

文章编号: 0451-0712(2004)12-0062-04

中图分类号: U446.1

文献标识码: A

# 现场桥梁静载试验评定与分析

吴建军<sup>1</sup>, 陈 和<sup>2</sup>, 张启伟<sup>2</sup>, 袁万城<sup>2</sup>

(1. 海盐县公路管理段 海盐县 314300; 2. 同济大学 上海市 200092)

**摘 要:** 在目前评定桥梁或单梁的承载能力及工作状况静载试验方法的基础上, 结合 3 跨预应力双薄壁墩连续刚构和 5 跨连续桥面简支斜梁桥的桥梁静载试验与分析, 总结分析出常见桥梁的测试中, 影响校验系数值的主要因素。建议在结构计算模式、材料实际强度取值及测量点布置方面再提高些要求, 可大大提高校验系数  $\eta$  值的精确度, 评定桥梁或单梁的承载能力及工作状况则更准确。

**关键词:** 桥梁静载试验; 校验系数; 试验评定

随着重型车辆日益增多, 对桥梁的承载性能提出了更高的要求。因此, 力图通过承载力评定后, 采取加固补强措施, 从而达到节约工程造价, 不中断交通, 节省工期的目的, 并带来巨大的经济和社会效益。由此, 客观、科学地评定桥梁的承载力就显得十分重要。然而, 桥梁测试是一项技术含量高、复杂而又精细的系统工程。实践中, 测试人员往往由于对各测试环节、测试内容理解欠深而陷入测试误区, 造成测试结果不能客观反映桥梁实际承载力, 所造成的危害性极大。作者等人在测试多座桥梁的基础上, 总结分析出常见桥梁的测试中可改进的地方, 旨在引导更为科学、客观的测试技术。

## 1 目前桥梁或单梁的承载能力及工作状况静载试验评定方法

桥梁静载试验是非破坏性的, 能有效反映桥梁在静载作用下的结构工作性能。静载试验通常采用车辆加载方式, 测定梁的应变、挠度和裂缝, 根据试验结果与理论计算值的对比分析。评定桥梁或单梁的承载能力及工作状况, 通常使用一个非常重要的评定指标, 该指标是实测结构校验系数  $\eta$ 。试验的实测值  $S_e$  与理论计算的应力或变形值  $S_s$  之比, 称为实测结构校验系数, 它反映结构的实际工作状态, 根据校验系数的定义:

$$\eta = \frac{S_e}{S_s}$$

式中:  $S_e$  为测点的应力(或弹性变形)的实测值;

$S_s$  为测点的应力(或弹性变形)的理论计算值。

对于公路桥梁, 在正常情况下, 其结构校验系数  $\eta$  值随着钢筋应力、混凝土上翼缘应力和挠度的不同而有所不同, 也随着结构型式不同(如普通钢筋混凝土桥、预应力钢筋混凝土桥、双曲拱桥、桁架拱桥等)而有所不同。结构校验系数  $\eta < 1$ , 即测点的应力(或弹性变形)的实测值小于理论计算值, 说明理论计算偏于安全, 结构尚有一定的安全储备, 这种情况说明桥梁结构的工作状况良好。桥梁设计之所以偏于安全, 一般地说是由于从施工方便出发, 每根梁的几何尺寸、用筋量都是设计成同一规格的, 是按某最大内力值作为设计依据的, 且配筋总是偏多一点; 在计算时有时不考虑桥面铺装厚度及其他结构造成的“卸载”现象; 混凝土也因长期养生, 强度会比设计标号高一些以及其他因素。这些因素都使得理论计算值偏大而实测值偏小; 当然, 结构校验系数  $\eta$  的数值愈接近 1, 说明结构构件的实际工作状态与结构计算理论愈相符; 结构校验系数  $\eta \ll 1$ , 则说明桥梁设计不合理、不经济; 结构校验系数  $\eta > 1$ , 说明所设计的结构件承载能力不足, 结构构件的工作状况不好;  $\eta \gg 1$ , 则结构构件处于非常危险状态。此时应根据实际情况, 降低该构件的载重等级, 限载、限速或加固和改建。

## 2 桥梁静载试验与分析实例

实例 1: 某大桥为 3 跨预应力双薄壁墩连续刚

构,跨径组合为 48 m+82 m+48 m。桥梁横断面为两幅分离式单箱单室变截面箱梁,桥面中心位置两幅箱梁的翼缘之间设纵向缝使各自受力独立。箱梁采用三向预应力体系。桥面采用混凝土加沥青混凝土铺装。两桥台处设型钢伸缩装置。根据静力试验荷载效率要

求及主要控制断面的设计弯矩值,再考虑加载车辆的特性,选用了 6 辆总重为 28 t 的车辆进行静力加载试验。为下文讨论方便,仅列出图 1、表 1、表 2 主要结果。

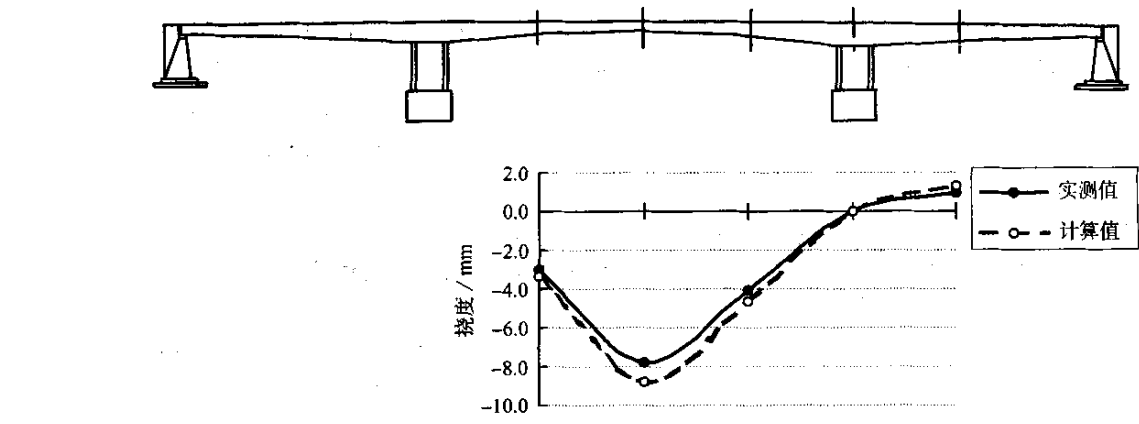


图 1 中跨跨中断面最大正弯矩加载时各测点挠度值

表 1 中、边跨跨中断面最大挠度实测值与计算值比较

测点位置	加载控制弯矩	实测值/mm	计算值/mm	校验系数/ $\eta$
中跨跨中	中跨跨中最大正弯矩	7.8	8.8	0.89
边跨近跨中	边跨近跨中最大正弯矩	1.2	1.5	0.80
	边跨近跨中最大负弯矩	0.3	0.6	0.50

注:表中实测值为 2 次试验挠度测量值的平均值。

表 2 各控制断面对应最不利加载情况下箱梁混凝土应力实测值与计算值比较

控制断面		箱梁顶板			箱梁底板		
		实测值/MPa	计算值/MPa	校验系数 $\eta$	实测值/MPa	计算值/MPa	校验系数 $\eta$
中跨跨中	最大正弯矩	-0.23	-0.40	0.58	1.39	1.81	0.77
墩 顶	最大负弯矩	0.29	0.82	0.35	-1.09	-1.24	0.88
边跨近跨中	最大正弯矩	-0.17	-0.32	0.53	0.37	0.40	0.93
	最大负弯矩	0.085	0.20	0.43	-0.18	-0.25	0.71

注:表中实测值为 2 次试验测量值的平均值。

通过对大桥在静力荷载下应变、挠度测量值的分析可以看出:

在各种试验工况下,大桥箱梁混凝土实际应力状态与理论分析结果较为接近;在数量上,实际结构的实测应力小于理论计算值,显示结构各控制断面的实际抗力大于设计要求与理论计算值。大部分情况下,试验荷载作用下箱梁顶板下缘的实测应力比理论计算值小很多(见表 2),说明实际结构在活载作用时桥面系也参与了截面的工作,截面实际中和轴位置比理论估计的有所上升。

大桥在试验荷载下,中跨跨中、近边跨跨中最大下挠度均小于理论计算值,且远小于公路桥梁规范规定的挠度允许值,反映大桥具有良好的整体刚度。

在所有试验工况下,大桥箱梁的应变、挠度与荷载基本上呈线性关系,说明大桥在设计荷载下的结构行为是线性的。

实例 2:某桥为 5 跨连续桥面简支斜梁桥,设计跨径组合为 25 m+25 m+32 m+25 m+25m,全长 132 m;斜交角为 52.611 8°,桥面宽 40 m,布置为 5.00 m(人行道)+12.50 m(非机动车道和机动车

道)+5.00 m(绿化带)+12.50 m(非机动车道和机动车道)+5.00 m(人行道)。上部结构为预应力混凝土空心板梁,下部结构为钻孔灌注桩基础,多柱式墩配钢筋混凝土盖梁。桥梁设计荷载为城—A 级,人群 35 kN/m<sup>2</sup>。根据静力试验荷载效率要求及主要控制断面的设计内力计算结果,再考虑加载车辆的特性,选用了 3 辆各自总重为 30 t 的车辆作加载车辆进行静载试验。加载示意图 2 所示。

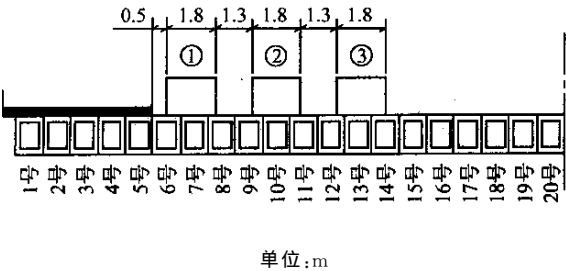


图 2 试验车横桥向加载位置示意

(1)应变测点  
在 32 m 和 25 m 跨从左至右第 6~13 号空心板梁跨中断面梁底面布置混凝土应变测点,每片板梁下缘贴 2 点,每跨共 16 点。实测结果见表 3。

(2)挠度测点  
在 32 m 和 25 m 跨空心板梁跨中断面从左至右第 6~13 号梁底面布置挠度测点,每片板梁下缘布置 1 点,每跨共 8 点。实测结果见表 4。

从应力和挠度的测量结果可以看出,桥梁整体上具有承受设计荷载的强度和刚度;桥梁横向整体性良好。

3 影响校验系数因素讨论

(1)结构计算模式影响  
目前桥梁的挠度和内力计算主要通过简化计算完成。对于箱梁桥,应力计算比较复杂,实例 1 中,

表 3 25 m/32 m 跨实测应变与计算值比较

测点位置		实测值/MPa		实测平均值/MPa		计算值/MPa		校验系数 $\eta$	
		25 m	32 m	25 m	32 m	25 m	32 m	25 m	32 m
6 号梁	测点 1	0.89	1.16	0.89	1.17	1.56	1.66	0.57	0.71
	测点 2	0.89	1.19						
7 号梁	测点 1	1.16	1.30	1.14	1.24	1.60	1.68	0.71	0.74
	测点 2	1.12	1.19						
8 号梁	测点 1	1.33	1.33	1.35	1.28	1.81	1.90	0.74	0.67
	测点 2	1.37	1.23						
9 号梁	测点 1	1.38	1.52	1.38	1.64	1.98	2.19	0.70	0.75
	测点 2	1.38	1.75						
10 号梁	测点 1	1.19	1.59	1.19	1.53	1.78	2.02	0.67	0.76
	测点 2	1.19	1.47						
11 号梁	测点 1	1.03	1.14	1.01	1.12	1.57	1.65	0.64	0.68
	测点 2	0.98	1.10						
12 号梁	测点 1	0.72	1.12	0.80	1.12	1.34	1.63	0.59	0.69
	测点 2	0.88	1.12						
13 号梁	测点 1	0.60	1.12	0.72	1.08	1.29	1.48	0.56	0.73
	测点 2	0.84	1.03						

表 4 25 m/32 m 跨实测挠度与计算值比较

测点位置	实测值/mm		计算值/mm		校验系数 $\eta$	
	25 m	32 m	25 m	32 m	25 m	32 m
6 号梁	2.0	2.5	5.5	6.2	0.36	0.40
7 号梁	3.0	2.0	7.3	7.8	0.41	0.26
8 号梁	5.0	4.0	8.7	8.7	0.57	0.46
9 号梁	6.0	3.5	8.7	8.8	0.69	0.40
10 号梁	3.0	3.0	8.1	8.5	0.37	0.35
11 号梁	3.0	2.5	7.2	7.8	0.42	0.32
12 号梁	4.0	2.5	6.4	7.2	0.62	0.35
13 号梁	5.2	5.9	5.2	5.9	0.38	0.34

箱梁的宽翼缘剪力滞影响往往没考虑。造成箱梁顶板测点的校验系数  $\eta$  值较低。实例 2 中,40 m 宽的空心板梁,横向分布受力复杂,简化分析精度较差。理论计算未计入桥面铺装作用,势必造成校验系数  $\eta$  偏小。对重要桥梁,无论是试验分析,还是长期健康状况监测评估,建立一个准确有效的有限元模型是十分必要的。

(2)理论计算中材性影响  
理论计算强度取值与实际有差异,理论计算时,材料的强度取值为设计强度。由于其考虑了材料强度的变异性、工作安全系数等因素,往往造成材料实际

强度大于设计强度取值;另外,混凝土碳化后静弹性模量提高,都将引起  $\eta < 1$ 。但在营运过程中的旧桥,在荷载作用下,及外界环境的侵蚀,梁体将发生开裂、钢筋锈蚀、混凝土剥落、材料老化等病害,此时桥梁的刚度、强度将随之而降,引起实测挠度、实测应变值的增大,从而造成  $\eta$  增大。

(3)测量点与数值大小有关

从实例来看,如测量点不是控制截面,测量的数值过低,使误差偏大,必造成校验系数  $\eta$  不精确。

4 结语

随着计算方法及测试仪器的发展,在结构计算模

式,材料实际强度取值及测量点布置方面再提高些要求,可大大提高校验系数  $\eta$  的精确度,使评定桥梁或单梁的承载能力及工作状况更准确,试验结果与理论分析更加一致。从而消除认为测点应力(或变形)的实测值小于理论计算值时,理论计算越偏于安全的偏见。

参考文献:

[1] 周建廷,沈小俊,等. 桥梁测试误区浅析[J]. 重庆交通学院学报,2002,21(3).  
[2] 公路旧桥承载能力鉴定方法[M]. 北京:人民交通出版社,1988.

Assessment and Analysis on Field Static Load Tests of Bridges

WU Jian-jun<sup>1</sup>, CHEN He<sup>2</sup>, ZHANG Qi-wei<sup>2</sup>, YUAN Wan-cheng<sup>2</sup>

(1. Raod Administer Department of Haiyan County, Zhejiang 314300, China; 2. Tongji university, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** This text is based on the present method to assess the loading ability and static load tests for working conditions of bridges or single beam. Through static load tests and analyses of a 3-span continuous prestressed concrete rigid-frame bridge with double thin-wall piers and a 5-span single skew bridge with continuous deck, main influence factors on coefficient of correction are concluded and analyzed in static load tests. Calculation mode, material strength and measure points are suggested to be more carefully considered according to actual construction and its behaviour, so that can increase the precision of coefficient of correction  $\eta$ . Thus, the assessment of loading ability and working conditions of bridges or single beam is more accurate.

**Key words:** static load test of bridge; coefficient of correction; assessment of test

青海两年内乡乡通公路

为加快青海藏区公路建设,解决少数民族群众“行路难”问题,青海省交通厅在交通部的大力支持下,将于今、明两年内投入资金 11 727 万元,修建四级公路 657 km,实现全省最后 5 个乡通公路。

这 5 个乡分别是果洛藏族自治州的德昂乡和玉树藏族自治州的查旦、莫云、索加、麻多 4 乡。这里地处三江源自然保护区的核心区,雪山广布,河流密集,平均海拔在 3 500 m 以上。长期以来,由于地处偏远,道路不通,江河阻隔,生活在这里的藏族牧民群众一直沿着逐水草而居的落后生活和人背畜驮的原始运输方式。当地出产的羊毛、肉、奶、药材等运不出去,外地的生产、生活物资运不进来;每逢发生雪灾,广大牧民群众处于孤立无援的境地。此次实施的通乡公路工程共有 4 项,其中果洛州的达日县城至德昂乡 71 km 四级砂路工程和玉树州的治多县城至索加乡 253 km 四级砂路工程已于今年年初开工建设,目前施工已接近尾声,年底可实现德昂、索加两乡通公路。另外两项工程是玉树州的杂多县城至查旦至莫云 185 km 四级砂路工程和色吾沟至麻多 148 km 四级砂路工程,这两项工程自今年上半年开工以来,已完成 40% 的总工程量,明年年内可实现查旦、莫云、麻多 3 乡通公路。