

任意空间预应力束引伸量实用 CAD 电算求解法^{*}

肖 军¹ 徐秀芳²

(1. 江苏省交通规划设计院, 江苏 南京 210005; 2. 盐城工学院 实验教学部, 江苏 盐城 224003)

摘 要: 空间预应力束引伸量的求解是桥梁施工控制中的重要环节, 介绍了在 CAD 图形软件下, 空间预应力束引伸量的求解过程, 对单端张拉、双端对称张拉、双端不对称张拉以及斜腹板中预应力束引伸量的求解方法作了详细阐述。

关键词: 预应力; 引伸量; CAD; 不对称; 斜腹板

中图分类号: TP391.72

文献标识码: A

文章编号: 1671-532X(2005)02-0028-04

桥梁施工中, 预应力束的张拉一般采用张拉力和引伸量双控, 施工时需要准确的理论引伸量与实测值进行对比, 因此空间预应力束引伸量的求解是预应力桥梁施工配合中的重要环节。手工计算预应力束引伸量不太现实, 结构计算程序虽然能输出预应力束引伸量, 但实际建模时, 一般未考虑路线平、纵线型的影响, 且计算过程中, 需要反复调整预应力束, 若每次均将平弯、竖弯完整描述一遍需要花费大量精力, 而施工过程中, 有时也需要对束形进行微调。如何快速、直观、准确计算空间复杂形状预应力束引伸量成了一个比较棘手的问题。

AutoCAD 在工程制图中已经得到普及, 它是一个开放的制图软件, 允许用户对其进行二次开发, 利用这个特性可以开发出空间预应力束引伸量计算程序, 只要工程人员将预应力束的平弯、竖弯束型画出, 便可以在 CAD 中直接计算出复杂形状预应力束的引伸量。下面就结合笔者编程体会, 介绍一下 CAD 图形电算法的求解过程。

1 引伸量计算原理

根据桥梁规范^[1-2], 预应力束在张拉过程中, 任意一点处的应力为:

$$\sigma_x = \sigma_k \cdot e^{-(kx + \mu\theta)} \quad (*)$$

其中:

σ_k ——锚下控制张拉应力

k ——管道线摩阻系数

x ——张拉端到计算点预应力束空间长度

μ ——管道角摩阻系数

θ ——张拉端到计算点预应力束空间转过的角度

该点处微单元引伸量 $d_{\Delta} = (\sigma_x / E_y) \cdot ds$, 其中 E_y 为钢束弹性模量, ds 为微单元长度, 于是钢束的总引伸量 $\Delta = \int (\sigma_x / E_y) ds$ 。由此可见, 只要能求出任意一点至张拉端之间, 预应力束的空间长度和转角, 就可得到该点处微小段的引伸量, 然后采用微小段逐步累加的方法得到总引伸量。

2 在 AutoCAD 中计算任意空间预应力束引伸量

2.1 空间角坐标系内预应力束引伸量的求解

理论上, 在空间直角坐标系中可以描述任何复杂形状的预应力束型, 而且直角坐标系内的束型更容易让人有直观理解, 下面讨论空间直角坐标系内预应力束引伸量的计算方法。

2.1.1 单端张拉

先解决求解空间束长和转角的问题: 用两条曲线分别表示预应力束的竖弯和平弯线型, 组合成空间束型, 曲线由 CAD 提供的直线、圆弧、多义线、椭圆线等基本图元组成, 两曲线在 X 坐标方

^{*} 收稿日期: 2005-01-11

作者简介: 肖 军(1974-), 男, 江苏建湖县人, 江苏省交通规划设计院工程师, 同济大学在读硕士研究生。

向必须严格相等 ,如图 1。

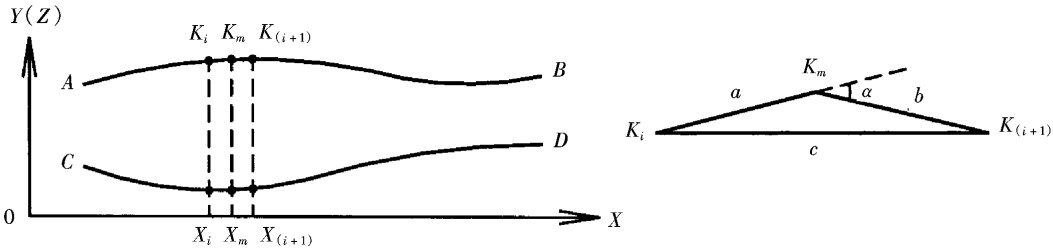


图 1 空间束长度及转角计算示意

Fig.1 Calculating diagrammatic sketch of spatial tendons length & angle of rotation

假定端点 A、C 为张拉端 ,空间束上有两个靠得非常近的点 K_i 和 $K_{(i+1)}$,其 X 坐标分别为 x_i 和 $x_{(i+1)}$,利用这些 CAD 曲线基本图元的几何属性 ,能够求得这两点空间坐标为 (x_i, y_i, z_i) 和 $(x_{(i+1)}, y_{(i+1)}, z_{(i+1)})$,只要靠得足够近 ,两点之间曲线的空间长度就可以直接利用它们的坐标求得的空间直线距离代替 ;要求两点之间空间曲线转过的角度 ,可以取它们的中点 $K_m(x_m, y_m, z_m)$,求得这三点组成的空间三角形三个边长为 a 、 b 、 c , K_i 到 $K_{(i+1)}$ 之间转过的空间角度可以用 K_m 顶角的补角 α 代替 : $\alpha = a \tan \sqrt{\left| \left(\frac{2ab}{a^2 + b^2 - c^2} \right)^2 - 1 \right|}$ ($\alpha < \pi/2$ 时)。

由上述方法 ,可求得空间束上 ,任意微小段的曲线长和该段微小转角 ,利用逐段累加的方法 ,得到从张拉端到该点处的累计空间束长和累计空间转角 ,再由公式 (1) 求得该点处的钢束应力 ,有了应力、弹性模量和微段曲线长 ,可以求出该微段的引伸量 ,从 AC 张拉端向 BD 固定端 ,将每个微段引伸量累加 ,就得到了单端张拉空间预应力束的引伸量。

2.1.2 双端对称张拉

若预应力束为双端张拉 ,而且束型纵向对称 ,则从理论上讲 ,预应力束的中点在张拉过程中是不动的 ,这相当于从一个张拉端到预应力束的中点为单端张拉 ,只需求解一半空间束的单端张拉引伸量便可。

2.1.3 双端不对称张拉

若预应力束为不对称双端张拉 ,则两端的引伸量需分别求解 ,问题的关键在于如何找到变形不动点。

万方数据

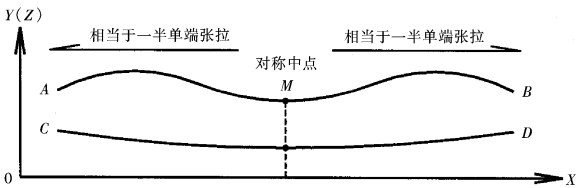


图 2 双端对称张拉引伸量计算

Fig.2 Calculation of drawing amount of double-end symmetric tensioning

不对称预应力束的变形不动点位置是个非常复杂的问题 ,在实际张拉过程中 ,受两端千斤顶行程速度、功率以及管道摩阻的不均匀性等影响 ,无法预知真正的不动点。一般理论计算时 ,假定左右两端分别向不动点计算摩阻损失 ,得到的量值相等 ,也就是 ,不动点左右面的应力应该相等。

由于预应力束是一条空间光滑曲线 ,任意一端向另一端求摩阻损失的函数 ,应该是单调、连续、光滑的 ,如图 3。

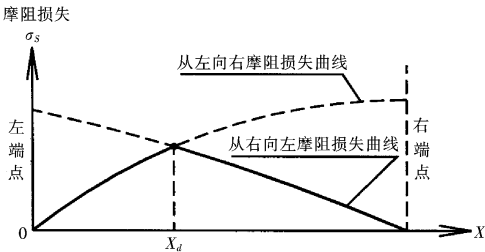


图 3 不对称空间束单向摩阻损失曲线

Fig.3 One-way frictional loss curve of asymmetric spatial tendons

由此可见 ,这两条摩阻损失曲线必然有交点

X_d ,也就是不动点。电算过程中,可以先假定不动点的位置在钢束的中点,由两端分别向不动点求单端张拉的累计摩阻损失,然后采用二分法,不断循环,使得两端摩阻计算值趋于相等。由于这两条曲线为连续、光滑、单调的,所以这个迭代过程必定是收敛的,最后便可求出真正的不动点位置。求出不动点位置后,左右两端的引伸量只要分别采用单端张拉求解法便能得出。

2.2 斜腹板内预应力束引伸量的求解

虽然理论上在空间直角坐标系中可以描述任何复杂形状的预应力束型,但在工程设计中,常碰到斜腹板内布置的预应力束,设计人员在制图时,一般给出的是竖直面中的预应力束投影和水平面上的斜向投影,或其它非空间直角坐标系中的预应力束投影,下面讨论这种情况下预应力束引伸量的计算。

首先需要确定斜腹板内预应力束的坐标系。如图 4 斜腹板与水平底板的夹角为 θ ,采用左手系, X 轴为预应力束前进方向, Y 轴向右, Z 轴竖直向上, Z' 轴顺斜腹板方向向上,在构件截面上建立两个坐标系,其中 $OXYZ$ 为空间直角坐标系, $OXYZ'$ 为空间斜坐标系。

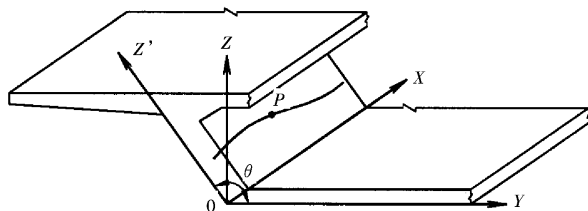


图 4 斜腹板预应力束坐标系的确定

Fig.4 Establishing coordinate system of skew web plate prestress tendons

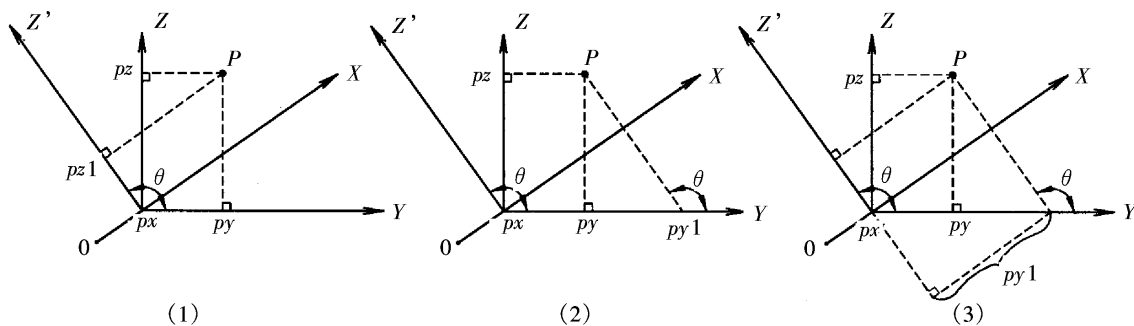


图 5 三种斜坐标表达方式

Fig.5 Expression mode of three kind oblique coordinates system

根据工程制图习惯,斜腹板预应力束坐标有三种表达方式(见图 5):

(1) P 点斜坐标表达为 $P(px, py, pz1)$, 其中 py 和 $pz1$ 坐标分别为 P 点垂直 OY 和 OZ' 轴的投影坐标。则 P 点在 $OXYZ$ 坐标系内坐标可表达为

$$P(px, py, pz) \text{ 其中 } ,Pz = \frac{Pz1}{\sin\theta} + \frac{Py}{\tan(\pi - \theta)};$$

(2) P 点斜坐标表达为 $P(px, py1, pz)$, 其中 $py1$ 为过 P 点平行于 XZ' 平面的平面在 OY 轴上截取的坐标, pz 为竖直坐标轴 OZ 上的坐标。则 P 点在 $OXYZ$ 坐标系内坐标可表达为 $P(px, py, pz)$ 其中 $,Py = Py1 + Pz * \cotan\theta$;

(3) P 点斜坐标表达为 $P(px, py1, pz)$, 其中 $py1$ 为 P 点到 XZ' 平面的垂直距离, pz 为竖直坐标轴 OZ 上的坐标, 则 P 点在 $OXYZ$ 坐标系内坐

标可表达为 $P(px, py, pz)$, 其中 $,Py = \frac{Py1}{\sin\theta} + Pz * \cotan\theta$ 。以上三种表达方式中,最常用的是第(2)和第(3)种。

到此为止,我们解决了斜腹板内预应力束的表达方式和如何将其转换到直角坐标系里的问题,接下来,便可采用前面所述在空间直角坐标系中求预应力束引伸量的方法,求解任意斜腹板内预应力束的引伸量了。

2.3 AutoCAD 电算程序框图

在 AutoCAD 中求解任意空间预应力束引伸量的程序流程图如图 6。

3 结语

在 AutoCAD 里电算求解空间预应力束引伸

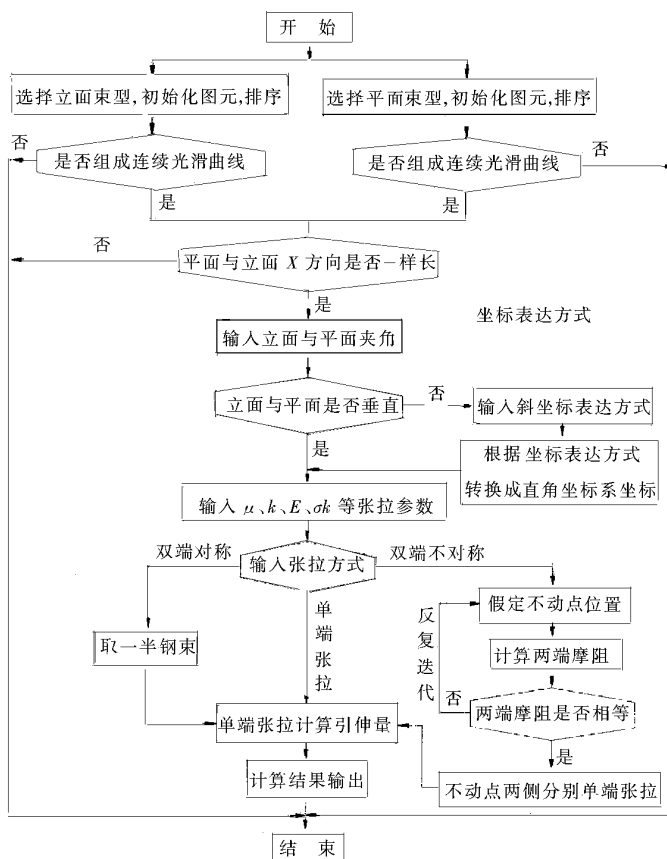


图 6 任意空间预应力束引伸量 CAD 电算程序流程图

Fig. 6 Flow process chart of drawing amount of random spatial prestress tendons utilized by CAD program

量,设计人员只要在 AutoCAD 中画出竖弯和平弯曲线,然后分别选取,再输入相关张拉参数便可求出,该方法方便、直观、迅速,与其它计算手段相

比,优势明显,在笔者所进行的桥梁施工配合中,取得了令人满意的效果。

参考文献:

- [1] JTG D60-2004,公路桥涵设计通用规范[S].
- [2] JTG D62-2004,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].

Solutions of Drawing Amount of Random Spatial Prestress Tendons Utilized by CAD Program

XIAO Jun¹, XU Xiu-fang²

(1. Jiangsu Communication Planning and Design Inst., Nanjing Jiangsu 210005

2. Department of Laboratory Teaching Management, Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224003, China)

Abstract Solution to spatial prestress tendons drawing amount is an important segment in bridge construction control. This paper introduces solution procedure of spatial prestress tendons drawing amount by CAD graphic software, and puts forwards the solution of prestress tendons drawing amount including single-ended tensioning, double-ended symmetric tensioning, double-ended asymmetric tensioning, skew web plate and so on.

Keywords 预应力束; 引伸量; CAD; 不对称; 斜隔板