

面向损伤识别的独塔斜拉桥模型的设计与分析

李延强, 杜彦良

(石家庄铁道大学 工程力学系, 河北 石家庄 050043)

摘要:模型试验方法是桥梁结构损伤识别研究的一种重要手段。以某虚拟的独塔斜拉桥为原型,面向损伤识别设计制作了独塔斜拉桥试验模型。试验模型各主要构件(主梁、主塔、斜拉索)均独立加工制作,其中主梁选用铝合金材料,截面采用箱形,划分为不同长度的阶段,各节段均采用螺栓连接。通过改变节段板厚的方法实现主梁不同损伤程度的模拟,不同位置的损伤通过更换不同位置的板厚实现,从而方便的实现了模拟模型斜拉桥主梁的各种损伤状态。采用特殊的设计实现了斜拉桥结构索力的实时测试。对模型进行了静态试验,并与有限元模型计算的结果进行了对比分析。试验研究与数值分析为今后的损伤识别研究奠定了基础。

关键词:独塔斜拉桥;模型设计;损伤识别;索力;静态试验

中图分类号:U448.25 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-0373(2012)03-0006-04

桥梁结构在长期使用过程中会发生各种损伤,导致桥梁结构的承载能力的降低,甚至会导致桥梁的倒塌,造成巨大的经济损失和人员伤亡。为了保证桥梁的安全性,需要及时的发现桥梁结构存在的损失情况。桥梁结构损伤识别已经成为国内外研究的热点。众所周知,对实际复杂桥梁结构进行数值模拟研究存在较大的局限性,而在实际桥梁结构上不容许进行实际结构的损伤模拟,因此,模型试验是桥梁损伤识别的重要研究手段。目前,关于桥梁结构损伤识别的模型试验尚不多见。孙宗光等^[1]参考实际大跨度悬索桥结构,面向损伤识别设计了悬索桥试验模型。该模型的全部构件均采用独立制作,通过螺栓等连接构件进行组装,使每个构件可以方便的进行状态调整、拆除和更换。针对该模型进行了详细的静、动力试验,同时与有限元计算结构进行了对比分析。对于斜拉桥结构的模型试验^[2-5],目前主要集中在验证桥梁施工过程的安全性及成桥后大桥安全性和可靠性,检验设计理论参数及理论计算的正确性。刘兆丰^[6]等针对双塔联体分幅斜拉桥塔结构通过模型试验进行了索力优化方法试验。Pandey等^[7-8]提出了采用柔度变化率识别损伤,并进行了模型试验,根据试验模态数据对损伤状态进行了预测。葛继平等^[9]在Pandey等的研究基础上,基于动力测试采用柔度变化率对一座斜拉桥模型进行了损伤识别的实用性研究。

不针对具体斜拉桥,基于损伤识别目的设计制作了独塔斜拉桥试验模型。模型的主要构件(主塔、主梁等)均采用单独制作,损伤源的模拟采用改变节段板厚的方法实现,通过阶段位置、节段长度的改变可方便的模拟不同位置 and 不同大小的损伤,而更换板厚的不同可模拟同一位置损伤程度的不同。对斜拉桥模型索力测试系统进行了改造,在不改变拉索刚度的前提下实现了斜拉索索力的实时测量。对模型进行了初步的静态性能测试,并与有限元模型分析的结算结果进行了对比分析。

1 试验模型的设计与制作

1.1 模型总体设计

试验模型不针对具体斜拉桥,参照独塔斜拉桥的设计特点,虚拟原型斜拉桥。虚拟斜拉桥桥跨布置

收稿日期:2012-05-16

作者简介:李延强 男 1973年出生 副教授

基金项目:河北省自然科学基金(E2012210061);河北省科学技术研究与发展计划(11215611D);河北省人力资源和社会保障厅项目(436018)

为130 m+130 m,采用塔梁固结形式,斜拉索采用扇形布置,梁上索距6 m。主梁采用箱型截面,主梁顶面全宽37.5 m。梁高3 m(标准断面),索塔为H型塔,塔高为93.20 m,拉索采用双索面布置,全桥共36根。根据前人总结的经验,对于桥梁整体结构模型的典型比例系数为1:25~1:50^[10],结合虚拟桥梁特点,几何缩尺选用 $\lambda = 50$,试验模型的设计基于相似理论进行^[11],遵循如下原则:模型与原型桥几何相似;模型与原型桥对应截面刚度相似;模型与原型桥边界条件相似。模型总体布置如图1所示。

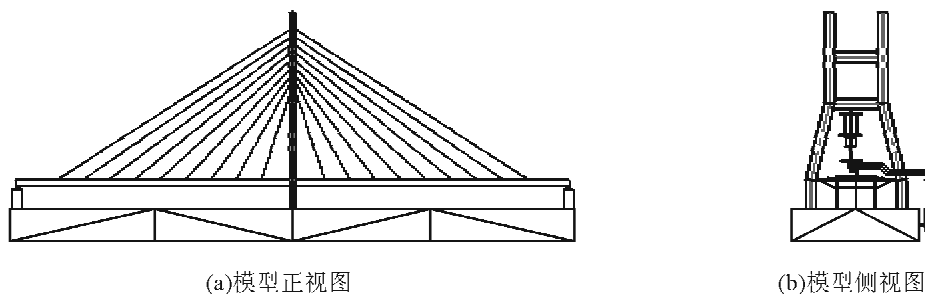


图1 试验模型布置图

1.2 模型结构设计与制作要点

1.2.1 主梁

模型主梁采用铝合金材料,截面形式采用箱型,按照刚度相似的原则确定截面尺寸,共分15个节段,采用螺栓拼接而成。每一节段分别由顶板、腹板(底板)及加劲肋通过螺栓连接而成,截面构造如图2所示。节段长度分0.48 m、0.24 m、0.12 m三种规格。

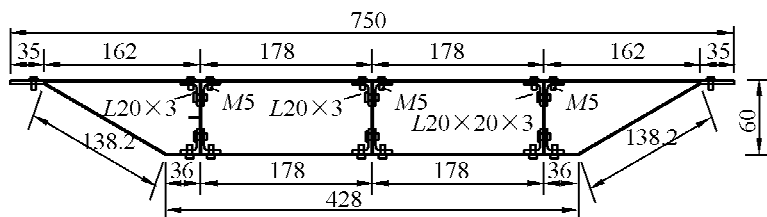


图2 截面构造布置图(单位:mm)

损伤源的模拟采用改变节段板厚的方法实现,通过节段位置,节段长度的改变可方便的模拟不同位置 and 不同大小的损伤,而更换板厚的不同可模拟同一位置损伤程度的不同。

1.2.2 加载系统

杠杆加载系统由门架、杠杆组织和过梁系统三部分组成。门架主要承受由配重产生所有支反力,横梁由两根工字钢焊接而成,通过槽钢与基座相连;通过杠杆组织,在托盘上加加载重物,以1:10的比例加载到过梁系统上。本试验配重为72 kN。配重采用浇筑成型的钢锭,重物挂在托盘上,通过过梁系统实现在桥面上方的均布加载,较好的模拟了实桥的自重分布。

1.2.3 索力测试系统

一般的斜拉桥模型试验索力均采用测力装置串联在索中的方式进行^[5],该方式将斜拉索断开,改变了拉索的刚度和整体性,同时也不利于长期监测。本实验对索力测试方法进行了改进,引入压力环传感器从而实现了斜拉索索力的实时监测。

索力测试系统主要有定位螺杆、找平块、压力环传感器、调节螺栓等构件组成,安装在索梁锚固区。将压力环传感器与测试仪器用导线连接,可以实时、快捷的对斜拉索索力进行测量。索力测试系统构造如图3所示。

1.3 模型预分析

根据初步设计,建立了模型的空间有限元模型。对初步设计的模型进行有关的静动力分析。基于模型的相似条件,对模型的力学性能进行了评价。计算模型的基频为3.493 7 Hz,为反对称竖弯振型,原桥一阶基频为0.544 Hz,振型同样为反对称竖弯,模型桥与原桥基频比为6.3,符合相似比分析结果;其他阶

频率的比值均在 6.0 左右,且振型吻合,表明模型桥可以较好的反映桥梁结构的动力性能。同时静力结果也符合相似比分析结果,因此模型桥具有良好的力学性能,验证了模型的可行性。

2 试验模型测试分析

根据试验工况对模型桥施加配重荷载,对桥梁结构的最大挠度点、拉索索力等进行监测。本试验模型配重按 14 620 N/m,持荷 15 min 后进行测量。

2.1 主梁挠度测试

监测截面选择在主梁左跨 $1/8L$ 、 $1/4L$ 、 $3/8L$ 、 $1/2L$ 、 $5/8L$ 、 $3/4L$ 、 $7/8L$ 塔梁交接处、右跨 $1/8L$ 、 $1/4L$ 、 $3/8L$ 、 $1/2L$ 、 $5/8L$ 、 $3/4L$ 、 $7/8L$, 每个截面横向布设 2 个测点,位移传感器用百分计测量。测量结果与有限元分析结果对比如图 4 所示。

2.2 斜拉索索力测试

斜拉索作为斜拉桥结构的主要承力构件,在斜拉桥结构的控制研究和损伤识别研究中,斜拉索索力状态的监测是重点内容之一。本试验的索力监测采用前述索力监测系统进行,监测结果(左边跨拉索)如图 5 所示。结果表明:在结构对称的位置上,斜拉索索力较为接近,与理论计算值的吻合程度也较好。这同时也表明本试验采用的压力环传感器测试索力的方法可行。

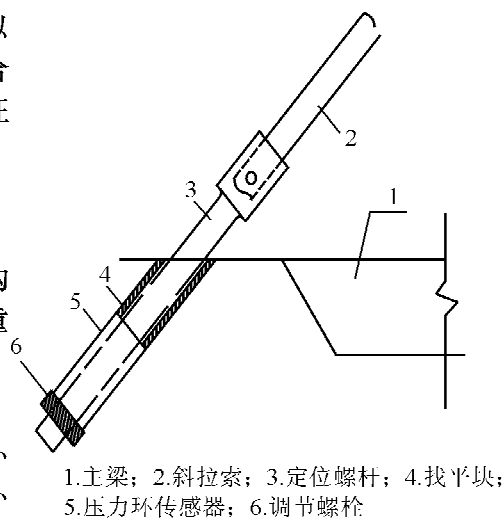


图 3 索力测试系统构造图

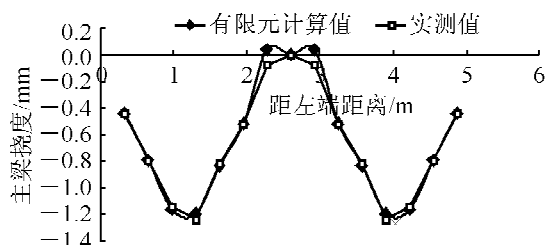


图 4 主梁挠度曲线图

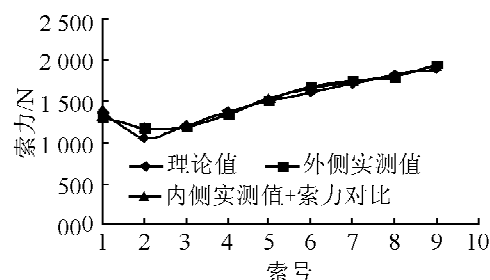


图 5 斜拉索索力对比值

3 结论

以某虚拟的独塔斜拉索为原型,根据相似比原理,设计制作了独塔斜拉桥试验模型。该模型基于损伤识别目的,可以满足多重试验的要求。主梁采用分段拼装方式,每一节段采用顶板、腹板螺栓连接的方式,通过更换不同厚度的栓接板,可以方便的模拟斜拉桥结构不同位置、不同程度的损伤情况,从而可以方便的进行损伤识别的模型试验研究。试验模型对加载系统进行了改造,可以实现对模型桥进行均匀加载,较好的与实际的情况吻合。同时创造性采用了压力环传感器对斜拉索索力进行的监测,对实际斜拉桥索力的监测提供了一种新的思路和新的方法。此外,对模型进行了详细的静力测试,实测结果与理论计算值吻合程度较好,表明该试验模型较好的满足了相似比,为今后的动力测试以及损伤识别试验研究奠定了良好的基础。

参 考 文 献

- [1] 孙宗光,石健,栗燕娜. 面向健康诊断的悬索桥试验模型设计与分析[J]. 工程力学,2008,25(1):192-195.
- [2] 余毅,余天乐,乐韩燕. 吉林兰旗松花江特大桥施工阶段及成桥静力模型制作[J]. 世界桥梁,2008(1):73-75.
- [3] 安群慧,刘自明. 荆州长江公路桥整体模型试验研究[J]. 桥梁建设,2002(2):15-18.

- [4] 李佳升, 颜东煌, 田仲初. 三塔斜拉桥整体模型试验的实施[J]. 长沙交通学院学报, 1999, 15(3): 34-37.
- [5] 李亚非, 颜东煌, 田仲初. 大型三塔斜拉桥铝合金试验模型的研制[J]. 长沙交通学院学报, 2000, 16(3): 37-41.
- [6] 刘兆丰, 戴显荣, 赵人达, 等. 双塔联体分幅斜拉桥塔结构模型试验索力测试结果分析[J]. 实验力学, 2009, 24(6): 573-578.
- [7] 葛继平, 李胡生. 基于柔度变化率的独塔斜拉桥模型损伤识别试验研究[J]. 上海应用技术学院学报: 自然科学版, 2010, 10(1): 38-43.
- [8] Pandey A K, Biswas M. Damage detection in structures using changes in flexibility[J]. Journal of Sound and Vibration, 1994, 169: 3-17.
- [9] Pandey A K, Biswas M. Experimental verification of flexibility difference method for locating damage in structures [J]. Journal of Sound and Vibration, 1995, 184(2): 311-328.
- [10] 方显. 吉林蓝旗松花江大桥结构模型试验及计算机仿真分析[D]. 武汉: 武汉科技大学城市学院, 2006.
- [11] 章关永. 桥梁结构试验[M]. 2版. 北京: 人民交通出版社, 2010.

Design and Analysis of Damage-Detected Test Model of Single-Tower Cable-stayed Bridge

Li Yanqiang, Du Yanliang

(Department of Mechanics Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: Model test study is very important for damage detection of bridge structures. A single-tower cable-stayed bridge model is designed and manufactured based on a virtual single-tower cable-stayed bridge. The principle of the design and the method of the test are introduced in detail. All main members of the model such as main girder, tower and stay cable are manufactured independently. Main girder is made by alloy aluminum and is divided into different length. Every part is bolted. All kinds of main beam's damage cases of the model can be simulated conveniently by changed plate thickness of segment and changed plate of the different segment of main girder. The tension of the stay cables can be measured realtime by especial design. The static measurements for the test model are conducted. The testing results are compared with the numerical results of finite element model developed for the test model. A platform is established for future researches.

Key words: single-tower cable-stayed bridge; model design; damage detection; cable tension; static test

(责任编辑 刘宪福)