

索力调整中影响矩阵在 MIDAS/ CIVIL 中的实现

潘桂梅

(广州市华南理工大学土木与交通学院,广州 510640)

摘 要 以一座提篮式系杆拱桥为工程背景研究索力调整中影响矩阵在桥梁专业软件中的实现方法。采用桥梁专用有限元软件 MIDAS/CIVIL 建立全桥空间模型。模型中索单元用桁架单元模拟,详细列出了索力调整中影响矩阵求解过程。该方法快捷、方便,并且满足精度要求,对实际工程中的索力调整具有现实指导意义。

关键词 索力调整 影响矩阵 MIDAS/CIVIL

中图法分类号 U448.225; **文献标志码** A

在系杆拱桥施工中,吊杆索力的调整是优化桥梁结构内力的主要手段,准确地模拟索力调整中影响矩阵,结构内力变化,对桥梁结构受力安全及桥梁施工质量具有重要的指导意义。本文以一座提篮式系杆拱桥为工程背景研究索力调整中影响矩阵在桥梁专业软件中的实现方法,详细列出了索力调整中影响矩阵求解过程。该方法快捷、方便,并且满足精度要求,有效地指导了施工阶段索力调整。

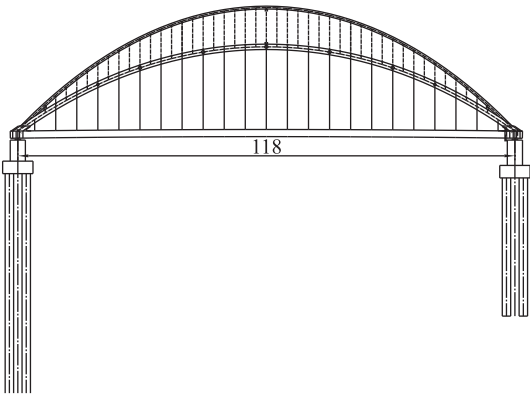


图1 东华大桥桥型布置图(尺寸:m)

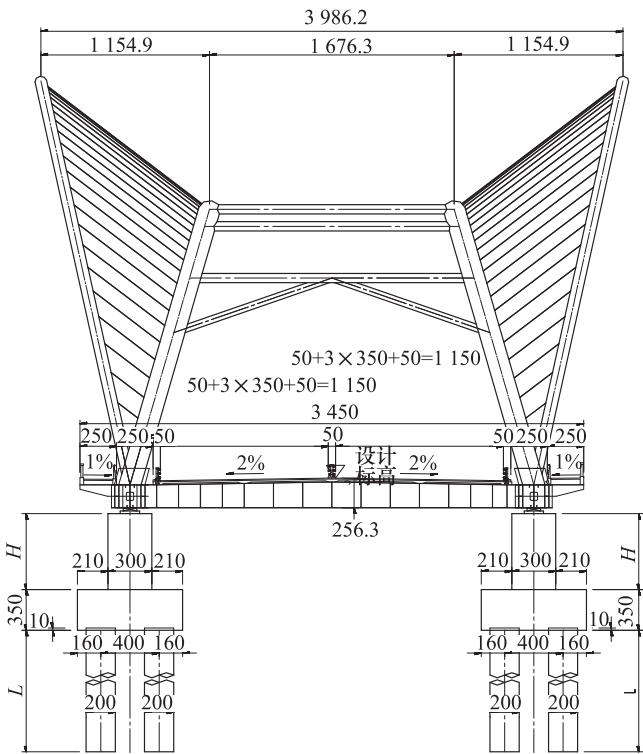


图2 主梁构造布置图(尺寸:mm)

1 工程概况

东华大桥每片拱肋由主拱和副拱组合而成,全桥共设两片组合拱肋。主拱采用钢管混凝土拱、副

2011年5月4日收到,6月22日修改
第一作者简介:潘桂梅(1968—),女,广东人,硕士,工程师,研究方向:实验力学教学与科研。

拱采用钢管拱,主拱和副拱的理论跨径均为 118 m。主拱和副拱拱轴线交于拱脚系杆顶面。副拱、横联及横撑钢材:采用 Q345qD,系杆及桥面系钢材:采用 Q345qD,吊杆:采用环氧喷涂钢绞线整束挤压拉索,选择 φ15.2-17 的成品拉索,安全系数大于 3。

2 索力调整的影响矩阵法概述

影响矩阵法^[1,2]用于施工阶段和成桥阶段的索力调整,实现了结构调值和结构优化的统一。该方法目前多应用于斜拉桥合理成桥状态的索力优化及施工阶段索力的确定,而将该方法应用于系杆拱桥吊杆的索力的优化及调整的文献并不多见。

二次张拉阶段,由于所有索均已安装并存在初始力,所以张拉任何一根索对其他索的索力均有影响,此时影响矩阵是在所有索存在的情况下求得。

与索力影响矩阵一同出现的还有两个概念,分别为受调向量和施调向量,受调向量是通过索力影响矩阵来建立和施调向量的关系的。

2.1 受调向量^[3]

由结构物中心截面上 n 个独立元素所组成的列向量,它们在调值过程中接受调整以期达到某种期望状态,

$$\{D\} = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}^T \tag{1}$$

2.2 施调向量^[3]

结构物中指定可实施调整以改变受调向量的 m 个独立元素所组成的列向量 ($m \leq n$, 如果 $m > n$ 导致未知数个数大于方程数,解就不定了),其元素通常由杆件内力或支座变位组成,记为:

$$\{T\} = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}^T \tag{2}$$

2.3 影响向量^[3]

影响矩阵的每一列称为影响向量。它的含义是当某个施调量 T_i ($1 \leq i \leq n$) 发生单位变化时,引起的受调向量 $\{D\}$ 的变化量,一记为

$$\{C_i\} = \{C_{1i}, C_{2i}, \dots, C_{ni}\}^T \tag{3}$$

m 个施调量分别发生单位变化时,把对应的 m 个影响向量用矩阵来表示,记为:

$$\{C\} = \{C_1, C_2, \dots, C_m\} = \begin{pmatrix} C_{11} & \cdots & C_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n1} & \cdots & C_{nm} \end{pmatrix} \tag{4}$$

在影响矩阵中元素可能对应的内力、应力、位移等力学量中的一个,影响矩阵是这些力学量混合组成的矩阵。通常认为受调向量和施调向量呈线性关系,即能满足线性叠加原理有式(5)成立。

$$\begin{pmatrix} C_{11} & \cdots & C_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n1} & \cdots & C_{nm} \end{pmatrix} \{T_1, T_2, \dots, T_m\}^T = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}^T \tag{5}$$

3 全桥模型的建立

采用桥梁专用有限元软件 MIDAS/CIVIL 建立全桥空间模型^[4,5],通过建立有限元模型进行模拟实际结构,根据大桥的设计图纸提供的资料,进行结构模型的离散化。吊杆与纵梁相交截面设置节点,桥墩、主梁、主拱模拟为梁单元,吊杆和系杆模拟成桁架单元,桥面板用板单元模拟。



图3 东华大桥 MIDAS 计算模型示意图

图3为桥梁专用软件 MIDAS 计算模型示意图。全桥共分为 1 146 个单元,635 个节点。荷载的横向作用通过车道的横向联系梁进行横向模拟。

表 1 12 阶(半幅)吊杆索力影响矩阵 ϵ/mm

吊杆编号	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12
Z1	1.000	-0.244	-0.157	-0.070	-0.018	0.006	0.013	0.011	0.008	0.004	0.002	0.001
Z2	-0.101	1.000	-0.323	-0.194	-0.087	-0.023	0.006	0.015	0.013	0.009	0.005	0.003
Z3	-0.044	-0.215	1.000	-0.320	-0.192	-0.088	-0.026	0.003	0.012	0.012	0.009	0.006
Z4	-0.017	-0.104	-0.255	1.000	-0.305	-0.187	-0.090	-0.031	-0.001	0.010	0.011	0.009
Z5	-0.005	-0.043	-0.134	-0.263	1.000	-0.294	-0.184	-0.092	-0.034	-0.003	0.009	0.011
Z6	-0.001	-0.014	-0.059	-0.147	-0.263	1.000	-0.283	-0.180	-0.092	-0.035	-0.004	0.008
Z7	0.000	-0.002	-0.019	-0.067	-0.152	-0.260	1.000	-0.273	-0.174	-0.090	-0.035	-0.005
Z8	0.001	0.003	-0.001	-0.022	-0.072	-0.155	-0.257	1.000	-0.265	-0.171	-0.090	-0.036
Z9	0.001	0.004	0.005	-0.001	-0.025	-0.076	-0.156	-0.253	1.000	-0.260	-0.169	-0.089
Z10	0.001	0.003	0.006	0.006	-0.002	-0.028	-0.078	-0.158	-0.251	1.000	-0.256	-0.166
Z11	0.001	0.002	0.005	0.007	0.006	-0.003	-0.030	-0.081	-0.160	-0.252	1.000	-0.253
Z12	0.000	0.001	0.003	0.006	0.008	0.006	-0.005	-0.032	-0.084	-0.162	-0.252	1.000
Z13	0.000	0.001	0.002	0.004	0.006	0.008	0.006	-0.006	-0.034	-0.086	-0.164	-0.253
Z14	0.000	0.000	0.001	0.002	0.004	0.007	0.008	0.006	-0.006	-0.035	-0.087	-0.166
Z15	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.005	0.007	0.009	0.006	-0.006	-0.036	-0.089
Z16	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.003	0.005	0.008	0.009	0.006	-0.006	-0.036
Z17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.003	0.005	0.008	0.010	0.007	-0.005
Z18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.003	0.006	0.009	0.010	0.008
Z19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.003	0.006	0.009	0.011
Z20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.003	0.006	0.009
Z21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.003	0.006
Z22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003
Z23	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001

4 影响矩阵在 MIDAS / CIVIL 中的实现

结构为纵向、横向对称结构,拱肋两侧横截面上每对称两根吊杆设为一组,在每组吊杆两端节点施加大小相等,方向相反单位 100 kN 张拉节点力^[6],该组节点张力设为一个荷载工况,并更改每组吊杆为只受拉桁架单元。计算完成后,利用 MIDAS/Civil 的有关功能,将各拉力荷载的影响系数除以荷载值,就得到单位拉力荷载的影响系数。因篇幅有限仅列出边吊杆组及跨中吊杆组模型。

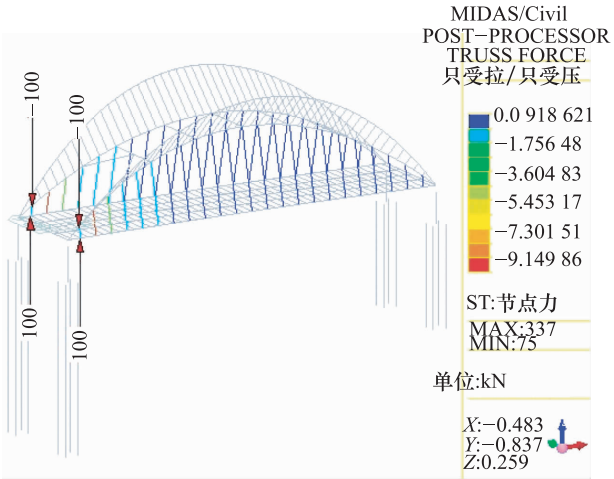


图 4 边吊杆组吊杆内力计算结果图

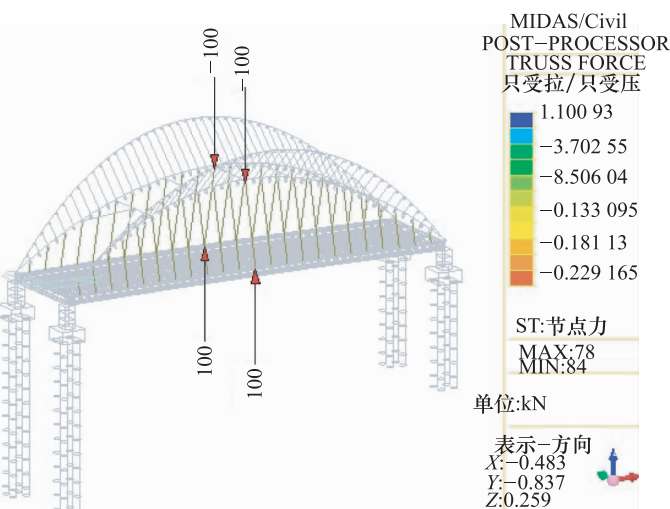


图5 跨中吊杆组吊杆内力计算结果图

图4、图5为边吊杆组、跨中吊杆组吊杆内力计算结果。图4一组边吊杆张拉单位kN力临近的一根吊杆力减少10.1%，图5一组中吊杆张拉单位kN力两侧临近吊杆力减少25.3%。因中跨施加节点力主拱产生较大变形，对中吊杆旁临近吊杆影响系数较大；边吊杆节点力施加在拱脚附近，拱脚处主拱变形小与中跨处变形，因此边吊杆张拉对临近吊杆力影响系数较小。因文章篇幅有限，本文只列出了全桥纵向23组吊杆中的一半的影响矩阵如表1所示。

在表1中所示的吊杆索力影响矩阵吊杆索力影响系数中，离施调吊杆距离越远的吊杆，吊杆力影响系数越小直至影响系数减小到零，无影响。理论上临近吊杆影响系数最大，随着吊杆距离增大，影响系数逐步减少直至为零。本文数据趋势也是与理论相符合。

5 结论

本文利用桥梁专用软件MIDAS/CIVIL，通过在索单元两端施加节点荷载，快速求解影响矩阵，此方法快捷、方便，有效地指导了施工阶段及成桥后索力调整，具有现实的工程意义。

参考文献

- 1 刘 钊,王文清. 预应力混凝土斜吊杆系拱桥结构设计概要. 桥梁建设,1998;(1):31—32
- 2 肖汝诚,项海帆. 斜拉桥索力优化及工程应用. 计算力学学报, 1998;(工):4
- 3 肖汝诚,项海帆. 斜拉桥索力优化影响矩阵法. 同济大学学报, 1992;27(1):20—24
- 4 陈友杰,陈宝春. 钢管混凝土肋拱面内受力全过程有限元分析. 工程力学,2000;2(A02):753—758
- 5 项海帆. 高等桥梁结构理论. 北京:人民交通出版社,2001
- 6 王昌兴. MIDAS/Gen 应用实例教程及疑难解答. 北京:中国建筑工业出版社2010

Tension Adjustment of Matrix in MIDAS/CIVIL Realization

PAN Gui-mei

(Guangzhou South China University of Technology School of Civil Engineering and Transportation, Guangzhou 510006, P. R. China)

[Abstract] A basket handle tied arch bridge engineering background research for the adjustment of cable tension in the bridge matrix of professional software implementation. Bridge-specific finite element software using MIDAS / CIVIL establishment of full-bridge space model, the model with the truss element simulation of cable elements, details the impact of cable tension adjustment in the matrix solution process. The method is fast, convenient and satisfy the precision requirement of practical engineering to adjust cable tension has practical significance.

[Key words] adjustment of cable force matrix MIDAS/CIVIL