

大跨度连续梁桥动静载试验及结构评定

黄力, 石雪飞, 徐亮

(同济大学桥梁工程系, 上海 200092)

摘要:以泰州某大跨度连续梁桥的静动载试验为例, 建立 ANSYS 和桥梁博士模型进行静动力有限元数值计算。将试验结果与模型计算值进行比较, 试验结果表明, 该桥结构刚度和承载能力满足设计要求。

关键词:动静载试验; 连续梁桥; 挠度; 应力; 结构评定

中图分类号:U448.27; U446 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-0373(2012)03-0024-06

为了全面地检验大桥的设计、施工质量, 也为了更好地了解结构体系在试验荷载作用下的实际工作状态和受力特性, 在大桥开通之前必须对其进行生产鉴定性质的现场竣工静动载试验, 为科学地评价本桥结构的强度、刚度、承载能力和结构的整体工作性能等提供第一手资料, 同时也为评价工程的施工质量、设计的可靠性和合理性以及大桥的竣工验收提供可靠的依据。

1 项目概述

大桥区地貌属于长江三角洲冲积平原, 主桥上部结构为 $(49 + 85 + 54)$ m 变高度预应力砼连续箱梁, 采用单箱单室截面, 单箱底宽 8.25 m, 两侧悬臂长 3.75 m, 全宽 15.75 m, 中支点处箱梁中心梁高 5.2 m, 跨中箱梁中心梁高 2.4 m, 梁高按 1.8 次抛物线变化。大桥总体布置见图 1。上部结构采用悬臂浇筑施工方法。

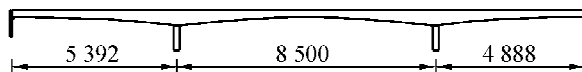


图1 大桥总体布置图(单位:cm)

2 有限元计算分析

大桥采用桥梁博士 3.0 进行平面杆系模型计算, 桥梁博士模型共计 46 个单元, 47 个节点。同时采用大型通用有限元软件 ANSYS 建立空间杆系模型, 采用 beam188 单元模拟主梁, 全桥共 410 个单元, 计算全桥在汽车偏载作用的偏载系数及桥梁结构一阶自振频率。图 2 为桥梁博士模型, 图 3 为 ANSYS 模型。

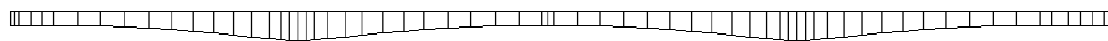


图2 大桥桥梁博士模型

利用大型有限元软件对该桥梁进行整体静力与动力分析。根据弯矩、轴力、剪力等影响线包络图, 确定全桥关键截面及加载工况, 由关键截面的影响线确定全桥荷载布置范围与大小^[1]。

3 静载试验

3.1 测点布置

收稿日期: 2012-02-14

作者简介: 黄力 男 1988 年出生 硕士研究生

根据全桥弯矩影响线包络图可知,主桥边跨最大正弯矩控制截面距离跨度较大侧边墩 29.5m 处(1 号截面),中跨最大正弯矩控制截面在其跨中截面(2 号截面);支点附近最大负弯矩选择左边跨侧距主墩中心间距为 5 m 截面(3 号截面),见图 4 所示。

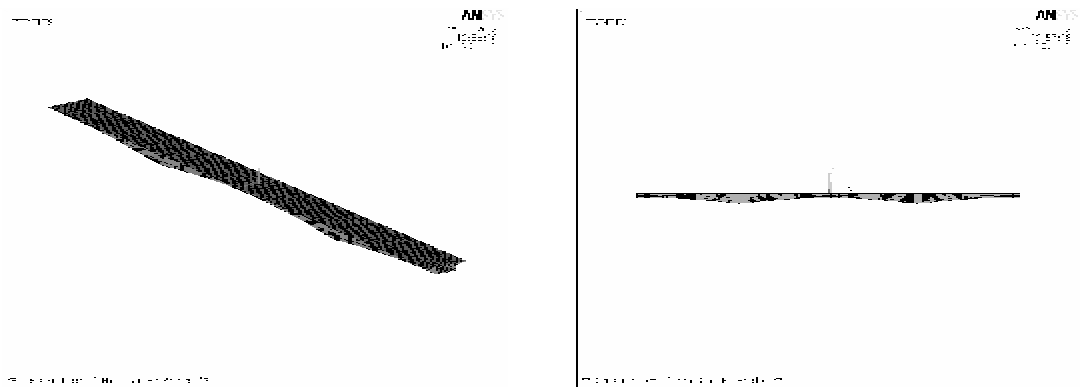


图 3 大桥 ANSYS 模型

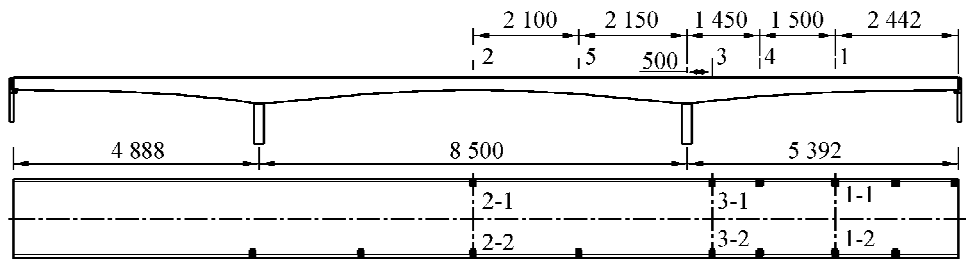


图 4 主梁应变与挠度测量截面(单位:cm)

根据《大跨径混凝土桥梁的试验方法》建议的静力试验荷载效率及控制断面的设计弯矩值,考虑加载车辆的特性,建议选用汽车-20 级重车,车辆总重 300 kN。规范规定的此类车辆的轮、轴距和轴重如下:中后轴距 140 cm;前中轴距 400 cm;后轮距 180 cm;前轴重 60 kN;中后轴重 240 kN;总重 300 kN。

本桥荷载试验采用荷载效应等效的原则,对应 1~3 种工况采用如图 5~图 7 所示的加载形式,即用 7~14 辆载重 30 t 汽车对本桥按指定位置进行加载。

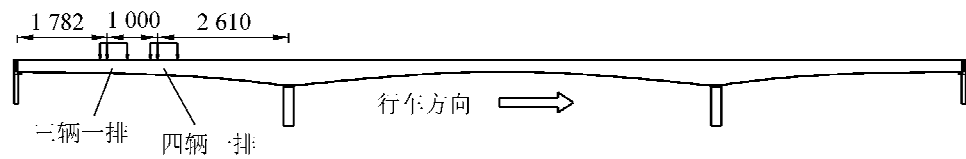


图 5 截面 1 加载示意图(单位:mm)

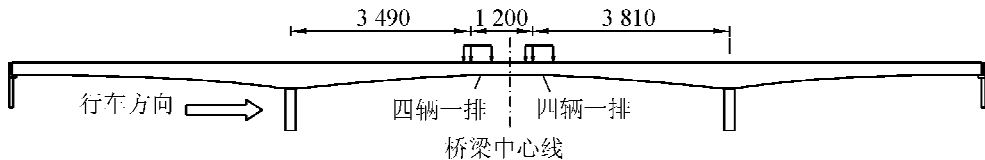


图 6 截面 2 加载示意图(单位:mm)

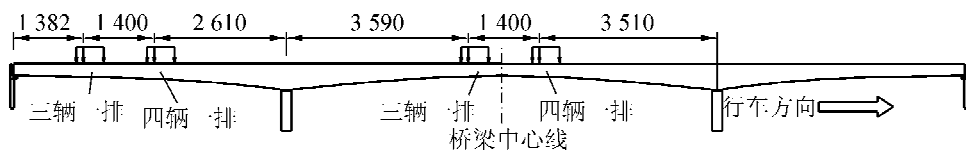


图 7 截面 3 加载示意图(单位:mm)

主梁应力监测点布置共计 5 个截面,其中 1、2、4、5 截面布置 7 个应变片测点,3 号截面布置 5 个应变片测点,如图 8 所示。另外,在 3 号截面左右腹板处各布置 1 个应变测点,监测腹板主应力变化。由于全桥刚度较大,在静载试验过程中,整体变形较小,为消除测量误差,选取挠度较大的 1、2、3 号截面为挠度监测断面,横向各布置两个测点。

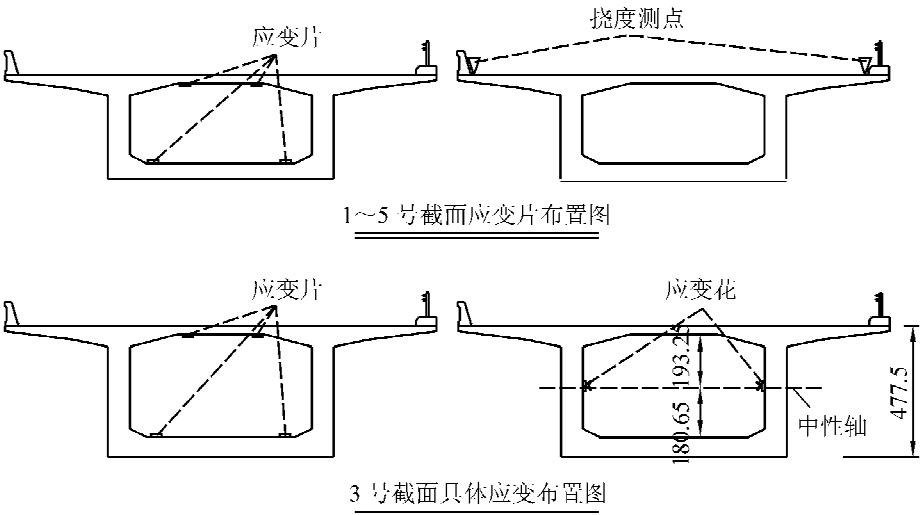


图 8 静载试验应力与挠度测点布置图(单位:cm)

3.2 静载试验加载工况

根据各控制截面最大弯矩影响线,确定汽车荷载加载范围与大小。实际加载车辆数按照等效荷载法确定。为考虑横向偏载对全桥静动力影响,选择了 6 种最不利荷载工况^[2],试验工况如表 1。

表 1 试验荷载效应与公路-I 级荷载效应对应表

加载 工况	加载工况截面	校验指标	试验荷载 下计算值①	标准荷载 下计算值②	试验效率 系数①/②
1	截面 1 最大正弯矩布载-中载	截面 1 弯矩/(kN·m)	16 536	17 772	0.93
2	截面 1 最大正弯矩布载-偏载	截面 1 挠度/m	0.009	0.010	0.90
3	截面 3 最大负弯矩布载-中载	主墩墩顶弯矩/(kN·m)	33 780	34 206	0.99
4	截面 3 最大负弯矩布载-偏载	截面 3 弯矩/(kN·m)	26 392	28 030	0.94
5	截面 2 最大正弯矩布载-中载	截面 2 弯矩/(kN·m)	16 849	17 549	0.96
6	截面 2 最大正弯矩布载-偏载	截面 2 挠度/m	0.019	0.021	0.90

3.3 静载试验结果数据分析

3.3.1 挠度试验结果

正式加载试验前,用两辆试验重车对大桥进行预加载。正式加载试验时要求分级加载,分级加载原则上分成 25%、50%、100% 3 级。加载过程中进行变形、应变、裂缝观测。挠度测量使用高精度徕卡全站仪。各工况挠度测量数据见表 2,图 9 为工况 5 挠度对比图。由于篇幅文字限制,只列出部分工况数据。从表 2 可见,主桥各控制截面的挠曲变形实测值与计算值结果的变化规律一致,绝大多数实测值小于计算值,其挠度校验系数大多在 0.50~0.95 之间不等,说明结构实际刚度大于计算刚度。另外,在高精度全站仪测量下,量测的结构残余变形非常小,说明在试验过程中结构处于弹性工作状态。

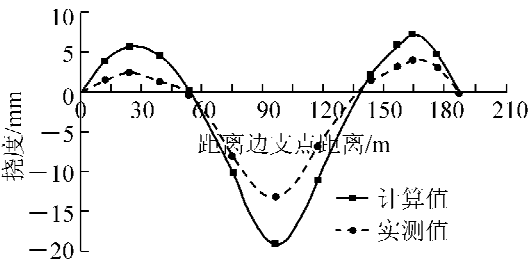


图 9 工况五挠度对比图

3.3.2 应力试验结果

通过静态应变采集仪采集 1-5 号截面箱内壁应变片计的应变值。根据校验系数的定义,对各断面各工况静载试验数据处理,计算应力校验系数,计算结果见表 3 所示。

由表 3 可知,各截面顶板与底板应变值均小于计算值,其校验系数大多数在 0.4~1.0 之间,说明实际结构刚度大于设计计算刚度。

表 2 表 3 工况 1、3、5(中载)挠度试验结果

工况	断面	实测值①/mm		计算值②/mm	检校系数①/②	
		北观测点	南观测点		北观测点	南观测点
工况 1	1	-5.5	-5.7	-8.6	0.64	0.66
工况 1	3	-1.2	-1.3	-1.6	0.74	0.80
工况 1	2	4.1	3.4	5.9	0.70	0.58
工况 3	1	-2.2	-2.1	-2.3	0.96	0.91
工况 3	3	0.0	0.1	0.2	0.00	0.50
工况 3	2	-8.0	-8.1	-10.9	0.74	0.75
工况 5	1	4.1	4.3	7.1	0.58	0.61
工况 5	3	1.2	1.1	2.1	0.58	0.53
工况 5	2	-12.2	-12.6	-19.2	0.64	0.66

表 3 右幅桥工况 5 各断面应力结果

截面	截面位置	实测值①/MPa	计算值②/MPa	检校系数①/②
截面 1	顶板	-0.138	-0.313	0.441
截面 1	底板	0.278	0.521	0.533
截面 2	顶板	-0.759	-1.138	0.667
截面 2	底板	1.390	2.081	0.668
截面 3	顶板	0.362	0.667	0.543
截面 3	底板	-0.360	-0.673	0.535
截面 4	顶板	0.362	0.728	0.498
截面 4	底板	-0.584	-0.889	0.656
截面 5	顶板	-0.009	-0.009	0.958
截面 5	底板	-0.027	-0.032	0.844

4 动载试验

桥梁结构在移动的车辆荷载作用下会产生振动,车辆过桥时,桥梁过大的振动一方面会引起乘客的不舒适感,另一方面会带来人们心理上的不安全感,所以桥梁的动载试验是对桥梁结构动力性能进行分析的又一项重要内容。动载试验的内容包括:①汽车荷载的冲击系数;②主桥结构的动力特性。在动载试验中主要进行跑车试验、刹车试验和跳车试验,将试验结果和计算结果对比,分析全桥动力特性与响应。

根据结构的振型特点,测点拾振器布置在 1 号和 2 号截面。控制截面上动应变计测点和拾振器测点布置见图 10,89I-II 型拾振器在振动测点图示各测点均布置 2 个垂直振动测点和 2 个水平振动测点^[3]。

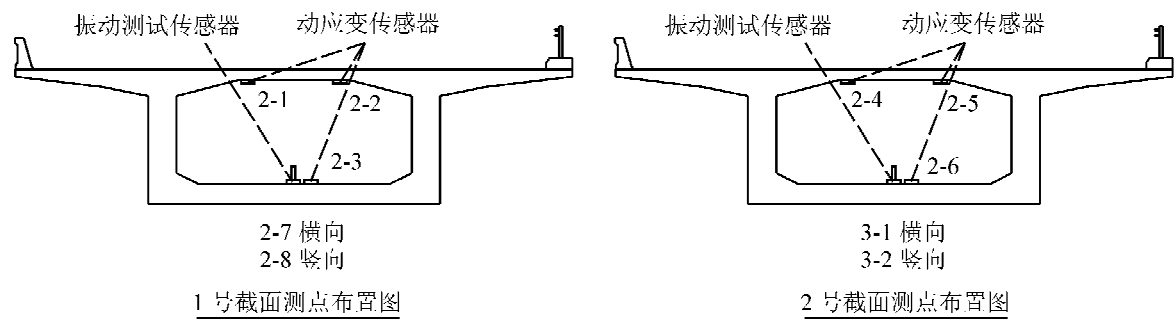


图 10 动载试验动应片与振动测点布置图

4.1 跑车试验结果

一辆 30 t 重车分别以 10、20、30、40、50 km/h 的车速驶过桥面,记录所有测点的动应变和动位移时程信号。图 11 为车速 50 km/h 时中跨底板动应力时程图。由结果可知各监控测点的动应力均较小,其动态增量在 0.03~0.14 范围,冲击系数的平均值在 $1 + \mu = 1.07$ 左右。

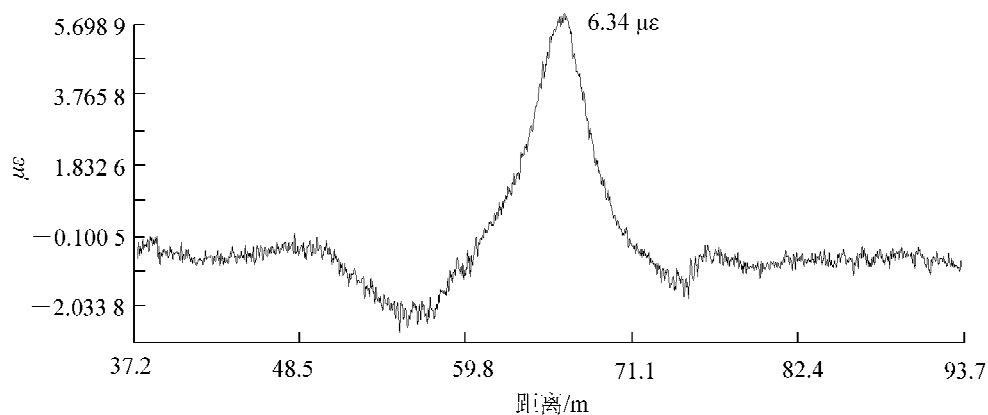


图 11 车速 50 km/h-中跨底板动应力时程图

4.2 跳车试验

一辆 30 t 重车分别以 10 km/h、20 km/h 车速驶过设有人工障碍物(模拟桥面坑洼),记录所有测点的动应变和动位移峰值。由表 4(测试工况 T-1,一辆车 10 km/h—跳车,实测速度 11 km/h)可知在跳车情况下,其冲击系数的平均值为 1.11。

表 4 车速 10 km/h 跳车试验最大动应变与冲击系数

测点位置	应变峰值/ 10^{-6}	$1 + \mu$
1 号截面顶板	-3.19	1.11
1 号截面底板	2.27	1.18
2 号截面顶板	-3.45	1.07
2 号截面底板	9.34	1.08

4.3 刹车试验

一辆 30 t 重车分别以 10 km/h、20 km/h 车速分别在主桥跨中、边跨处刹车,记录所有测点的动应变和动位移峰值。图 12 为车速 20 km/h 时,中跨底板动应力时程图。

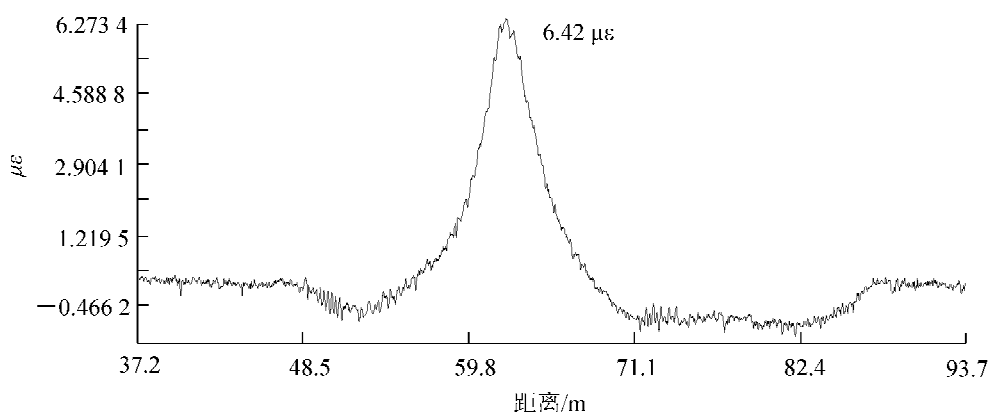


图 12 车速 20 km/h-中跨底板动应力时程图

4.4 自振频率

利用跑车余振、跳车激振试验对桥梁的竖向和横向自由振动波形进行功率谱分析即可得到桥梁的竖向和横向自振频率,如表 5 所示。

本桥实测竖向一阶自振频率 1.55 Hz,横向自振频率一阶 0.8 Hz,用三维空间模型 ANSYS 程序计算得到桥梁的竖向自振频率为一阶 1.12 Hz。自振频率实测值大于计算结果,这同样说明结构的实际竖向

刚度比计算值大,结构动力性能良好^[4]。

表5 跑车、跳车、刹车试验桥梁自振频率

工况	车速/ (km · h ⁻¹)	边跨带载频率/Hz		中跨带载频率/Hz	
		横向	竖向	横向	竖向
0(自振)	0	0.80	1.65	0.80	1.65
跑车	20	0.80	1.48	0.80	1.48
刹车	20	0.80	1.62	0.79	1.60
跳车	20	0.79	1.59	0.79	1.52

5 结语

通过对泰州某大跨度预应力混凝土连续梁桥的动、静载荷载试验,可以得到以下基本结论:静载试验作用下,主桥各控制截面的挠度和应力实测值与计算结果的变化规律一致,且实测值较小于计算值,挠度校验系数在0.50~0.9之间,应力校验系数在0.3~0.8之间,满足规范要求。说明结构实际刚度和强度大于计算刚度和强度^[2]。

在高精度全站仪测量下,量测的结构残余变形非常小,说明在试验过程中结构处于弹性工作状态。

根据实测结果的对比可知,偏心加载时的扭转效应并不明显,说明主桥上部结构箱梁具有很大的抗扭刚度。

桥梁一阶自振频率实测值大于计算结果,说明结构的实际竖向刚度比计算值大,结构的动力性能良好。

参 考 文 献

- [1] 赵林岑. 某绕城公路(36+2 56+36)m连续梁桥静动载试验研究[J]. 公路工程, 2011, 36(2): 150-153.
- [2] 宋一凡. 公路桥梁荷载试验与结构评定[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [3] 张蔚伟. 大跨度连续梁桥的荷载试验及性能评定[J]. 河南建材, 2011(4): 120-122.
- [4] 中交公路规划设计院. JTG D62—2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

Dynamic-Static Load Test and Structural Evaluation of Large Span Continuous Beam Bridge

Huang Li, Shi Xuefei, Xu Liang

(Department of Bridge Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Taking the static and dynamic load test of a large span continuous girder bridge in Taizhou for example, this paper establishes the model of ANSYS and Dr. Bridges for static and dynamic finite element numerical calculation. The test results are compared with the calculated values and show that the bridge structural stiffness and bearing capacity can meet the design requirements.

Key words: dynamic and static load test; continuous beam bridge; deflection; stress; structural evaluation

(责任编辑 车轩玉)