

大型箱形拱桥的静载试验研究

文华斌^{1,2},郭毅^{1,2},李良^{1,2},刁砚³,陆春华⁴

(1. 四川理工学院机械工程学院, 四川 自贡 643000; 2. 过程装备与控制工程四川省高校重点实验室, 四川 自贡 643000;
3. 西南交通大学, 成都 610031; 4. 苏州市建筑设计研究院有限责任公司, 江苏 苏州 215021)

摘要:桥梁静载试验是检验桥梁性能及工作状态最直接、最有效的方法。通过对四川南部某特大拱桥的静载试验,获得了该桥的结构现状及整体受力性能情况,检测结果显示该桥跨结构不满足汽车-10 荷载等级使用要求。试验数据及分析结果为该桥的营运使用,及以后对该桥的综合评估、修复、加固或重建提供了技术依据。

关键词:桥梁检测;静载试验;拱桥;校验系数

中图分类号:U446.1

文献标识码:A

桥梁静载试验是将静止的荷载作用于桥梁上的指定位置,测试结构的应变、应力以及位移等,以桥梁结构实际工作状态与设计期望值是否相符,从而推断桥梁结构在荷载作用下的工作状态和使用能力。它是检验桥梁性能及工作状态,即主要为结构的强度和刚度最直接、最有效的办法。为了较为直观的反映桥梁结构的使用性能,静载试验采用现场试验方法。在试验之前应进行相关的理论分析,在此基础上制定周密的试验方案,理论计算结果可以作为衡量现场试验结果的理论依据^[1-4]。

1 静载试验方法介绍

1.1 试验荷载

静力试验荷载采用载重汽车充当。就某一检验项目而言,所需车载重量,根据设计控制荷载产生的该检验项目(内力和位移等)的最不利效应值,以满足下式所定原则等效换算而得^[5]:

$$0.80 \leq \eta = \frac{S_{state}}{(1 + \mu)S} \leq 1.10 \quad (1)$$

式中, η 为静力试验荷载效率; S_{state} 为试验荷载作用下某一检验项目最大计算效应值; S 为设计控制荷载作用下该检验项目的最不利计算效应值; μ 为规范采用的冲击系数。

1.2 试验加载位置与加载工况

加载位置和加载工况的确定,主要依据的原则是:尽可能用最少的加载车辆达到最大的试验荷载效率,同时应考虑简化加载工况,缩短试验时间,在满足试验荷载效率的前提下对加载工况进行适当合并,每一加载工况依据某一检验项目为主,兼顾其它检验项目。具体的试验荷载是根据各个控制截面的设计弯矩,通过等效的试验车辆荷载加载到相应位置来实现。

为了获得结构试验荷载与变位关系的连续曲线和防止结构意外损伤,每一检验项目的静力试验荷载分成预加载和 2 级加载,两级卸零。加载方式为单次逐级递加到最大荷载,然后逐级卸到零级荷载。

静力试验荷载的加载分级,一般分三级加载:0—0.6 S — S , S 为设计控制荷载作用下该检验项目的最不利效应值。对同一加载截面,先分级加载,横向对称加载;每个工况进行重复加载。

收稿日期:2012-05-27

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2008BAD4B15);四川省教育厅青年基金项目(10ZB097);四川理工学院博士启动基金(2010ZY019);四川理工学院人才引进项目(2009XJKL002);四川理工学院研究生创新基金(Y2011001);过程装备与控制工程四川省高校重点实验室项目(GKYJ201101)

作者简介:文华斌(1978-),男,四川简阳人,讲师,硕士,主要从事工程力学方面的研究,(E-mail)sichuanwhb@sina.com

1.3 静载试验数据测试方法

应力测试,可在试验截面粘贴混凝土应变片测试混凝土应变/应力,并通过不同位置补偿点实现对环境温度等因素的补偿,应变采用数字应变仪自动采集存储。变形测试,可采用全站仪测量各挠度测点的竖向变形。温度测量,可采用红外温度测试仪测量桥体表面的温度及环境温度。

2 工程概况

四川南部某特大拱桥(图 1 和图 2),全长 800 m,于 1992 年建成通车。主桥为 2 孔 130 m 箱形板拱,由预制的 6 片箱形拱圈横向拼接组成。箱形拱纵向分为 5 节吊装,预埋螺栓联结后再用短钢板焊接而成。拱圈为 30 号混凝土,箱高 1.9 m,上部设双柱式排架支承纵梁,并配横向分布的桥面板。引桥为 7 孔 63 m 的单箱肋拱,每孔两条肋拱,每根肋拱分 3 节箱形梁吊装栓焊联接,拱圈 30 号混凝土,箱高 1.4 m,上部设双柱式排架支承纵梁,并配横向分布的桥面板。



图 1 主桥 2 × 130 m 跨箱形板拱



图 2 引桥 7 × 63 m 跨单箱肋拱

该桥原设计荷载为汽-20、挂-100。于 2002 年加固后,将荷载等级调整为:车重 40 kN,不通行挂车,并运营至今。为了解该桥目前的工作运营状况,对该桥进行荷载试验研究。

3 静载试验方案

根据试验目的,本次荷载试验以汽-10 作为基本的

荷载标准,以此为基础布置试验荷载。本桥荷载试验拟采用 4 辆载重 100 kN 汽车和 2 辆载重 50 kN 汽车,车重可根据结构的现场测试数据进行调整。

静载试验针对 2 孔 130 m 箱形板拱主拱结构及 4 孔 63 m 单箱肋拱引桥结构进行,试验内容具体如下:

工况 1,试验跨拱脚中载(纵桥向按拱脚截面负弯矩的最不利位置布载,横桥向为中载)。

工况 2,试验跨拱脚偏载(纵桥向按拱脚截面负弯矩的最不利位置布载,横桥向为偏载)。

工况 3,试验跨 L/4 中载(纵桥向按 L/4 截面正弯矩和挠度的最不利位置布载,横桥向为中载)。

工况 4:试验跨 L/4 偏载(纵桥向按 L/4 截面正弯矩和挠度的最不利位置布载,横桥向为偏载)。

工况 5,试验跨跨中中载(纵桥向按跨中截面正弯矩和挠度的最不利位置布载,横桥向为中载)。

工况 6,试验跨跨中偏载(纵桥向按跨中截面正弯矩和挠度的最不利位置布载,横桥向为偏载)。

具体的测试断面布置见图 3,应变测试截面为试验跨的拱脚、L/4、跨中截面;挠度测试截面为试验跨的 L/4、跨中、3 L/4 截面。

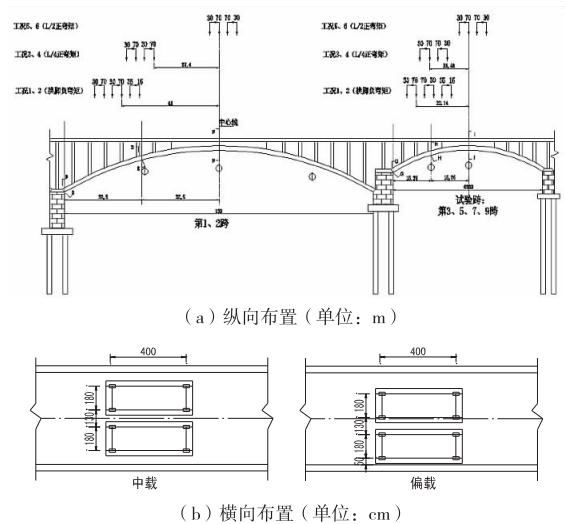


图 3 试验断面布置示意图

静载测试内容与测点布置,静载试验中,主要测试主拱圈截面的应力和挠度。

(1) 应力测点布置

各拱圈试验截面应力测点布置如图 4 和图 5 所示。

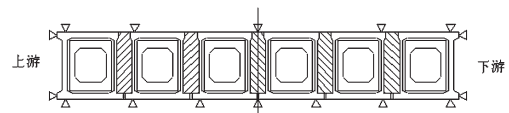


图 4 130 m 跨拱圈测试断面应力测点布置

(2) 挠度测点布置

挠度测点为测试断面的上下游侧。

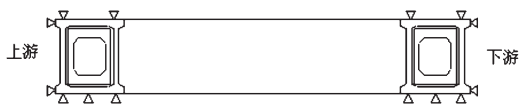


图5 63 m跨拱圈测试断面应力测点布置

4 静载试验结果与分析

由于篇幅原因,这里仅列出部分主要工况的应力测试结果和挠度测试结果,并进行分析。对于分析所需的理论计算值,采用MIDAS/CIVIL^[6]有限元分析程序计算获得。该桥的桥面结构及立柱采用C25混凝土,拱肋采用C30混凝土,桥墩采用C20混凝土。混凝土材料性能按照《公路钢筋混凝土桥涵设计规范》^[7]取值,见表1。

表1 主要材料特性

项目	C20	C25	C30
弹性模量/MPa	2.55E+04	2.80E+04	3.00E+04
泊松比	0.2	0.2	0.2
密度 kg/m ³	2.549E+3	2.549E+3	2.549E+3

该桥的三维梁单元空间模型如图6所示。各个工况的有限元计算过程,这里不再赘述,仅给出计算结果。

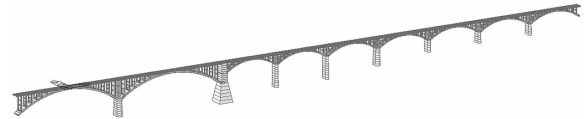


图6 大桥空间有限元模型

4.1 应力测试结果

部分工况荷载作用下,各试验截面应力实测值与计算值比较见表2。

表2 各跨试验截面应力实测值与计算值比较

试验跨	位置	工况	级数	计算值(MPa)		实测值(MPa)		校验系数	
				截面上缘	截面下缘	截面上缘	截面下缘		
1	拱脚	中载	J1	0.62	-1.23	0.252	-0.252	0.41	0.20
			J2	0.76	-1.52	0.42	-0.364	0.55	0.24
	L/4 截面		J2	-0.56	0.37	-0.364	0.308	0.66	0.83
			跨中	J1	—	0.17	—	0.084	—
J2	—	0.28		—	0.274	—	1.02		
2	拱脚	中载	J2	0.73	1.48	0.504	1.428	0.69	0.96
	跨中		J1	—	0.17	—	0.196	—	1.13
			J2	—	0.28	—	0.336	—	1.21
	3		拱脚	中载	J2	1.60	-2.68	0.476	-0.616
L/4 截面		J2	-1.72		1.25	-0.42	0.196	0.24	0.16
		跨中	J1		-1.14	0.77	-0.168	0.56	0.15
J2			-1.82		1.12	-0.364	1.092	0.20	0.98
5	拱脚	中载	J1	1.48	-2.38	0.588	-0.756	0.40	0.32
	跨中		J2	1.63	-2.72	1.036	-1.204	0.64	0.44
			J1	-1.18	0.83	-0.084	0.336	0.07	0.41
	J2		-1.91	1.23	-0.308	0.896	0.16	0.73	
7	拱脚	中载	J2	1.63	-2.72	0.336	-1.12	0.21	0.41
	跨中		J1	-1.18	0.83	-0.224	0.252	0.19	0.30
			J2	-1.91	1.23	-0.476	0.728	0.25	0.59
	9		拱脚	中载	J1	1.48	-2.38	0.252	-0.644
跨中		J2	1.63		-2.72	0.336	-0.896	0.21	0.33
		J1	-1.18		0.83	-0.252	0.392	0.21	0.47
J2		-1.91	1.23		-0.84	0.784	0.44	0.64	

注:1. 应力受压为-,受拉为+;2. 除特殊说明外都是混凝土应力;3. 校验系数=实测值/计算值

通过各试验截面应力实测值与计算值比较可知,结构大部分试验跨的应力校验系数均小于1,第一跨和第二跨的跨中应力校验系数大于1,根据数据分析表明由于结构损伤导致截面实际中性轴位置较原设计发生了变化,使得截面应力超标。

偏载系数K通过实测偏载下缘最大应力和其平均应力的比值得到,即

$$K = \frac{\sigma_{\max}}{\sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i}{n}} \quad (2)$$

式中:n一下缘测点数。

经过数据计算整理,得到各跨试验截面偏载系数,见表3。

从表3可知,在偏载作用下,作为主拱圈为箱形板拱的主桥来说,整体性较好,而作为主拱圈为两根箱形

肋拱的引拱来说,偏载效应比较明显,表明结构整体性较差。

表 3 各跨试验截面偏载系数 K

试验跨	位置	加载工况	σ_{\max}	$\sum \frac{\sigma_i}{n}$	偏载系数 K
NO. 1	L/4 截面	拱脚	-0.588	-0.482	1.22
		偏载	-0.252	-0.198	1.23
		跨中	0.308	0.266	1.15
NO. 2	L/4 截面	拱脚	-0.224	-0.182	1.23
		偏载	0.336	0.260	1.29
		跨中	-1.036	-0.861	1.20
NO. 3	L/4 截面	拱脚	0.784	0.462	1.69
		偏载	0.672	0.455	1.47
		跨中	-0.308	-0.161	1.91
NO. 5	L/4 截面	拱脚	1.82	1.299	1.40
		偏载	-1.624	-1.386	1.17
		跨中	0.896	0.736	1.21
NO. 7	L/4 截面	拱脚	-0.812	-0.497	1.63
		偏载	0.392	0.28	1.4
		跨中			

4.2 挠度测试结果

各工况荷载作用下,各试验跨各位置挠度实测值与计算值的比较见表 4。

表 4 各跨试验截面挠度实测值与计算值的比较

试验跨	位置	工况	级数	计算值 (mm)	实测值 (mm)	校验系数
NO. 1	L/4 截面	中载	J2	-6.2	-3.0	0.48
	跨中	中载	J2	-5.1	-4.1	0.80
NO. 2	跨中	中载	J2	-5.2	-4.6	0.88
NO. 3	跨中	中载	J2	-5.1	-3.0	0.6
NO. 5	跨中	中载	J2	-6.0	-3.9	0.6
NO. 7	跨中	中载	J2	-6	-2.3	0.4
NO. 9	跨中	中载	J2	-6	-1.9	0.3

注:1. 挠度值以向下为负,向上为正;2. 校验系数=实测值/计算值。

由表 4 可见:各跨试验截面在各工况下挠度校验系数为 0.3~0.88,在合理的范围之内,表明各试验跨满足汽-10 荷载作用下的刚度要求。

5 静载试验结论

该大桥通过荷载效率系数为 0.8~1.0 的静载试验以及对试验结果的分析,得到如下几点结论与评价:

(1) 该桥大部分试验跨的应力校验系数均小于 1,主桥第一跨和第二跨的跨中应力校验系数大于 1,根据数据分析表明由于结构损伤导致截面实际中性轴位置较原设计发生了变化,导致截面下缘应力超标,因此强度不能满足汽-10 等级使用要求。

(2) 在偏载作用下,作为主拱圈为箱形板拱的主桥来说,整体性较好,而作为主拱圈为两根箱形肋拱的引拱来说,偏载效应比较明显,表明结构整体性较差。

(3) 各跨试验截面在各工况下挠度校验系数为 0.3~0.88,在合理的范围之内,表明各试验跨满足汽-10 荷载作用下的刚度要求。

本次通过对该大型拱桥的静载试验,获得了该桥的结构现状及整体受力性能情况,为今后该桥的综合评估,修复、加固或重建提供了技术依据。

参考文献:

- [1] 张树仁,王宗林.桥梁病害诊断与改进加固设计[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [2] 杨文渊.桥梁维修与加固[M].北京:人民交通出版社,2000.
- [3] 危媛丞.东江大桥模态试验与分析[J].河北工程大学学报:自然科学版.2010,27(2):33-37.
- [4] 林龙辉.某在用市政钢箱梁桥检测鉴定技术分析[J].四川理工学院学报:自然科学版.2008,21(2):104-107.
- [5] 王炎,肖林.部分斜拉桥空间有限元分析及静载试验研究[J].中外公路,2008,28(6):145-148.
- [6] 邱顺冬.桥梁工程软件 Midas Civil 应用工程实例[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [7] JTG D62-2004,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].

Static Loading Test Study of the Large Box Arch Bridge

WEN Hua-bin^{1,2}, GUO Yi^{1,2}, LI Liang^{1,2}, DIAO Yan³, LU Chun-hua⁴

(1. School of Mechanical Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China; 2. Sichuan Provincial Key Lab of Process Equipment and Control, Zigong 643000, China; 3. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 4. Institute of Architectural Design Co., Ltd, Suzhou 215021, China)

Abstract: Static loading test is a most direct and effective way to test the performance and running status of bridges. By way of test of static load of the large arch bridge in northern Sichuan, the structure state and integral forced performance of the bridge is got. The test shows that the bridge structure doesn't satisfy the car 10 load level. The experimental data and analysis results provide a technologic basis to use the bridge safely and to global assessment, repair, upgrade or rebuild the bridge.

Key words: bridge detection; static loading test; arch bridge; coefficient of correction