

文章编号:1006-7329(2003)02-0054-04

提篮拱桥吊索静张力测试与计算*

钟轶峰¹, 邓朝荣¹, 殷学纲²

(1.重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045; 2.重庆大学 资环学院, 重庆 400044)

摘要:中承式钢管混凝土提篮拱桥是一种新兴的桥梁形式,本文根据结构的振动信号分析对其损伤进行检测与评估这一检测技术,对四川内江新龙坳提篮拱桥吊索固有频率进行测试与分析,并进一步对吊索的静张力进行了计算。这些测试与分析,是对桥梁进行损伤检测与评估的重要组成部分,由此可得到桥梁维修与加固的科学可靠的依据。

关键词:钢管混凝土;提篮拱桥;无损检测技术;固有频率;静张力计算

中图分类号:U441+.3

文献标识码:A

各类大型复杂的结构,诸如桥梁、高层建筑等,在复杂的服役环境中会受到设计载荷的作用以及各种突发性外在因素的影响而面临结构的损伤及损伤积累的问题,从而使结构的安全受到威胁。尚未被探测到的结构损伤将改变结构的强度与刚度,从而引发更大的结构损伤积累,这会导致结构的突发性失效。为了保证结构的安全可靠,需要及时地、准确地检测出结构中损伤的强度及位置。工程技术人员据此方可以采取具有针对性的维修与加固措施。

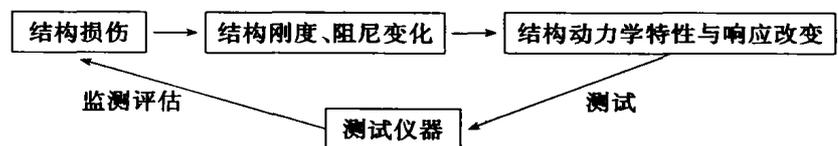
成渝高速公路已通车近十年,路桥都难免有一定程度的损伤积累。特别是其中的桥梁很有必要进行检测。通过检测可以对桥梁中可能存在的损伤情况进行评估,由此可得到桥梁维修与加固的科学可靠的依据。

成渝高速公路内江新龙坳桥,为跨越内(江)-自(贡)铁路规划的编组站场的立交桥。桥梁总长178m,主跨提篮拱计算跨径120m,车道宽度22m,桥面自成都方向重庆方向设1.8%单向纵坡。主跨为中承式箱肋提篮拱,拱度 $f/L=1/4$,拱肋侧倾(展开角)12°,钢筋混凝土箱型拱肋,采用钢管混凝土劲性骨架米兰法施工。提篮拱具有比常见的上承式拱大得多的面外侧倾稳定性,拱桥的宽跨比明显宽松,具有良好的施工稳定性及抗震性能。受成渝高速公路集团公司委托,我们(重庆大学资环学院工程力学系与土木工程学院)联合四川大学对内江提篮拱桥进行了吊索的固有频率测试与分析,并进一步对吊索的静张力进行了计算。这些测试与分析,是对桥梁进行损伤检测与评估的重要组成部分。

1 基本原理

目前,用于结构的无损检测技术 NDE(non-destructive evaluation)较成熟的有:X射线照相技术、超声波探伤、全息照相技术、磁场方法、涡流方法和温度场方法等。但所有这些测试方法均要求预知损伤区域且该区域是可测的,且需要相应的昂贵的检测仪器。

利用结构的振动信号分析对其损伤进行检测与评估是一项在世界范围内应起了广泛的关注与发展很快的一门新技术。



* 收稿日期:2003-11-12

作者简介:钟轶峰(1975-),男,重庆市人,博士生,主要从事桥梁与隧道工程研究。

其基本思想是:结构的损伤必然引起结构刚度、阻尼(甚至质量)等的变化。这些变化又必将引起结构动力学特性与响应的改变。根据测量这些物理量的变化,便可以对结构的损伤进行监测与评估。这种方法的优点是:测量设备与技术较简单,可以对隐蔽的损伤进行检测,还可以实现在线的实时监测,具有很广阔的应用前景。

2 吊索静张力的测试与计算

2.1 测试目的

由吊索自由振动信号记录分析吊索的固有频率,再由公式 $T_j = 4L_j^2 f_j^2 k A_0 / k^2$ 计算出吊索的静张力,从而对结构的损伤进行监测与评估。

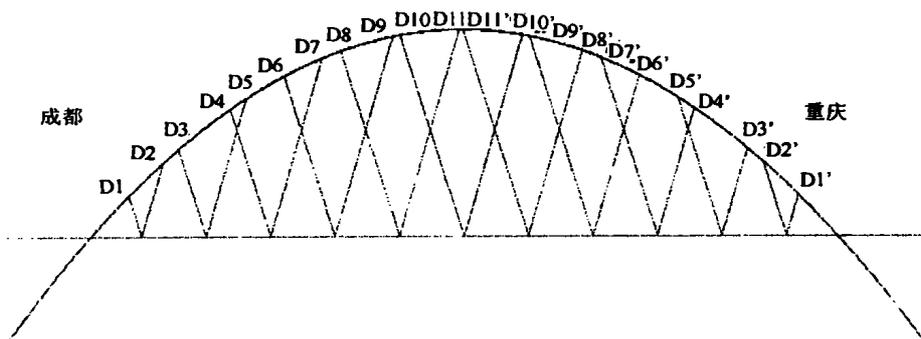


图1 吊索编号示意图

2.2 方法、记录及测试系统

用水平磁电式速度传感器,测试并记录吊索在锤击作用下的自由振动历程,通过采集器将信号记录在磁盘上,供后续分析使用。为使测试记录较少地受边界约束的影响,我们分别在顺桥方向与垂直于桥的方向进行锤击,每一方向记录了4~10次自由振动响应历程。D10点(拱顶)典型记录见图3。测试系统组成如下:

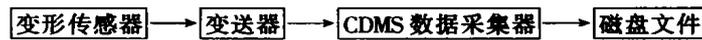


图2 测试系统

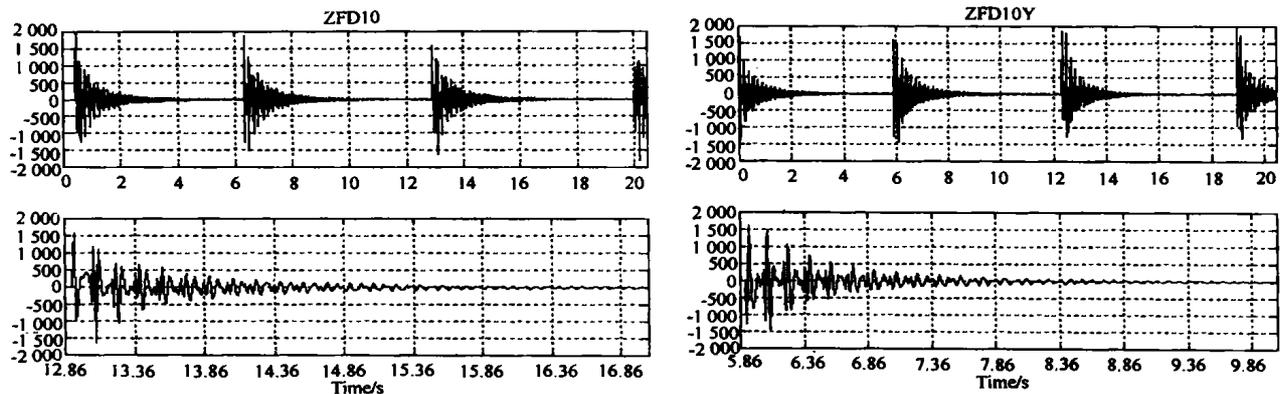


图3 D10点(拱顶)典型自由振动响应历程

注:(1)吊索编号中含有“Y”,表示沿顺桥方向锤击,吊索的自由振动响应历程;吊索编号中不含“Y”,表示沿垂直于桥的方向锤击,吊索的自由振动响应历程。吊索的采样频率均为100 Hz。(2)在每一根吊索的两个方向,分别给出了记录的数次的自由振动响应历程(每幅图的上半部分)和其中某一次的自由振动响应历程的时间轴放大图(每幅图的下半部分)。从时间轴(横轴,单位:s)的对应关系可以看出它在整体中的位置。

2.3 固有频率分析原理与方法

利用最小二乘法迭代法(考虑了阻尼),对于一线性多度系统,其自由衰减振动响应可写作: $x_i(t) = \sum_{r=1}^N [a_{ir}e^{-\sigma_r t} \sin(v_r t) + b_{ir}e^{-\sigma_r t} \cos(v_r t)]$ 。其中, $x_i(t)$ 为结构上第 i 点的振动输出信号; $a_{ir}, b_{ir}, v_r, \sigma_r$ 为待识别参数; N 为模态数。选用等时差采样间隔 Δt ,利用上式建立方程组,将记录的频谱分析结果作为最小二乘法迭代初值进行迭代运算,控制记录与迭代结果曲线的差值,得到每一根吊索的若干低阶固有频率(这次测试记录的采样频率是 100 Hz,根据采样定理取低于 50 Hz 的频率参与迭代)。对每一根吊索,在顺桥和垂直于桥的方向各选 4~5 个记录进行迭代分析,将所得结果进行平均,并求出其方差。选取方差最小的那一阶固有频率作为吊索静张力的计算频率。D10 点(拱顶)典型迭代拟合比较曲线见图 3。

2.4 吊索静张力的计算

按公式: $T_j = 4L_j^2 \rho_{jk} A \rho / k^2$ 计算出 43 根吊索的静张力。其中: L 是吊索的长度, f 是吊索固有频率, A 是吊索的横截面积, ρ 是吊索材料的质量密度,下角标 j 是吊索编号, k 是固有频率阶数。

计算中所用参数取值为:

$$A \rho = \frac{7.85e^3 \times 121 \times \pi \times 25e^{-6}}{4 + 1.5e^3 \times \pi \times (7 - 5.5)^2 \times 1e^{-4}}$$

吊索长度 L_j 是从吊索的上锚固头底到桥道横梁上边,从桥梁工程竣工图中第 4 页量取。忽略两扇拱之差别,并假设同一拱是左右对称的。根据以上公式与参数所得的吊索静张力计算结果如表 1 所示。计算中所用参数的单位如表 2 所示。依据表 1 画出其直方图如图 4 所示。

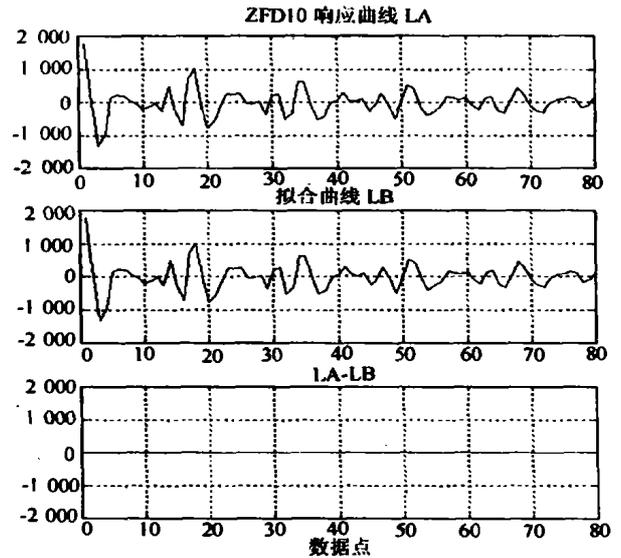


图 4 D10 点(拱顶)典型迭代拟合比较曲线

注:曲线 LA-LB 是响应曲线 LA 减去拟合曲线 LB 后所得的差值曲线。

表 1 吊索静张力计算结果

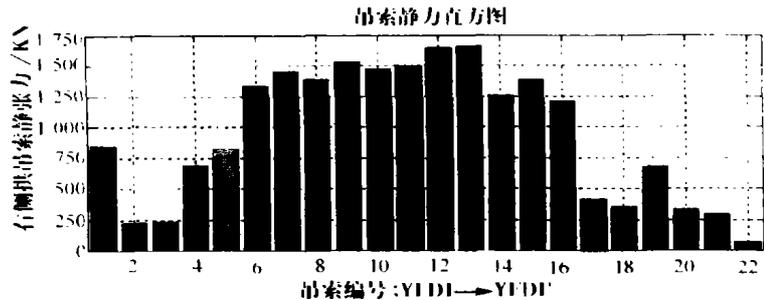
右侧拱吊索编号	静张力(kN)	左侧拱吊索编号	静张力(kN)
YFD1	841.594	ZFD1	251.059
YFD2	229.544	ZFD2	407.411
YFD3	238.314	ZFD3	244.787
YFD4	684.015	ZFD4	453.588
YFD5	缺记录	ZFD5	806.166
YFD6	1 336.489	ZFD6	1 375.577
YFD7	1 451.451	ZFD7	1 417.716
YFD8	1 391.014	ZFD8	1 343.825
YFD9	1 532.138	ZFD9	1 466.128
YFD10	1 479.197	ZFD10	1 414.790
YFD11	1 502.890	ZFD11	1 710.719
YFD11'	1 653.551	ZFD11'	1 468.712
YFD10'	1 664.222	ZFD10'	1 420.277
YFD9'	1 253.541	ZFD9'	1 515.096
YFD8'	1 386.402	ZFD8'	1 479.234
YFD7'	1 204.804	ZFD7'	1 332.173
YFD6'	414.562	ZFD6'	1 380.514
YFD5'	355.346	ZFD5'	787.657
YFD4'	677.784	ZFD4'	451.994
YFD3'	338.875	ZFD3'	244.799
YFD2'	299.699	ZFD2'	254.713
YFD1'	72.151	ZFD1'	180.824

表 2 参数单位表

参数	L	A	F	P
单位	m	m ²	Hz	kg/m ²

3 对测试计算结果分析和结论

1) 以对应的吊索静张力(吊索 ZFD5 的静张力)补上吊索 YFD5 的静张力后,全部吊索的静张力在垂直方向的分量之和 ($R = \sum_{i=1}^{44} T_i \cos 22.5^\circ \cos 12^\circ$) 为:38 155.179 kN。而该拱桥长 102 m 的主跨桥道部分的总重约为:39 957.676 kN。两者相差为 1 802.497 kN,考虑到主跨桥两端铰链支承担了桥道的部分重量,这一结果是合理的。



2) 对称性的验证

(1) 对桥道中线的对称性。由直方图可见两拱的吊索张力关于桥道中线基本对称,右侧拱吊索和左侧拱吊索的静张力之和分别为:18 746.905 kN、19 408.274 kN。二者相差 661.369 kN,相对误差为 3.4%。

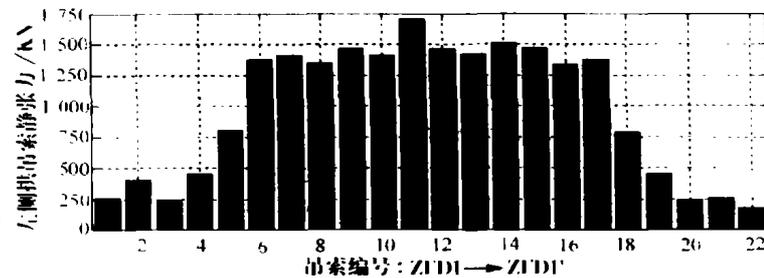


图 5 吊索静张力直方图

(2) 对拱中线的对称性。从直方图可以看出,吊索静张力的分布关于拱中线基本对称。由以上的验证,我们认为测试计算的结果是合理、可信的。

3) 由直方图可看出,1 号和 19 号吊索静张力明显大于相邻吊索的静张力,似为异常值。已提请桥梁使用方和设计方关注。结合近年来,其它类似中承式拱桥桥毁人亡的事故来看,此类桥型短吊索静张力在长期荷载作用下,确存在损伤积累,应采取相应措施提高短吊索的刚度,如增加短吊索的截面面积、使用刚度更大的材料和使用双吊索等。

参考文献:

- [1] 内江提篮拱桥吊索静张力与动应力测试报告[R].成渝高速公路有限公司,2002.
- [2] 汤国栋.拱式桥梁的新进展—成渝公路内江新龙坳提篮拱桥建成[J].成都科技大学学报,1996,(4):32-35.
- [3] 汤国栋.集束钢管混凝土提篮拱桥[A].四川大学工程研究设计院论文集[C].1996.
- [4] 袁成诚.桥梁健康监测与状态评估的研究与发展[J].同济大学学报,1999,(4):30-33.
- [5] 上官萍.先简支后连续梁结构体系的应用研究[J].福州大学学报,1995,(3):12-16.
- [6] 顾安帮.中(下)承式拱桥短吊杆结构行为分析[J].公路,2002,(5):8-10.
- [7] 刘钊.竖吊杆与斜吊杆系杆拱的桥式研究[J].土木工程学报,2000,(4):27-30.
- [8] 钟新谷.吊杆刚度对系杆拱桥极限承载力的影响分析[J].湘潭矿业学院学报,1994,(4):22-25.

(下转第 72 页)

- [4] 张在明.地下水与建筑基础工程[M].北京:中国建筑工业出版社,2001.
[5] 崔冠英,潘品蒸.水利工程地质(第二版)[M].北京:水利电力出版社,1985.

Key Technical Issues in Project Design of Tall Earth Fill under Abominable Surroundings

SHEN Xi - zhong¹, LIU Long - bin², CHEN Min³, SHEN Hua - zhong^{1,3}

(1. School of Civil Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, P. R. China; 2. Reconnaissance & Design Institute of Water Resources & Hydraulic, Hubei, Wuhan 430070, P. R. China; 3. River Affairs Bureau, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, P. R. China)

Abstract: During the construction of very tall earth fill with the exterior cragged slope in a short time and especially strict limitation in sedimentation under abominable geological and hydrological condition as well as repeating fluctuation of the outer water level, many technical issues were involved in design and no criterions could be followed, thus the design was very difficult. Aiming at technical difficulties of tall earth fill under complex surroundings, in this paper, taking a project as the example, various theories and techniques are applied synthetically to solve stabilization, drainage, slaking distortion, sedimentation - controlling, coast harnessing and so on, thus these key techniques can be used as reference to the similar projects.

Keywords: tall earth fill; sedimentation; seepage; slaking

(上接第 57 页)

Test and Computation of Suspended Cable's Static Tensile Force of a 'Basket Handle' Type Arch Bridge

ZHONG Yi - feng¹, DENG Chao - rong¹, YIN Xue - gang²

(1. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; 2. College of Resource and Environment, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: The steel pipe concrete 'Basket Handle' type arch bridge is a new bridge type. Based on the testing technology using structure's vibration information, in this paper, the Xinglongao arch bridge's suspended cable inherent frequency was tested and analyzed and the computing method for static tensile force was introduced. Hence the whole construction damage could be inspected and evaluated, these test and analysis are the important part of the damage inspection and evaluation of a bridge and the scientifically reliable evidence for maintenance and reinforcement of the bridge can be obtained.

Keywords: steel pipe concrete; "basket handle" type arch bridge; inherent frequency; computing method of static tensile force