

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2014.06.002

鱼腹式连续弯箱梁桥承载能力评估研究

梁俏

(三明市城市建设投资集团有限公司, 福建 三明 365000)

摘要: 以某鱼腹式连续弯箱梁为工程背景, 针对其受力特点, 结合成桥后静载试验和环境脉动试验, 将试验结果与有限元理论值相比较, 综合评估其承载能力, 并得出鱼腹式连续弯箱梁桥实际荷载作用下的部分受力特性。为类似桥型的受力分析及承载能力评估提供一定的工程经验。

关键词: 鱼腹式箱梁; 弯桥; 连续梁桥; 静载试验; 承载能力评估

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2014)06-0515-04

The evaluation of bearing capacity of fish-belly type box-section continuous curved beam bridge

Liang Qiao

(Sanming City Construction Investment Group Co., Ltd, Sanming 365000, China)

Abstract: The mechanical characteristics of certain fish-belly box-section continuous curved beam bridge were analysed. Static load test and environmental fluctuation test of the fish-belly box-section continuous curved beam bridge were conducted. The results were compared with that of finite element theoretical results. The bearing capacity of the bridge was comprehensively evaluated. A part of the mechanical characteristics of the fish-belly box-section continuous curved bridge under actual loading were obtained. The mechanical analysis and bearing capacity evaluation may offer some useful data for similar bridge engineering projects.

Keywords: fish-belly box-section; curved bridge; continuous beam bridge; static test; load - bearing capacity evaluation

鱼腹式箱梁除了具有普通箱梁在抗扭、抗弯上的优势以外,其边腹板的流线型设计使得它较之普通箱梁,风载体型系数更低,特别是满足了大跨度桥梁对于抗风性能的要求。由于鱼腹式箱梁线形优美,近年来,在一些跨径不大的城市桥梁中也相续采用这种结构形式,以达到较好的景观设计效果。而桥址受地形、地物的限制,部分鱼腹式箱梁桥又设计为弯桥。但对于弯桥,由于受限于曲率的影响,梁体往往既要承受竖向弯曲,又要承受横向扭转,箱梁梁体受力状况较为复杂。

目前针对鱼腹式箱梁桥受力特点及承载能力

评估的研究较多^[1-3],但针对鱼腹式连续弯箱梁桥的研究较少,本文以三明市翁墩立交工程为研究背景,结合桥梁静载试验和环境脉动试验^[4],对成桥后的鱼腹式连续弯箱梁桥承载能力进行评估,以期类似工程提供一定的借鉴意义。

1 工程背景

三明市翁墩立交工程上部结构采用预应力混凝土连续鱼腹式箱梁。桥梁分别位于直线、缓和曲线(参数 A: 80)、圆曲线(半径: 160 m)和缓和曲线(参数 A: 105.83)上。全桥共分为三联,本文

收稿日期: 2014-09-25

作者简介: 梁俏(1980-),男(汉),福建福州人,工程师,主要从事桥梁结构建设及管理等方面研究。

选择平面曲率较大的第三联作为研究对象,其跨径布置为 30.0 m + 50.0 m + 30.0 m,桥面宽度 18.5 m,梁高 2.5 m。箱梁均设计为单箱四室箱型截面。第三联桥型布置图见图 1。

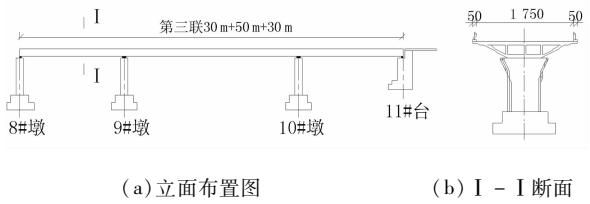


图 1 第三联桥型布置图(单位:cm)

Fig.1 The third part profile of fish-belly type box section continuous beam bridge(unit:cm)

2 承载能力评估方案

2.1 桥梁受力特点

三明市翁墩立交工程第三联主梁除了是鱼腹式结构外,其受力还具有明显的弯桥特点^[5]。

1)外荷载的作用下,弯桥产生弯矩的同时会产生扭矩,并且相互影响,使得主梁截面处于弯扭联合作用的状态,与相应的直梁桥相比其截面主拉应力往往大得多。另外弯桥在外荷载的作用下,还会出现横向弯矩。

2)在受荷载作用后,由于承受弯矩的同时产生扭矩,因而弯桥无论是在自重或活荷载的作用下均存在外倾趋势。

3)与直线桥相比,弯桥的支点反力有曲线外侧变大,内侧变小的倾向,甚至内侧还可能产生负反力,从而导致梁体与支座脱空。由于内、外侧支座反力的不同,各墩柱所承受的竖向力也存在较大差异。弯桥的下部结构除正常承受的移动荷载制动力、温度变化引起的内力、地震力等外,还承受着离心力等,受力更加复杂。

2.2 静载试验方案

2.2.1 静载工况

从受力特点分析中可知,在荷载作用下,鱼腹式弯箱梁桥既承受弯矩又承受扭矩,且有向外倾覆的风险。因此,本次试验采用最不利情况进行布载,试验车辆均采用外侧偏心加载,测试断面见图 2,拟进行的试验工况如下:

(1)工况一:第 9 跨最大正弯矩外偏载(1-1 断面,测试应力及挠度);

(2)工况二:第 10 跨正弯矩外偏载(2-2 断

面,测试应力及挠度);

(3)工况三:负弯矩外偏载(9 号墩)(3-3 断面,测试应力及挠度);

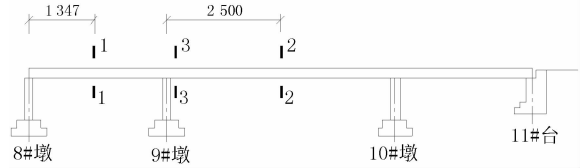


图 2 测试断面示意图(单位:cm)

Fig.2 Schematic diagram of the testing section(unit:cm)

2.2.2 试验车辆

根据桥梁结构现状,本次静载试验采用汽车加载方式,在荷载效率 η 范围内对桥梁加载吨位进行计算,最后确定采用 7 部重车进行静载试验,现场实际所用加载车辆详见表 1。

表 1 加载车辆明细表

Tab.1 List of loaded vehicle

| 编号 | 前轴距/ m | 后轴距/ m | 前轴重/ kN | 后轴重/ kN | 总重/ kN |
|----|-----------|-----------|------------|------------|-----------|
| 1# | 3.85 | 1.35 | 86.4 | 296.6 | 296.6 |
| 2# | 3.85 | 1.35 | 58.3 | 305.5 | 305.5 |
| 3# | 3.90 | 1.35 | 64.7 | 334.3 | 334.3 |
| 4# | 3.85 | 1.35 | 93.8 | 233.8 | 233.8 |
| 5# | 3.85 | 1.35 | 61.7 | 314.1 | 314.1 |
| 6# | 3.85 | 1.35 | 75.9 | 276.5 | 276.5 |
| 7# | 3.85 | 1.35 | 98.8 | 298.2 | 298.2 |

2.2.3 各工况加载布置

依据设计荷载等级要求,对桥梁结构在最不利荷载组合下产生的内力进行详细计算,并通过布置荷载工况,使现场加载产生的内力与设计荷载产生的理论内力的比值符合桥梁试验规范的要求。本次静载试验荷载效率为 0.97 ~ 1.01,静载试验荷载效率满足规范要求。各工况具体情况详见表 2,具体加载工况及车辆布置详见图 3。

表 2 各工况加载内容及荷载效率

Tab.2 The loading content and loading efficiency under different working conditions

| 编号 | 设计理论值/ (kN · m) | 试验理论值/ (kN · m) | 荷载效率 |
|-----|--------------------|--------------------|------|
| 工况一 | 8 852.6 | 8 887.4 | 1.00 |
| 工况二 | 12 413.4 | 12 042.3 | 0.97 |
| 工况三 | - 10 880.2 | - 10 963.1 | 1.01 |

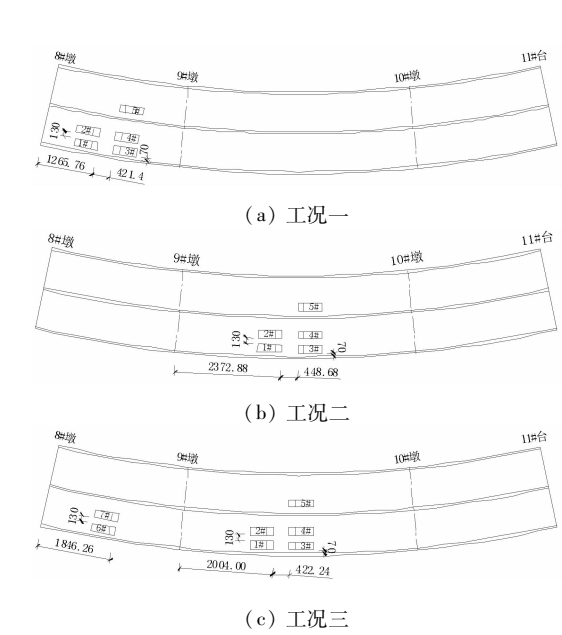


图3 各工况车辆加载布置图(单位:cm)
Fig. 3 The layout of loading under different working conditions (unit:cm)

2.2.4 测点布置、车辆加载布置

应变测试采用振弦式应变计以及振弦读数仪,应变测试截面及测点布置见图4。梁挠度测试采用精密水准仪量测,测点编号及布置如图5。

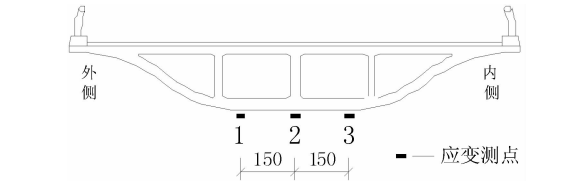


图4 应变测点布置图(单位:cm)
Fig. 4 Layout of strain measuring points(unit:cm)

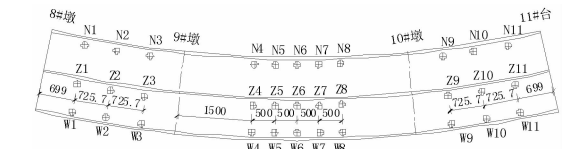


图5 挠度测点布置及编号(单位:cm)
Fig. 5 Layout of deflection measuring points(unit:cm)

2.3 环境脉动试验方案

桥梁自振特性试验是利用桥梁结构在各种随机环境激励(包括日常随机车辆、行人、天然风、水流、地脉动的组合)下引起的振动响应,来分析桥跨结构的自振特性。在桥面一侧行车道边缘放置加速度传感器,测点布置在桥面上(每跨的4

等分点处),详见图6。

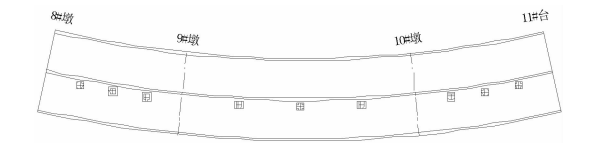


图6 加速度传感器桥面布置图
Fig. 6 The layout of acceleration sensors distributed on fish-belly type box section continuous beam bridge

3 承载能力评估结果与分析

3.1 各工况挠度结果分析

本次试验挠度检测结果见表3,表中挠度以向下为负值,向上为正值。

表3 各工况挠度检测结果汇总表
Tab. 3 The deflection test results under different working conditions

| 工况 | 测点 | 实测值/mm | | 满载理论值/mm | 校验系数 | 相对残余变形/% |
|-----|----|--------|-------|----------|------|----------|
| | | 总变形 | 残余变形 | | | |
| 工况一 | Z1 | -1.52 | 0.00 | -1.97 | 0.77 | 0.00 |
| | Z2 | -2.24 | -0.21 | -3.03 | 0.67 | 9.38 |
| | Z3 | -1.44 | 0.00 | -2.31 | 0.62 | 0.00 |
| | W1 | -2.67 | -0.08 | -2.89 | 0.90 | 3.00 |
| | W2 | -3.94 | 0.00 | -4.44 | 0.89 | 0.00 |
| | W3 | -2.34 | -0.29 | -3.33 | 0.62 | 12.39 |
| | Z4 | -5.03 | -0.82 | -5.88 | 0.72 | 16.30 |
| | Z5 | -5.63 | -0.94 | -7.44 | 0.63 | 16.70 |
| 工况二 | Z6 | -4.71 | -0.31 | -7.94 | 0.55 | 6.58 |
| | Z7 | -3.70 | -0.11 | -7.28 | 0.49 | 2.97 |
| | Z8 | -2.62 | 0.00 | -5.80 | 0.45 | 0.00 |
| | W4 | -5.92 | -0.61 | -8.15 | 0.65 | 10.30 |
| | W5 | -7.10 | -0.50 | -10.25 | 0.64 | 7.04 |
| | W6 | -6.45 | -0.28 | -10.78 | 0.57 | 4.34 |
| | W7 | -5.65 | -0.72 | -9.70 | 0.51 | 12.74 |
| | W8 | -3.32 | -0.38 | -7.65 | 0.38 | 11.45 |

由表3可知:在各工况荷载作用下,实测控制截面的挠度值均小于理论值,挠度校验系数在0.06~0.90之间,挠度校验系数满足《公路桥梁承载能力检测评定规程》中规定的校验系数小于1.0的要求。相对残余变形在0~18.51%之间,相对残余变形满足《公路桥梁承载能力检测评定规程》中规定的相对残余变形限值要求(限值20%)。由此可见,在试验荷载作用下,所检桥跨

试验控制截面的强度满足规范要求。

3.2 各工况应变结果分析

本次试验应变检测结果见表 4,表中应变以受压为负值,受拉为正值。

表 4 各工况应变检测结果汇总表

Tab. 4 The strain test results under different working conditions

| 工况 | 测点 | 总应变 | 残余应变 | 满 载 理 论 应 变 | 校 验 系 数 | 相对残余应变/ % |
|-------------|----|----------------------|------|----------------------------|------------------|--------------|
| 工 况 一 | 1 | 22×10^{-6} | 0 | 53×10^{-6} | 0.42 | 0.00 |
| | 2 | 23×10^{-6} | 0 | 53×10^{-6} | 0.43 | 0.00 |
| | 3 | 27×10^{-6} | 0 | 53×10^{-6} | 0.51 | 0.00 |
| 工 况 二 | 1 | 25×10^{-6} | 3 | 36×10^{-6} | 0.61 | 12.00 |
| | 2 | 19×10^{-6} | 0 | 36×10^{-6} | 0.53 | 0.00 |
| | 3 | 15×10^{-6} | 0 | 36×10^{-6} | 0.42 | 0.00 |
| 工 况 三 | 1 | -11×10^{-6} | -1 | -22×10^{-6} | 0.45 | 9.09 |
| | 2 | -8×10^{-6} | 0 | -22×10^{-6} | 0.36 | 0.00 |
| | 3 | -8×10^{-6} | 0 | -22×10^{-6} | 0.36 | 0.00 |

由表 4 可知:在各工况荷载作用下,实测控制截面的混凝土应变值均小于理论值,应变校验系数在 0.36~0.61 之间,满足《公路桥梁承载能力检测评定规程》中规定的校验系数小于 1.0 的要求。相对残余应变在 0~16.67% 之间,相对残余应变满足《公路桥梁承载能力检测评定规程》中规定的相对残余应变限值要求(限值 20%)。由此可见,在试验荷载作用下,所检桥跨试验控制截面的刚度满足规范要求。

3.3 环境脉动试验结果整理

图 7 为桥梁在环境荷载作用下通过加速度传感器采集到的信号。

将实测的加速度信号经过实验模态分析可得,实测桥梁的竖向一阶自振频率为 3.14 Hz 大

于有限元分析得到的竖向一阶自振频率(2.43 Hz),表明该桥实际刚度较大。桥梁实测振型与计算振型见图 8。

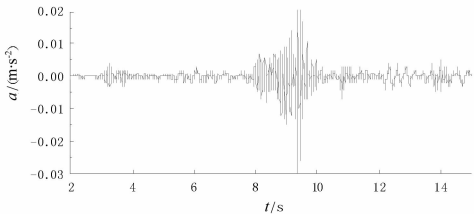
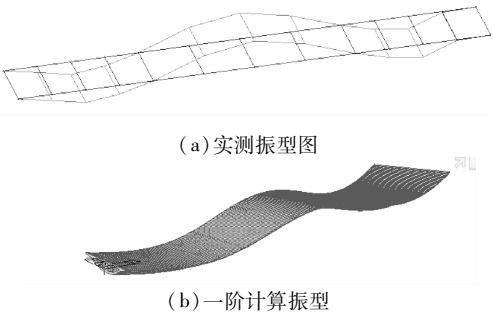


图 7 环境荷载下加速度信号曲线

Fig. 7 The curves of acceleration signals under environmental loading



(a) 实测振型图

(b) 一阶计算振型

图 8 桥梁振型图

Fig. 8 The vibration modes of fish-belly type box section continuous beam bridge

4 结论

1)在试验荷载作用下,鱼腹式连续弯箱梁桥测点应变及挠度校验系数最大值为 0.90,符合规范要求;桥梁实测一阶频率大于有限元计算频率,该桥实际刚度较大;综合以上可知桥梁结构承载能力满足设计通行要求。

2)在试验荷载作用下,该鱼腹式连续弯箱梁桥中箱梁外侧挠度明显比内侧挠度大,桥梁有向外倾覆的趋势,呈现明显的弯桥特性。

参考文献:

[1] 董继恩,刘东升. 鱼腹式钢箱梁正交异性桥面板复合铺装层有限元分析及试验研究[J]. 土木工程学报,2011,44: 128-134.

[2] 巫文君,颜桂云. 某鱼腹式连续箱梁桥静载试验及分析[J]. 福建工程学院学报,2010,8(3):218-221.

[3] 杨爱民,卢文锋,刘泉,等. 支承方式对小半径鱼腹式连续曲线箱形梁桥受力性能的影响研究[J]. 城市道桥与防洪, 2010,8(3):156-157,166.

[4] 中华人民共和国交通运输部. JTG/T J21—2011 公路桥梁承载能力检测评定规程[S]. 北京:人民交通出版社,2011.

[5] 张彧,彭洪,张慧. 斜交弯梁桥与弯梁桥和直线桥的力学特性对比计算分析[J]. 城市道桥与防洪,2011,6(6):230-233,254.