

崇启大桥钢箱梁高腹板局部稳定性分析

林 峰¹ 应旭永²

1. 江苏省高速公路经营管理中心 江苏 南京 210003

2. 苏交科集团股份有限公司 江苏 南京 211100

摘要: 崇启大桥支点腹板高度达到9m, 面临较为突出的局部稳定性问题。本文建立了钢箱梁节段模型, 确定最不利区格, 通过荷载试验对区格受力状态进行了测试, 基于《钢结构设计规范》对验算了区格稳定校验系数。结果表明: 荷载试验实测的高腹板控制截面应变校验系数在0.75~0.95之间, 结构强度满足设计要求, 高腹板各区格稳定性检验系数远小于1, 高腹板局部稳定性验算结果满足要求。

关键词: 钢箱梁; 高腹板; 局部稳定性; 荷载试验

1 引言

崇启大桥主桥采用(102+4×185+102)m六跨变截面钢箱连续梁, 主桥钢箱梁最高达9m, 承受较大的竖向剪应力、弯曲应力和局部压应力, 面临较为突出的局部稳定性问题, 若钢箱梁高腹板处发生局部失稳, 则会降低大桥整体稳定性能, 降低承载能力, 给结构安全运营带来较大隐患。

为了分析桥梁运营状态, 本文通过局部静载试验对支点高腹板稳定性进行分析, 比较支点高腹板处的稳定临界应力和实测应力, 从而检验结构的稳定承载能力, 对桥梁承载能力和安全性做出科学的评价。

2 荷载试验设计

2.1 测试截面与工况

使用Midas Civil建立有限元模型, 如图1所示, 全桥共372个单元, 387个节点。根据桥梁活载作用下主梁的竖向剪力包络图, 考虑到结构对称性, 确定试验测试工况为4#支点高腹板最大剪力工况, 考虑到该部位隔板、加劲肋、管线较多, 人工搭设脚手架较为困难, 此外, 伸缩梯也难以找到坚固平稳的支撑面, 因此考虑到现场测点布置安装的可行性, 选取4#墩顶截面作为高腹板稳定性测试截面。



图1 崇启大桥有限元模型

2.2 布载方案

本次实验采用的试验车辆为总重36t的四轴渣土车。依据《公路桥梁荷载试验规程》(JTG/T J21-01-2015), 设计本桥静载试验方案, 试验方案静载效率系数 η_q 的容许取值范围见表1, η_q 计算公式如式(1)所示。加载方案车辆布置如图2所示。

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

式中:

S_s ——静力试验荷载作用下, 某一加载试验项目对应的加载控制截面内力或变位的最大计算效应值(考虑多车道折减);

S ——控制荷载产生的同一加载控制截面内力或变位的最不利效应计算值;

μ ——按规范取用的冲击系数值。

表1 荷载效应汇总表

方案名称	控制截面	控制值	容许加载效率	计算值	加载效率	工况
4#支点高腹板最大剪力布载	1-1	4259.89kN	[0.95, 1.05]	4317.64kN	1.014	偏载

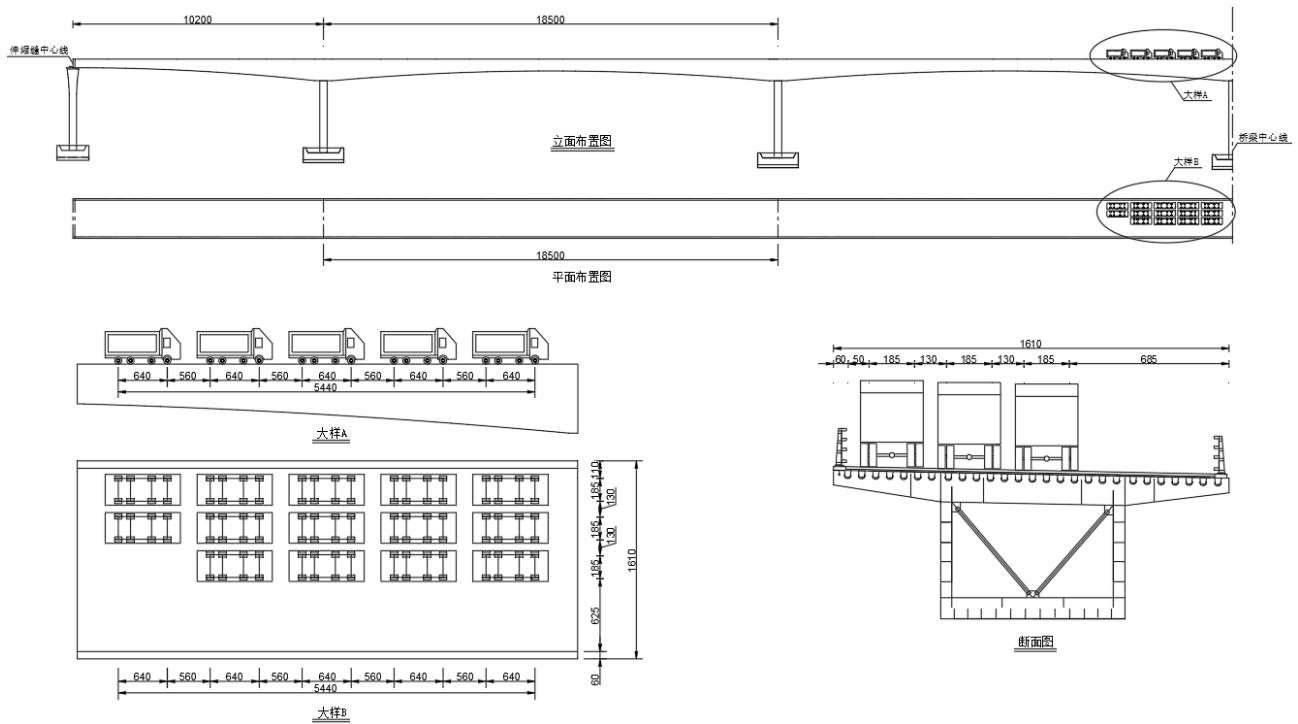


图2 4#支点高腹板最大剪力布载 (单位: mm)

3 测点布置方案

3.1 节段模型有限元仿真

为进一步确定高腹板截面应变测点位置,采用Midas Fea建立钢箱梁节段模型进行计算分析。钢箱梁节段采用板单元模拟,模型中含有节点35389个,板单元34245个。根据Midas Civil计算结果,节段梁崇明侧采用固定约束,节段梁启东侧施加力边界,即将启东侧截面形心与顶板、底板、腹板及其各自的加劲肋进行刚性连接,然

后提取该位置整体模型剪力、轴力、弯矩并施加到形心节点上^[1]。

3.2 高腹板验算区格

对节段梁高腹板模型进行静力分析,得到其最大主应力云图如图3所示。提取中跨中高腹板截面主应力绝对值较大的点11个,分别布置在1-1截面高腹板的7个区格(见图 图4)中,将这些点作为钢箱梁高腹板稳定性荷载试验现场测试点。

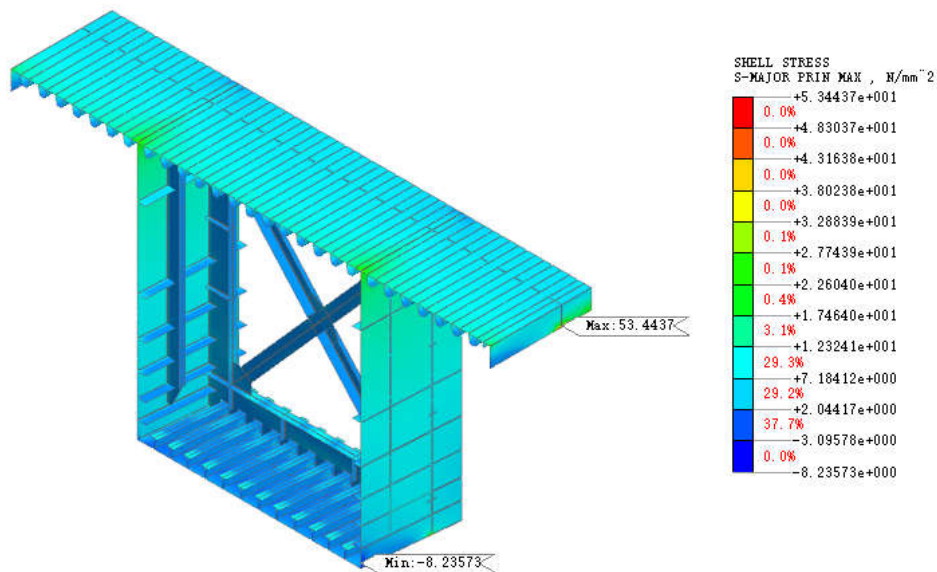


图3 节段梁最大主应力云图

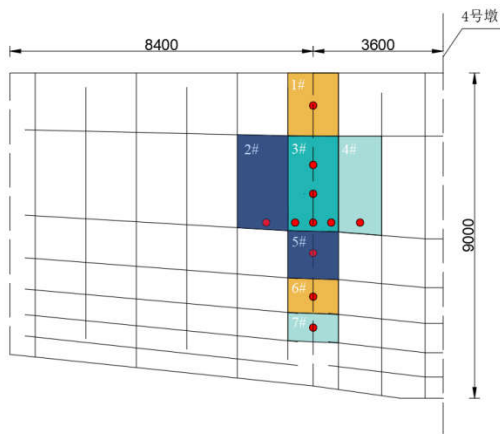


图4 4#支点高腹板稳定性验算区格

4 高腹板稳定性区格验算

4.1 测试结果分析

基于应变花测试结果显示1-1截面测点实测应变校验系数介于0.75~0.95之间,控制测点实测应变均小于计算值,表明主梁结构强度满足设计要求,卸载后,测试截面各测点的最大相对残余变形均小于20%,表明结构控制截面在试验过程中接近弹性工作状态。

4.2 受压区格稳定性分析

崇启大桥主桥左幅4#支点高腹板受纵向弯曲应力、横向应力、剪应力的屈曲交叉影响,验算公式如式(2)所示。

$$\frac{\sigma}{\sigma_{cr1}} + \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_{c,cr1}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr1}} \right)^2 \leq 1 \quad (2)$$

式中: σ —计算区格内,由平均弯矩产生的腹板计算高度边缘的弯曲压应力; σ_c —腹板计算高度边缘的局部压应力; τ —计算腹板区格内,由平均剪力产生的腹板平均剪应力; σ_{cr1} —弯曲应力单独作用下的临界应力; $\sigma_{c,cr1}$ —局部压应力单独作用下的临界应力; τ_{cr1} —剪应力单独作用下的临界应力。

根据《钢结构设计规范》(GB50017-2017),钢箱梁腹板抗拉、抗压、抗弯强度设计值 $f=270\text{MPa}$,抗剪强度设计值 $v=155\text{MPa}$ 。

该桥验算时将《钢结构设计规范》(GB50017-2017)所采用的设计应力以《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64-2015)中的设计应力替代。由于本次测试加载车队中第一辆四轴车的前轴距离1-1截面2m,同时1-1截面距离支座处3.6m,因此在1-1截面处没有局部集中荷载, $\sigma_c=0$ 。根据《钢结构设计规范》(GB50017-2017)6.3.3节、6.3.4节计算出弯曲应力单独作用下的临界应力 σ_{cr1} 和剪应力单独作用下的临界应力 τ_{cr1} ,如表3所

示。然后分别将现场测试各测点的 σ 、 τ_{cr1} 代入式(2),经验算,在最大竖向剪力工况下,全压区格稳定检验系数如表2全压区格稳定临界应力所示,均小于1,满足规范要求。

表2 全压区格稳定临界应力及稳定校验系数

区格	σ_{cr1}/MPa	τ_{cr1}/MPa	稳定检验系数
2	95.34	155.00	0.087
3	92.59	155.00	0.119
4	85.94	155.00	0.109
5	261.70	155.00	0.044
6	270.00	155.00	0.050
7	270.00	155.00	0.051

4.3 受拉区格稳定性分析

此类区格稳定性按照式(3)进行验算。

$$\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr2}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{c,cr2}} \leq 1 \quad (3)$$

式(3)中各参数含义参照式(2)。受拉翼缘与纵肋间的区格验算同样将《钢结构设计规范》(GB50017-2017)所采用的设计应力以《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64-2015)中的设计应力替代。根据《钢结构设计规范》(GB50017-2017)6.3.3节、6.3.4节计算出弯曲应力单独作用下的临界应力 $\sigma_{cr1}=270\text{MPa}$,剪应力单独作用下的临界应力 $\tau_{cr1}=155\text{MPa}$,然后将现场测试1#测点的 σ 、 τ_{cr1} 代入式(3),经验算,在最大竖向剪力工况下,第1区格稳定检验系数为0.020,小于1,满足规范要求^[2]。

5 结论

5.1 崇启大桥主桥静力荷载试验荷载效率介于0.95~1.05之间,满足规范标准的要求,同时表明试验荷载所产生的最不利效应可反映设计规范基本可变荷载效应的特征。

5.2 崇启大桥主桥左幅实测的高腹板控制截面应变校验系数在0.75~0.95之间,实测值小于理论值,表明结构强度能够满足设计要求;实测的最大相对残余应力小于20%,表明卸载之后结构的变形能够及时恢复,结构基本处于弹性工作状态。

5.3 崇启大桥主桥4#墩左幅高腹板各区格稳定性检验系数分别为0.020、0.087、0.119、0.109、0.044、0.050、0.051,均小于1,高腹板局部稳定性验算结果满足要求。

参考文献

- [1]朱斌,许春荣,孔庆凯.崇启大桥设计关键参数影响研究[J].公路,2015,66(20):235-236.
- [2]郭咏华,李晓彦,张斌,孙清.高强钢轴心受压钢管整体稳定性承载力试验研究及数值分析[J].工程力学,2013(12):125-127.