

# 复化辛普森公式在公路曲线放样中的应用

◆文/石宽<sup>1</sup> 孟蕾<sup>1</sup> 田晓程<sup>2</sup>

【摘要】 本文结合公路曲线曲率变化的特点,利用复化辛普森公式导证了计算公路曲线坐标的通用公式,并将其用于计算器编程计算路线中边桩坐标。

【关键词】 复化辛普森公式 公路曲线 坐标计算

在公路曲线计算中,通常采用切线支距公式计算曲线点的坐标。当计算不同的线型时需用不同的公式。当曲线的曲率半径很小或计算卵形曲线时,需要对切线支距公式进行多项展开,这就增加了计算难度。复化辛普森公式不仅能解决不同线型的坐标计算问题,而且计算公式是可逆的(即可顺前进方向也可逆向计算),特别是在计算第二缓和曲线和卵形曲线时更为简便。

## 1 公路曲线点坐标计算

### 1.1 曲线上点的切线方位角的计算

在几种基本曲线中,缓和曲线的坐标计算是个关键。如图1,设缓和曲线起点A的曲率为 $\rho_A$ ,里程为 $DK_A$ ,终点B的曲率为 $\rho_B$ ,里程为 $DK_B$ ;  $Ax'y'$ 为以A为坐标原点,以A点切线方向为 $x'$ 轴正方向的局部坐标系; $AXY$ 为路线坐标系。

由于缓和曲线上各点曲率半径 $R_i$ 与该点距曲线起点的距离 $li$ 成反比,因此缓和曲线上任意点的曲率为 $\rho_i=1/R_i=li/c$ ( $c$ 为常数),其按线性变化,因此 $DK_i$ 点的曲率为 $\rho_i=\rho_A+(\rho_B-\rho_A)\times(DK_i-DK_A)/(DK_B-DK_A)$ ,当曲线右偏时, $\rho_A$ 、 $\rho_B$ 取正值;左偏时取负值。在图1中有 $d\beta=1/k_0 dl=\rho_i dl$ ,  $\beta_i=f_{DK_A}^{\rho_i} dl=(\rho_i+\rho_A)\times(DK_i-DK_A)/2\times 180^\circ/\pi$ ,若已知曲线起点A在路线坐标系下切线方位角 $\alpha_A$ ,则 $DK_i$ 点切线方位角为 $\alpha_i=\alpha_A+\beta_i$ ,  $\beta_i=\alpha_A+(\rho_i+\rho_A)\times(DK_i-DK_A)/2\times 180^\circ/\pi$ ,当 $\rho_A=0$ ,  $\rho_B=0$ 时,  $\rho_i=0$ ,则 $\alpha_i=\alpha_A$ ,即求解直线路段的切线方位角公式;当 $\rho_A=1/R$ ,  $\rho_B=1/R$ 时,  $\rho_i=1/R$ ,则 $\alpha_i=\alpha_A+(DK_i-DK_A)/R\times 180^\circ/\pi$ ,即求解圆曲线段的切线方位角公式。可见,若已知曲线段起点和终点的曲率及起点的切线坐标方位角,便能计算任意线型点切线的坐标方位角。

### 1.2 曲线上点坐标的计算

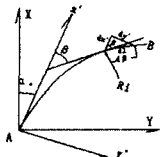


图1 局部与路线坐标系

由图1可得缓和曲线上点位在 $Ax'y'$ 坐标系下坐标计算公式

$$\left. \begin{aligned} dx' &= dl \cos \beta_i \\ dy' &= dl \sin \beta_i \end{aligned} \right\} \text{ 则有 } \left. \begin{aligned} x' &= \int_{DK_A}^{DK_i} \cos \beta_i dl \\ y' &= \int_{DK_A}^{DK_i} \sin \beta_i dl \end{aligned} \right\}$$

设缓和曲线起点A在路线坐标系下的坐标为 $(X_A, Y_A)$ ,便得缓和曲线上任意点的坐标

$$\left. \begin{aligned} X &= X_A + \int_{DK_A}^{DK_i} \cos \alpha_i dl \\ Y &= Y_A + \int_{DK_A}^{DK_i} \sin \alpha_i dl \end{aligned} \right\}$$

上式的后半部分是定积分,引入复化辛普森公式对其进行解算。将积分区间 $[DK_A, DK_i]$ 划分为 $n$ 等份,步长为 $H=(DK_i-DK_A)/n$ ,分点里程 $DX_k=DK_A+KH$ , ( $K=0, 1, 2, \dots, n$ ),记子区间 $[DX_k, DX_{k+1}]$ 的里程为 $DX_{k+1/2}$ ,则 $DX_{k+1/2}=(DX_k+DX_{k+1})/2$ , ( $K=0, 1, 2, \dots, n-1$ )。因此上式用复化辛普森公式表示为

$$\left. \begin{aligned} X &= X_A + \frac{H}{6} \left( \cos \alpha_A + 4 \sum_{k=1}^{n-1} \cos \alpha_{k+1/2} + \cos \alpha_n \right) \\ Y &= Y_A + \frac{H}{6} \left( \sin \alpha_A + 4 \sum_{k=1}^{n-1} \sin \alpha_{k+1/2} + \sin \alpha_n \right) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: $X_A$ 、 $Y_A$ 、 $\alpha_A$ :曲线元起点X、Y坐标及切线方位角;  
 $\alpha_{k+1/2}$ 、 $\alpha_k$ :曲线元上 $2n$ 、 $n$ 等分处及待求点处的切线方位角。

## 2 公路曲线坐标计算源程序

### 2.1 公路曲线坐标计算程序主体

根据通用公式(1)和点至主点法线垂距逐步迭代趋近单向收敛原理编制CASIO fx-4850P计算器程序如下(为避免混淆数字“0”和字母“O”,程序中的数字“0”均替换为“θ”)。

#### (1)主程序:ZFS

```
J"1.KDF=>XY,2.XY=>KD":A"QD"B"ZD"R"1/Rθ"V"1/RN"C"
Xθ"D"Yθ"E"FO":J=1=>Goto 1:≠> Goto 2 Δ Lbl 1:{LIF}:L"K=":I"
DP=":F"ANG=":L>B=>A=B:R=V:E=W:C=X:D=Y:{BV}: B"ZD"V"
1/RN": Δ Prog "SIM2":XI=":X:Pause θ:"YI=":Y Δ W<θ=>W=W+
36θ: Δ W>36θ=> W=W-36θ: Δ "FW=": W→DMS Δ Goto 1: Lbl 2:
{XY}:XY:O=X:U=Y: L=A+Abs ((Y-D) cos(E+F"ANG="-18θ) -(X-
C) sin(E+F-18θ)): Lbl 3:I=θ: Prog "SIM2": Z=(U-Y) cos(W+F-18θ)
-(O-X) sin(W+F-18θ): AbsZ<1E-4=>Goto 4: ≠>L=L+Z:Goto 3 Δ
Lbl 4: I=θ: Prog "SIM2": Z=(U-Y)/sin (W+F): Lbl 5:"K=":L:Pause
θ:"DP=":Z Δ Goto 2
```

#### (2)子程序:SIM2

```
N=6:T=(V-R)÷(B-A):H=(L-A)÷N:P=TNH+R:S=9θH÷π:W=
E+(P+R)NS:G=1: X=C+H÷6×(cosE+cosW+4× ∑ (cos (E+((G+θ.5)
HT+2R)(G+θ.5)S),G,θ, (N-1))+ 2 ∑ (cos(E+(THG+2R)GS),G,1,
(N-1) ) )+Icos(W+F):Y=D+H÷6×(sinE+sinW+4 × ∑ (sin(E+((G+θ.
5)HT+2R)(G+θ.5)S),G,θ,(N-1) )+2× ∑ (sin(E+(THG+2R)GS),G,1,
(N-1) ) )+Isin(W+F)
```

#### (3)使用说明:

QD、ZD、1/Rθ、1/RN:起点、终点里程及曲率(左负右正);Xθ、Yθ、FO:起点的X、Y坐标及切线方位角;N:可取4~12,视曲率半径而定,亦可为变量;ANG:横断面线与主线的交角;X、Y:反算点的坐标;XI、YI、FW:待求点的坐标及切线方位角;K、DP:正算或反算时待求点的里程、支距(左负右正)。

### 2.2 程序功能扩展

在程序“ZFS”的基础上还可以事先输入起算数据实现程序计算自动化,只要输入路线上的任一个桩号、偏距和夹角就能计算出坐标;也可以反算出桩号和偏距。

#### (1)桩号判断程序 QUANXIAN

```
L "K=":L<2000=>Prog "A":Δ (放样 A 匝道) L<3000=>Prog
"B":Δ (放样 B 匝道)……
```

#### (2)曲线A数据赋值子程序 A

```
L<1119.644=>A=1000:B=1119.644:R=0: V=0:C=447944.2015:
D=493968.4888: E=168 度 7 分 43.75 秒: ≠>L<1228.533=> A=
1119.644:B =1228.533: R =0:V =1/180: C =447827.1163: D =
493993.101: E =168 度 7 分 43.75 秒: ≠>L<1469.322=> A=
1228.533:B =1469.322: R =1/180: V =R: C =447719.2834: D =
494040.623: E =185 度 27 分 32.49 秒: ≠>L<1576.281=> A=
1469.322: B =1576.281:R =1/180:V =0: C =447558.1137: D =
493850.1649: E=262 度 6 分 16.78 秒: Δ Δ Δ Δ Prog "ZFS":
(最多可以输入N个判断,N≤15)
```

## 3 坐标计算算例

(下转 154 页)

### 5.7 配浆与灌浆

每完成1根钢管,既开始进行注浆施工。注浆使用UB3-A型注浆泵。注浆采用孔内循环分段注浆,分段长度一般5.0~8.0 m。水泥单液浆水灰比采用0.8:1~1.5:1。水泥使用普通硅酸盐525号水泥。在水泥浆中掺入5%~8%水玻璃作为阻水、速凝剂。水玻璃浓度35波美度,模数2.4。注浆扩散半径 $\geq 0.8$  m。注浆时,先采用低压力中流量注入,注浆过程中逐渐提升压力,当压力升至注浆综压时(0.5~1Mpa),保持压力,屏浆10min,然后关闭注浆管结束注浆。

### 6 洞内型钢钢架支护施工

进洞口16m以内架设热轧普通I 18型钢(截面面积 $A=30.74\text{cm}^2$ )钢架。钢架采用全封闭式,纵向间距0.5m。两榀钢架纵向采用 $\Phi 22$ 钢筋连接,间距1.5m。

型钢拱架施工在每循环开挖完及初喷后立即进行,拱架制作采用18#工字钢,在综合加工厂内按设计要求制作,成品采用自卸车运到施工现场,型钢钢架安装前安设系统锚杆,初喷4cmC25F50混凝土后及时安装型钢钢架,并打锁脚锚杆固定钢架。拱架安装使用人工和小型机械紧贴岩面安装,钢架与岩面间的空隙必须用喷射混凝土填塞密实,拱架底部必须坐落在基岩上,底部采用连接钢板方式加固,连接钢板(厚10mm),工字钢每榀间距为0.5m,钢架之间采用间距0.5m $\Phi 22$ 纵向拉杆焊接,钢架与环向系统锚杆相焊接,安装后应尽快复喷18cm厚混凝土将钢架全部覆盖。

### 7 隧洞开挖

隧洞内开挖时采用短进尺、弱爆破、强支护、中心楔形掏槽、四

(上接150页)

供管理,促进休闲空间的健康发展。

### 3.2 借助游憩空间规划促进城市发展

大众休闲是城市生活的组成部分,是现代城市经济发展的新模式。特别是在大中城市中,各类休闲活动已成为经济活动得以运行的基本条件,城市经济的良性循环在很大程度上依赖于人的休闲需求的实现。在游憩休闲促进城市经济的同时,它也汇集了社会中的文化因素,正是这些经济和文化的要素相互作用,才形成城市经济活动和人的休闲活动的互动,决定着城市未来的经济结构的选择和发展趋势。

(上接151页)

以麻城互通A匝道为例验证坐标计算程序的正确性。相关曲线参数如图2。子程序“A”即为匝道A的起算数据赋值程序,运行程序“QUANXIAN”,在提示下输入待求点的桩号(在A匝道的桩号加上1000后的桩号),即可验证直线段、缓和曲线及圆曲线上各点的坐标。逐桩坐标表见表1。

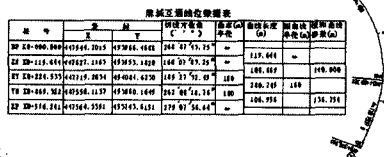


图2 麻城互通A匝道曲线数据表

(上接152页)

相互渗透,形成变化有序的连续的城市空间。在周围大多数建筑里都可以获取宜人的景观,而且人们漫步于该地区,尽情享受这美丽的城市景观。

### 3.3 对城市居民环境意识的影响

滨水区的整治工程,将提高了市民环境意识,市政府因势利导,作活水公园,成就环境建设与环境教育相结合的典范。地上为人工湿地污水处理系统,地下为环境教育馆。待到环境教育馆工作开展,人们在府南河今昔对比中得到的感知认识,将在此升华为理性

周扩挖、周边光爆、勤观测法进行施工并及时进行支护。为预防施工过程中洞口塌滑,必须加强现场安全监测,及时预报险情,以便施工中采取可靠的安全防护措施,每次开挖及初期支护后即进行变形观测,主要观测项目由:岩性、结构面产状及支护裂隙观测,水平净空收敛观测,顶拱下沉观测、地表下沉观测,观测时根据需要在隧洞顶部、底部、开挖掌子面等部位埋设观测点,每天测量1~2次,待变形逐渐稳定后,2天量测一次,量测资料及时整理上报,发现有异常情况立即上报。

### 8 结语

釜山隧洞出口段左洞地质条件差,成洞困难。采用管棚钢架支护施工,由于钢管的一端浇入混凝土中,另一端插在岩层中(尽管该岩层裂隙发育),在进行开挖时,钢管承受较大荷载,围岩的负荷减少。临时支护采用的钢格栅,间距为0.5 m,故实际的钢管棚净跨度不足45 cm。在开挖施工初期,虽然钢管内有较大的法向应力出现,但弯矩基本保持不变。随着上覆岩体逐渐加厚,弯矩会有所增加,但变化不会太大,这是因为弯矩只和支承在两榀拱架之间的、喷混凝土支护上的管棚,局部向下产生的垂直位移有关,而局部管棚具有较大的刚性,并且钢拱架、喷混凝土和钢管棚已形成了整体的支护体系。在实际施工中,虽然围岩渗漏水严重,但除掌子面有涌水现象外,大部分均呈表面滴水状态,采用钢拱架和喷混凝土支护,保证了与围岩紧密结合共同受力,从而进一步提高了“围岩支护体系”的承载能力。为安全施工提供了保证,确保了隧洞开挖的顺利进行。

(作者单位系中国葛洲坝水利水电工程集团有限公司)

### 参考文献

- [1]冯维波.我国城市游憩空间研究现状与重点发展领域[J].地理科学进展.2006.(6)
- [2]马惠娣.西方城市游憩空间规划与设计探析[J].齐鲁学刊.2005.(6)
- [3]秦学.城市游憩空间结构系统研究——以宁波市为例[J].经济地理.2003.(3)
- [4]吴必虎等.公共游憩空间分类与属性研究[J].中国园林.2003.(5)

(作者单位系宁波大学建筑工程与环境学院建筑学专业)

### 4 结论

由于复化辛普森公式计算的精度可由人为或程序自行判断,其计算结果可以满足各种精度要求,因此复化辛普森公式是计算公路曲线坐标的万能公式。当曲线元的设计半径较小时,为保证点位计算精度,n的取值可适当的大些。

### 参考文献

- [1]李孟山,李少元.计算公路匝道点位坐标的复化辛普森公式,测绘通报,2000.

(作者单位系中国葛洲坝集团第二工程有限公司)

认识,则环境意识的普及、绿色产业的勃兴都指日可待。滨水景观的意义将从此上升到新的水平。

### 参考文献

- [1]黎杰群.对增城增江西岸滨水地段开发的思考[J].城市规划.2002.(1)
- [2]刘雪梅.国外城市滨水区再开发实践与研究的启示[J].现代城市研究.2005.(9)
- [3]石楠等.城市滨水区[M].北京:中国建筑出版社.2000

(作者单位系宁波大学建筑工程与环境学院建筑学专业)