TI-nspire 系列计算器编程 6——实战：路线竖曲线及高程计算程序

主讲人：王中伟（湖南交通职业技术学院）

【课程目的】

1．进一步熟悉 TI 计算器编程的操作方法；

2．通过实例掌握路线竖曲线及设计高程的编程计算；

3．理解数据库子程序的作用，掌握数据库子程序的编程方法。

一、 路线竖曲线及设计高程计算的数学模型

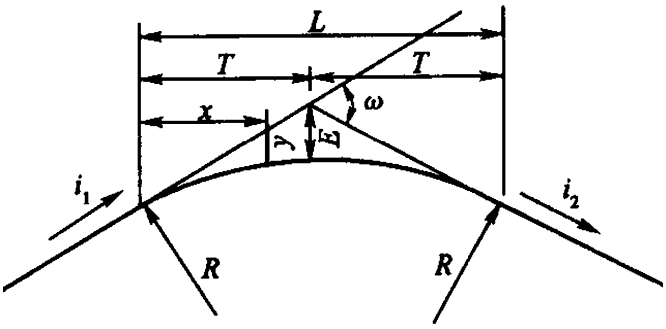


图 1　竖曲线要素示意图

（1）竖曲线要素计算公式

如图 1 所示，沿路线前进方向，i_1 为后坡坡度，i_2 为前坡坡度，当 $i_1 - i_2 < 0$ 时为凹竖曲线，反之为凸竖曲线。设变坡点高程为 H_0，竖曲线半径为 R，则有：

变坡角：　$\omega = |i_1 - i_2|$

竖曲线长度：　$L = R \cdot \omega$

切线长度：　$T = \dfrac{L}{2}$

竖曲线外距：　$E = \dfrac{T^2}{2R} = \dfrac{T \cdot \omega}{4}$

竖曲线上任一点切竖差：

$$y = \frac{x^2}{2R}$$

式中：x ——任一点桩号与竖曲线起点（或终点）桩号之差。

（2）中桩设计高程计算公式

竖曲线外直坡段上任一点的设计高程：

$$\left.\begin{aligned} h &= H_0 - d \cdot i_1 \quad \text{（后直坡段）} \\ h &= H_0 + d \cdot i_2 \quad \text{（前直坡段）} \end{aligned}\right\}$$

式中：d ——任一点桩号与变坡点桩号之差。

竖曲线内任一点的设计高程：

$$h = h_1 \pm y$$（凹竖曲线取+，凸竖曲线取－）

式中：h_1——计算点的切线高程，可参照直坡段上点的高程计算。

（3）计算案例

某道路纵断面设计资料见表 1。

表 1 某公路的纵坡、竖曲线表

序号	变坡点桩号	竖曲线							纵坡（%）		变坡点间距（m）	直坡段长（m）
		标高（m）	凸曲线半径 R（m）	凹曲线半径 R（m）	切线长 T（m）	外距 E（m）	起点桩号	终点桩号	+	－		
0	K0+000	596.325							3.500		625	511
1	K0+625	618.200	6000		114.000	1.083	K0+511	K0+739		-0.300	495	317
2	K1+120	616.715	4000		64.000	0.512	K1+056	K1+184		-3.500	330	211.376
3	K1+450	605.165		1500	54.624	0.995	K1+395.376	K1+504.624	3.783		495	372.544
4	K1+945	623.892	2000		67.832	1.150	K1+877.168	K2+012.832		-3.000	565	429.668
5	K2+510	606.941										

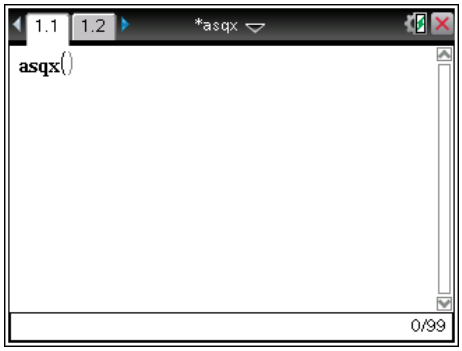
二、 第一步：编写竖曲线要素计算部分的代码

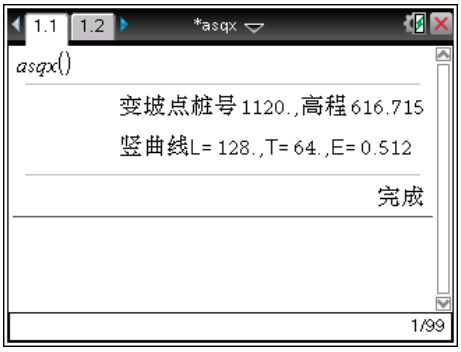
我们先在计算器中新建一个名为 asqx 的文件，并新建一个同名的程序，编写竖曲线要素计算部分的代码。

行号	程序代码	程序说明
	Define **asqx**()=	
	Prgm	
1	Request "变坡点桩号",*k*,0	原始数据输入，其中坡度按以百分数为单位，如 4.5%，则输入 4.5
2	Request "变坡点高程",*z*,0	
3	Request "竖曲线半径",*r*,0	
4	Request "后坡度",*i1*,0	
5	Request "前坡度",*i2*,0	
6	*w*:=abs(*i1*-*i2*)	计算变坡角
7	*s*=sign(*i2*-*i1*)	确定竖曲线的凹凸参数，凸曲线为-1，凹曲线为 1

行号	程序代码	程序说明
8	$l:=\frac{r\cdot w}{100}:t:=\frac{l}{2}:e:=\frac{t^2}{2\cdot r}$	计算竖曲线长、切线长、外距等竖曲线要素
9	*ks:=k-t:ke:=k+t*	计算竖曲线起、终点桩号
10	Disp "变坡点桩号",*k*, ",变坡点高程",*z*	显示部分原始数据
11	Disp "竖曲线 L=",*l*, ",T=",*t*,",E=",*e*	显示部分竖曲线要素计算结果
	EndPrgm	

计算验证计算案例的变坡点 2，操作流程如下：

步骤	屏幕显示	按键操作	操作说明
1		enter	输入主程序名，或按 var 键调出主程序 asqx() 后，按 enter 键执行程序
2		1 1 2 0 enter	输入变坡点桩号 1120
3		6 1 6 . 7 1 5 enter	输入变坡点高程 616.715

步骤	屏幕显示	按键操作	操作说明
4		4 0 0 0 enter	输入竖曲线半径 4000
5		− 0 . 3 enter	输入后坡度-0.3 并确认，注意坡度输入百分号前面的数值
6		− 3 . 5 enter	输入前坡度-3.5 并确认
7			显示部分原始数据和部分竖曲线参数计算结果

准确计算出竖曲线要素，是为后面计算路线设计高程做必要的准备。

三、 第二步：补充路线设计高程计算程序代码

在已有计算竖曲线要素的基础上，补充路线设计高程计算代码如下。

行号	程序代码	程序说明
	Define **asqx**()=	
	Prgm	
1	Request "变坡点桩号",*k*,0	原始数据输入，其中坡度按以百分数为单位，如 4.5%，则输入 4.5
2	Request "变坡点高程",*z*,0	
3	Request "竖曲线半径",*r*,0	
4	Request "后坡度",*i1*,0	
5	Request "前坡度",*i2*,0	
6	*w*=abs(*i1*-*i2*)	计算变坡角
7	*s*=sign(*i2*-*i1*)	确定竖曲线的凹凸参数，凸曲线为-1，凹曲线为 1
8	$l:=\frac{r\cdot w}{100}:t:=\frac{l}{2}:e:=\frac{t^2}{2\cdot r}$	计算竖曲线长、切线长、外距等竖曲线要素
9	*ks:=k-t:ke:=k+t*	计算竖曲线起、终点桩号
10	Disp "变坡点桩号",*k*, ",变坡点高程",*z*	显示部分原始数据
11	Disp "竖曲线 L=",*l*, ",T=",*t*,",E=",*e*	显示部分竖曲线要素计算结果
12	Request "桩号",*kk*	输入待算桩号
13	*y*:=0	切曲差处置设为 0
14	If *kk*<*k* Then	当待算桩号小于变坡点桩号时，表示桩号位于后坡段上
15	$h:=z+\frac{(kk-k)\cdot i1}{100}$	计算桩号点的切线高程
16	If *kk*>*ks*: $y:=\frac{(kk-ks)^2}{2\cdot r}$	如果桩号大于竖曲线起点，则表示桩号位于竖曲线上，计算此时的切曲差
17	Else	否则，桩号位于前坡段上
18	$h:=z+\frac{(kk-k)\cdot i2}{100}$	计算桩号点的切线高程
19	If *kk*<*ke*: $y:=\frac{(kk-ke)^2}{2\cdot r}$	如果桩号小于竖曲线终点，则表示桩号位于竖曲线上，计算此时的切曲差
20	EndIf	

行号	程序代码	程序说明
21	$h := h + s \cdot y$	计算修正后的设计高程
22	Disp "高程=",h	显示设计高程计算结果
	EndPrgm	

在使用这个程序时，一定要注意，待计算的桩号，必须要前面输入的竖曲线要素的可计算范围之内，否则会发生计算结果错误。

一个竖曲线，可以计算的范围，从上一个竖曲线的终点，到下一个竖曲线的起点。比如，变坡点 2 所在的竖曲线，可计算的范围，从 K0+739 到 K1+395.376。

以计算 K1+1000 桩号的设计高程为例，其操作流程如下：

步骤	屏幕显示	按键操作	操作说明
	K1+1000 桩号在变坡点 2 竖曲线计算范围内，其竖曲线要素计算过程同前		
1		1 0 0 0 enter	输入待计算桩号 1000
2			显示桩号 K1+000 的设计高程计算结果

变坡点 2 的计算范围 K0+739 到 K1+395.376 之间的设计高程列表如下，供读者自行计算练习检验。

桩号	设计高程	桩号	设计高程	桩号	设计高程	桩号	设计高程
K0+740.	617.855	K0+920.	617.315	K1+100.	616.533	K1+280.	611.115
K0+760.	617.795	K0+940.	617.255	K1+120.	616.203	K1+300.	610.415
K0+780.	617.735	K0+960.	617.195	K1+140.	615.773	K1+320.	609.715
K0+800.	617.675	K0+980.	617.135	K1+160.	615.243	K1+340.	609.015
K0+820.	617.615	K1+000.	617.075	K1+180.	614.613	K1+360.	608.315
K0+840.	617.555	K1+020.	617.015	K1+200.	613.915	K1+380.	607.615
K0+860.	617.495	K1+040.	616.955	K1+220.	613.215		
K0+880.	617.435	K1+060.	616.893	K1+240.	612.515		
K0+900.	617.375	K1+080.	616.763	K1+260.	611.815		

有一个问题给读者思考：由于一个竖曲线要素可以计算相当长一个范围内的桩号，可不可以改变程序运行流程，使得在同一个竖曲线计算范围内的桩号，不要每次都输入和计算竖曲线要素呢？

四、 第三步：编写和使用数据库子程序

按理说，上面的 asqx 程序已经是个完整功能的程序了，它具备了计算竖曲线要素和各桩号设计高程的计算功能，但是，它还有一些不太便利的地方：

（1）一个路线项目的变坡点数据非常多，每次要从设计文件中找变坡点数据，一是比较繁琐，二是容易出错；

（2）一个变坡点竖曲线参数，可以计算的范围是特定的，需要用户来判别待算桩号是否在其计算范围内，要非常仔细进行验证，否则很容易出错。

改进以上问题的措施，就是采用数据库子程序。

所谓数据库子程序，就是将相对固定的设计参数写入到一个子程序中，主程序根据某个关键参数来进行调用和赋值。

变坡点数据库子程序采用函数子程序，函数参数是桩号 *kk*，返回一个数组，内容为变坡点五参数：变坡点桩号、变坡点高程、竖曲线半径、后坡度、前坡度。

行号	程序代码	程序说明
	Define **bpd** (*kk*)=	
	Func	
1	If *kk*<0 or *kk*>2510:Return {-1}	若桩号在项目有效桩号范围之外，返回一个负值的数组
2	If *kk*<1056:Return {625,618.2,6000,3.5,-0.3}	变坡点 1 参数
3	If *kk*<1395.376:Return {1120,616.715,4000,-0.3,-3.5}	变坡点 2 参数
4	If *kk*<1877.168:Return {1450,605.165,1500,-3.5,3.783}	变坡点 3 参数
5	Return {1945,623.892,2000,3.783,-3}	变坡点 4 参数
	EndFunc	

在利用纵坡、竖曲线表中的参数编写数据库子程序时，应注意坡度的精度问题，一般设计文件上的坡度只保留 2~3 位小数，建议读者根据变坡点桩号和高程自行推算出精度较高的坡度值（至少取到 5 位以上小数），以保证高程计算的精度。

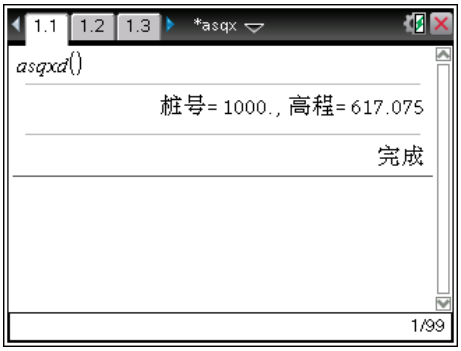
相应地，原 asqx 程序作出修改，另命名为 asqxd。

行号	程序代码	程序说明
	Define **asqxd**()=	
	Prgm	
1	Request "桩号",*kk*,0	输入待算桩号
2	*bp*:=bpd(*kk*)	调用数据库子程序，返回结果给数组变量 bp
3	If *bp*[1]<0:Then	如果数组第一个元素返回-1
4	Disp "桩号超出范围"	报警：桩号超出范围
5	Stop	程序停止运行
6	EndIf	
7	*k*:=*bp*[1]:*z*:=*bp*[2]:*r*:=*bp*[3]:*i1*:=*bp*[4]:*i2*:=*bp*[5]	将变坡点参数赋值给相关变量
8	*w*:=abs(*i1*-*i2*)	计算变坡角
9	*s*=sign(*i2*-*i1*)	确定竖曲线的凹凸参数，凸曲线为-1，凹曲线为 1
10	$l:=\frac{r\cdot w}{100}:t:=\frac{l}{2}:e:=\frac{t^2}{2\cdot r}$	计算竖曲线长、切线长、外距等竖曲线要素
11	*ks:=k-t:ke:=k+t*	计算竖曲线起、终点桩号
12	*y*:=0	切曲差处置设为 0
13	If *kk*<*k* Then	当待算桩号小于变坡点高程时，表示桩号位于后坡段上

行号	程序代码	程序说明
14	$h := z + \frac{(kk-k)\cdot i1}{100}$	计算桩号点的切线高程
15	If *kk*>*ks*: $y := \frac{(kk-ks)^2}{2\cdot r}$	如果桩号大于竖曲线起点，则表示桩号位于竖曲线上，计算此时的切曲差
16	Else	否则，桩号位于前坡段上
17	$h := z + \frac{(kk-k)\cdot i2}{100}$	计算桩号点的切线高程
18	If *kk*>*ke*: $y := \frac{(kk-ke)^2}{2\cdot r}$	如果桩号小于竖曲线终点，则表示桩号位于竖曲线上，计算此时的切曲差
19	EndIf	
20	$h := h + s\cdot y$	计算修正后的设计高程
21	Disp "桩号=",*kk* ,", 高程=",*h*	显示桩号和设计高程计算结果
	EndPrgm	

以计算 K1+1000 桩号的设计高程为例，其操作流程如下：

步骤	屏幕显示	按键操作	操作说明
1		enter	输入主程序名，或按 var 键调出主程序 asqxd()后，按enter键执行程序
2		1 0 0 0 enter	输入待计算桩号 1000

步骤	屏幕显示	按键操作	操作说明
3			显示桩号 K1+000 的设计高程计算结果

为便于读者计算验证，列出了工程实例的 50 米一个中桩的设计高程计算结果如下表所示。

桩号	设计高程	桩号	设计高程	桩号	设计高程	桩号	设计高程
K0+000.	596.325	K0+650.	617.465	K1+300.	610.415	K1+950.	622.755
K0+050.	598.075	K0+700.	617.848	K1+350.	608.665	K2+000.	622.201
K0+100.	599.825	K0+750.	617.825	K1+400.	606.922	K2+050.	620.742
K0+150.	601.575	K0+800.	617.675	K1+450.	606.160	K2+100.	619.242
K0+200.	603.325	K0+850.	617.525	K1+500.	607.064	K2+150.	617.742
K0+250.	605.075	K0+900.	617.375	K1+550.	608.948	K2+200.	616.242
K0+300.	606.825	K0+950.	617.225	K1+600.	610.840	K2+250.	614.741
K0+350.	608.575	K1+000.	617.075	K1+650.	612.731	K2+300.	613.241
K0+400.	610.325	K1+050.	616.925	K1+700.	614.623	K2+350.	611.741
K0+450.	612.075	K1+100.	616.533	K1+750.	616.515	K2+400.	610.241
K0+500.	613.825	K1+150.	615.521	K1+800.	618.406	K2+450.	608.741
K0+550.	615.448	K1+200.	613.915	K1+850.	620.298	K2+500.	607.241
K0+600.	616.665	K1+250.	612.165	K1+900.	622.059		

课后练习题：

【程序应用练习】根据下表的某公路的纵坡、竖曲线表，编制变坡点数据库子程序，并使用 asqxd 程序进行计算验证。

某公路的纵坡、竖曲线表

序号	变坡点桩号	竖曲线							纵坡（%）		变坡点间距（m）	直坡段长（m）
		标高（m）	凸曲线半径 R（m）	凹曲线半径 R（m）	切线长 T（m）	外距 E（m）	起点桩号	终点桩号	+	—		
0	K0+000	423.580								-1.084	150.000	129.727
1	K0+150	421.953	40000		20.273	0.005	K0+129.727	K0+170.273		-1.186	180.000	146.367
2	K0+330	419.819		1500	13.360	0.059	K0+316.640	K0+343.360	0.596		226.375	198.714
3	K0+556.375	421.167	1500		14.300	0.068	K0+542.075	K0+570.675		-1.311	283.625	253.801
4	K0+840	417.448		700	15.523	0.172	K0+824.477	K0+855.523	3.124		410.000	371.072
5	K1+250	430.257										

某公路中桩设计高程计算结果

桩号	设计高程	桩号	设计高程	桩号	设计高程	桩号	设计高程
K0+000	423.579	K0+350	419.938	K0+700	419.284	K1+050	424.008
K0+050	423.037	K0+400	420.236	K0+750	418.629	K1+100	425.570
K0+100	422.495	K0+450	420.534	K0+800	417.973	K1+150	427.132
K0+150	421.948	K0+500	420.832	K0+850	417.782	K1+200	428.694
K0+200	421.360	K0+550	421.108	K0+900	419.322	K1+250	430.256
K0+250	420.767	K0+600	420.595	K0+950	420.884		
K0+300	420.174	K0+650	419.940	K1+000	422.446		

【编程练习】在利用 asqxd 程序计算路线设计高程时，需要手工逐个桩号输入进行计算，现在路线上每隔 50 米一个桩号计算其设计高程，试对 asqxd 程序进行修改，使其具备以下功能：对于一个以数组形式保存的桩号列表，如每 50 米一个桩的桩号，程序能自动循环计算，计算结果保存在另一个对应的数组中，桩号数组和对应的设计高程数组以电子表格的形式进行显示。

提示：对于定距的桩号数组，可使用数列生成函数 seq 来自动生成。