

文章编号 :1000-582X(2007)10-0069-04

菜园坝长江大桥系杆监测及评估方案

刘 纲¹, 黄宗明¹, 林超伟², 杨 溥^{1,3}, 陈伟民³

(1. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400030 2. 华森建筑与工程设计顾问有限公司 广州分公司, 广东 广州 510045 ;
3. 重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400030)

摘 要 通过损伤敏感性分析确定菜园坝长江大桥系杆的监测及评估方案。以数值模拟损伤来考察全桥多处系杆受力特性的变化, 分析其测点布置并结合目前传感器水平及该桥的施工条件, 讨论系杆的监测方案。利用数值仿真研究不同部位系杆损伤时, 全桥位移监测点的变化趋势, 将对系杆损伤较为敏感的位移监测量组合成评估系杆损伤的识别模式, 提出采用模式而不仅是索力来实现系杆的安全状态评估, 从而有效提高系杆评估的可靠性。

关键词 健康监测; 系杆拱桥; 布点方案; 评估方案; 损伤模拟

中图分类号 :U448.12

文献标志码 :A

1 工程概况及分析模型

1.1 工程概况

重庆菜园坝长江大桥是 Y 型刚构、提篮式钢箱系杆拱及钢桁梁的组合结构。全桥在桥面设置六车道及双侧人行道, 在桁梁下横梁处设置双线轻轨, 构成双层特大公轨两用桥。全桥跨径为 88 m + 102 m + 420 m + 102 m + 88 m, 总长 800 m, 其主跨跨度, 居世界系杆拱桥之首。全桥主体结构由一对预应力 Y 型刚构边跨和钢箱提篮拱中跨组成, 3 个独立的子结构通过 6 处中、边跨系杆连接而成, 这在实际应用中尚属首次^[1]。其主体结构如图 1 所示。由于该桥系杆众多且系杆在该桥的结构安全中起至关重要的作用, 所以, 系杆的安全监测是该桥健康监测的重中之重。

1.2 有限元模型的建立

基于桥梁健康监测与状态评估目的, 一方面建立的有限元模型既要比较“精细”, 即能通过数值模拟反映大桥各部分的特性, 另一方面又要能满足“在线”评估的需要, 即须对构件及边界条件做适当简化以满足计算时间的要求。笔者根据施工设计图的几何特性、

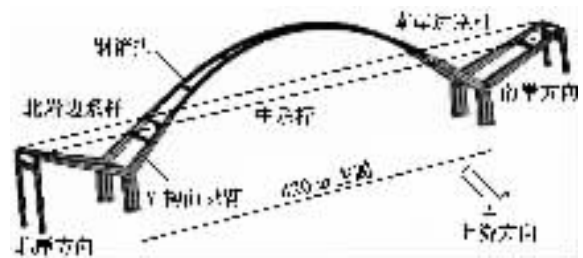


图 1 菜园坝长江大桥主体结构示意图

材料特性及初应力, 同时对大桥边界条件作适当简化建立全桥三维有限元模型^[1-6]。

系杆和吊杆索采用三维杆单元模拟, 同时仅考虑轴向的拉伸刚度, 忽略轴向的压缩刚度, 并通过施加初应变来考虑系杆的初应力。Y 构、钢箱拱及钢桁梁采用三维梁单元模拟。根据设计图纸的构造, 模型中各桥墩墩底采用固接, 桥面的纵飘体系通过释放桥墩与钢桁梁连接处纵桥向位移及横桥向转角来模拟。带 U 肋的正交异性桥面板采用壳元模拟, 且按截面刚度等效原则考虑 U 肋对桥面刚度的贡献。

2 系杆监测方案

系杆可能的损伤主要包括锈蚀、断丝和锚头失效

收稿日期 2007-05-12

基金项目 国家 863 计划资助项目(2006AA04Z433) 重庆市科技攻关重大专项基金资助项目(7289)

作者简介 刘纲(1977-) 男, 重庆大学讲师, 博士研究生, 主要从事桥梁健康监测研究。

黄宗明(联系人) 男, 教授, 博士生导师 (E-mail) zhuang@cqu.edu.cn。

等情况。从系杆受力的角度看,这几种破坏都可等效为系杆有效截面的减小。因此,可以通过数值模拟其截面不同程度的损伤来了解系杆的受力特征。由于全桥的系杆布置具有对称性,所以笔者仅选取北岸上游边系杆及上游中系杆进行分析,计算时考虑边、中系杆

截面损失分别及同时损失共3种情况。

2.1 系杆测点布置分析

在进行系杆测点布置分析时,各工况下系杆受力的大小虽不同,但其变化规律完全一致,故笔者仅给出大桥在永久荷载作用下的计算结果,如表1所示。

表1 系杆截面不同比例损失时索力变化对比表

部位	无损状态下的索力/kN	索力变化比例/%						
		中系杆截面损失		边系杆截面损失		中、边系杆同时截面损失		
		10%	50%	10%	50%	10%	50%	
上游	北岸边系杆	48 335	-1	-4	-10	-45	-11	-47
	中系杆	19 452	-10	-47	-2	-9	-12	-51
	南岸边系杆	47 826	-1	-4	0	-2	-1	-5
下游	北岸边系杆	48 335	0	-1	1	3	0	2
	中系杆	19 452	0	2	0	-2	0	0
	南岸边系杆	47 826	0	-1	0	-1	0	-2

说明:索力变化比例为截面损失下的索力值减去无损状态下的索力值后再除以无损状态时的索力值。

从表1中可以看出:1)当系杆截面发生损失时,系杆索力的损失比例与其截面的损失比例相当,比如当上游边系杆的有效截面减小10%时,其索力减小了17%,截面损失50%时,其索力减小了45%,表明系杆的损伤将引起索力的明显改变,故通过对索力的监测不但可以判断系杆是否发生损伤,且能大致了解系杆的损伤程度;2)系杆有损伤时,只有损伤处系杆的索力才显著地减小,未损伤系杆的索力不变或变化很小,即任何一根系杆的损坏不会引起其他系杆索力的变化。比如当上游中系杆截面损伤50%时,其自身的索力变化为47%,而其余5处系杆的索力变化未超过5%,表明不能利用该桥的对称性,仅监测上游或下游侧系杆的索力,必须对6处系杆都进行监测。

2.2 传感器类型选择的讨论

目前对索力的监测手段主要有:振动法、压力环法、磁通量法及三点顶推法^[3]。

振动法测索力一般采用加速度传感器,虽精度不高,但具有成本较低,安装方便等优点,在测量索力,特别是在斜拉桥的索力测量方面得到了大量应用。但菜园坝大桥的系杆设置在桥面下的孔道中,并且在孔道内每隔一定距离均安装滑动导轨,因此,系杆与导轨之间可能紧密接触,也可能不接触,导致系杆的边界条件无法确定,所以,采用振动法测量该桥系杆的索力受到施工条件的限制;三点顶推法可以利用孔道中的导轨,在2个导轨的中间给系杆施加一个横向力,通过测量横向力的大小就能推算出索力的大小。这一方法的优点在于就地取材,但由于系杆的拉力相当大,需施加很大的横向力才能准确测量,而提供较大横向力的设备无法在孔道中安装,磁通量法根据传感器中磁通量及温度的变化来推算索力,在该桥有条件实施,但考虑到

磁通量传感器在国内应用较少,其有效性需进一步验证,故该桥未采用磁通量法进行索力测量;压力环法的优点是测量精度高,缺点是成本昂贵。由于该桥无法采用其它的方法测量系杆索力,故选择穿套式索力传感器对索力进行测量。

3 系杆评估方案

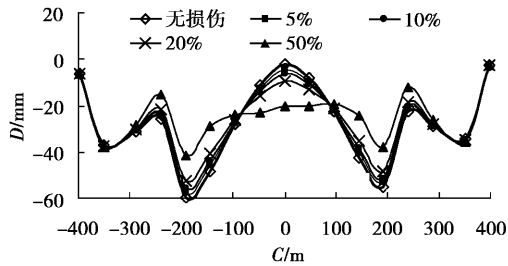
从表1可以看出,系杆的索力对其损伤是一个敏感指标,但仅仅采用一个指标对系杆进行评估是不够的。这是因为一方面,在长期监测中,由于传感器自身的故障,容易出现监测数据不正常现象,导致系杆出现损伤较大而不报警或系杆处于正常状态却误报警的情况;另一方面,如索力传感器损坏后不及时更换,系杆的评估会出现暂时“空白”,导致评估结果的可靠度大大降低。

系杆的损伤将导致全桥其他结构构件不同程度的“恶化”,故可以通过全桥对系杆损伤的敏感性分析,提取敏感度较高及变化趋势不同的状态参量作为特征参量,将这些特征参量同索力一起组合成识别系杆是否损伤及损伤大小的识别状态空间-模式,通过对模式中各指标量的挖掘、分类及融合实现对系杆的安全状态的评估^[7]。这样即使索力监测数据出现异常,也能保证评估的准确性。

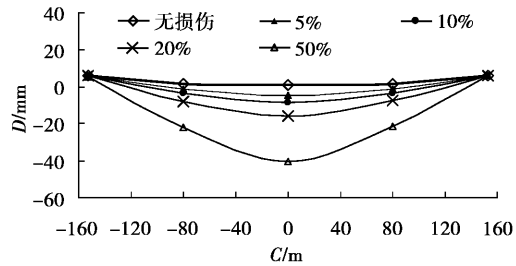
在大桥不同运营工况下,考虑到中、边系杆分别及同时损伤时,计算全桥各部位对系杆损伤的敏感度程度及变化趋势,对可以加入模式的特征参数进行研究。由于全桥的监测类型及测点有限,笔者仅分析各位移测点处位移对系杆损伤的敏感程度及变化趋势。因各位移状态量在不同工况下的变化规律完全相同,故仅给出桥梁在永久荷载作用下的计算结果,如图2-4所示。在图2-4中,位移以 D 表示,纵桥向坐标以 C 表示,截面

损伤比例以 R 表示,竖桥向位移向上为正,横桥向位移

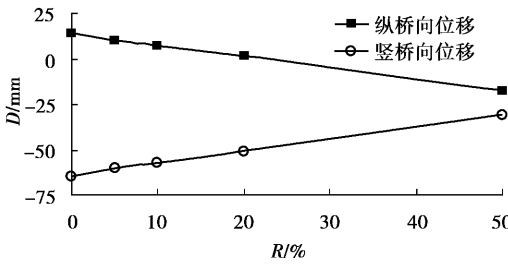
向上游方向为正,纵桥向位移向南岸方向为正。



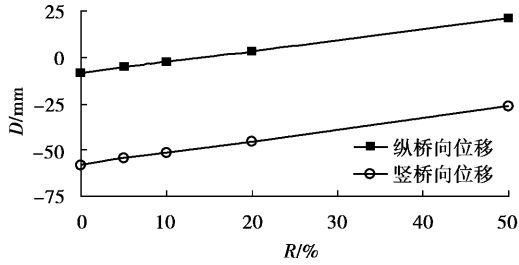
(a) 桥面挠度变化图



(b) 钢箱拱横桥向位移变化图



(c) 上游北岸 Y 构前悬臂位移变化图



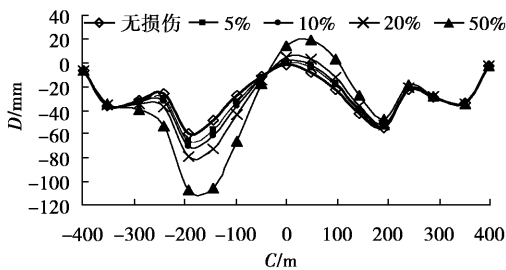
(d) 上游南岸 Y 构前悬臂位移变化图

图 2 中系杆损伤时全桥位移变化图

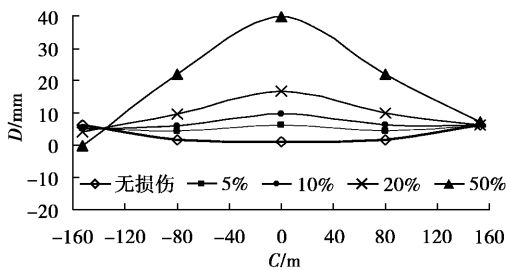
图 2-4 表明 1) Y 构前悬臂的纵桥向、竖桥向位移同系杆的损伤联系较为紧密,仅在与之相连的系杆发生损伤时, Y 构前悬臂的位移才会发生能被监测到的改变,且在中、边系杆分别或同时损失时其位移改变的方向是不同的。同时全桥其余部位损伤引起 Y 构前悬臂位移变化的趋势与系杆的不同,因此 Y 构前悬臂处的纵桥向、竖桥向位移可以作为系杆损伤的特征参量。2) 桥面挠度对系杆的损伤敏感性不高,比如中系杆损伤到 50% 时桥梁的挠度才发生明显改变,且边系杆和边、中系杆同时损伤时桥面挠度变化趋势基本相同。另一方

面,其他部位损伤引起桥梁挠度的变化趋势同系杆损伤的相同,表明桥面挠度不是系杆损伤的特征参量。3) 不同部位系杆损伤时,拱横桥向位移的变化方向不同,虽其他部位的损伤也能引起拱横桥向的位移,但可以利用 Y 构前悬臂的位移变化趋势进行区分,所以拱横桥向位移也可以作为特征参量加入模式。

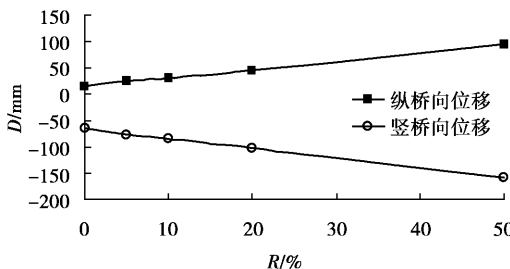
由此可见,可将系杆索力、Y 构前悬臂位移及拱的横桥向位移组成模式。在对系杆进行安全评估时,可采用模式识别的方法提高系杆评估结果的可靠性。



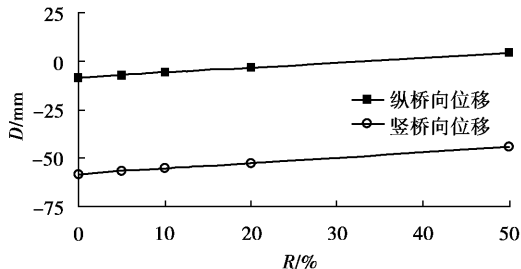
(a) 桥面挠度变化图



(b) 钢箱拱横桥向位移变化图



(c) 上游北岸 Y 构前悬臂位移变化图



(d) 上游南岸 Y 构前悬臂位移变化图

图 3 北岸边系杆损伤时全桥位移变化图

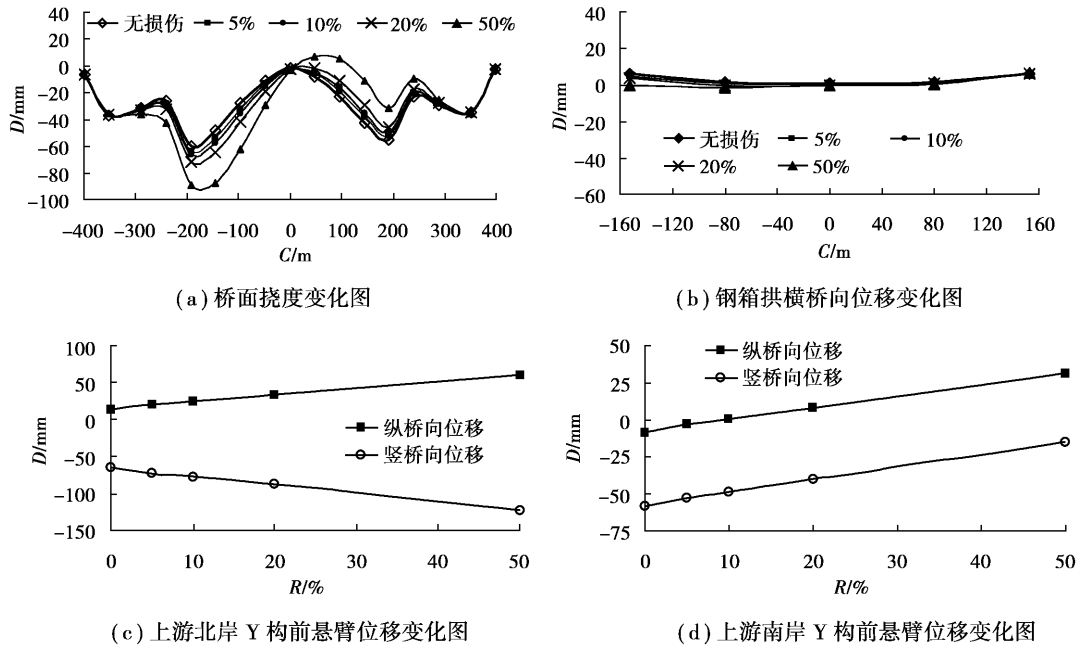


图4 边系杆及中系杆同时损伤时全桥位移变化图

4 结 语

采用数值模拟系杆损伤来分析其受力变化特征,从而确定了系杆监测的合理布点方案。通过对比大吨位索力的监测手段,讨论了适用于菜园坝长江大桥系杆监测的传感器。为提高评估结果的可信度及处理可能出现的异常数据,提出了结合结构受力特征和数据挖掘、分类及融合的模式评估方法,并通过系杆损伤的敏感性分析,研究了如何在全桥位移测点中选取位移状态量加入模式。

参考文献:

[1] 孙俊岭,邓文中,刘孝辉. 重庆菜园坝长江大桥主桥设计理念与实践[C]//第17届全国桥梁学术会议论文集. 北

京:人民交通出版社,2006.

- [2] DARRYL P, EMIN A. Status of structural health monitoring of long-span bridges in the United States[J]. Prog Struct Engng Mater, 2002, 4: 372-380.
- [3] WIRAT L. Bridge damage detection using a system identification method[D]. Gainesville: University of Florida, 2000.
- [4] 项海帆. 高等桥梁结构理论[M]. 北京:人民交通出版社, 2001.
- [5] JTG D60-2004 公路桥涵设计通用规范[S]. 北京:人民交通出版社, 2004.
- [6] FUJINO Y. Vibration control and monitoring of long-span bridges-recent research, developments and practice in Japan[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2002, 58: 71-97.
- [7] JIAWEI H, MICHELINE K. Data mining: concepts and techniques[M]. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2000.

Monitoring and Assessment of Tie on the Caiyuanba Yangtze Bridge

LIU Gang¹, HUANG Zong-ming¹, LIN Chao-wei², YANG Pu^{1,3}, CHEN Wei-min³

(1. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Huasen Architecture and Building Design Consult Ltd Guangzhou Branch, Guangzhou 510045, China;

3. Key Laboratory of Optoelectronic Technology and System Ministry of Education Chongqing University Chongqing 400030 China)

Abstract: The monitoring and assessment scheme of the Caiyuanba Yangtze Bridge is present by damage sensitivity analysis. The mechanics character of the six ties is studied by numerical simulation, and then the sensor location and selection are discussed considering the technique of sensor and construction situation. The trend of the displacement at the sensor location is analyzed according to different damage level of ties, the pattern associating with several displacements which are sensitive to damage at ties is bring forward to improve assessment reliability. The result can assist implement of structural health monitoring system to the same type as this bridge.

Key words: structural health monitoring; tied-arch bridge; sensor distributing; damage assessment; numerical simulation

(编辑 李胜春)