

空间缆索玻璃悬索桥自动化设计

崔禄¹, 宁京², 董建伟³

(1.雄县唐银检测有限公司, 河北 保定 071800; 2.中铁十七局集团有限公司, 山西 太原 030006;

3.烟台市城建设计研究院有限公司, 山东 烟台 264003)

摘要:采用分段悬链线理论对带有风缆的空间缆索玻璃桥进行自动化设计程序开发, 程序采用 C/C++/C# 语言通过 ObjectARX 技术对 AutoCAD 进行二次开发。结合实际工程案例, 采用 Midas Civil 对程序结果进行验证, 取得了非常吻合的结果。随着未来工程设计行业逐渐走向智能化, 这次尝试可以给这个领域的工程设计提供不一样的发展经验。

关键词:分段悬链线; 抗风缆索; ObjectARX; MIDAS

中图分类号: U448.25; TP317.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)09-0092-03

0 引言

2016年由世界著名设计师 Haim Dotan 设计的张家界大峡谷玻璃桥——“云天渡”正式开通运营, 短时间便在国内迅速走红。究其原因, 该桥除满足基本交通功能需求外, 其更进一步增加景区特色, 丰富旅游内涵, 加之蹦极等项目的结合, 极大满足了游客的猎奇心理和个性化需求。

由于网红效应以及极佳的经济效益, 随后玻璃桥如雨后春笋般在各大景区出现, 市场建造需求也随之迅速增多。

1 项目分析

作为景点的玻璃桥一般均需跨越较大的峡谷才会给游客带来刺激的体验感, 而悬索桥的跨越能力则让其成为首选桥型。但玻璃悬索桥一般不会太宽, 因此横向稳定性及舒适性就成了这类桥型要解决的重点, 目前解决横向稳定性及舒适性国内常见的方式有三种: 抗风缆、斜张索和抗风缆与斜张索, 但不管哪种方式都会给设计师带来巨大的工作量, 并且玻璃悬索桥的景观要求极高, 方案论证也必须深入而充分, 这无形之中又加剧了设计任务且拉长了工期, 不利于维护业主的经济效益, 为满足设计需求, 有必要研发一款自动化精细设计的软件来满足各类需求。

考虑到国内设计师最常用的就是 CAD (Com-

puter Aided Design), 而且 CAD 支持的 DXF 文件格式是国际上开放的编码格式, 也被各种计算、绘图、表现的软件所支持。为了便于使用且降低学习成本, 最终选择基于 CAD 的二次开发进行编程。

2 开发分享

目前市场上占主流的 CAD 软件是 Autodesk 公司的 AutoCAD, 其提供了包括 AutoLISP/Visual LIP、VBA/COM、基于 VC++ 的 ObjectARX、基于 .NET 的 ObjectARX 等多种方式, 即支持 LISP、C/C++/C#、VB/VBA、JAVA 等所有主流编程语言以及他们之间的混合编程。

考虑到基于 VC++ 的 ObjectARX 拥有与 AutoCAD 自身几乎相同的编程接口和控制能力, 且程序运行效率高, 有利于数据的动态调整, 本次核心算法及绘图功能采用基于此方式。VC++ 的对话框采用的是 MFC 技术, 这个技术虽然强大, 但是效率极低, 但 C# 的 WinForm 技术却效率极高, 因此对于仅用于表现的对话框等非核心均采用 C# 的 WinForm 技术。因为 VC++ 与 C# 的语言以及编译均不同, 采用了 C++/CLR 技术将二者无缝衔接。

3 算法简述

悬索桥设计最主要的任务就是主缆找形, 其按假定不同分为: 传统抛物线理论、分段抛物线理论、分段直线理论和分段悬链线理论。第一种理论假定主缆上的荷载只有竖直分布荷载, 且该荷载沿主缆跨度的水平方向均匀分布。后三种理论假定主缆各索段的节点

收稿日期: 2021-03-02

作者简介: 崔禄(1985—), 男, 本科, 工程师, 从事路桥设计、检测工作。

上作用了集中力,而在各索段内部只有竖向均布荷载,如图 1 所示。显然传统的抛物线理论最为粗糙,一旦跨径较大时传统抛物线将存在较大的风险。分段直线理论则要求分段数足够,分段悬链线理论的假定最为符合实际。

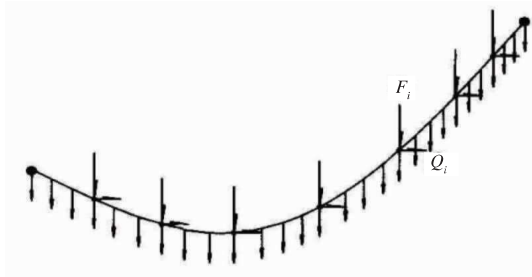


图 1 主缆受力简图

分段悬链线理论的基本假定如下:

- (1) 索只能受拉,不能抗压和抗弯;
- (2) 索的应力—应变符合胡克定律;
- (3) 受力前后主缆抗拉刚度的计算均使用变形前的主缆横截面面积;

(4) 在同一索段内,索只承受沿变形前索长均布的铅直向下荷载,集中荷载只能作用在索段的两端;

- (5) 局部坐标系取在索段重心线所在的平面。

设索段无应力长度为 S_0 ,索的弹模为 E ,截面积为 A ,沿索长竖向荷载集度为 q ,吊索处竖向和水平集中荷载分别为 Q 、 F ,索拉力为 T ,索拉力的水平、竖向分力分别为 H 、 V ,其他参数如图 2 所示。

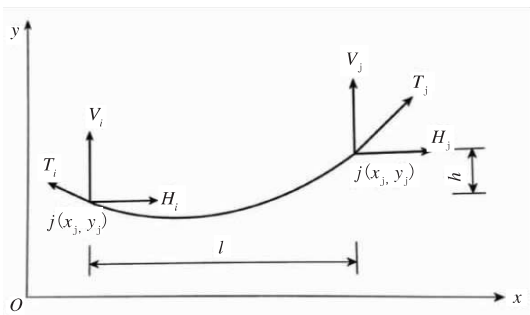


图 2 索单元模型

用 S 表示有应力条件下的索长,由几何关系和整个索段的平衡条件等可得出如下结论:

$$\left. \begin{aligned} l &= x_j - x_i \\ h &= y_j - y_i \\ l &= x_j - x_i \\ h &= y_j - y_i \\ -H_i &= H_j = H \\ V_j &= -V_i + S_0 q \\ T_i &= \sqrt{H_i^2 + Q_i^2} \\ T_j &= \sqrt{H_j^2 + Q_j^2} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} -H_i &= H_j = H \\ V_j &= -V_i + S_0 q \\ T_i &= \sqrt{H_i^2 + Q_i^2} \\ T_j &= \sqrt{H_j^2 + Q_j^2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$l = -\frac{H_i \cdot S_0}{EA} - \frac{H_i}{q} \left\{ \ln(V_i + \sqrt{H_i^2 + V_i^2}) - \right. \quad (3)$$

$$\left. \ln[V_i - q \cdot S_0 + \sqrt{H_i^2 + (V_i - q \cdot S_0)^2}] \right\}$$

$$h = \frac{q \cdot S_0^2 - 2V_i \cdot S_0}{2EA} - \quad (4)$$

$$\frac{1}{q} \left[\sqrt{H_i^2 + V_i^2} - \sqrt{H_i^2 + (V_i - q \cdot S_0)^2} \right]$$

式 1~4 中: l 为有应力条件下索长的水平长度, m ; h 为有应力条件下索长的竖向长度, m ; x 为拉索的水平坐标, m ; y 为拉索的竖向坐标, m ; H 为拉索索力的水平分力, kN ; V 为拉索索力的竖向分力, kN ; T 为拉索索力, kN ; q 为沿索长竖向荷载集度, kN/m ; Q 为吊索处竖向集中荷载, kN ; S_0 为索段无应力长度为, m ; E 为拉索的弹性模量, kN/m^2 ; A 为拉索的横断面面积, m^2 。

式(3)、(4)就是索与几何变量之间的关系式,称为索段状态的基本方程

索段 ij 的形状长度 S 为:

$$S = S_0 + \Delta(S_0)$$

$$\Delta(S_0) = \frac{1}{2EAq} [V_i \sqrt{H_i^2 + V_i^2} + \quad (5)$$

$$(q \cdot S_0 - V_i) \sqrt{H_i^2 + (q \cdot S_0 - V_i)^2} +$$

$$H_i^2 \ln \frac{q \cdot S_0 - V_i + \sqrt{H_i^2 + (q \cdot S_0 - V_i)^2}}{\sqrt{H_i^2 + V_i^2} - V_i]$$

由式(1)~式(5)按缆索找形思路即可开发自动化设计程序。

4 界面及测试

风缆悬索桥的参数比常规悬索桥多了风缆的相关参数,风缆对整个结构也会有相互影响,这时整个悬索桥就会更加复杂。为降低学习和使用成本,设计的操作界面如图 3 所示,应尽量简洁。



图 3 参数对话框

通过导入路线文件后,然后再填写相关主缆参数、风缆参数、荷载参数,大概只需要几分钟即可找

形生成出期望的三维带风缆悬索桥模型,此模型即可用作确定桥梁景观效果,亦可作为最终缆形指导施工图设计。

该程序支持鸿业、纬地、Eicad 等主流道路竖曲线文件,也可以自己定义,程序自动输出主风缆和吊杆的刚度数据。自动生成的空间模型如图 4 所示。

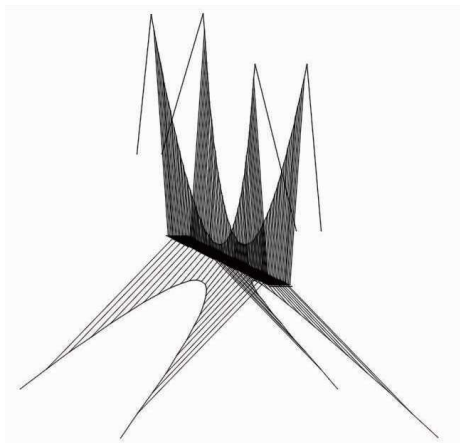


图 4 生成模型示意

5 工程案例

山东某景区玻璃桥设计为单跨 300 m 简支带风缆空间悬索桥,桥面净宽 3.0 m,主梁采用节段拼装的带风嘴双边梁结构,桥型布置图如图 5 所示。

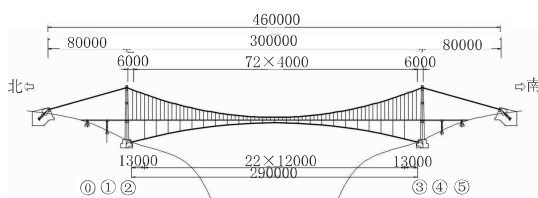


图 5 桥型布置图(单位:mm)

将空间缆索玻璃悬索桥自动化设计程序的结果导入 Midas Civil 软件中进行大位移的几何非线性分

析,得到的位移相差很小,说明程序非常可靠。具体结果如图 6 所示。

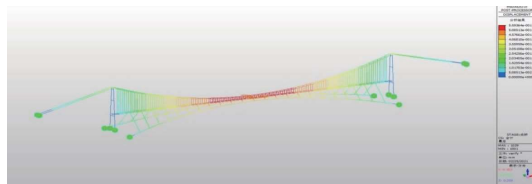


图 6 恒载状态下整体结构的变形

6 结 语

因为 Midas Civil 的悬索桥建模助手无法建立风缆的模型,同时风缆与主缆、加劲梁具有耦合作用,通过手动建立将极其低效。但通过空间缆索玻璃悬索桥自动化设计软件就可以高效完美的解决这个棘手的问题。通过验证测试,该程序不但在有或无抗风缆的空间缆索玻璃悬索桥上有效,并且在人行或车行驶的悬索桥都有很好的找形效率。

该程序的开发尝试为玻璃悬索桥的自动化设计提供了实例,可在初设时迅速估算或调整方案的经济性与美观性,该程序的计算数据可作为下一步施工图自动绘制的基础数据。随着未来工程设计行业逐渐走向智能化,这次尝试可以给这个领域的工程设计提供不一样的发展经验。

参考文献:

- [1] JTG/T D65-05—2015,公路悬索桥设计规范[S].
- [2] 李传习.现代悬索桥静力非线性理论与实践[M].北京:人民交通出版社,2014.
- [3] 邵俊昌,李旭东.AutoCAD ObjectARX2000 开发技术指南[M].北京:电子工业出版社,2000.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com