

# 独塔四索面斜拉桥交工检测中动载试验研究

何炳涛

(佛山市公路桥梁工程监测站有限公司, 广东 佛山 528041)

**摘要:** 动载试验是新建桥梁交工检测中较重要的评定项目。独塔四索面斜拉桥由于主跨跨径比双塔三跨式跨径小, 桥梁整体刚度较大, 需特别关注其动力特性, 确保桥梁整体安全。文中以广东佛山番海大桥为工程背景, 通过有限元软件 MIDAS/Civil 建立模型, 对独塔四索面斜拉桥进行动载试验, 测试桥梁在各荷载工况下的动力特性, 为交工验收提供依据。

**关键词:** 桥梁; 独塔四索面斜拉桥; 动载试验; 交工检测; 基频; 冲击系数

中图分类号: U446.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)02-0133-03

独塔四索面斜拉桥是由拉索、索塔和主梁构成的外部为静定、内部为高次超静定的结构, 其柔性较大且具有多点支撑, 对全桥整体动力响应较敏感, 通过动载试验测试其动力特性是新桥建成后交工检测的核心内容之一, 也可为今后桥梁运营和养护提供第一手资料。该文通过对佛山番海大桥进行脉动测试、无障碍行车测试和跳车试验, 采用动态及模态采集仪得到实时数据, 并对相应数据进行分析。

## 1 工程概况

番海大桥主桥为主塔、墩和主梁固结的独塔四索面预应力砼斜拉桥, 跨径布置为 130 m+130 m。砼主梁为 DP 断面预应力砼结构, 主梁全长 260 m。横隔梁间距 8 m, 对应布置在斜拉索有索区。梁分幅设置, 单幅宽度 28.15 m, 主梁中心线处梁高 2.5 m, 顶、底板平行; 标准梁段桥面板厚 32 cm, 腹板厚 1.8 m。主梁为纵、横双向预应力砼构造, 纵向预应力按钢束所属梁段分为 4 种类型, 横向预应力仅设置在横隔梁处。主桥最大悬臂长度 122 m, 除 0<sup>#</sup> 块梁段外, 全桥共划分 30 个节段, 标准梁段自重为 4 200 kN。设计荷载等级为公路一 I 级。动载试验测点布置见图 1、图 2。

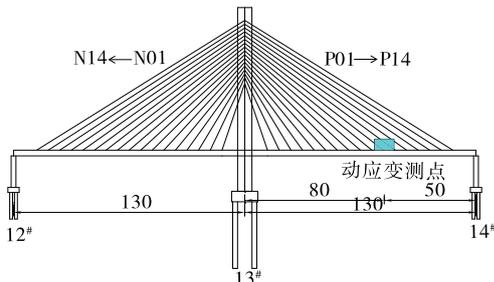


图 1 跑车试验纵向测点布置(单位:m)

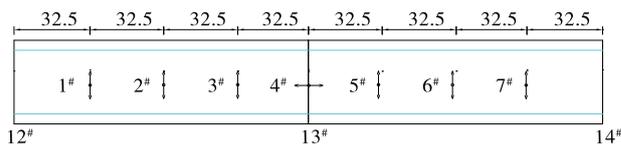


图 2 脉动试验测点布置(单位:m)

## 2 主桥有限元模型

采用 MIDAS/Civil 建立该桥有限元模型, 斜拉索使用桁架单元模拟, 主梁、横隔板和主塔使用梁单元模拟, 斜拉索和主梁、主塔均采用刚性连接。一期恒载有主梁、横隔板和主塔等自重, 主梁、横隔板和主塔自身重力采用实际断面计算, 容重 26 kN/m<sup>3</sup>。二期恒载包括防撞栏杆、桥面铺装、调平层和人行道板等, 按照 70 kN/m 计算。活载为公路一 I 级。图 3 为桥梁有限元模型。



图 3 番海大桥 MIDAS/Civil 计算模型

## 3 动载试验测试结果与分析

### 3.1 无障碍跑车测试

采用 2 辆各约 35 t 的重车保持相同速度通过测试面, 利用跨中所布置的振动测点对桥梁的受迫振动响应进行测试。采用 10~60 km/h 6 种行驶速度进行测试, 使用数据采集仪采集各测点的动应变数据, 并根据不同速度下试验值计算冲击系数。试

验结果见表1,部分动应变时程分析结果见图4。

表1 无障碍行车试验不同车速下冲击系数

速度/ (km·h <sup>-1</sup> )	动应变/ $\mu\epsilon$			冲击系数
	波峰	左波谷	右波谷	
10	21.463	20.024	19.989	0.035
20	24.560	23.941	23.768	0.015
30	25.284	23.383	23.280	0.040
40	25.641	23.533	24.185	0.036
50	26.827	25.103	24.231	0.042
60	26.516	25.196	25.242	0.025

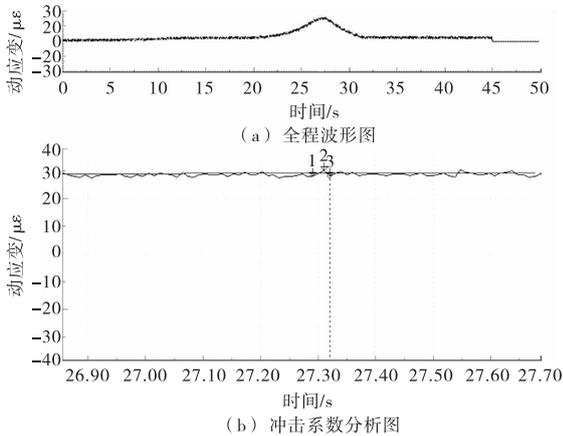


图4 30 km/h 行驶速度下无障碍行车试验动应变时程分析

对试验值和理论值进行比较,结果表明:在试验荷载作用下,番海大桥主桥(第13跨)在10~60 km/h 无障碍行车工况下的实测冲击系数均小于理论冲击系数(0.05),结构冲击效应无明显异常。

3.2 有障碍跑车测试

采用2辆约35 t的重车匀速越过测试截面7 cm高的弓形板,利用跨中布置的振动测点对结构振动响应进行测试。根据现场条件,采用10~30 km/h 3种行驶速度进行测试,试验结果见表2,部分动应变时程分析结果见图5。

表2 有障碍行车试验不同车速下冲击系数

速度/ (km·h <sup>-1</sup> )	动应变/ $\mu\epsilon$			冲击系数
	波峰	左波谷	右波谷	
10	6.016	4.579	5.075	0.110
20	22.518	18.045	15.823	0.142
30	19.434	16.489	12.996	0.137

对试验值和理论值进行比较,结果表明:番海大桥主桥(第13跨)在10~30 km/h 有障碍行车工况下的最大冲击系数为0.142,大于无障碍行车工况下冲击系数理论值(0.05),说明桥面不平整或坑槽会

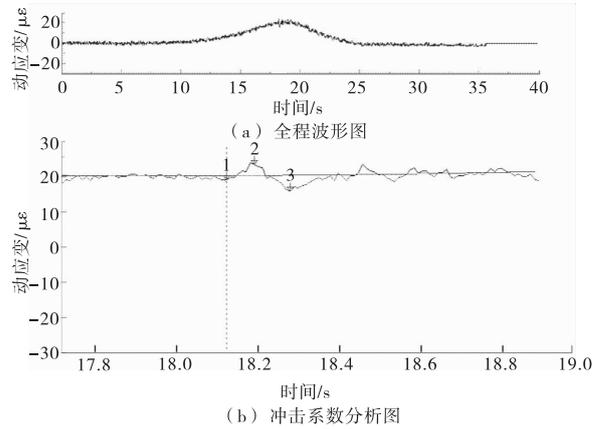


图5 20 km/h 行驶速度下有障碍行车试验动应变时程分析

增加汽车对桥面的冲击效应。

3.3 脉动测试

脉动测试是通过在测试面布置超低频、高灵敏度的拾振器,采集足够长的时间环境激励数据(桥址处风荷载、地脉动、水流等随机荷载激励)并进行互谱分析,同时计算桥梁的自振特性。布置拾振器时尽量避免理论计算振动的节点位置。分析桥梁在环境激励作用下的受迫响应信号,通过时域法中的特征系统实现算法(ERA)进行模态拟合,得到桥梁各阶振型、频率、阻尼比等参数。该桥为直桥,桥梁以竖向振动为主,全桥共布置16个测点(包括1个参考点,分5批次进行振动信号采集)。测试结果见表3,部分实测模态分析结果见图6、图7。

表3 结构自振频率及振型测试结果

阶次	实测频率/Hz	理论频率/Hz	阻尼比/%
1	0.552	0.491	2.140
2	0.862	0.946	0.206
3	1.378	1.372	1.089
4	1.507	1.497	0.711
5	1.607	1.590	1.117

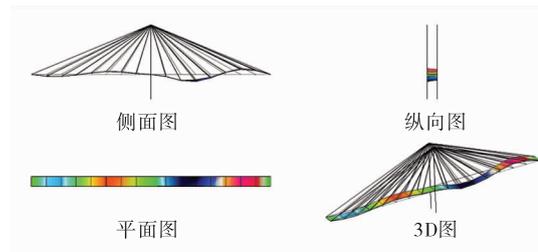


图6 4阶实测模态分析( $f_4 = 1.507$  Hz)

试验结果表明:试验桥跨的实测频率与理论频率接近,且大于理论频率,说明结构实际刚度大于理论刚度。

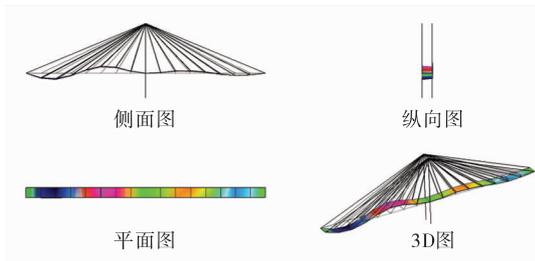


图7 5阶实测模态分析( $f_5=1.607$  Hz)

## 4 结论

(1) 试验荷载作用下, 番海大桥主桥在 10~60 km/h 无障碍行车工况下的实测冲击系数均小于理论冲击系数, 结构冲击效应无明显异常。

(2) 番海大桥主桥在 10~30 km/h 有障碍行车工况下的最大冲击系数为 0.142, 大于无障碍行车工况下冲击系数理论值(0.05), 桥面不平整或坑槽会增加汽车对桥面的冲击效应。

(3) 试验桥跨的实测频率与理论频率接近, 且大于理论频率, 说明结构实际刚度大于理论刚度。

(上接第 132 页)

布或机械自动撒布方式。

(5) 养护。环氧基层处理剂施工完成后, 进行养护并保护其表面, 养护时间不低于 12 h, 同时严禁各种车辆行驶和行人踩踏。养护期间, 如遇下雨, 使用塑料薄膜覆盖。

养护 1 d 后, 对施工部位进行钻孔拉拔试验。随机选择 3 个测点, 使用钻机钻孔, 孔径为 50 mm; 将钢制圆形拉拔头用 AB 胶黏结于环氧基层处理剂表面, 使用黏结强度拉拔仪进行拉拔试验。3 个测点的拉拔强度实测值分别为 3.65、3.25、3.46 MPa, 平均值为 3.45 MPa, 大于规范要求的 1.7 MPa, 且全部为砼内聚破坏。

施工完毕至今已近 2 年, 未发现节段接缝处和桥面临时开孔处开裂或漏水情况, 整体运行状况良好。

## 4 结论

(1) 相对于普通双酚 A 型环氧树脂和普通双酚 F 型环氧树脂, 自制的环氧树脂 H1 在保证固化产物力学强度的前提下, 能有效降低环氧胶黏体系的黏度, 适宜用于环氧基层处理剂制备。

(2) 稀释剂能有效降低环氧胶黏体系的黏度,

## 参考文献:

- [1] 谌润水, 胡钊芳. 公路桥梁荷载试验[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [2] 姚惠发, 王军文, 张运波. 离石矮塔斜拉桥成桥静动载试验研究[J]. 铁道建筑, 2007(4): 26-29.
- [3] 朱保华. 矮塔斜拉桥的动力特性及地震响应分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
- [4] 崔爱民. 银滩黄河大桥静动载试验研究[J]. 桥梁建设, 2002, 32(5): 23-25.
- [5] 田志勇, 刘康, 蒲黔辉. 新民岷江特大桥静动载试验研究[J]. 公路工程, 2012, 37(4): 135-137.
- [6] 秦顺全. 斜拉桥安装的无应力状态控制法[J]. 桥梁建设, 2003, 33(2): 31-34.
- [7] 杨茂华, 黎东龙. 某矮塔单索面斜拉桥荷载试验分析[J]. 公路与汽运, 2019(4): 139-142+145.
- [8] 曾德礼. 大跨度桥梁承载能力鉴定研究[J]. 桥梁建设, 2018, 48(5): 43-47.

收稿日期: 2021-06-16

其中单官能度稀释剂的降黏效果明显, 力学强度下降也十分显著。多官能度稀释剂的降黏效果差, 对固化产物力学强度的影响不大。苜基缩水甘油醚虽然属于单官能度稀释剂, 但由于其分子结构中含有苯环, 其降黏效果显著, 还能有效降低稀释剂对固化产物力学强度的影响。

(3) 最终制得的环氧基层处理剂的初始混合黏度仅为 90 mPa·s, 力学性能也符合各项要求, 适用于桥面砼基层处理及修复。实际应用结果表明, 它能保证桥面防水层的黏结, 阻断桥面砼被水侵蚀破坏, 防水效果显著。

## 参考文献:

- [1] 叶林宏. 高速铁路桥面防水基层处理与高渗透改性环氧新材料的应用[J]. 新型建筑材料, 2009, 36(11): 69-74.
- [2] 孙曼灵. 环氧树脂应用原理与技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [3] 张玉龙. 环氧胶黏剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 2017.
- [4] 陈晓龙, 朱华, 张晓华, 等. 低黏度裂缝修复用压注胶的制备与性能研究[J]. 新型建筑材料, 2014, 31(7): 58-60.

收稿日期: 2021-04-27