

文章编号:1673-2049(2017)06-0104-06

顺几河大桥荷载试验与承载能力评估

贾毅¹, 吕梁¹, 纪云涛², 李均进²

(1. 西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031; 2. 云南省公路科学技术研究院, 云南 昆明 650000)

摘要:为了评价顺几河大桥的技术状况和承载能力,抽取其中的4跨连续梁进行了静载试验。试验测试了控制截面上各测点的应变和挠度值,并与相应的理论计算值进行了比较。结果表明:所有工况下求得的荷载效率系数值均介于0.95~1.05之间;各试验工况下,T梁测试截面实测应力校验系数介于0.46~0.92之间,各测点的挠度校验系数介于0.35~0.78之间,该桥的结构强度和刚度具有一定的富余度,能较好满足实际运营;控制截面上多数测点的相对残余应变和挠度值为0,结构的多数位置均处于弹性工作状态,部分应变和挠度测点出现残余应变和挠度,其相对最大值分别为17.4%,16.7%,表明该桥在试验荷载下无较大不可恢复变形;结构整体的横向连接可靠,刚度分配均匀,技术状况和承载能力能够满足正常使用要求。

关键词:桥梁工程;连续梁桥;试验研究;校验系数;效率系数;承载能力

中图分类号:U441.2

文献标志码:A

Load Test and Carrying Capacity Evaluation of Shunji River Bridge

JIA Yi¹, LU Liang¹, JI Yun-tao², LI Jun-jin²

(1. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, Sichuan, China;

2. Yunnan Research Institute of Highway Science and Technology, Kunming 650000, Yunnan, China)

Abstract: In order to evaluate the technical condition and carrying capacity of Shunji River Bridge, four span continuous girders in the bridge were sampled to carry out static loading test. The strain and deflection of testing points in control sections were gained by test, and the results were compared with relative theoretical calculation values. The results show that load efficiency coefficients in all cases are between 0.95 and 1.05. Under different test cases, the measured stress calibration coefficients of T-beam are between 0.46 and 0.92, and the deflection calibration coefficients of test points are between 0.35 and 0.78. The structural strength and stiffness of the bridge have a certain degree of surplus, which can meet the actual operating conditions well. The relative residual strain and deflection of most measure points in controlling sections is 0 and most locations of the structure are in the elastic state. The partial strain and deflection points appear the residual strain and deflection, the relative maximum of which is 17.4% and 16.7% respectively, which indicates that the bridge has no large unrecoverable deformation under test load. The whole structure has reliable cross connection and uniform stiffness distribution. Technical condition and carrying capacity can satisfy normal serviceability requirements.

Key words: bridge engineering; continuous girder bridge; experimental research; verification co-

收稿日期:2017-05-11

基金项目:国家自然科学基金项目(51308471)

作者简介:贾毅(1988-),男,四川巴中人,工学博士研究生,E-mail:jiaiyi0715vip@sina.com。

efficient; efficiency coefficient; carrying capacity

0 引言

随着国民经济的飞速发展,国家进一步加大了对交通基础设施的投入力度,各种结构形式的桥梁层出不穷。由于中国的桥梁设计标准普遍偏低,交通车流量不断增长,再加上超载等违规使用的现象屡禁不止,以及长期缺乏细致的管养和维护,相当比例的桥梁开始出现了不同程度的病害。因此亟需对桥梁的承载能力和技术状况进行评定,以保证桥梁结构的安全性及耐久性^[1]。

桥梁荷载试验是桥梁承载力评价中最有效、最直接和最有说服力的方法^[2],是判定桥梁承载力性能时所不可忽略的重要步骤之一^[3]。桥梁荷载试验主要分为静载试验和动载试验两大类:静载试验是通过在桥梁结构上施加与控制荷载等效的静态外加荷载,利用检测仪器设备测试桥梁结构控制部位与控制截面力学效应的现场试验;动载试验是测试桥梁结构或构件在动荷载激励和环境荷载作用下的受迫振动特性和自振特性的现场试验^[4]。荷载试验通常用于新建、加固或改建的各类桥型,在该领域中国学者已进行了相当规模的工程实践^[5-12]。

为了评价顺几河大桥的承载能力与工作性能,抽取该桥左幅第1联共计4跨的连续梁桥进行静载试验,试验参数主要为应变和位移,并与相应的理论计算值进行对比。

1 工程概况

顺几河大桥位于龙陵至瑞丽段高速公路上,是为跨越大瑞铁路和较低洼地而设。左幅孔跨布置为 $4\times 30\text{ m}+4\times 30\text{ m}+5\times 30\text{ m}+3\times 40\text{ m}+2\times 40\text{ m}$ 的预应力混凝土T形连续梁桥,全桥共5联,共设6道伸缩缝。

上部结构采用预应力混凝土(后张)T梁,先简支后结构连续。下部结构桥台采用双柱埋置式桥台,1[#]~12[#]桥墩采用双柱式桥墩,13[#]~17[#]桥墩采用Y形独柱墩,下设承台加群桩基础,桥墩所有桩基础均按照摩擦桩设计。桥台处采用FD-80型伸缩缝,桥墩简支处采用FD-160型伸缩缝。桥面宽度(单幅)为0.5 m(防撞护墙)+11 m+0.5 m(防撞护墙),双向四车道布置,汽车的荷载等级为公路-I级。

通过模拟设计荷载作用效应进行短期加载试

验,测试桥梁上部结构在试验荷载(模拟设计荷载)作用下的实际受力状态和工作状态;通过测试桥梁上部结构在试验荷载作用下控制截面的应变和位移,并与理论计算值进行比较,检验实际结构控制截面应变与位移值是否符合设计要求。在上述工作的基础上建立该桥的技术档案,为今后的运营、管养及检测提供基础数据。

2 静载试验评定方法

2.1 荷载效率系数

通常可采用载重汽车等效设计荷载(公路-I级)效应来实现和满足加载要求,在结构控制截面内力影响线最不利位置布载。对于实际承载能力和工作状态满足要求的桥梁,其试验荷载效率系数 η_q 宜介于0.95~1.05之间。 η_q 应按下式计算

$$\eta_q = \frac{S_s}{S(1+\mu)} \quad (1)$$

式中: S_s 为试验荷载作用下某一加载试验项目对应的加载控制截面内力或位移的最大计算效应值; S 为设计荷载作用下同一加载控制截面内力或位移的最不利效应计算值; μ 为按规范取用的冲击系数值。

2.2 结构校验系数

静载试验过程中测点的结构校验系数 η 应按下式计算

$$\eta = \frac{S_e}{S_s} \quad (2)$$

式中: S_e 为试验荷载作用下主要测点的实测弹性应变(挠度)值; S_s 为试验荷载作用下主要测点的理论计算应变(挠度)值。

结构校验系数 η 是确定桥梁承载能力的一个重要指标。一般要求其值不大于1,代表桥梁的实际状况要好于理论状况。

2.3 相对残余应变(挠度)

相对残余应变 ΔS_p 是指测点实测残余应变(挠度)与对应的实测总应变(挠度)的比值,即

$$\Delta S_p = \frac{S_p}{S_t} \times 100\% \quad (3)$$

式中: S_p 为试验荷载作用下主要测点的实测残余应变(挠度)值; S_t 为试验荷载作用下主要测点的实测总应变(挠度)值。

相对残余应变越小,说明结构越接近弹性工作状态。对于预应力混凝土桥梁,一般要求 ΔS_p 不大于20%。

3 静载试验方案

3.1 试验方法与仪器

为了全面、科学地了解顺几河大桥(左幅)第 1 联上部主体结构在设计荷载(公路-I 级)作用下的工作状态,以评价结构的承载能力,对桥梁进行静载试验。通过模拟设计荷载进行加载试验,测试桥跨上部主体结构在试验荷载作用下的效应(应变和挠度),对桥梁结构性能进行评价。

采用载重汽车模拟设计荷载效应(内力),在结构控制截面内力影响线最不利位置布载,使其试验荷载效率系数介于 0.95~1.05 之间。根据计算确定本桥静载试验需 6 辆 36 t(车重+荷重)双后轴汽车加载,试验用车如图 1 所示。

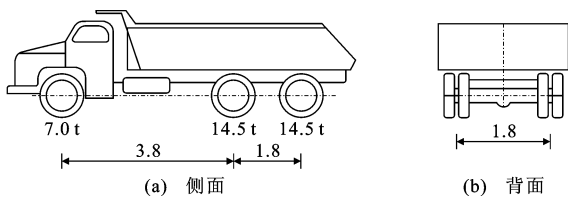


图 1 试验车(单位:m)
Fig. 1 Testing Truck (Unit:m)

应变观测:主梁控制截面混凝土表面布设长标距混凝土应变片(100 mm×3 mm,电阻 120.1 Ω±0.1 Ω),采用 DH3815N 静态应变测试与分析系统测取各工况下测点的应变。

位移观测:在主梁控制截面下缘布设棱镜,采用 TCA1800 新型徕卡全站仪测取各工况下测点的位移。

3.2 测点布设

顺几河大桥(左幅)静载试验测试桥跨为第 1 联,即 1[#]~4[#]跨。每跨选取 L/4,L/2,3L/4(L 为跨径)3 个截面,总计 12 个截面进行应变和位移的测点布设。每个截面由 5 片 T 梁组成:对于每跨的 L/4 截面,在 1,3,4 号的 T 梁底部布设应变和位移测点,测点编号依次记为 1~3;对于每跨的 L/2 截面,在所有 5 片 T 梁的底部布设应变和位移测点,测点编号依次记为 4~8;对于每跨的 3L/4 截面,在 1,3,4 号 T 梁的底部布设应变和位移测点,测点编号依次记为 9~11。大桥的测试截面布置如图 2 所示,每一测试截面上的应变和位移测点布置如图 3 所示。

3.3 荷载布置与测试工况

采用载重汽车模拟设计荷载效应(内力),在 1[#]~4[#]跨的每跨均进行加载。每一跨内的加载车辆沿横向布置为 2 辆车,布置方式分为中载和偏载

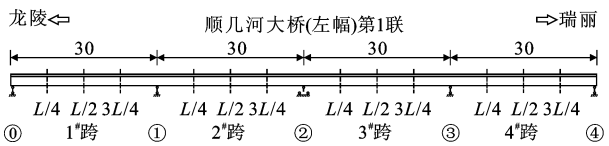


图 2 大桥测试截面布置(单位:m)
Fig. 2 Testing Section Arrangement of Bridge (Unit:m)

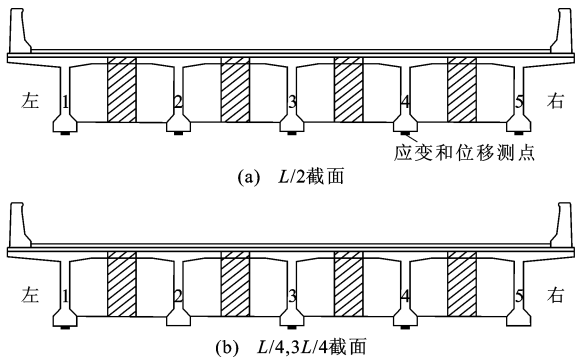


图 3 截面应变和位移测点布置
Fig. 3 Measure Points Arrangement of Strain and Displacement in Sections

2 种工况,其车辆横向轮位布置如图 4 所示。每一跨加载车辆沿纵向的布置方式均相同,如图 5 所示(图 5 以 1[#]跨为例)。综上所述,整个静载试验共分为 8 个工况。1[#]跨中载和偏载布置对应的工况编号记为 1 和 2;2[#]跨中载和偏载布置对应的工况编号记为 3 和 4;3[#]跨中载和偏载布置对应的工况编号记为 5 和 6;4[#]跨中载和偏载布置对应的工况编号记为 7 和 8。1[#]~4[#]跨测试截面应变结果如图 6 所示。8 种工况下结构的荷载效率系数计算结果如表 1 所示。

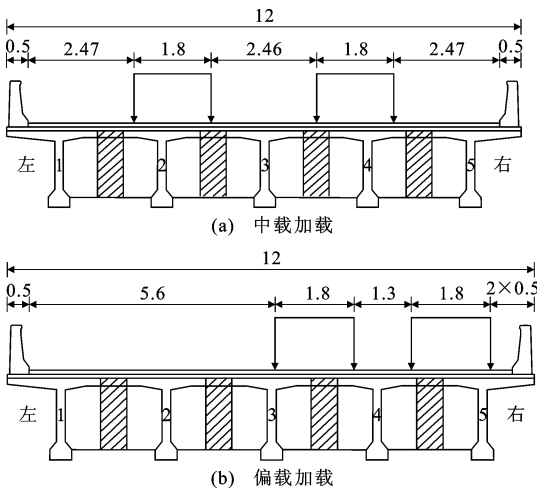


图 4 车辆横向轮位布置(单位:m)
Fig. 4 Transverse Wheel Position Arrangement of Vehicle (Unit:m)

从表 1 可以看出,8 种工况下求得的荷载效率

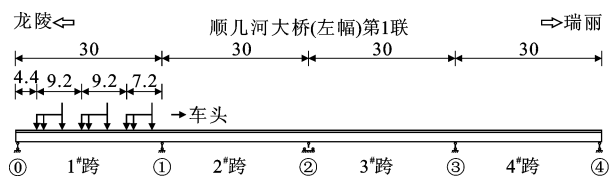


图 5 车辆纵向轮位布置(单位:m)

Fig. 5 Longitudinal Wheel Position Arrangement of Vehicle (Unit:m)

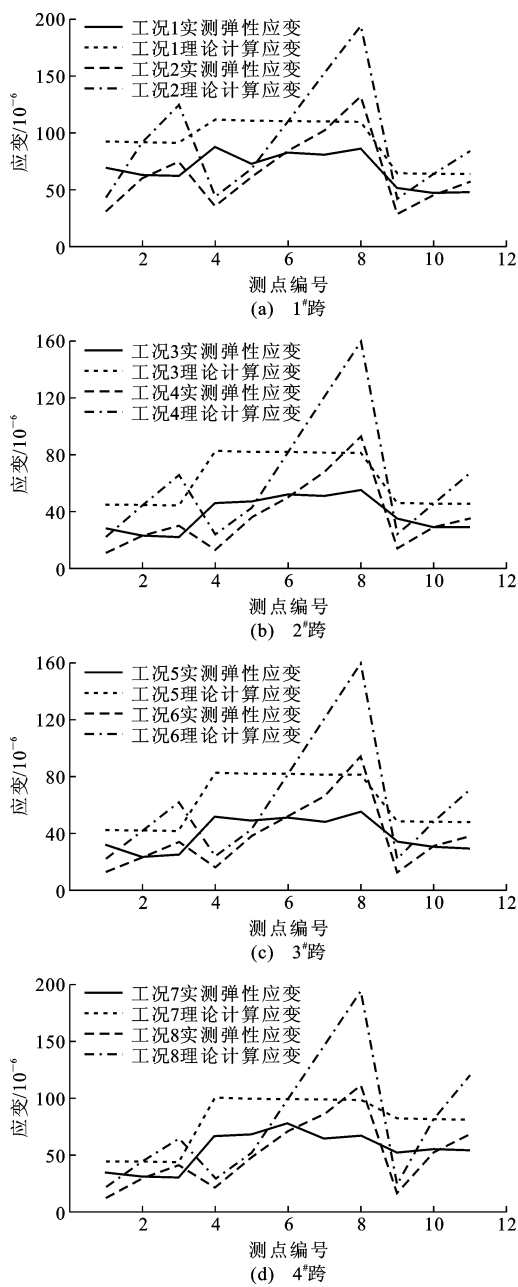


图 6 1#~4# 跨测试截面应变结果

Fig. 6 Strain Results of Testing Sections in Spans 1#-4#

系数 η_1 均介于 0.95~0.98 之间,满足规范要求。

3.4 加载过程控制

在正式试验之前,用 4 辆加载车对试验桥跨进

表 1 荷载效率系数计算结果

Tab. 1 Computation Results of Load Efficiency Coefficient

测试截面 或位置	主要试 验项目	工况 编号	加载 方式	S/ (kN·m)	S _s / (kN·m)	η_1
1# 跨 L/2 截面	1# 跨跨中 最大正弯矩	1	中载	6 601	6 454	0.98
		2	偏载			
2# 跨 L/2 截面	2# 跨跨中 最大正弯矩	3	中载	5 614	5 309	0.95
		4	偏载			
3# 跨 L/2 截面	3# 跨跨中 最大正弯矩	5	中载	5 613	5 309	0.95
		6	偏载			
4# 跨 L/2 截面	4# 跨跨中 最大正弯矩	7	中载	6 598	6 451	0.98
		8	偏载			

注:测试桥跨跨中最大正弯矩工况,同时对该跨 L/4,3L/4 截面应力、应变、位移进行测试。

行预加载,每一加载载位的持荷时间为 15 min。通过预加载使结构进入正常工作状态,消除结构非弹性变形;同时,检查测试系统和试验组织是否正常工作。预加载卸至零荷载,并在结构得到充分的恢复后,方可进入正式加载。为了获取结构试验荷载与变位的相关曲线及防止结构意外损伤,对主要控制截面试验荷载的施加应分级进行。应注意每级加载时,车辆荷载逐渐缓缓驶入预定加载位置,必要时可在加载车辆未达到预定加荷位置前,分次对控制测点进行读数以确保试验安全;同时应注意加载过程中非控制截面内力变化,且最大内力不能超过控制荷载作用下的理论计算最大值。正式加载试验分别按 8 个测试工况逐一进行。完成一个加载工况的试验后,应使结构得到充分的零荷载恢复,方可进入下一序号的加载工况。卸载时,各工况按反方向进行,直至全部卸载完毕。

4 试验结果分析

根据布设的应变和位移测点,在每一工况试验荷载作用下,测试系统测取各测试截面测点的实际应变值和挠度值。通过实测值与理论值对比分析,评定桥梁结构的实际承载能力和运营性能。

4.1 应变测试结果分析

各工况试验荷载作用下,1#~4# 跨各测试截面的实测弹性应变与理论计算应变结果如图 6 所示,图 6 中应变值以受拉为正,受压为负。

从图 6 可以看出,各测试截面在 8 种工况下的理论计算应变值均大于实测弹性应变值。由公式(2)可以看出,T 梁测试截面实测应力校验系数介于 0.46~0.92 之间,结构的强度有一定富余度。此外,各工况下同一测试截面各片 T 梁的实测弹性应

变值相差很小,说明结构整体的横向连接较为可靠,刚度分配较为均匀。

在弹性应变的基础上,考察结构的残余应变,并求出各测点对应的相对残余应变,结果见表 2。

表 2 相对残余应变计算结果

测点编号	Residual Strain										%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
工况 1	7.0	8.0	0.0	0.0	8.1	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
工况 2	0.0	6.5	0.0	0.0	13.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
工况 3	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0
工况 4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4
工况 5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	4.0	1.8	0.0	8.8	14.7
工况 6	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	5.5	4.3	0.0	0.0	0.0	17.4
工况 7	0.0	0.0	9.1	2.9	2.9	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
工况 8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

从表 2 可以看出:在 8 种工况下,各测试截面中多数测点的相对残余应变值均为 0,即结构的多数位置均处于弹性工作状态;部分应变测点出现残余应变,相对残余应变最大为 17.4%,结构整体接近弹性工作状态,满足规范要求。测试截面受力状况无异常,桥梁上部结构在试验荷载作用下处于正常受力状态。

4.2 挠度测试结果分析

各工况试验荷载作用下,1#~4# 跨各测试截面的实测弹性挠度与理论计算挠度结果如图 7 所示,图 7 中挠度值以向上为正,向下为负。

从图 7 可以看出,各测试截面在 8 种工况下的理论计算挠度值均大于实测弹性挠度值。由式(2)可知,结构挠度校验系数介于 0.35~0.78 之间,结构的刚度有一定富余度。此外,各工况下同一测试截面各片 T 梁的实测弹性挠度值相差很小,说明结构整体的横向连接较为可靠,刚度分配较为均匀。

在弹性位移的基础上,考察结构的残余挠度,并求出各测点对应的相对残余挠度,结果汇总于表 3。

从表 3 可以看出:在 8 种工况下,各测试截面中多数测点相对残余挠度值为 0%,即结构多数位置均处于弹性工作状态;部分测点出现残余挠度,相对残余挠度最大为 16.7%,结构整体接近弹性工作状态,满足规范要求。测试截面受力状况无异常,桥梁上部结构在试验荷载作用下处于正常受力状态。

5 结 语

(1)各工况下试验荷载效率系数介于 0.95~0.98 之间,满足《公路桥梁承载能力检测评定规程》

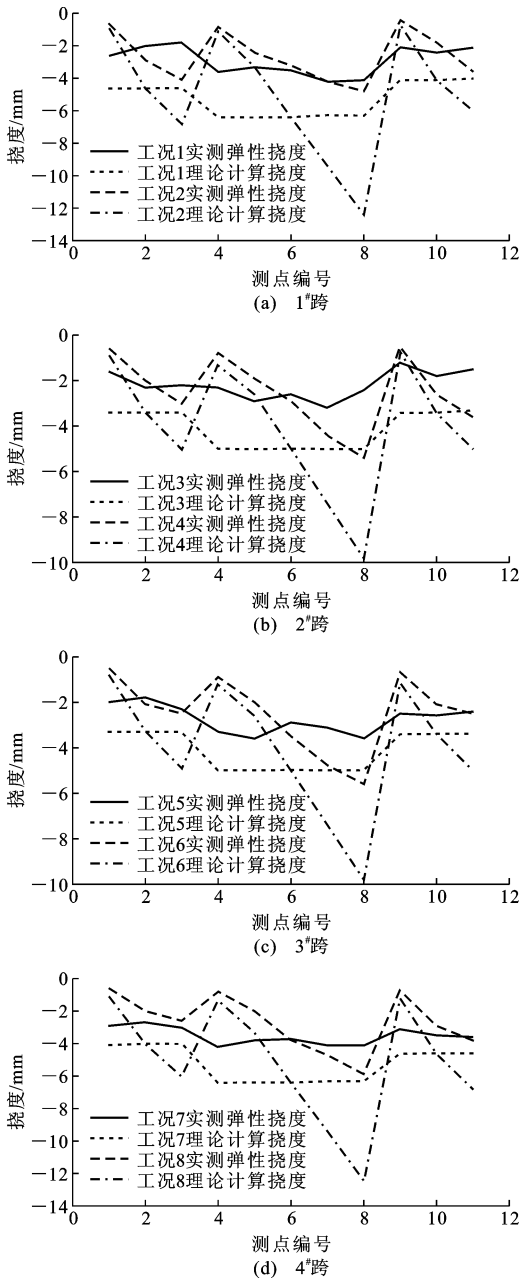


图 7 1#~4# 跨测试截面挠度结果

Fig. 7 Deflection Results of Testing Sections in Spans 1#-4#

表 3 相对残余挠度计算结果

测点编号	Residual Deflection										%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
工况 1	0.0	0.0	10.0	2.7	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
工况 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
工况 3	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	3.7	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0
工况 4	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	7.1	0.0
工况 5	16.7	0.0	4.2	0.0	0.0	12.1	0.0	0.0	13.8	10.3	0.0
工况 6	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7
工况 7	6.5	0.0	0.0	0.0	11.6	0.0	6.8	0.0	3.1	0.0	0.0
工况 8	0.0	0.0	13.3	0.0	0.0	0.0	6.0	6.3	0.0	12.1	13.6

(JTG/T J21—2011)中0.95~1.05的规定。

(2)各试验工况下,T梁测试截面实测应力校验系数介于0.46~0.92之间,各测点的挠度校验系数介于0.35~0.78之间。这表明桥梁结构强度和刚度具有一定的富余度,结构实际工作性能良好。

(3)控制截面上多数测点的相对残余应变和挠度为0,结构的多数位置均处于弹性工作状态。部分应变和挠度测点出现残余应变和挠度,相对残余应变和挠度最大分别为17.4%,16.7%,表明该桥在试验荷载下无较大不可恢复变形。

(4)同一测试截面上各片T梁的实测弹性挠度值相差很小,结构整体的横向连接较为可靠,刚度分配较为均匀。

参考文献:

References:

- [1] 湛润水,刘群安.公路桥梁荷载试验的作用与基本原则[J].公路交通科技,2006(5):5-8.
CHEN Run-shui,LIU Qun-an. The Function and Basic Principle of Load Test for Highway Bridge[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development,2006(5):5-8.
- [2] 陈榕峰,宋丹,高鹏.公路桥梁荷载试验综述[J].交通标准化,2006(10):28-30.
CHEN Rong-feng,SONG Dan,GAO Peng. An Overview on Bridge Load Experimentation[J]. Communications Standardization,2006(10):28-30.
- [3] 周海俊,吴永昌,谭也平,等.桥梁荷载试验研究综述[J].中外公路,2008,28(4):164-166.
ZHOU Hai-jun, WU Yong-chang, TAN Ye-ping, et al. Research Overview on Bridge Load Experimentation[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2008,28(4):164-166.
- [4] JTG/T J21-01—2015,公路桥梁荷载试验规程[S]. JTG/T J21-01—2015,Load Test Methods for Highway Bridges[S].
- [5] 武勇.武汉天兴洲公铁两用长江大桥主桥荷载验收试验研究[J].桥梁建设,2010,40(1):11-16.
WU Yong. Study of Acceptance Load Testing of Main Bridge of Wuhan Tianxingzhou Changjiang River Rail-cum-road Bridge[J]. Bridge Construction,2010,40(1):11-16.

- [6] 李鸥,彭旭民.鄂东长江公路大桥活载非线性效应与试验分析[J].桥梁建设,2011,41(5):31-35.
LI Ou,PENG Xu-min. Testing and Analysis of Live Load Nonlinear Effect of Edong Changjiang River Highway Bridge[J]. Bridge Construction,2011,41(5):31-35.
- [7] 李晓斌,夏招广,蒲黔辉.安庆长江公路大桥静动载试验研究[J].公路交通科技,2007,24(2):73-76.
LI Xiao-bin,XIA Zhao-guang,PU Qian-hui. Analysis of Static and Dynamical Test of Anqing Changjiang River Highway Bridge[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development,2007,24(2):73-76.
- [8] 田志勇,唐茂林,蒲黔辉.宁波庆丰桥静、动载试验研究[J].桥梁建设,2012,42(5):31-36.
TIAN Zhi-yong,TANG Mao-lin,PU Qian-hui. Study of Static and Dynamic Load Tests of Qingfeng Bridge in Ningbo[J]. Bridge Construction,2012,42(5):31-36.
- [9] 项贻强,朱磊,郑江敏,等.自锚式悬索桥静动力分析及其试验研究[J].公路工程,2010,35(2):57-61.
XIANG Yi-qiang,ZHU Lei,ZHENG Jiang-min,et al. Spatial Analysis of Self-anchored Suspension Bridge and Load Static Test[J]. Highway Engineering,2010,35(2):57-61.
- [10] 姜军,田志勇,勾红叶.泸州泰安长江大桥静动载试验研究[J].路基工程,2010(5):94-96.
JIANG Jun,TIAN Zhi-yong,GOU Hong-ye. On Static and Dynamic Load Test on Yangtze River Bridge in Taian Luzhou[J]. Subgrade Engineering,2010(5):94-96.
- [11] 孙卓,赵新生,刘爱荣,等.某飞鸟式拱桥拱座开裂加固后静动载试验与分析[J].世界桥梁,2007(3):55-58.
SUN Zhuo,ZHAO Xin-sheng,LIU Ai-rong,et al. Static,Dynamic Load Tests and Analysis of Strengthened Cracked Arch Seat of a Flying Bird Type Arch Bridge[J]. World Bridges,2007(3):55-58.
- [12] 许汉铮,黄平明,杨炳成.大跨径悬索桥静载试验研究[J].公路,2003(9):1-7.
XU Han-zheng,HUANG Ping-ming,YANG Bing-cheng. Research on Static Load Test of Long Span Suspension Bridge[J]. Highway,2003(9):1-7.