

Research on the Bearing Capacity of Four-Span Continuous Sloping Bridge after Reinforcement Based on Load Test

Xuehui Wu¹ Baobing Wang²

1. Zhongtong Engineering Design Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650011, China

2. Yunnan Tongqu Engineering Inspection Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650011, China

Abstract

The traffic on the bridge across a highway is overloaded seriously, and the bridge 1# span and 4# span have cracks of different degrees. At present, certain maintenance measures have been taken on both sides of the bridge. In order to make the overall evaluation of the bridge structure, scientifically formulate the bridge maintenance and reinforcement scheme and provide the technical basis for the operation and management measures, study the strain and deflection of the bridge under the action of bias load; test the inherent self-array characteristics and dynamic response of the bridge through modal test and barrier-free sports car test, compare the above measured results with the theoretical values. The results show that under static load, the relative residual deformation of the bridge meets the requirement of no more than 20% in the test procedure. ; the calibration coefficient meets the limit value of the inspection regulation and is less than 1; under the dynamic load, the ratio of the vertical 1-3 order frequency of the bridge is 1.13, 1.12, 1.07, which meet the requirements of the inspection specification that the ratio is greater than or equal to 0.90; the corresponding damping ratio is 0.0 The results show that the dynamic strain increase coefficient of the bridge is between 0.081 and 0.190, which is less than the impact coefficient (0.241) calculated by the fundamental frequency, indicating that the dynamic response of the bridge is at a normal level.

Keywords

continuous sloping bridge; reinforcement; load test; impact coefficient; bearing capacity

基于荷载试验对加固后的四跨连续斜桥承载力研究

伍学慧¹ 王保兵²

1. 中通工程设计有限公司, 中国 · 云南 昆明 650011

2. 云南通衢工程检测有限公司, 中国 · 云南 昆明 650011

摘 要

某高速公路上跨桥通行车辆超载严重, 桥梁 1# 跨、4# 跨出现不同程度裂缝, 目前该桥两边跨已采取一定的维修措施。为对桥梁结构作出总体评价, 科学制定桥梁维修加固方案和为运营管理措施提供技术依据, 研究该桥在偏载作用下的应变和挠度; 通过模态试验和无障碍跑车试验来测试该桥的固有自阵特性和动力响应, 将上述实测结果与理论值进行比较。结果表明, 在静载作用下, 该桥的相对残余变形均满足检测规程中不大于 20% 的要求; 校验系数均满足检测规程的限值且小于 1; 在动力荷载作用下, 该桥竖向 1 ~ 竖向 3 阶频率的比值为: 1.13、1.12、1.07, 均满足检测规程中该比值大于等于 0.90 的要求; 对应阻尼比分别为 0.028、0.032、0.039; 动载跑车试验得到的动态应变增大系数介于 0.081 ~ 0.190, 小于基频计算的冲击系数 (0.241), 说明该桥行车动力响应处于正常水平。

关键词

连续斜桥; 加固; 荷载试验; 冲击系数; 承载能力

1 引言

随着时代的不断发展, 人民的生活水平越来越好, 中国的公路交通迅猛发展, 运营车辆超载已成为十分普遍的现象。由于普遍的超载现象, 桥梁结构的超负荷工作增加了其损伤的几率。而桥梁作为交通运输的重要组成部分, 当出现由于超载现象引起的结构损伤时, 必须采取重视对其进行承载能

力进行评定以确定桥梁的真实受力状况。

目前, 中国的斜交桥建设越来越成熟, 它的身影在城市立交中随处可见, 由于其受力和传力的特殊性, 中国相关的业内人员对斜桥的荷载试验进行了研究, 并获得了一定的成果。周爱国^[1]对某斜交空心板桥荷载试验空间效应研究; 张炯^[2]等对斜交 T 梁桥荷载试验分析研究; 姜基建等^[3]对斜交箱梁桥静动力特性试验分析研究; 刘小军^[4]对某斜交梁桥荷

载试验计算分析; 魏伟、李满囤等^[5]对某钢筋混凝土斜板桥极限承载力试验研究; 王道锋^[6]对斜交板梁桥荷载试验时的横向分布问题的研究; 陈一宁^[7]通过荷载试验检验桥梁加固效果的研究。但是, 目前中国通过荷载试验来检验多跨连续斜桥加固后的实际效果的研究却很欠缺。因此, 开展多跨连续斜桥加固后的荷载试验研究, 具有重大的理论价值, 同时对以后相同的工程具有积极的借鉴意义。

论文以建成于 1999 年的某高速公路上跨桥为背景, 桥梁上部结构为 19m+21m+21m+19m 普通钢筋混凝土连续板桥, 桥梁斜交, 斜度为 45 度。主梁为现浇实心板, 厚 100cm; 下部结构为钢筋混凝土薄壁轻型桥墩(台); 桥面宽度: 0.40m(护栏) + 7.20m(机动车道) + 0.40m(护栏) = 8m。该桥的立面图如图 1 所示。

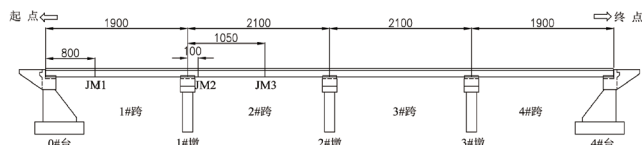


图 1 桥梁立面图

试验跨按连续梁考虑, 并利用 MIDAS/Civil 建立单梁模型分析计算, 模拟公路 -II 级荷载进行试验确定出该桥测试截面的应变、挠度的理论值, 掌握桥梁的影响线并确定加载位置、加载吨位, 建模时采用以下假设:

- (1) 混凝土、钢筋为理想弹性材料且弹性模量都为常数;
- (2) 截面变形符合平截面假设;
- (3) 仅实心板本身参与受力;
- (4) 不考虑钢筋换算面积、混凝土开裂等因素对主梁刚度的影响。

桥梁有限元模型如图 2 所示。

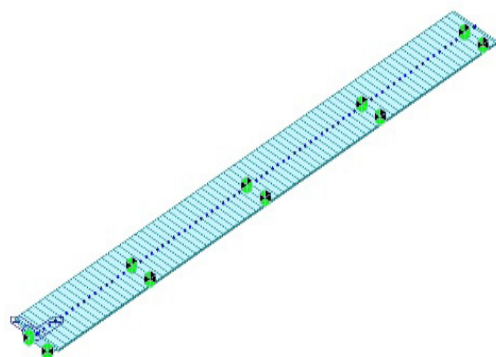


图 2 计算模型图

2 桥梁静载试验

2.1 静载试验原则

静载试验主要是把加载车辆布置于主要测试截面上来测定各测点应变、挠度, 并与理论值相比, 获得相对残余变形和校验系数, 从而综合评价该桥的受力性能。本次加载以公路 -II 级为准, 通过加载位置、加载吨位等调整控制静载效率达到 0.95 ~ 1.05。根据计算分析确定该桥静载试验需 2 辆 40T、2 辆 30T 双后轴特重车, 试验车满载时轴重、轴距如图 3 所示。

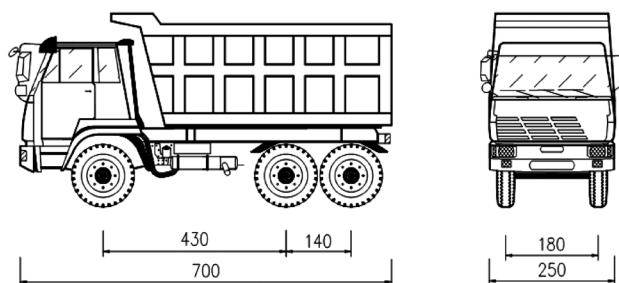


图 3 试验车

应变测试: 应变片布置于相应的实心板底面, 每个实心板底面布置 5 个阻值为 120Ω、灵敏系数为 2.08 的应变片, 其标距为 10cm。并用 DH3819 无线静态应变测试系统进行数据的处理。

挠度测试: 水准测量时将测试截面上的测点, 采用水泥钉打入桥面铺装, 每个测试截面挠度测点(两侧护栏内边缘)共布置 18 个挠度测点, 其余的部分采用百分表测量。

2.2 测试截面及测点布置

桥梁静载试验按照桥梁结构的最不利受力原则确定工况及测试截面, 测试截面布置如图 1 所示。考虑到本桥桥面宽度较窄, 故仅布置左侧偏载工况, 测试截面取为 1# 跨(JM1)、1# 墩墩顶(JM2)和 2# 跨(JM3), 并与伸缩缝方向平行, 挠度和应变测点如图 4、图 5 所示。

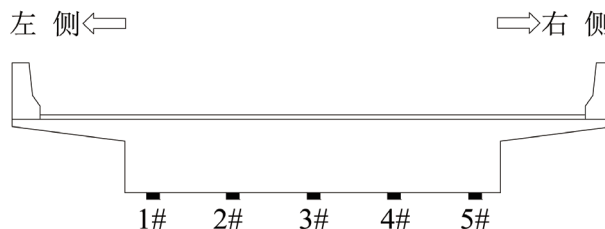


图 4 JM1、JM2、JM3 截面应变测点图

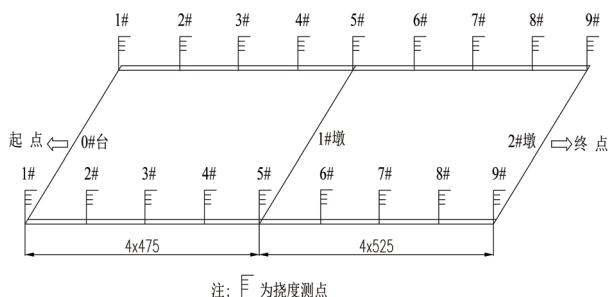


图 5 挠度测点图

2.3 测试工况与荷载布置

在 1# 跨、2# 跨的 JM1、JM2 和 JM3 截面依次进行加载，JM1、JM3 截面加载车沿横向布置 2 辆车，JM2 截面加载车沿横向布置 4 辆车，为左侧偏载，荷载工况详情如表 1 所示。

表 1 荷载试验工况

荷载工况	测试截面	加载方式	测试内容
工况 1	JM1	偏载	挠度与应变
工况 2	JM2	偏载	应变
工况 3	JM3	偏载	挠度与应变

2.4 静载试验效率

为了满足公路 -II 级效应的要求，通过控制内力等效原则来选择试验车辆的数目和重量，并调整布车位置、车辆的重量使静载效率介于 0.95 ~ 1.05，静载效率，按式 (1) 计算：

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

式中：\$S_s\$ 为静载下某测试工况下应变或挠度的最大理论值；\$S\$ 为静载引起的相同加载工况下应变或挠度的最不利影响理论值；\$\mu\$ 为规范中取的冲击系数；\$\eta_q\$ 为静载效率。

本次加载以公路 -II 级为准，通过布车位置、加载车辆的重量等调整控制静载效率 \$\eta_q\$ 介于 0.95 ~ 1.05，该桥静载效率值详情如表 2 所示，其中公路 -II 级效应考虑了冲击系数。

表 2 静载效率

工况	公路 -II 级效应 (kN.m)	加载荷载效应 (kN.m)	静载效率
工况 1	2506.9	2527.5	1.01
工况 2	-2178.3	-2176.7	1.00
工况 3	2311.0	2365.4	1.02

2.5 试验结果分析

2.5.1 应变测试结果分析

工况 1 ~ 工况 3 的荷载效率分别为 1.01、1.00、1.02，

均满足荷静载效率 \$\eta_q\$ 大于 0.95 的要求。

JM1、JM2、JM3 截面的实心板底横向应变实测值均不大于理论值。校验系数介于 0.63 ~ 0.90，说明结构强度处于正常水平。结构实测最大相对残余应变为 9.8% 均符合检测规程 [8] 不大于 (20%) 的规定，说明实心板桥在试加载车辆作用下工作性能良好。试验结果表明，该实心板桥在正常使用极限状态下的结构强度满足公路 -II 级的要求。

根据测试的结果对比图绘制成图 6 所示。

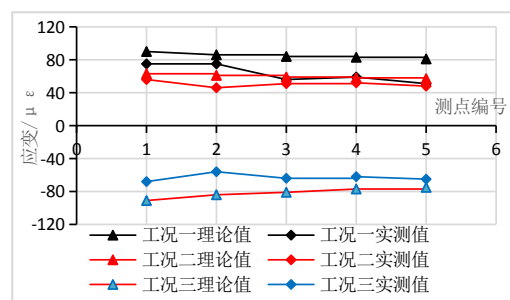


图 6 理论与实测弹性应变对比曲线

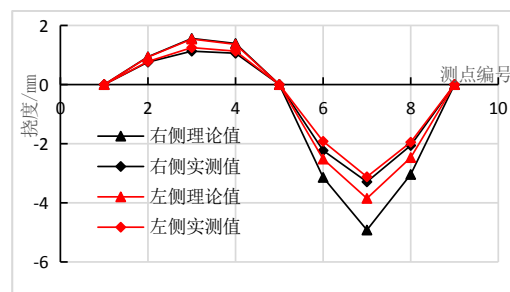
从图 6 可知，JM1 ~ JM3 截面的板底横向应变实测值与理论计算值的曲线走向一致，且都不大于理论计算值，说明该桥横向力传递良好，该实心板桥强度在正常使用极限状态下符合公路 -II 级的要求，表明该桥处于弹性工作状态。

2.5.2 挠度测试结果分析

工况 1、工况 3 的试验效率系数分别为 1.01、1.02，均满足静载效率 \$\eta_q\$ 不小于 0.95，加载有效。

JM1、JM3 截面的挠度实测值均不大于理论值，校验系数介于 0.58 ~ 0.84，工况 1、工况 3 的最大挠度实测值分别为 -3.57 mm、-3.29mm，与计算跨径 (18.72m、21m) 的比值分别为 1/5244、1/6383，小于检测规程规定 [8] 的 1/600，结构刚度满足规范要求。结构最大相对残余挠度为 10.6%，均符合规范 [8] 不大于 (20%) 的规定。试验表明，该实心板桥在正常使用极限状态下的纵向刚度满足公路 -II 级的要求。

根据测试的结果对比图绘制成图 7 所示。



a 工况 1 挠度值

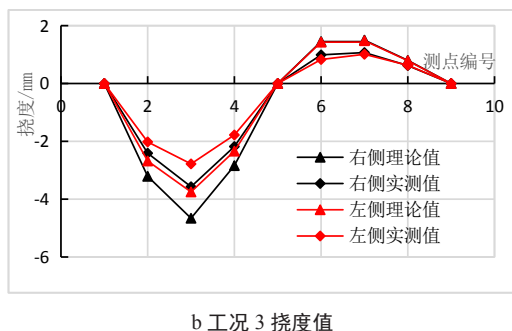


图 7 各工况下理论与实测弹性挠度对比曲线

从图 7 看出, JM1、JM3 截面的挠度实测值与理论值的曲线走向一致, 且都不大于理论计算值, 说明在正常使用极限状态下的该实心板桥纵向刚度满足公路 -II 级的要求, 表明该桥处于弹性工作状态。

3 桥梁动载试验

3.1 试验内容

桥梁自振特性测试: 包括固有振型、振动频率和阻尼比等方面, 通过分析桥梁固有振动频率实测值和理论值的比值以及实测阻尼比, 可定性判断桥梁结构的刚度情况。桥梁行车动力响应测试: 测试在无障碍跑车作用下实心板的响应, 包括振动加速度、动应变等, 可计算得到桥梁冲击系数, 从而评价该实心板桥的动力性能。

3.2 测试工况

3.2.1 模态试验

模态测试时, 仅测试桥梁低阶竖向振型, 不考虑高阶扭转振型。结构振动速度测点沿纵桥向仅布置一排, 为了方便测试, 统一布置于桥梁左侧护栏顶部, 共 12 测点。由于传感器数量少于测点数, 故测试分为两批次, 并取某一测点作为不动的参考点, 然后通过模态分析, 最终得获该实心板桥固有的自振特性。

3.2.2 无障碍跑车试验

在桥面无障碍的情况下, 采用 1 辆载重约 300kN 的汽车以 15km/h、20km/h、25km/h、30km/h 的速度匀速通过, 对桥梁结构进行激励。采用应变片分别测试 JM1、JM3 截面的动应变响应, 分析计算得到该实心板桥的冲击系数。

3.3 测试结果和分析

3.3.1 模态试验

通过模态试验进行数据的采集与处理分析, 可以得到该

桥固有的自振特性的实测值并与 MIDAS/Civil 计算的理论基频进行对比如表 3 所示。

表 3 模态试验结果

阶数	理论基频 / (Hz)	实测频率 / (Hz)	实测阻尼比 / (%)	实测频率 / 理论频率
1 阶	4.277	4.834	0.028	1.13
2 阶	5.286	5.908	0.032	1.12
3 阶	6.709	7.178	0.039	1.07

由表 3 可见, 竖向 1 ~ 竖向 3 阶频率的比值为: 1.13、1.12、1.07, 均满足检测规程^[8]中该比值大于等于 0.90 的要求; 竖向 1 ~ 竖向 3 阶阻尼比实测值为 0.028、0.032、0.039, 均正常, 表明动刚度满足设计和规范要求。

3.3.2 无障碍跑车试验

本桥选定 JM1、JM3 截面进行试验, 用 1 辆 300kN 的加载车驶过该桥, 采用应变片分别测试 JM1、JM3 截面的动应变响应, 分析计算得到该实心板桥的冲击系数, 根据理论基频计算的冲击系数为 $\mu=0.241$, 实测动态增大系数如表 4 所示。

表 4 跑车试验结果

测试截面	行车速度 / (km.h ⁻¹)	动态增大系数
JM1	15	0.086 0.081 0.101 0.190
	20	
	25	
	30	
JM2	15	0.112 0.111 0.088 0.112
	20	
	25	
	30	

由表 4 可见, 该桥的动态应变增大系数介于 0.081 ~ 0.190, 均小于设计冲击系数 (0.241), 该桥行车动力响应处于正常水平, 满足要求。

4 结语

(1) 对该桥选取有代表性的 1# 跨、2# 跨, 以公路 -II 级为目标荷载等级进行了静载试验, 工况 1 ~ 工况 3 的静载效率分别为 1.01、1.00、1.02, 满足静载效率 0.95 ~ 1.05 的要求, 加载有效, 加载过程一切正常。

(2) 静载试验结果表明: 相对残余变形均满足规范^[8]不大于 (20%) 的要求, 表明该桥工作性能良好; 各工况下 JM1、JM2、JM3 截面的校验系数均小于 1, 说明该桥的强度和刚度满足公路 -II 级的要求。

(3) 动载试验结果表明: 竖向 1 ~ 竖向 3 阶频率的比

值为: 1.13、1.12、1.07, 均满足检测规程^[8]中该比值大于等于0.90的要求; 竖向1~竖向3阶阻尼比实测值为0.028、0.032、0.039, 均正常, 表明该桥的动刚度满足设计和规范要求。该桥的动态应变增大系数介于0.081~0.190, 小于设计冲击系数(0.241), 该桥行车动力响应处于正常水平, 满足要求。

参考文献

- [1] 周爱国. 某斜交空心板梁桥荷载试验空间效应分析[J]. 中外公路, 2012(04):118-121.
- [2] 张炯, 董亮, 王军礼. 斜交T梁桥荷载试验分析研究[J]. 科学技术创新, 2012(3):318-318.
- [3] 姜基建, 杨婧, 王文龙. 斜交箱梁桥静动力特性试验研究[J]. 交通科技, 2015(1):001-003.
- [4] 刘小军. 某斜交梁桥荷载试验计算分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2016(04):201-205.
- [5] 魏伟, 李满囤. 钢筋混凝土斜板桥极限承载力试验[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2001, 021(004):46-49.
- [6] 王道锋. 关于斜交板梁桥荷载试验时的横向分布问题[J]. 山西建筑, (3):189-190.
- [7] 陈一宁. 通过荷载试验检验桥梁的加固效果[J]. 北方交通, 2015, 000(003):36-38.
- [8] 中华人民共和国交通运输部. 公路桥梁承载能力检测评定规程: JTG/TJ21-2011[S].