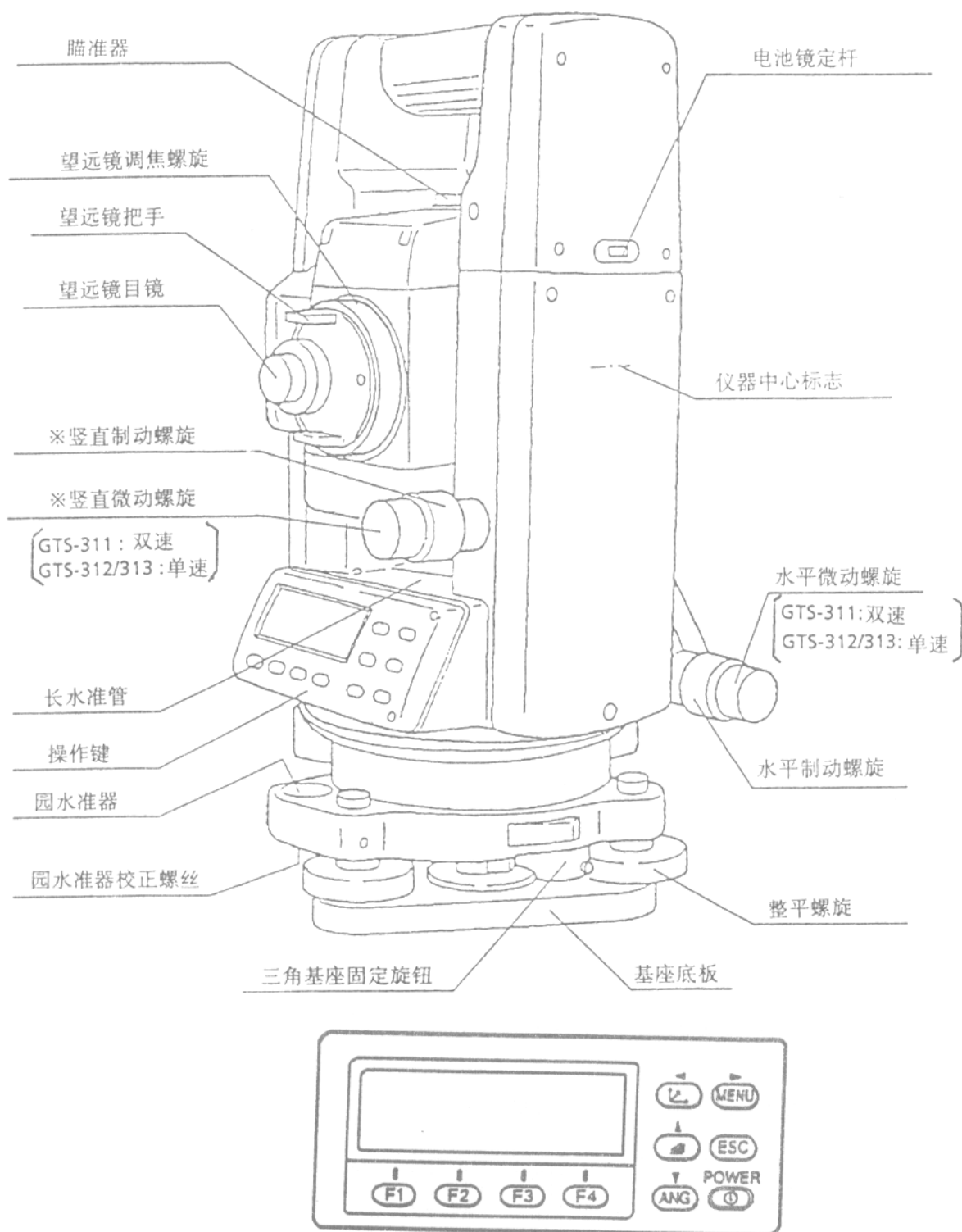



图 1: GTS-312 全站仪外观及各部件名称

2.面板上按键功能

——进入坐标测量模式键。



——进入距离测量模式键。



ANG——进入角度测量模式键。

MENU——进入主菜单测量模式键。

ESC——用于中断正在进行的操作，退回到上一级菜单。

POWER——电源开关键

  ——光标左右移动键

  ——光标上下移动、翻屏键

F1、F2、F3、F4——软功能键，分别对应显示屏上相应位置显示的命令。

3. 显示屏上显示符号的含义

V——竖盘读数；HR——水平读盘读数（右向计数）；HL——水平读盘读数（左向计数）；

HD——水平距离；VD——仪器望远镜至棱镜间高差；SD——斜距；*——正在测距；


N——北坐标，相当于 x；E——东坐标，相当于 y；Z——天顶方向坐标，相当于高程 H。

二、角度测量模式

功能：按 ANG 键进入，可进行水平角、竖直角测量，倾斜改正开关设置。


第 1 页	<div><div>F1 OSET：设置水平读数为 $0^{\circ}00'00''$。</div><div>F2 HOLD：锁定水平读数。</div><div>F3 HSET：设置任意大小的水平读数。</div><div>F4 P1↓：进入第 2 页。</div></div>
第 2 页	<div><div>F1 TILT：设置倾斜改正开关。</div><div>F2 REP：复测法。</div><div>F3 V%：竖直角用百分数显示。</div><div>F4 P2↓：进入第 3 页。</div></div>
第 3 页	<div><div>F1 H-BZ：仪器每转动水平角 90° 时，是否要蜂鸣声。</div><div>F2 R/L：右向水平读数 HR/左向水平读数 HL 切换，一般用 HR。</div><div>F3 CMPS：天顶距 V/竖直角 CMPS 的切换，一般取 V。</div><div>F4 P3↓：进入第 1 页。</div></div>

三、距离测量模式

功能：先按  键进入，可进行水平角、竖直角、斜距、平距、高差测量及 PSM、PPM、距离单位等设置。

- | | | |
|-------|---|--|
| 第 1 页 | { | F1 MEAS: 进行测量。 |
| | | F2 MODE: 设置测量模式, Fine/coarse/tragcking (精测/粗测/跟踪)。 |
| | | F3 S/A: 设置棱镜常数改正值 (PSM)、大气改正值 (PPM)。 |
| | | F4 P1↓: 进入第 2 页。 |
| 第 2 页 | { | F1 OFFSET: 偏心测量方式。 |
| | | F2 SO: 距离放样测量方式。 |
| | | F3 m/f/i: 距离单位米/英尺/英寸的切换。 |
| | | F4 P2↓: 进入第 1 页。 |

四、坐标测量模式

功能：按  进入，可进行坐标 (N, E, H)、水平角、竖直角、斜距测量及 PSM、PPM、距离单位等设置。

- | | | |
|-------|---|--|
| 第 1 页 | { | F1 MEAS: 进行测量。 |
| | | F2 MODE: 设置测量模式, Fine/Coarse/Tracking。 |
| | | F3 S/A: 设置棱镜改正值 (PSM), 大气改正值 (PPM) 常数。 |
| | | F4 P1↓: 进入第 2 页。 |
| 第 2 页 | { | F1 R.HT: 输入棱镜高。 |
| | | F2 INS.HT: 输入仪器高。 |
| | | F3 OCC: 输入测站坐标。 |
| | | F4 P2↓: 进入第 3 页。 |
| 第 3 页 | { | F1 OFFSET: 偏心测量方式。 |
| | | F3 m/f/i: 距离单位米/英尺/英寸切换。 |
| | | F4 P3↓: 进入第 1 页。 |

五、主菜单模式

功能：按 MENU 进入，可进行数据采集、坐标放样、程序执行、内存管理、参数设置等。

- | | | |
|-------|---|--------------------|
| 第 1 页 | { | DATA COLLECT(数据采集) |
| | | LAY OUT(点的放样) |

		MEMORY MGR.(内存管理)
第 2 页	{	PROGRAM(程序)
		GRID FACTOR(坐标格网因子)
		ILLUMINATION(照明)
第 3 页	{	PARAMETRERS(参数设置)
		CONTRAST ADJ.(显示屏对比度调整)

1、MEMORY MGR.(存储管理)

第 1 页	{	1.FILE STATUS(显示测量数据、坐标数据文件总数)
		2.SEARCH(查找测量数据、坐标数据、编码库)
		3.FILE MAINTAIN(文件更名、查找数据、删除文件)
第 2 页	{	4.COORD. INPUT(坐标数据文件的数据输入)
		5.DELETE COORD.(删除文件中的坐标数据)
		6.PCODE INPUT(编码数据输入)
第 3 页	{	7.DATA TRANSFER(向微机发送数据、接收微机数据、设置通讯参数)
		8.INITIALIZE(初始化数据文件)

2、PROGRAM(程序)

第 1 页	{	1.REM(悬高测量)
		2.MLM(对边测量)
		3.Z COORD.(设置测站点 Z 坐标)
第 2 页	{	4.AREA(计算面积)
		5.POINT TO LINE(相对于直线的目标点测量)。

3、PARAMETRERS(参数设置)

第 1 页	{	1.MINIMUM READING(最小读数)
		2.AUTO POWER OFF(自动关机)
		3.TILT ON/OFF(垂直角和水平角倾斜改正)

第 2 页——ERROR CORRECTION(系统误差改正。注：仪器检校后必须进行此项设置)

存储管理菜单操作可参见图 2。

· 存储管理菜单操作

按 [MENU] 键, 仪器进入菜单MENU1/3模式

按 [F3] (MEMORY MGR) 键, 显示存储管理菜单1/3

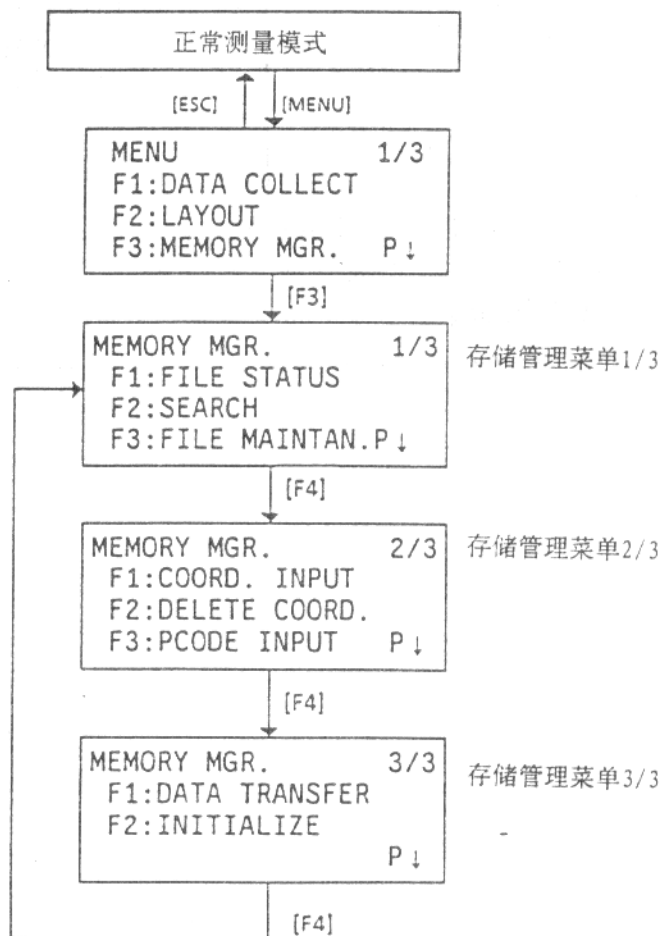


图 2: 存储管理操作菜单

六、全站仪的主要功能介绍

✧ 说明: 测量前, 要进行如下设置——按 \blacktriangle 或 \blacktriangledown , 进入距离测量或坐标测量模式, 再按第 1 页的 S/A (F3)。

1. 棱镜常数 PRISM 的设置——一般原配棱镜设置为 0, 国产棱镜设置为 -30mm。(具体见说明书)。
2. 大气改正值 PPM 的设置——按 “T-P”, 分别在 “TEMP.” 和 “PRES.” 栏, 输入测量时的气温、气压。(或者按照说明书中的公式计算出 PPM 值后, 按 “PPM” 直接输入)。
3. PSM、PPM 设置后, 在没有新设置前, 仪器将保存现有设置。

(一) 角度测量

按 ANG 键, 进入测角模式 (开机后默认的模式), 其水平角、竖直角测量方法与经纬仪操作方法基本相同。照准目标后, 仪器即可显示水平度盘读数和竖角度盘读数。

(二) 距离测量

先按 \blacktriangle 键, 进入测距模式, 瞄准棱镜后, 按 F1 (MEAS), 即可。

(三) 坐标测量

见图 3 按键步骤：

- 1、ANG 键，进入测角模式，瞄准后视点 A。
- 2、HSET，输入测站 O 至后视点的坐标方位角 α_{OA} 。
- 3、 \uparrow 键，进入坐标测量模式。P1，进入第 2 页。
- 4、OCC，输入测站坐标 (X_0, Y_0, H_0) 。
- 6、P1，进入第 2 页。INS.HT：输入仪器高。
- 7、P1，进入第 2 页。R.HT：输入棱镜高。
- 8、瞄准待测量点 B，按 MEAS，得 B 点的 (X_B, Y_B, H_B) 。

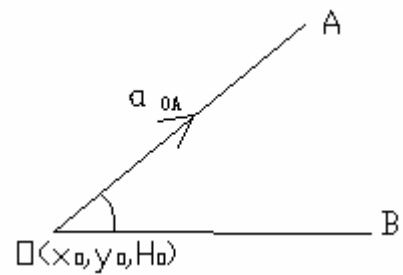


图 3：坐标测量示意图

（四）零星点的坐标放样

见图 4 按键步骤为：

- 1、按 MENU——进入主菜单测量模式。
- 2、按 LAYOUT——进入放样程序，再按 SKP——略过选择文件。
- 3、按 OOC.PT(F1)，再按 NEZ，输入测站 O 点的坐标 (x_0, y_0, H_0) ；并在 INS.HT 栏，输入仪器高。
- 4、按 BACKSIGHT(F2)，再按 NE/AZ，输入后视点 A 的坐标 (x_A, y_A) ；若不知 A 点坐标而已知坐标方位角 α_{OA} ，则可再按 AZ，在 HR 项输入 α_{OA} 的值。瞄准 A 点，按 YES。
- 5、按 LAYOUT (F3)：输入待放样点 B 的坐标 (x_B, y_B, H_B) 及测杆单棱镜的镜高后，按 ANGLE (F1)。使用水平制动和水平微动螺旋，使显示的 $dHR=0^{\circ}00'00''$ ，即找到了 OB 方向，指挥持测杆单棱镜者移动位置，使棱镜位于 OB 方向上。
- 6、按 DIST，进行测量，根据显示的 dHD 来指挥持棱镜者沿 OB 方向移动，若 dHD 为正，则向 O 点方向移动；反之若 dHD 为负，则向远处移动，直至 $dHD=0$ 时，立棱镜点即为 B 点的平面位置。其所显示的 dZ 值即为立棱镜点处的填挖高度，正为挖，负为填。
- 7、按 NEXT——放样下一个点 C。

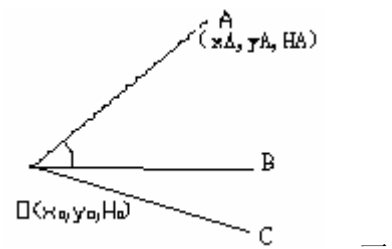


图 4：点的坐标放样示意图

（五）TOPCON 全站仪与电脑的数据通讯

1、电脑中数据文件的上载 (UPLOAD)

- (1) 在电脑上用文本编辑软件（如 Windows 附件的“写字板”程序），输入点的坐标数据，格式为“点名,Y,X,H”；保存类型为“文本文档”。具体见图 5。
- (2) 用“写字板”程序打开文本格式的坐标数据文件，并打开 T-COM 程序，将坐标数据文件复制到 T-COM 的编辑栏中。

(3)用通讯电缆将全站仪的“SIG”口与电脑的串口(如 COM1)相连,按 MENU—MEMORY MGR.—DATA TRANSFER, 进入数据传输,先在“COMM. PARAMETER”(通讯参数)中分别设置“PROTOCOL”(协议)为“ACK/NAK”;“BAUD RATE”(波特率)为 9600;“CHAR./PARITY”(校验位)为“8/NONE”;“STOP BITS”(停止位)为“1”。

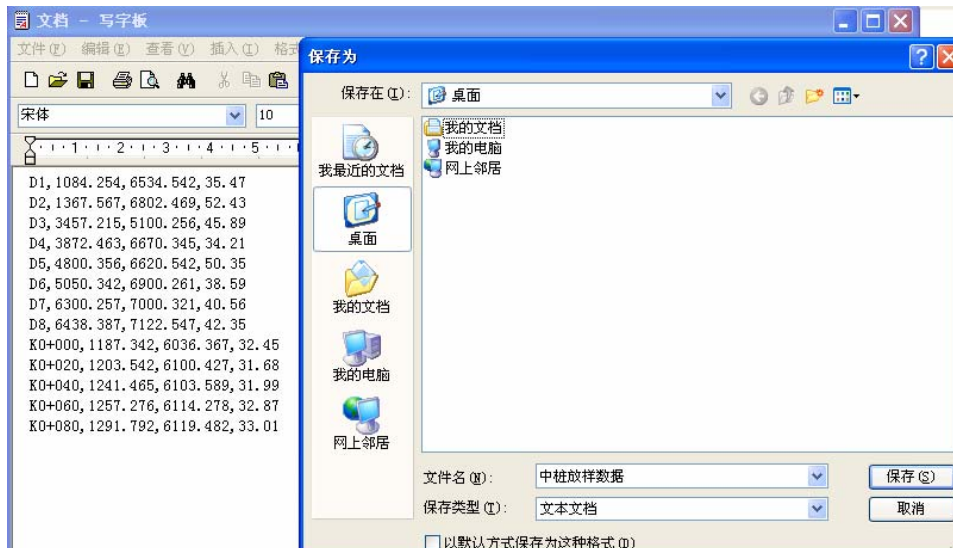



图 5：编辑上载的数据文件

(4) 点击按钮 ，出现“Current data are saved as:030624.pts”对话框时，点“OK”，出现如下图 6 的通讯参数设置对话框。按全站仪上的相同配置进行设置并选择“Read text file”后，点“GO”将刚保存的文件 030624.pts 打开，出现 Point Details（点描述）对话框。

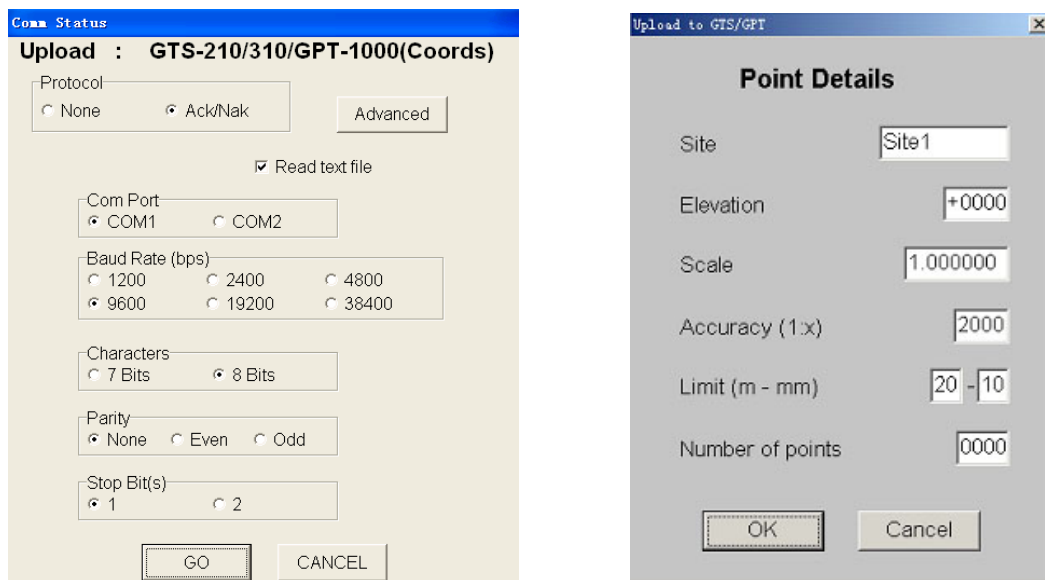




图 6：上载的数据文件

(5)回到全站仪主菜单 MENU 中的 MEMORY MGR.—DATA TRANSFER—LOAD DATA—COORD. DATA 。用 INPUT 为上传的坐标数据文件输入一个文件名后，点“YES”使全站仪处于等待数据状态 (Waiting Data)，再在电脑 Point Details 对话框中点“OK”。

注：可以直接在 T-COM 软件编辑栏中按“点名,Y,X,H”的格式编辑待上载的坐标数据文件。

2、全站仪中数据文件的下载（DOWNLOAD）

同上载一样，进行电缆连接和通讯参数的设置。点击按钮，设置通讯参数并选择“Write text file”后，再在全站仪上选择下载数据文件的类型(测量数据文件或坐标数据文件)。先在电脑上按“GO”，处于等待状态，再在全站仪上按“确定”，即可将全站仪中的数据下载至电脑。出现“Current data are saved as 03062501.gt6”及“是否转换”时对话框时，点击“Cancel”。点击按钮“”，将下载的数据文件取名后保存。（保存时下载的测量数据文件及坐标数据文件均要加上扩展名 gt6）。

（六）批量点的坐标放样

1、放样坐标数据文件的编辑及上载。可采用以下两种方法来实现：

（1）数据通讯方法。按 TOPCON 全站仪与电脑的数据通讯中“电脑中数据文件的上载（UPLOAD）”的方法将控制点及待放样点的坐标数据文件（如：ZBSJWJ（坐标数据文件））上载至全站仪。

（2）坐标输入方法。按 MENU 键（进入主菜单模式）——MEMORY MGR.（内存管理）——P↓（翻页）——COORD. INPUT（坐标输入）——INPUT（建立一个文件名，如：ZBSJWJ（坐标数据文件））——ENTER——分别在 PT#、N、E、Z 栏输入第一个点的点名、X、Y、H——输入下一个点的点名、X、Y、H。

2、实地放样操作

如图 7 所示，要在控制点 D3 架仪后视 D2 点，来放样点 K0+040、K0+060、K0+080 三点。

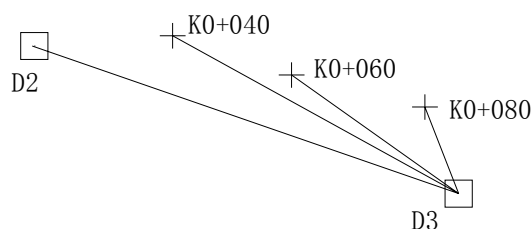


图7:坐标放样示意图

- （1）按 MENU，进入主菜单模式，选择 LAYOUT（放样）。
- （2）在“SELECT A FILE”中，用 INPUT 输入或 LIST 选择电脑上载的坐标数据文件名。
- （3）在“OCC.PT INPUT”中用 INPUT 输入或 LIST 选择测站点 D3，并输入 INS.HT（仪器高）。
- （4）在“BACKSIGHT”中同样输入或选择后视点的点号 D2。
- （5）瞄准后视点 D2，按“YES”。
- （6）在“LAYOUT”中同样输入或选择待放样点号 K0+040 及棱镜高，则计算出要仪器旋转的水平角值 HR 及平距 HD。
- （7）按 ANGLE，显示目前望远镜方向与放样方向之差 dHR；按 DIST，显示目前立镜点与放样点间水平距离之差 dHD。反复移动棱镜，当 dHR 和 dHD 均为零时，立镜点即为 K0+040
- （8）按 NEXT，放样下一点。

放样操作菜单见下图 8。

（七）数据采集(略)

放样菜单操作

按 [MENU] 键, 仪器进入主菜单1/3模式

按 [F2] (LAYOUT) 键, 显示放样菜单1/2

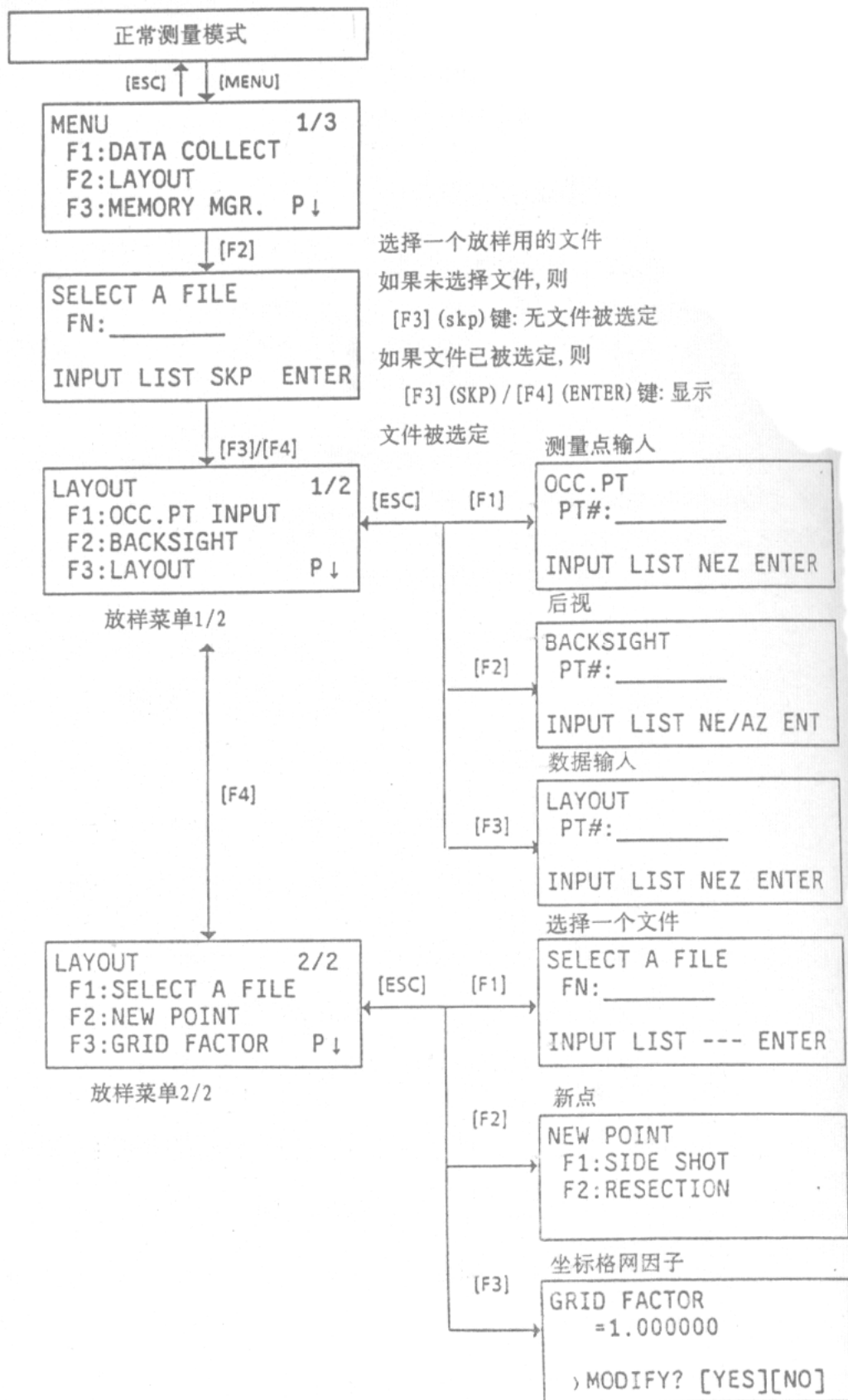


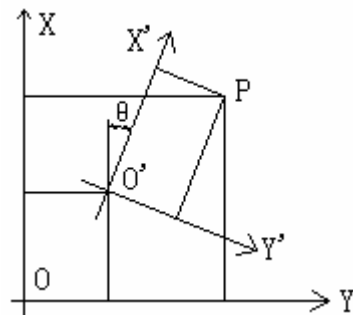
图 8: 放样操作菜单

第二部分：高等级公路中桩边桩坐标计算方法

一. 平面坐标系间的坐标转换公式

如图，设有平面坐标系 xoy 和 $x'o'y'$ （左手系—— x 、 x' 轴正向顺时针旋转 90° 为 y 、 y' 轴正向）； x 轴与 x' 轴间的夹角为 θ （ x 轴正向顺时针旋转至 x' 轴正向， θ 范围： 0° — 360° ）。设 o' 点在 xoy 坐标系中的坐标为 $(x_{o'}, y_{o'})$ ，则任一点 P 在 xoy 坐标系中的坐标 (x, y) 与其在 $x'o'y'$ 坐标系中的坐标 (x', y') 的关系式为：

$$\begin{cases} x = x_{o'} - y' \sin \theta + x' \cos \theta \\ y = y_{o'} + y' \cos \theta + x' \sin \theta \end{cases} \text{即: } \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{o'} \\ y_{o'} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}$$



二. 公路中桩边桩统一坐标的计算

（一）引言

传统的公路中桩测设，常以设计的交点（JD）为线路控制，用转点延长法放样直线段，用切线支距法或偏角法放样曲线段；边桩测设则是根据横断面图上左、右边桩距中桩的距离（ d_L 、 d_R ），在实地沿横断面方向进行丈量。随着高等级公路特别是高速公路建设的兴起，公路施工精度要求的提高以及全站仪、GPS等先进仪器的出现，这种传统方法由于存在放样精度低、自动化程度低、现场测设不灵活（出现虚交，处理麻烦）等缺点，已越来越不能满足现代公路建设的需要，遵照《测绘法》的有关规定，大中型建设工程项目的坐标系统应与国家坐标系统一致或与国家坐标系统相联系，故公路工程一般用光电导线或GPS测量方法建立线路统一坐标系，根据控制点坐标和中边桩坐标，用“极坐标法”测设出各中边桩。如何根据设计的线路交点（JD）的坐标和曲线元素，计算出各中边桩在统一坐标系中的坐标，是本文要探讨的问题。

（二）中桩坐标计算

任何复杂的公路平面线形都是由直线、缓和曲线、圆曲线几个基本线形单元组成的。一般情况下在线路拐弯时多采用“完整对称曲线”，所谓“完整”指第一缓和曲线和第二缓和曲线的起点（ZH或HZ）处的半径为 ∞ ；所谓“对称”指第一缓和曲线长 l_{s1} 和第二缓和曲线长 l_{s2} 相等。但在山区高速公路和互通立交匝道线形设计中，经常会出现“非完整非对称曲线”。根据各个局部坐标系与线路统一坐标系的相互关系，可将各个局部坐标统一起来。下面分别叙述其实现过程。

1. 直线上点的坐标计算

如图1 a) b)所示，设 xoy 为线路统一坐标系， x' -ZH- y' 为缓和曲线按切线支距法建立的局部坐标系，则 $JD_{i-1} \sim JD_i$ 直线段上任一中桩 P 的坐标为：

$$\begin{cases} x_P = x_{JD_{i-1}} + (L_P - L_{JD_{i-1}}) \cos A_{i-1-i} \\ y_P = y_{JD_{i-1}} + (L_P - L_{JD_{i-1}}) \sin A_{i-1-i} \end{cases} \quad (1)$$

式（1）中 $(x_{JD_{i-1}}, y_{JD_{i-1}})$ 为交点 JD_{i-1} 的设计坐标； L_P 、 $L_{JD_{i-1}}$ 分别为 P 点、 JD_{i-1} 点的设计里程； A_{i-1-i} 为 $JD_{i-1} \sim JD_i$ 坐标方位角，可由坐标反算而得。

曲线起点（ZH或ZY），曲线终点（HZ或YZ）均是直线上点，其坐标可按式（1）来计算。

2. 完整曲线上点的坐标计算

如图 1 a), 某公路曲线由完整的第一缓和曲线 l_{s1} 、半径为 R 的圆曲线、完整的第二缓和曲线 l_{s2} 组成。

(1) 第一缓和曲线及圆曲线上点的坐标计算

当 K 点位于第一缓和曲线 (ZH~HY) 上, 按切线支距法公式有^[1]:

$$\left. \begin{aligned} x'_K &= l - \frac{l^5}{40R^2l_{s1}^2} + \frac{l^9}{3456R^4l_{s1}^4} - \frac{l^{13}}{599040R^6l_{s1}^6} + \frac{l^{17}}{17542600R^8l_{s1}^8} \\ y'_K &= \frac{l^3}{6Rl_{s1}} - \frac{l^7}{336R^3l_{s1}^3} + \frac{l^{11}}{42240R^5l_{s1}^5} - \frac{l^{15}}{9676800R^7l_{s1}^7} + \frac{l^{19}}{3530097000R^9l_{s1}^9} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

当 K 点位于圆曲线 (HY~YH) 上, 有^[1]:

$$\left. \begin{aligned} x'_K &= R \sin \beta + q \\ y'_K &= R(1 - \cos \beta) + p \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\text{其中有:} \quad \beta = \frac{l - l_{s1}}{R} \frac{180^\circ}{\pi} + \beta_0 \quad (4)$$

式 (2) (3) (4) 中, β 为切线角; $l = L_K - L_{ZH_i}$ 为 K 点至 ZH_i 点的设计里程之差, 即曲线长; R 、 l_{s1} 、 β_0 、

p 、 q 为常量, 分别表示圆曲线半径, 第一缓和曲线长、缓和曲线角 ($\beta_0 = \frac{l_{s1}}{2R} \frac{180^\circ}{\pi}$)、内移值

($p = \frac{l_{s1}^2}{24R} - \frac{l_{s1}^4}{2688R^3}$)、切线增值 ($q = \frac{l_{s1}}{2} - \frac{l_{s1}^3}{240R^2}$)。

再由坐标系变换公式^[2]可得:

$$\begin{bmatrix} x_K \\ y_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{ZH} \\ y_{ZH} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos A_{i-1 \sim i} & -\sin A_{i-1 \sim i} \\ \sin A_{i-1 \sim i} & \cos A_{i-1 \sim i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_K \\ f \cdot y'_K \end{bmatrix} \quad (5)$$

式 (5) 中 f 为符号函数, 右转取 “+”, 左转取 “-” (见图 1 b))。

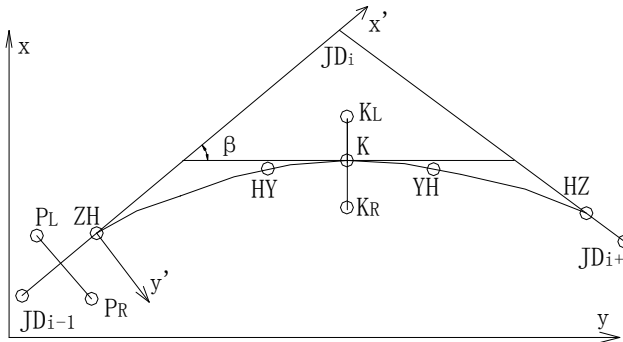


图 1 a) 直线第一缓和曲线圆曲线段点坐标计算 (右转)

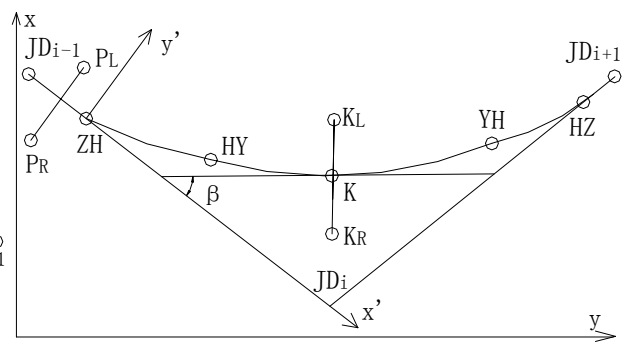


图 1 b) 直线第一缓和曲线圆曲线段点坐标计算 (左转)

(2) 第二缓和曲线上点的坐标计算

如图 2 所示, 当 M 点位于第二缓和曲线 (YH~HZ) 上, 有^[1]:

$$\left. \begin{aligned} x'_M &= l - \frac{l^5}{40R^2l_{s2}^2} + \frac{l^9}{3456R^4l_{s2}^4} - \frac{l^{13}}{599040R^6l_{s2}^6} + \frac{l^{17}}{17542600R^8l_{s2}^8} \\ y'_M &= \frac{l^3}{6Rl_{s2}} - \frac{l^7}{336R^3l_{s2}^3} + \frac{l^{11}}{42240R^5l_{s2}^5} - \frac{l^{15}}{9676800R^7l_{s2}^7} + \frac{l^{19}}{3530097000R^9l_{s2}^9} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式 (6) 中, $l = L_{HZ} - L_K$, 为 M 点至 HZ 点的曲线长; R 为圆曲线半径, l_{s2} 为第二缓和曲线长。

再由坐标系变换公式可得:

$$\begin{bmatrix} x_M \\ y_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{HZ} \\ y_{HZ} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos A_{i+1 \sim i} & -\sin A_{i+1 \sim i} \\ \sin A_{i+1 \sim i} & \cos A_{i+1 \sim i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_M \\ f \cdot y'_M \end{bmatrix} \quad (7)$$

式 (7) 中 f 为符号函数, 线路右转时取 “-”, 左转取 “+”。

(3) 单圆曲线 (ZY~YZ) 上点的坐标计算

单圆曲线可看作是带缓和曲线圆曲线的特例, 即缓和曲线段长为零。令式 (3) (4) 中内移值 p 、切线增长 q 、第一缓和曲线长 l_{s1} 、缓和曲线角 β_0 为零, 计算出单圆曲线上各点的局部坐标后, 由式 (5) 可得 ZY~YZ 上各点的统一坐标。

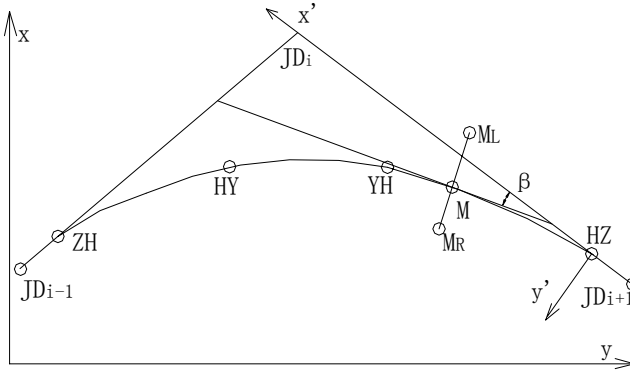


图 2 第二缓和曲线段点坐标计算 (右转)

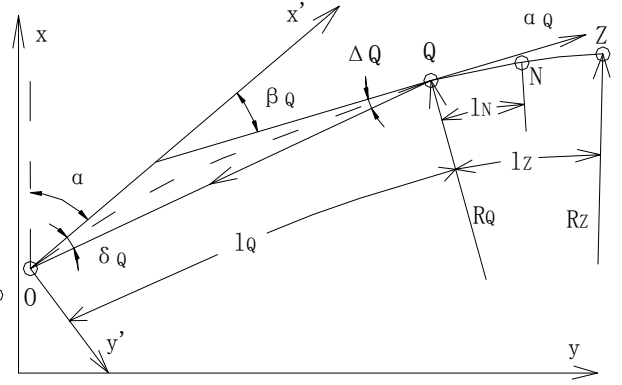


图 3 非完整缓和曲线段点坐标计算 (右转)

3. 非完整曲线上点的坐标计算

如图 3 所示, 设非完整缓和曲线起点 Q 的坐标为 (x_Q, y_Q) , 桩号 L_Q , 曲率半径 R_Q , 切线沿前进方向的坐标方位角为 α_Q ; 其终点 Z 的桩号 L_Z , 曲率半径 R_Z , 则 Z 点至 Q 点曲线长 $l_Z = L_Z - L_Q$ 。若 $R_Q > R_Z$, 则该曲线可看成是曲率半径由 ∞ 到 R_Z 的缓和曲线去掉曲率半径由 ∞ 到 R_Q 后的剩余部分。设 N 点为该曲线上一点, N 点至 Q 点的曲线长为 l_N ; O 为对应完整缓和曲线的起点, Q 点至 O 点的曲线长为 l_Q , 则由回旋型缓和曲线上任一点曲率半径与曲线长成正比的性质^[3], 有:

$$l_Q \cdot R_Q = (l_Q + l_Z) R_Z$$

$$\text{得: } l_Q = \frac{l_Z \cdot R_Z}{R_Q - R_Z} \quad (8)$$

设 $l_Q + l_Z = l_s$, 则由缓和曲线的切线角公式及偏角法计算公式^[3]知:

$$\beta_Q = \frac{l_Q^2}{2R_Z l_S} \cdot \frac{180^0}{\pi} \quad (9)$$

$$\delta_Q = \frac{l_Q^2}{6R_Z l_S} \cdot \frac{180^0}{\pi} = \frac{1}{3} \beta_Q \quad (10)$$

$$\text{弦长 } OQ = l_Q - \frac{l_Q^5}{90R_Z^2 l_S^2} \quad (11)$$

由图 3 知：

$$\Delta Q = \beta_Q - \delta_Q = \frac{2}{3} \beta_Q \quad (12)$$

则直线 QO 的坐标方位角为：

$$\alpha_{QO} = \alpha_Q + 180^0 + f \cdot \Delta Q \quad (13)$$

O 点切线方向 ox' 轴的坐标方位角 α 为：

$$\alpha = \alpha_Q + f \cdot \beta_Q \quad (14)$$

式 (13) (14) 中， f 为符号函数，线路右转时，取“-”；线路左转时，取“+”。

故 O 点坐标 (x_O, y_O) 为：

$$\left. \begin{aligned} x_O &= x_Q + OQ \cos \alpha_{QO} \\ y_O &= y_Q + OQ \sin \alpha_{QO} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

将式 (14) (15) 代入坐标平移旋转公式，得任一点 N 的坐标为：

$$\begin{bmatrix} x_N \\ y_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_O \\ y_O \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_N \\ f \cdot y'_N \end{bmatrix} \quad (16)$$

式 (16) 中， (x'_N, y'_N) 按式 (2) 计算，代入时 l 用 $(l_Q + l_N)$ 替代； f 为符号函数，右转取“+”

左转取“-”。

(三) 边桩坐标计算

有了中桩坐标 (x, y) 及其至左、右边桩的距离 d_L 、 d_R 后，计算出中桩至左、右边桩的坐标方位角 A_{Z-L} 、 A_{Z-R} ，则由式 (17)、(18) 得左、右边桩坐标 (x_L, y_L) 、 (x_R, y_R) 。

$$\left. \begin{aligned} x_L &= x + d_L \cos A_{Z-L} \\ y_L &= y + d_L \sin A_{Z-L} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

$$\left. \begin{aligned} x_R &= x + d_R \cos A_{Z-R} \\ y_R &= y + d_R \sin A_{Z-R} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

1. 直线上点 A_{Z-L} 、 A_{Z-R} 的计算

从图 1 a) b) 知：

$$\left. \begin{aligned} A_{Z-L} &= A_{i-1-i} - 90^0 \\ A_{Z-R} &= A_{i-1-i} + 90^0 \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

2. 第一缓和曲线及圆曲线段点 A_{Z-L} 、 A_{Z-R} 的计算

如图 1 a) b) 所示, 有:

$$\left. \begin{aligned} A_{Z-L} &= A_{i-1-i} + f\beta - 90^\circ \\ A_{Z-R} &= A_{i-1-i} + f\beta + 90^\circ \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

式 (20) 中, 当 K 点位于第一缓和曲线上, β 按式 (9) 计算; 当 K 点位于圆曲线段, 按式 (4) 计算。

f 为符号函数, 右转取 “+”, 左转取 “-”。

3. 第二缓和曲线段点 A_{Z-L} 、 A_{Z-R} 的计算

如图 2 所示, 有:

$$\left. \begin{aligned} A_{Z-L} &= A_{i+1-i} + f\beta + 90^\circ \\ A_{Z-R} &= A_{i+1-i} + f\beta - 90^\circ \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

式 (21) 中, β 按式 $\beta = \frac{(L_{HZ} - L_M)^2}{2Rl_{s2}} \frac{180^\circ}{\pi}$ 计算; f 为符号函数, 右转取 “-”, 左转取 “+”。

(四) 算例

如图 3 设某高速公路立交匝道(右转)的非完整缓和曲线段起点 Q 的桩号 K8+249.527, 曲率半径 $R_Q=5400m$, 切线沿前进方向的坐标方位角 $359^\circ10'05''$, 坐标为 (91412.164, 79684.008); 终点 Z 桩号 K8+329.527, 曲率半径 $R_Z=1800m$ 。中桩 K8+309.527 到左、右边桩的距离 $d_L=18.75m$, $d_R=26.50m$, 试计算 K8+309.527 的中、边桩坐标。

1. 完整缓和曲线起点 O 的计算

由公式(8)~(15)计算得: $l_Q = 40m$, $l_s = 120m$, $\beta_Q = 0^\circ12'44''$, $OQ = 40.000m$, $\Delta Q = 0^\circ08'29''$,

$\alpha_{QO} = 179^\circ01'36''$, $x_0 = 91372.170$, $y_0 = 79684.688$ 。

2. 中桩坐标的计算

由式 (2) (14) (16) 计算得: $x' = 99.995m$, $y' = 0.772m$; ox' 轴的坐标方位角 $\alpha = 358^\circ57'21''$;

$x = 91472.162$, $y = 79683.637$ 。

3. 边桩统一坐标的计算

由式 (9) (20) 得: $\beta = 1^\circ19'35''$, $A_{Z-L} = 270^\circ16'56''$, $A_{Z-R} = 90^\circ16'56''$, 式 (20) 中 A_{i-1-i} 即 ox'

轴的坐标方位角 α 。再由式 (17) (18) 得 $x_L = 91472.254$, $y_L = 79664.888$; $x_R = 91472.031$,

$y_R = 79710.137$ 。

(五) 结束语

通过坐标转换的方法, 在传统测设的各个局部坐标系与线路统一坐标系间建立了纽带, 通过编程能实现各个中桩边桩坐标的同步计算。对于复曲线、回头曲线、喇叭形立交、水滴形立交等复杂线形, 可将其分解成直线、非完整非对称缓和曲线、圆曲线形式, 再按文中的方法进行计算。

用线路统一坐标进行放样, 测设灵活方便, 不必在实地标定交点 (JD) 位置, 这对于交点位于人无法

到达的地方（如山峰、深谷、河流、建筑物内），是十分方便的。应用中，以桩号 L 为引数，建立包括中桩、边桩、控制点在内的坐标数据文件。将坐标数据文件导入全站仪或 GPS 接收机，应用坐标放样功能，便可实现中、边桩的同时放样。特别是 GPS 的 RTK 技术出现后，无需点间通视，大大提高了坐标放样的工作效率，可基本达到中、边桩放样的自动化。

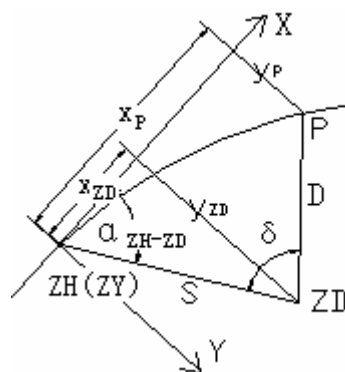
三. 公路中桩测设的局部极坐标法

(1) 以曲线起点 (ZH 或 ZY) 为原点，切线指向 JD 为 x 轴正向，再顺时针旋转 90° 为 y 轴正向，建立切线支距法坐标系。

(2) 用切线支距法同样的方法求出各中桩 P 在该坐标系中的坐标。见公式 (2) (3) (4)。(注意： y 坐标的正负符号。)

(3) 在 ZH (或 ZY) 架仪，输入测站点坐标 (0, 0)，后视 x 轴正向，输入方位角 $0^\circ 00' 00''$ ，测出一任意点 ZD 在该坐标系中的坐标。

(4) 在 ZD 点设站，后视 ZH (或 ZY) 点，根据各中桩 P 的坐标用全站仪坐标放样功能，放样出各中桩。若使用经纬仪，则可先用坐标反算公式，求出 P 点至 ZD 点的距离 D 及转角 δ (方位角之差)，再进行拨角、量边。



第三部分: CASIO FX-4800P 程序

一. 程序名: HUAN QIE (缓切)

1. 用途: 该程序是“完整对称带缓和曲线的圆曲线”的切线支距法详细测设坐标计算程序。
2. 程序数学模型: 按切线支距法建立的缓和曲线局部坐标系。即以曲线起点或终点为坐标原点, 切线方向为 X 轴正向, 圆心方向为 Y 轴正向。
3. 程序清单:

A “ZH”: R: S “LS”: Lbl 1 ✓

{L, B}✓

B = 1 \Rightarrow Goto 2: $\neq \Rightarrow$ Goto 3 ✓

Lbl 2✓

C=Abs(L-A): D=RS: X=C-C^5÷40D^2+C^9÷3456D^4-C^13÷599040D^6+C^17÷17542600D^8▲

Y=C^3÷6D-C^7÷336D^3+C^11÷42240D^5-C^15÷9676800D^7+C^19÷3530097000D^9▲ Goto 1

✓

Lbl 3✓

E=180(Abs(L-A)-S)÷R÷ π +180S÷(2 π R): P=S^2÷24÷R-S^4÷2688÷R^3: Q=S÷2-S^3÷240÷R^2✓

X=RsinE+Q▲

Y=R-RcosE+P▲

Goto 1✓

4. 程序说明:

ZH——ZH 点桩号 (里程); R——圆曲线半径; LS——缓和曲线长; L——待测设桩的桩号 (里程);
B——当待测设中桩位于缓和曲线段, 则输入“1”, 当待测设中桩位于圆曲线段, 则输入“1”以外的数值。
X——切线支距法的 X 值; Y——切线支距法的 Y 值。

二. 程序名: ZHUAN HUAN (转换)

1. 用途: 该程序是“两平面坐标系间坐标转换”的计算程序。
2. 程序数学模型: (略)
3. 程序清单:

C “X0”: E “Y0”: D “ANGLE”: F “SIGN” ✓

Lbl 0✓

{A, B}✓

$$F \neq 1 \Rightarrow A=A: B=-B \Delta X=C+A\cos D-B\sin D \blacktriangleleft$$

$$Y=E+B\cos D+A\sin D \blacktriangleleft$$

Goto 0

4. 程序说明:

X0, Y0——施工坐标系 (A-O'-B) 的原点 O' 在统一坐标系 (x-o-y) 中的坐标。

ANGLE——为统一坐标系的 x 轴顺时针旋转至施工坐标系的 A 轴的角值。

SIGN——为符号函数, 若输入 “1” 时, 则表明 x-o-y 为左手系, 且 A-O'-B 也为左手系; 若输入 “1” 之外值, 则表明 x-o-y 为左手系, 而 A-O'-B 为右手系。

A, B——某点在施工坐标系中的纵、横坐标。

X, Y——该点在相应统一坐标系中的纵、横坐标。

第四部分: 路桥类全站仪培训班理论与实操习题集

一. 应知部分

1. 在左转的带缓和曲线的圆曲线中桩测设中, 设起点 ZH 桩号为 K5+219.63, 其坐标为 (31574.163, 62571.446), 其切线方位角为 $305^{\circ}18'20''$, 缓和曲线长为 120m, 圆曲线的半径为 1000m, 试计算:

(1) 直线上中桩 K5+160、K5+180、K5+200 的坐标。

(2) 缓和曲线上中桩 K5+260、K5+280、K5+300 的坐标。

(3) 圆曲线上中桩 K5+340、K5+360、K5+380 的坐标。

(4) 若将题目的 “左转” 改为 “右转”, 试计算直线上中桩 K5+180、缓和曲线上中桩 K5+300、圆曲线上中桩 K5+340 的坐标。

部分参考答案:

左转时, 有:

$$K5+180: x=31551.259, y=62603.787$$

$$K5+300: x'=80.36417853, y'=0.7209861767, x=31620.020, y=62505.446。$$

$$K5+340: x'=120.3261366, y'=2.421637931, x=31641.728, y=62471.850。$$

2. 用 CASIO fx-4800P 或 CASIO fx-4500PA 编程计算器编制程序, 使其实现以上计算功能。

二. 应会部分

1. 输入棱镜常数 PSM 为 -30mm, 气温 T 为 35°C , 气压 P 为 760mmHg。

2. 将倾斜改正的 X、Y 均打开。
3. 将竖盘读数V的显示由目前的“望远镜水平时盘左为 90^0 ”改为“望远镜水平时盘左为 0^0 ”（即显示的V直接为竖直角。）
4. 将测量模式由目前的“精测（Fine）”改为“粗测（coarse）”，再改回“精测”。
5. 将距离单位由目前的“米”改为“英尺”，再改回“米”。
6. 在地面上任取 2 个点，为 A 和 B，在 B 点架全站仪，后视地面上任一点 A，用“距离放样方式(S.O)”在 BA 直线上找到一点，使其与 B 点的距离等于 23.115m。
7. 在地面点上任意选 3 个点，分别为 D1、D2、D3，在 D2 架仪，后视 D1，用“测角模式”中的“盘左盘右取平均的方法”（测回法），测出所夹的水平角。然后在“距离测量模式”中，测出 D2 至 D3 的水平距离。
8. 在地面点上任意选 3 个点，分别为 D1、D2、D3，在 D2 架仪，后视 D1，设 D2 的三维坐标为(1367.357, 2568.854, 58.348)，D2 至 D1 的坐标方位角为 $\alpha_{21} = 158^0 25' 58''$ ，用盘左测出 D3 点的三维坐标。
9. 在地面上任取 2 个点，为 A 和 B，在 B 点架全站仪，后视地面上任一点 A，设 B 点的平面坐标为 (3458.129, 9761.275)，坐标方位角 $\alpha_{BA} = 301^0 48' 26''$ ，用“偏心测量方式 (OFFSET)”，测出一棵树中心的平面坐标。
10. 在地面上任取 2 个点，为 A 和 B，在 B 点架全站仪，后视 A 点，设 B 点三维坐标为 (1035.447, 3316.815, 52.617)，坐标方位角 $\alpha_{BA} = 205^0 18' 36''$ ，D 点的三维坐标为 (1038.000, 3307.509, 52.505)，试放样出点 D 的平面位置及需填挖的深度。
11. 利用全站仪“面积测量”功能，测出地面上一个花池的平面面积。
12. 利用全站仪的“悬高测量”功能，测出某一栋建筑物的高度。
13. 利用全站仪的“对边测量”功能，测出地面上两点间的距离、高差。
14. 用全站仪的“坐标输入”(COORD.INPUT)功能，在全站仪上建立一个“坐标数据文件”，文件名为“ZBSJWJ1”。输入文件的内容为：D1(209.232,100.199, 12.551)、D2(200.736,100.458, 10.458)、D3(189.345,120.441,11.512)、K0+000(207.334,105.465, 10.700)、K0+020(212.521,111.664, 10.700)、K0+040 (214.629,117.384, 10.900)、K0+060 (218.542,122.442, 10.900)、K0+080 (224.331,129.214, 11.200)、K0+100 (230.615,132.671, 11.400)、K0+120 (235.986,133.900, 11.400)、K0+140 (240.333,138.262, 11.500)、K0+160 (245.326,140.341, 11.500)。
15. 在电脑上利用 TOPCON 通讯软件“T-COM”，将内容为：D1 (209.232,100.199, 12.551)、D2 (200.736,100.458, 10.458)、D3 (189.345,120.441,11.512)、K0+000 (207.334,105.465, 10.700)、K0+020 (212.521,111.664, 10.700)、K0+040 (214.629,117.384, 10.900)、K0+060 (218.542,122.442,

10.900)、K0+080 (224.331,129.214, 11.200)、K0+100 (230.615,132.671, 11.400)、K0+120 (235.986,133.900, 11.400)、K0+140 (240.333,138.262, 11.500)、K0+160 (245.326,140.341, 11.500) 的坐标数据文件上传至全站仪, 文件名为“ZBSJWJ2”。

16. 用全站仪在地面上放样出一段距离 8.5m, 架仪点为 D2, 另一点为 D1, 利用第 14 题的坐标数据文件 ZBSJWJ1, 放样出 K0+000、K0+020、K0+040、K0+060、K0+080 点的平面位置及填挖深度。
17. 利用全站仪“坐标放样”中“NEW POINT”下的“SIDE SHOT”功能, 先放样出一点 TP1, 再在 TP1 点架仪, 放样 K0+100、K0+120 两点的平面位置及填挖深度。
18. 利用全站仪“坐标放样”中“NEW POINT”下的“RESECTION”(自由设站)功能, 在任一 TP2 点架仪, 放样出点 K0+140、K0+160 两点的平面位置及填挖深度。

以下为附加题:

19. 为数据采集取一文件名为“SJCJ1”, 利用第 16 题的 D2、D1 在地面上的点位, 在 D2 架仪, 后视 D1 点, 进行数据采集, 采集出 2 栋建筑物、1 条路、2 个花池的坐标数据, 并绘制“点号及连接关系草图”。注: 测站点、后视点的坐标输入, 采用现场输入到全站仪中的方法。
20. 为数据采集取一文件名为“SJCJ2”, 利用第 16 题的 D2、D1 在地面上的点位, 在 D2 架仪, 后视 D1 点, 进行数据采集, 采集出 2 栋建筑物、1 条路、2 个花池的坐标数据, 并绘制“点号及连接关系草图”。注: 测站点、后视点的坐标现场不输入, 采用调用坐标数据文件“ZBSJWJ2”中所需点号的方法。
21. 利用“T-COM”软件, 将全站仪中的测量数据文件“SJCJ1”下载至电脑, 并保存为文件名为“数据采集 1.gt6”的文件。

《用全站仪进行公路中桩边桩测设》培训班考核要求及样题

一、理论笔试题（45 分钟）（40%）

请以开卷方式，用不能编程的计算器完成以下题中的任二小题。

在左转的带缓和曲线的圆曲线中桩测设中，设起点 ZH 桩号为 K5+219.63，其坐标为 (31574.163, 62571.446)，其切线方位角为 $305^{\circ}18'20''$ ，缓和曲线长为 120m，圆曲线的半径为 1000m，试计算（1）直线上中桩 K5+180 （2）缓和曲线上中桩 K5+300 （3）圆曲线上中桩 K5+340 的坐标。

参考答案：

$$(1) \text{由公式} \begin{cases} x_P = x_{JD_{i-1}} + (L_P - L_{JD_{i-1}}) \cos A_{i-1 \sim i} \\ y_P = y_{JD_{i-1}} + (L_P - L_{JD_{i-1}}) \sin A_{i-1 \sim i} \end{cases}, \text{ 可得: K5+180: } x=31551.259, \quad y=62603.787.$$

（2）中桩 K5+300 位于第一缓和曲线段上，故由公式：

$$\left. \begin{aligned} x'_K &= l - \frac{l^5}{40R^2 l_{s1}^2} \\ y'_K &= \frac{l^3}{6R l_{s1}} - \frac{l^7}{336R^3 l_{s1}^3} \end{aligned} \right\}, \text{ 得: } x'=80.3641785, \quad y'=0.720986177$$

$$\text{再由公式: } \begin{bmatrix} x_K \\ y_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{ZH} \\ y_{ZH} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos A_{i-1 \sim i} & -\sin A_{i-1 \sim i} \\ \sin A_{i-1 \sim i} & \cos A_{i-1 \sim i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_K \\ f \cdot y'_K \end{bmatrix} \quad (\text{其中, } f \text{ 为符号函数, 右转取 “+”,}$$

此处左转取 “-”), 得: $x_K = x_{ZH} + \cos A_{i-1 \sim i} \cdot x'_K + \sin A_{i-1 \sim i} \cdot y'_K = 31620.02m$

$$y_K = y_{ZH} + \sin A_{i-1 \sim i} \cdot x'_K - \cos A_{i-1 \sim i} \cdot y'_K = 62505.45m。$$

故有: K5+300: $x=31620.020, y=62505.446$ 。

（3）中桩 K5+340 位于圆曲线段，故有：

$$\beta_0 = \frac{l_{s1}}{2R} \frac{180^{\circ}}{\pi} = 3^{\circ}26'16'', \quad p = \frac{l_{s1}^2}{24R} - \frac{l_{s1}^4}{2688R^3} = 0.600m$$

$$q = \frac{l_{s1}}{2} - \frac{l_{s1}^3}{240R^2} = 59.993m, \quad \beta = \frac{l - l_{s1}}{R} \frac{180^{\circ}}{\pi} + \beta_0 = 4^{\circ}36'18''$$

$$\text{由公式: } \begin{cases} x'_K = R \sin \beta + q \\ y'_K = R(1 - \cos \beta) + p \end{cases}, \text{ 得: K5+360: } x'=120.325, \quad y'=2.422$$

$$\text{再由公式: } \begin{bmatrix} x_K \\ y_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{ZH} \\ y_{ZH} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos A_{i-1 \sim i} & -\sin A_{i-1 \sim i} \\ \sin A_{i-1 \sim i} & \cos A_{i-1 \sim i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_K \\ f \cdot y'_K \end{bmatrix} \quad (\text{其中, } f \text{ 为符号函数, 右转取 “+”,}$$

此处左转取 “-”), 得: $x_K = x_{ZH} + \cos A_{i-1 \sim i} \cdot x'_K + \sin A_{i-1 \sim i} \cdot y'_K = 31641.73m$

$$y_K = y_{ZH} + \sin A_{i-1 \sim i} \cdot x'_K - \cos A_{i-1 \sim i} \cdot y'_K = 62471.85m。$$

即：K5+340: $x=31641.73$, $y=62471.85$ 。

二. 实操题（15 分钟）（60%）

在地面上任意取 3 点 A、B、C，并设 B 点三维坐标为（1035.447,3316.815,52.617），坐标方位角 $\alpha_{BA} = 205^{\circ}18'36''$ ，要求 15 分钟内完成以下任务（1）（2）（A 卷）或（3）（B 卷）或（4）（5）（C 卷）。

1. 要求：①考试时即使要求设置的内容与仪器默认设置的内容相同，也要按要求进行设置；

②全站仪的水准管气泡偏离 ≤ 1 格，对中误差 $\leq 3\text{mm}$ ；

③放样点位的精度要求——角度差 $dHR \leq \pm 30''$ ，距离差 $dHD \leq \pm 0.05\text{m}$ 。

2. 任务：

（1）输入棱镜常数PSM为-50mm，气温T为 40°C ，气压P为 770mmHg。

（2）在B 点架仪，后视A点，用坐标测量模式测出C点的三维坐标，得： $X_C=$ ____， $Y_C=$ ____， $H_C=$ ____。

（3）在 B 点架全站仪，后视 A 点，放样出一点 D，其平面坐标为（1038.000,3307.509）。

（4）在与 A、B、C 三点均通视的位置架仪，利用“面积测量”功能测出 $\triangle ABC$ 的平面面积=_____平方米=_____平方英尺。

（5）将全站仪的通讯参数设置为：“protocol: ACK/NAK”、“baud rate: 4800”、“char./parity: 8/NONE”、“stop bit(s): 1”。

3. 评分标准：

（1）以时间 T 为评分主要依据，如下图表，评分标准分四个等级制定，具体分数由所在等级内插评分，表中 M 代表分数。（每延长 1 分钟，扣 5 分）

评分标准（以时间 T 为评分主要依据）			
$M \geq 85$	$85 > M \geq 75$	$75 > M \geq 60$	$M < 60$
$T \leq 10'$	$10' < T \leq 12'$	$12' < T \leq 15'$	$T > 15'$

（2）根据水准管气泡偏离情况，扣 1~5 分，根据对中情况扣 1~5 分。

（3）放样点位时，根据点位的角度偏差和距离偏差情况，扣 1~5 分。