

# 基于 AutoCAD .NET 的斜交桥梁高程计算程序开发

张俊英<sup>1</sup>, 丁德豪<sup>2</sup>

(1.内蒙古交通设计研究院有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 010010; 2.中交第二公路勘察设计研究院有限公司)

**摘要:** 针对斜交桥梁设计中高程计算繁琐的问题,采用 C# 语言,基于 AutoCAD .NET 进行计算程序开发。从开发平台、程序结构、计算流程、计算原理 4 个方面进行介绍。重点介绍了求解斜桥跨径线上特征点对应桩号的计算方法,推导了计算公式,归纳了编程要点。

**关键词:** AutoCAD.NET; 斜交桥梁; 高程计算; 程序

## 1 前言

对于中小跨径桥梁设计,上下部结构采用标准图纸,设计人员的主要工作为高程和坐标的计算。尽管只是简单代数问题,却有一些工程发生过因高程计算错误而导致的质量事故。为此,设计者会投入大量的人力计算和复核高程坐标。而一条路线往往会有几十至几百座桥梁,计算和复核工作量非常大。且很多桥梁为了服从路线走向,布置为斜桥,斜桥的高程计算更为复杂。

斜桥高程计算的数学模型如图 1 所示,直线 AC 为墩(台)跨径线,AC 与路线切线交角为  $\alpha$ , P 为 AC 上一点,若要求解 P 点的路面高程,首先要计算 P 点的设计桩号,因跨径线是斜向的,故跨径线的设计桩号并非是 P 点设计桩号;其次要计算 P 点设计桩号处的设计高程;再次计算 P 点设计桩号处的横坡,当 AC 位于缓和曲线上,因超高是渐变的,常需进行繁琐的内插计算;最后根据 P 点的设计高程、横坡、至设计高程线的距离,计算 P 点的路面高程。每一个点的计算需要 4 步,一座桥往往需要计算很多特征点,重复很多次。且每一步还需从路线项目中查找数据,在 AutoCAD 图上量取数据,再输入 EXCEL 表进行计算,频

繁地切换软件,设计工作量非常大。为提高设计效率,非常有必要开发一款高程计算程序。

## 2 开发平台及语言

斜桥高程计算程序可以开发为 AutoCAD 的插件,也可以开发为独立的应用程序。开发为 AutoCAD 的插件,有两个优势:① AutoCAD 可以自动加载该插件,节省了查找和切换软件的时间;② 程序在读入和输出数据时,可以与 AutoCAD 图形进行交互,丰富了程序的功能。故选择采用 AutoCAD 二次开发工具进行程序的开发。

AutoCAD 提供了多种方法进行二次开发,包括 LISP、VBA、ObjectARX、.NET API 等。Lisp 与 VBA 较为简单,易上手,主要用于简单程序的开发。ObjectARX 是 Autodesk 公司推出的基于 C++ 的二次开发软件包,软件包提供了大量访问 AutoCAD 软件底层的接口,能直接调用 AutoCAD 的函数,能快速访问 AutoCAD 图形数据库,开发功能非常强大。从 AutoCAD2006 开始,Autodesk 公司又推出 .NET API,它提供了一系列托管的外包类,封装了绝大部分 ObjectARX 软件包里的函数,目前已经拥有了与 ObjectARX 相似的强大功能。可以看出,.NET API 与传统 ObjectARX 的区别主要在于:一个是 .NET 环境下开发应用程序;另一个是 VC 环境下开发应用程序。

使用 .NET 开发程序具有以下优势:① 可以利用 .NET 框架下丰富的类库;② 内存自动管理;③ 采用统一的异常处理;④ 支持多种语言,如 VB.Net, C#, 托管 C++ 等。这些特点让开发程序变得容易、高效。

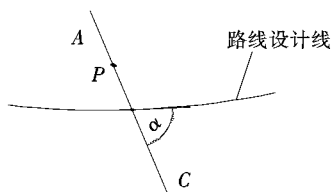


图 1 斜交桥梁桥面高程计算示意

收稿日期:2018-10-12

作者简介:张俊英,男,硕士,工程师.E-mail:420085783@qq.com

相比掌握 VC++ 和 ObjectARX 来说,掌握 .NET API 更容易,故该文选用 .NET API 工具开发此程序,采用 C# 语言基于 Visual Studio 2010 和 AutoCAD 2012 平台开发。

### 3 程序结构及计算流程

程序由 5 个模块组成,分别为读写模块、坐标及方位角计算模块、桩号计算模块、高程计算模块和横坡计算模块。读写模块负责读取路线平纵横数据和跨径线信息,并将计算结果输出屏幕,读写模块的好坏直接关系到用户体验,好的读写模块会让用户节省很多时间。路线平纵横数据是比较复杂的,读写模块尽量做到自动读取路线软件的接口文件,而不需要人工手动录入。以某路线软件为例,该软件提供了一个接口,生成的接口文件包括了项目的所有平纵横数据,用户只需在 CAD 命令行输入命令,调出文件浏览窗口,选择接口文件,自动读取数据。NET API 提供了打开文件对话框的类 PromptOpenFileOption,可以很容易实现上述功能,极大地提高了编程效率。跨径线信息包括跨径线桩号、斜交角、计算点至设计线的距离等,通过 AutoCAD 的命令行读取。计算结果也通过 AutoCAD 的命令行输出。坐标及方位角计算模块是基础模块,功能为计算任意桩号的坐标和方位角,功能独立,封装为一个模块,供后续函数调用。桩号计算模块是核心模块,功能为计算跨径线上点的设计桩号。高程计算模块的功能是计算竖曲线任意点中桩高程;横坡计算模块的功能是计算任意桩号的横坡。根据以上功能,计算流程可归纳为图 2。

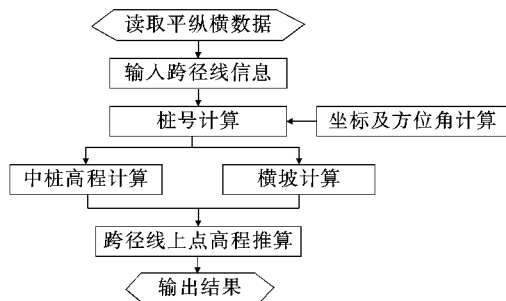


图2 计算流程

## 4 计算原理

### 4.1 坐标及方位角计算

此类问题的数学模型为已知线元的起点桩号、起

点坐标、起点方位角,求线元上任一点坐标及方位角。公路平曲线包含直线、圆曲线和缓和曲线,每一段曲线称为一个线元,线元的计算理论成熟,可参考文献[1]、[2]进行。程序中求解上述模型可分为 3 个步骤:

(1) 判断桩号位于哪一个线元。根据路线的起始桩号以及每一个线元的长度,计算出每一个线元的起终点桩号,再通过比较运算得到已知桩号所在的线元。

(2) 判段线元的类型。设线元起点半径为  $R_1$ ,终点半径为  $R_2$ ,当  $R_1=R_2=\infty$  时,线元为直线;当  $R_1=R_2\neq\infty$  时,线元为圆曲线;当  $R_1=\infty, R_2\neq\infty$  或  $R_1\neq\infty, R_2=\infty$  时,线元为完整缓和曲线;当  $R_1\neq R_2\neq\infty$ , 线元为不完整缓和曲线。

(3) 依据线元类型,选择相应计算方法计算。每一种计算方法可编写为一个函数。

### 4.2 桩号计算

此类问题的数学计算模型如图 3、4 所示,已知跨径线 AC 与路线设计线交于 O 点, O 点桩号  $L_0$  已知,斜交角为  $\alpha$ , P 点距设计线的垂直距离为  $l$ ,求 P 点桩号。该类问题的关键在于确定 P 点到路线的垂足的位置。按照求解过程可分为解析法和数值法,下面分别介绍。

常见的路线曲线类型分为直线、圆曲线和缓和曲线。对于直线,如图 3(a)所示, Q 点为垂足, P 点的桩号计算公式如式(1)所示,正负号根据 P 点所在路线的左右侧确定。

$$L_P = L_0 \pm l / \tan \alpha \quad (1)$$

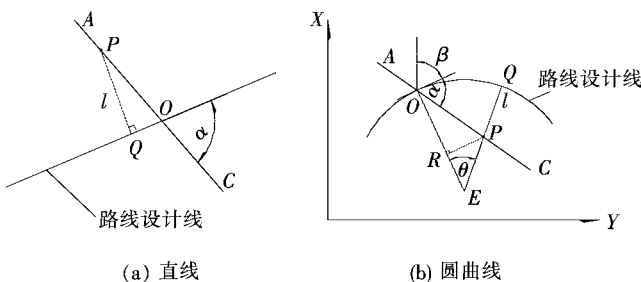


图3 解析法桩号计算示意

对于圆曲线,如图 3(b)所示, E 点为圆曲线圆心, R 为半径,圆心坐标  $(X_E, Y_E)$  及半径 R 为已知。由于 O 点桩号给定,通过调用坐标及方位角计算模块,求得 O 点的坐标为  $(X_O, Y_O)$ ,方位角为  $\beta$ ,在图示坐标系下,过 O 点跨径线 AC 的方程为:

$$X = \tan\left(\frac{\pi}{2} - \alpha - \beta\right) \cdot Y + [X_O - \tan\left(\frac{\pi}{2} - \alpha - \beta\right) \cdot Y_O] \quad (2)$$

以 E 点为圆心,  $(R-l)$  为半径的圆曲线方程为:

$$(X - X_E)^2 + (Y - Y_E)^2 = (R - l)^2 \quad (3)$$

联立方程(2)、(3),求得  $P$  点坐标为  $(X_P, Y_P)$ 。  
 $PO$  点的距离  $D_{PO}$  为:

$$D_{PO} = \sqrt{(X_P - X_O)^2 + (Y_P - Y_O)^2} \quad (4)$$

按照图 3(b)所示的几何关系, $P$  点桩号计算公式如式(5)、(6)所示,正负号根据  $P$  点所在路线的左右侧确定。

$$\theta = \arcsin \left[ \frac{D_{PO} \cdot \sin(\pi/2 - \alpha)}{R - l} \right] \quad (5)$$

$$L_P = L_O \pm R \cdot \theta \quad (6)$$

对于缓和曲线,无法直接用解析法,可采用数值法,具体计算方法如下。

如图 4 所示,假设设计线上任一点  $B$  为所求点,通过调用坐标及方位角计算模块,求得  $B$  点的坐标为  $(X_B, Y_B)$ ,方位角为  $\beta_B$ ,过  $B$  点的路线法线方程为:

$$X = \tan(-\beta_B) \cdot Y + [X_B - \tan(-\beta_B) \cdot Y_B] \quad (7)$$

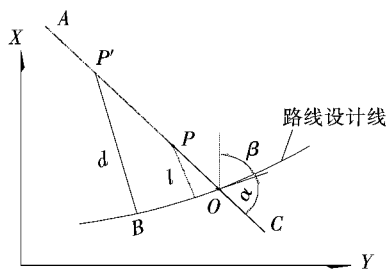


图 4 数值法桩号计算示意

联立方程(2)、(7),求得交点  $P'$  的坐标为  $(X_P, Y_P)$ ,  $PB$  点的距离  $D_{PB}$  为:

$$D_{PB} = \sqrt{(X_P - X_B)^2 + (Y_P - Y_B)^2} \quad (8)$$

如果  $B$  点假设正确,那么有  $d = l$ 。程序中通过二分法进行迭代计算,初始桩区间设为  $[L_0, L_0 \pm 2l \tan \alpha]$ ,正负号根据所求点在路线左右侧确定。经试算,迭代的收敛速度很快,在给定的误差允许范围内,即可找到所求的桩号。

在编程时需要注意 3 种特殊情况:① 判断  $\alpha + \beta$  角的取值,当  $\alpha + \beta = \pm \pi$ ,方程(2)变为  $X = X_O$ ;② 判断方位角为  $\beta_B$  的取值,当  $\beta_B = \pm \frac{\pi}{2}$ ,方程(7)变为  $X = X_B$ ;③  $P'$  存在的必要条件为直线  $P'B$  与直线  $PO$  不平行,若设计线为直线,那么要保证  $\alpha \neq \frac{\pi}{2}$ ,其实当  $\alpha = \frac{\pi}{2}$ , $P$  点桩号与  $O$  点桩号相同。

实际应用中,结合计算对象,选择解析法、数值法或解析与数值相结合的方法。

#### 4.3 高程计算

此类问题的数学模型为,已知各转坡点的桩号、半径及高程,求任意桩号的中桩高程。公路竖曲线由直线和二次抛物线组成。高程计算分为 3 个步骤:

(1) 竖曲线要素计算(图 5)

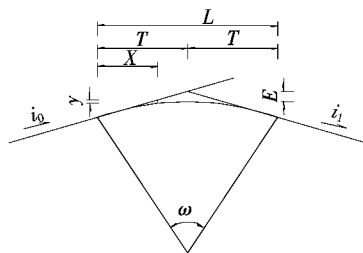


图 5 竖曲线要素计算示意

由于竖曲线半径都很大,故采用下式近似计算,结果可满足工程要求。

$$\omega = |i_0 - i_1|; L = R\omega; T = L/2; E = \frac{T^2}{2R}; y = \frac{x^2}{2R} \quad (9)$$

式中: $R$  为竖曲线半径; $L$  为竖曲线曲线长; $T$  为竖曲线切线长; $E$  为竖曲线外距; $\omega$  为相邻纵坡差的绝对值, $i_1 > i_0$ ,为凹曲线, $i_1 < i_0$ ,为凸曲线; $x$  为竖曲线上任意点与曲线起点或终点的距离; $y$  为竖曲线上任意点到切线的纵距。

(2) 竖曲线始终点桩号计算

竖曲线始点桩号 = 转坡点桩号 -  $T$ 。

竖曲线终点桩号 = 转坡点桩号 +  $T$ 。

(3) 竖曲线上任意点高程计算

凸曲线上的高程 = 坡线高程 -  $y$ 。

凹曲线上的高程 = 坡线高程 +  $y$ 。

编写程序时,先要判断所计算桩号位于哪一段曲线,再根据竖曲线类型选择相应的计算方法进行计算。

#### 4.4 横坡计算

此类问题的数学模型为,已知各横坡变化点的桩号和横坡值,求任意桩号处的横坡值。尽管超高的变化可能是线性,也可能是三次抛物线,但无论何种变化方式,本质都是采用内插法计算。编写程序时,首先判断超高变化方式,再选择相应的计算方法计算。

#### 4.5 工程应用

按照前文思路,采用 C# 语言,在 Visual Studio 2010 平台上,完成斜交桥梁桥面高程计算程序的开发。正交桥梁是斜交桥梁的一个特例,程序稍加修改,也可进行正交桥梁的高程计算。目前,该程序已经成功用于高速公路的桥梁设计中,为设计人员节约了大

# 基于简化数值模型的高墩桥梁减隔震性能研究

马振霄, 贾少敏

(广州大学 工程抗震研究中心, 广东 广州 510405)

**摘要:** 针对高墩桥梁基本周期长、墩身响应大的特点, 该文侧重附加装置的耗能能力, 基于简化数值模型计算了摩擦摆支座(FPI)与黏滞阻尼器(FVD)组合方案在高墩桥梁上的减隔震效果。通过减隔震装置参数、地震动幅值和频谱影响分析表明: FPI与FVD组合方案虽然可进一步提高该高墩模型的墩底剪力减震效果, 但综合考虑优势并不明显; 地震动幅值和频谱特性对高墩桥梁的减隔震效果影响明显, 高烈度地区更应重视高墩桥梁的减隔震设计。

**关键词:** 高墩桥梁; 减隔震; 数值分析

丘陵山区由于地形地质条件复杂, 桥梁结构占比大且高墩桥梁日益增多。高墩的长细比和墩身自重通常都比较大, 90 m 桥墩墩身自重与上部结构自重之比可达 2.38。高墩桥梁的结构特点使其与常规桥梁的抗震性能存在较大不同。在地震作用下, 高墩震害多表现为墩梁相对位移过大导致的支座移位、活动支座脱落, 上部结构位移过大导致的墩台破坏以及墩身的弯矩破坏, 其中又以墩身弯矩所造成的破坏最为严重, 因此高墩桥梁的抗震性能研究越来越受到设计人员和学者的重视。

高墩桥梁抗震性能研究主要集中在 3 个方面: ①增加结构自身的强度和变形能力以抗震; ②选择适当的塑性铰位置进行延性设计; ③引入附加装置进行减隔震设计。相比前两种方法, 减隔震措施主要通过特

定构件消耗体系中的能量或改变体系的动力特性以减弱结构地震响应, 一定程度降低抗震方案设计验算的困难和延性设计方案震后修复的代价。文献[9]主要讨论了高墩桥梁中使用滑动支座、黏滞阻尼器等减隔震装置的必要性; 文献[10]通过对采用铅芯橡胶支座、盆式橡胶支座和双曲面滑动支座高墩桥梁的减隔震性能分析表明, 减隔震支座具有一定控制震动效果, 但与墩高和频谱特性紧密相关, 抗震设计中应根据具体情况谨慎分析。

为进一步分析强震区高墩桥梁减隔震装置的适用性及其控制效果, 该文结合高墩桥梁基本周期长的特点, 着重考虑附加装置的耗能能力, 提出摩擦摆支座(FPI)与黏滞阻尼器(FVD)的组合减隔震方案, 并进行该组合装置的参数分析和地震动幅值、频谱影响分析。

量的时间。

## 5 结语

桥面高程计算是中小桥梁设计中一个重要环节, 斜交桥梁桥面高程计算过程繁琐, 结合路线软件提供的接口, 开发适合于工程的小程序, 可极大地提高工作效率。AutoCAD.NET 提供了良好的平台, 使软件开发变得容易, 降低了对编程知识的要求, 路桥设计人员可根据需要开发自己的程序。

## 参考文献:

- [1] 张雨化. 道路勘测设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 1997.
- [2] 闻道秋. 复合曲线坐标计算及程序设计[J]. 工程勘察, 1997(2).
- [3] 黄雪冬, 王身高, 赵海燕. 基于道路集成 CAD 系统弯坡斜桥坐标高程计算[J]. 交通与计算机, 2000(6).
- [4] 张玲玲, 张志伟. 公路卵形曲线任意点坐标和切线方位角的计算方法[J]. 兰州交通大学学报: 自然科学版, 2007(1).
- [5] 单德山, 张俊英, 黄振兴, 等. 基于 ASP.NET 的大跨度斜拉桥管养系统[J]. 桥梁建设, 2012(3).
- [6] 曾洪飞, 卢择临, 张帆. AutoCAD VBA&VB.NET 开发基础与实例教程[M]. 2 版. 北京: 中国电力出版社, 2013.
- [7] JTJ D20-2006 公路路线设计规范[S].

收稿日期: 2018-06-18

作者简介: 马振霄, 男, 硕士研究生, E-mail: 13265378776@163.com