

结构仿真在斜拉桥检测分析中的应用

张杨永¹, 石飞停²

(1. 同济大学 桥梁工程系, 上海 200092; 2. 盐城工学院 土木工程学院, 江苏 盐城 224003)

摘要:建立了某座预应力混凝土斜拉桥的有限元仿真模型, 并把基于仿真模型的理论分析结果和实际检测结果进行对比, 相互验证, 为准确做出桥梁结构状态评估提供参考依据。

关键词:仿真模型; 有限元; 斜拉桥检测

中图分类号: U446

文献标识码: A

文章编号: 1671-5322(2007)02-0008-03

斜拉桥是由主梁、拉索、索塔以及桥梁墩台4种基本构件组成的组合体系桥梁, 近年来得到了较快的发展^[1]。斜拉桥运营后, 由于车辆荷载、温度和其它环境因素的作用以及材料本身的时变性, 桥梁结构的几何线性和内力状态都会发生一定的变化, 桥梁的功能逐渐退化、可靠度逐渐降低。因此, 对已建成斜拉桥的检测是十分必要的。

近年来, 桥梁结构仿真技术的应用也日臻广泛, 成为桥梁工程技术进步的一个显著性标志。斜拉桥仿真计算的基础在于建立一个能够全面、正确反映桥梁结构真实性态的完整的有限元仿真模型^[2-5]。分析与测试技术的集成将是今后桥梁检测的热点之一, 即将基于有限元的数值分析技术与现场测试结合起来, 使二者可以适时地相互

校正和补充。本文通过比较某斜拉桥仿真模型的分析结果和现场检测结果, 验证了两之间的一致性。

1 工程简介

某大桥为预应力钢筋混凝土双塔双索面斜拉桥, 立面总体布置如图1所示。全桥总长2 592 m, 其中主桥8墩7孔长1 152 m, 各孔跨径为80、90、190、432、190、90、80 m, 主跨跨径为432 m。主梁截面在主跨跨内采用双肋板式梁式截面, 板厚32 cm, 边肋宽1.7 m, 肋高2.0 m。主塔采用H型门式结构钢筋混凝土塔柱, 截面类型为箱形。斜拉索为扇形布置, 每个索面有26对索, 索距8 m, 全桥共208根索。

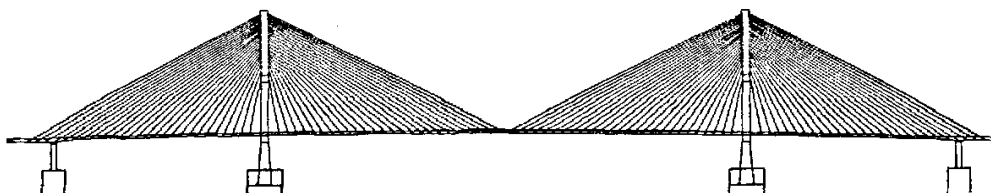


图1 斜拉桥总体布置图

Fig. 1 General layout drawing of cable-stayed bridge

2 有限元仿真模型

2.1 理论概述

用于桥梁结构检测的斜拉桥有限元仿真模型应该是指依据实际结构, 采用多种单元类型(包括梁单元、桁架单元、板壳单元和实体单元等)组

合而成的空间有限元模型, 是一个能够全面、正确反映结构真实性态的完整的计算模型。建立全桥结构仿真分析模型的核心是建立完整、统一的整座桥梁结构分析体系, 在该体系下构造全桥所有承载构件的组合形式仿真模型, 准确模拟承载构件的空间位置、尺寸、材料特性、连接形式和荷载

收稿日期: 2007-03-11

作者简介: 张杨永(1982-), 男, 江苏淮安人, 博士研究生, 主要研究方向为大跨度桥梁结构设计理论。

作用等。在仿真建模中,结构仿真模型的真实表现为3个方面:(1)真实模拟结构及构件的实际尺寸,模型具备对结构性部件细节进行较真实模拟;(2)真实地模拟结构的支承和约束情况;(3)真实模拟实际荷载的数量、荷载在结构上的实际空间位置。

2.2 结构建模

在建立仿真模型时,预应力效应被模拟为预应力钢绞线的初应变。首先分别建立混凝土和预应力钢绞线的几何模型,在划分单元以后,通过将钢绞线单元节点与离其最近的混凝土单元节点相耦合,使钢绞线与混凝土连结成整体,从而将预应力施加到混凝土上。

主梁采用双肋板式截面,在此次建模中采用厚板单元模拟桥面板作用。两侧的梁肋宽度和高度相接近,采用一般梁单元来模拟两侧的梁肋作用。边跨的变截面箱梁截面采用变截面梁单元来模拟,斜拉索采用索单元模拟,主塔采用一般梁和

变截面梁单元来模拟。桥面板有斜拉索的区段,主梁下部还设有横隔梁,采用厚板单元模拟。

2.3 边界条件及单元划分

主塔墩底部固结,采用一般支承,约束全部的自由度。对于边墩,直接在墩顶位置的主梁处施加相应的约束。在主塔的中间横梁间设有橡胶支座以支承桥面板,采用弹性连接模拟其作用。

对于网格的划分,主梁可按照施工梁段的划分方法进行单元划分,建立主梁模型,然后根据具体情况再细分网格。最终用于结构计算的有限元仿真模型共有2 806个节点、2 948个单元。

3 检测结果的评估

3.1 索力测试

索力测试利用环境激振,用“斜拉桥跟踪监测系统”进行采样,测试误差为±3%。根据全桥斜位索自振频率测量的结果,图2绘出了全桥上、下游侧索和下游侧索的索力分布曲线。从图可知:

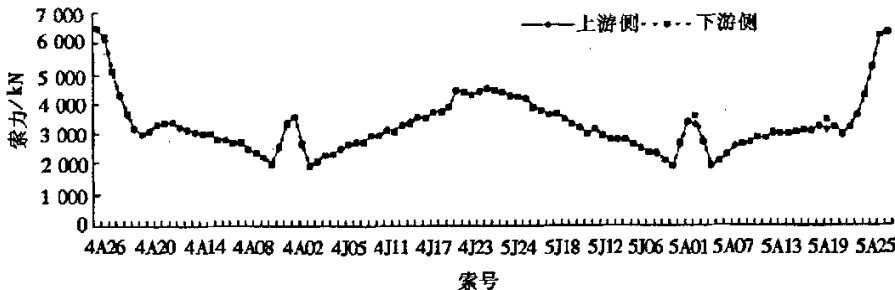


图2 全桥索力分布曲线

Fig.2 Distribution curve of cable force of entire bridge

索力沿桥中心线对称性较好,上、下游同断面对称索的索力值差异不大,差值百分率绝大多数在2%范围左右;索力相对主桥跨中对称也较好,对称索组的索力差值超过5%的索有11组,占总索组的百分率为10.6%。本次索力值实测值相对历年冬季索力检测值均无明显变化说明索力值渐趋稳定,没有较明显异常迹象发生。

3.2 结构计算分析

采用有限元方法,利用MIDAS分析软件建立了斜拉桥三维空间有限元仿真模型来进行计算结构内力和位移。考虑自重和索力,分析全桥结构产生的弯矩和顺桥向的塔顶偏移以及主梁的挠度。按有限元仿真模型进行理论计算得到的塔顶偏移见表1,理论计算得到的主梁挠度见图3。

表中纵向位移正值为向岸侧位移,负值为向江侧位移;竖向正值为向上位移,负值为向下位

表1 塔顶偏移的理论计算和实测结果

Table 1 Theoretical calculation values and actual measured results of deflection of tower top

编号	本次实测值/cm			理论计算值/cm		
	纵向	横向	竖向	纵向	横向	竖向
4DS	-2.7	1.4	0.1	-2.6	1.8	0.2
4DX	-2.1	1.1	-0.3	-3.1	1.5	-0.4
5DS	-3.1	1.7	0.1	-3.5	2.1	0.2
5DX	-1.5	1.0	-0.4	-1.7	1.5	-0.4

移。从表中可以看出:本次各塔顶平面位置实测值沿顺桥向的最大偏移为3.1 cm;横桥向的最大偏移为1.7 cm;最大高差为0.4 cm,塔顶沿桥轴线方向的位移量均大于沿横桥向的位移量。另外,将本次塔顶空间位置偏移值与理论计算值进行比较,发现其偏移值均略小于计算值。

根据实际测量的结果,在顺桥方向上,全桥标

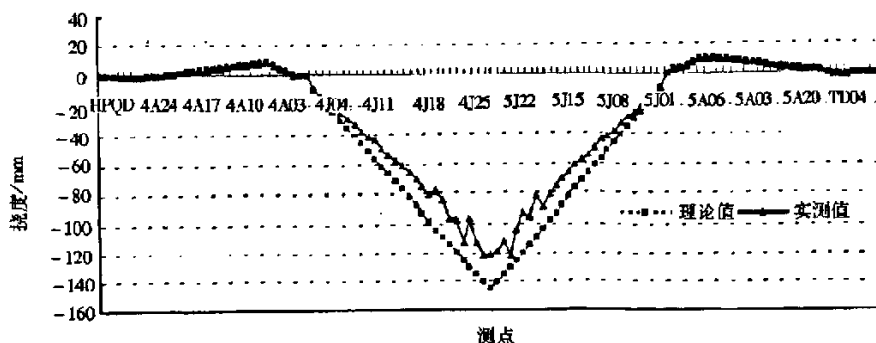


图 3 全桥主梁挠度曲线

Fig. 3 Deflection curve of main girder of entire bridge

高变化较均匀,无突变点,纵坡线型较圆顺、光滑,且最高点仍不在跨中位置,而是位于 5J19 号索附近,从桥面标高的整体线型来看跨中在 4J22 ~ 5J22 范围内有呈下降的趋势,但该区在横桥方向上上、下游对称测点的高差基本在 2 cm 范围内,即上、下游的变化基本一致,没有发生扭曲变形现象。图 3 绘出全桥主梁挠度的理论计算曲线和实际检测曲线。从中可知,主梁挠度理论计算最大值为 14.51 cm,位置发生在跨中 QM2D 点处。结果发现实测值均小于理论计算值,表明该桥主体结构良好。

4 结论

本文建立了某斜拉桥的有限元仿真模型,并

把理论计算结果与实际检测结果作了对比分析,以相互验证。结果表明主梁下挠趋势比较稳定,桥面基本处于平衡状态,没有发生明显扭曲变形;两个主塔塔顶偏移不大,并且均有向岸侧倾斜的趋势。将主梁挠度实测值以及塔顶位移实测值分别与其相对应的理论计算值进行比较,结果发现实测值均接近并略小于理论计算值。

在斜拉桥有限元仿真模型建立的过程中,模型必须能够准确模拟承载构件的空间位置、尺寸、材料特性、连接形式和荷载作用等。然后,在此基础上进行大规模的全桥结构效应分析计算,才能得到相对详尽、精确和可靠的分析结果。

参考文献:

- [1] 项海帆. 高等桥梁结构理论[M]. 北京:人民交通出版社,2001.
- [2] 陈晔,郭圣栋. 斜拉桥结构仿真分析[J]. 华东交通大学学报,2005,22(4):17-21.
- [3] 乐小刚,余晓琳. 大跨度板桁结合斜拉桥空间仿真分析方法研究[J]. 西部探矿工程,2005(7):180-182.
- [4] 毕桂平,魏红一. 鄂黄长江公路大桥斜拉桥主塔应力仿真分析[J]. 结构工程师,2001(4):8-12.
- [5] 郑凯锋,陈宁. 桥梁结构仿真分析技术研究[J]. 桥梁建设,1998(2):10-15.

The Application of Construct Simulation in Detection and Analysis of Cable - Stayed Bridges

ZHANG Yang-yong¹, SHI Fei-ting²

(1. Department of Bridge Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224003, China)

Abstract: In this paper, a FEM simulation model is established for a prestressed concrete cable - stayed bridge. The theoretical analysis result of simulation model is compared with the actual detection result, which will provide reference for accurate assessment of structural state of bridge.

Keywords: simulation model; finite element; detection of cable - stayed bridge