

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2021.08.041

网状吊杆系杆拱桥主拱吊点隔板应力扩散趋势分析

姚宝文

[上海市政工程设计研究总院(集团)广东有限公司, 广东 佛山 528000]

摘 要:对网状吊杆系杆拱桥的吊耳板及吊点隔板应力进行有限元分析计算,了解吊点处局部应力的扩散趋势,分析局部应力传递规律;同时验算结构的安全可靠性。

关键词:网状吊杆系杆拱桥;吊耳板;吊点隔板;应力扩散分析

中图分类号: U441+5

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)08-0159-03

0 引 言

近十年来,我国进入了基础建设的迅猛发展时期。随着桥梁跨径的不断加大,桥梁经济指标的不断优化,对于桥梁各个节点精细化分析的要求也越来越高。对于网状吊杆系杆拱桥主拱吊点隔板这种受力复杂且应力集中的局部位置,其应力扩散情况控制着节点构造及板件的设计^[1]。本文结合深汕大桥设计,通过对其主拱吊点隔板的有限元分析,总结本结构节点应力扩散趋势,为工程设计积累经验。

1 工程概况

深汕大桥是深汕大道扩建提升工程中的重要节点,主桥采取 230 m 主跨 1 跨跨越赤石河。主桥上部采用网状吊杆钢混组合梁拱桥结构,整幅设计,桥宽 56 m,主拱拱肋中间设置,两侧设置车行道,车行道外侧设置人行道,拱肋之间设置慢行系统。

深汕大桥主桥采用网状吊杆钢混组合梁拱桥,主桥理论跨径为 230 m,计算跨径为 227 m,主拱矢跨比为 1/5.5。深汕大桥主桥总体布置见图 1。

主桥采用网状吊索体系,采用高疲劳应力幅环氧涂层钢绞线拉索,两端采用复合挤压冷铸锚,钢绞线标准强度 $R_{yh}=1\ 860\ \text{MPa}$,吊杆型号为 $\phi 15.2-43$ 和 $\phi 15.2-55$ 。拉索的疲劳性能满足应力上限 $0.4f_{pk}$ (f_{pk} 为斜拉索的标准抗拉强度),疲劳应力幅为 400 MPa。

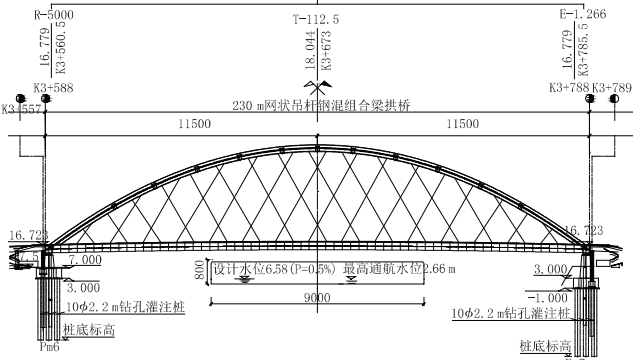


图 1 深汕大桥主桥总体布置图(单位:mm)

吊索与主梁的倾斜角度在 $48.1^{\circ}\sim 60.6^{\circ}$ 范围内,吊索在主梁上的索距为 7 m。吊索在拱上以吊耳销接锚固,在主梁上设置张拉端,采用钢锚箱形式锚固。全桥共 60 根吊杆。

主拱吊杆锚固采用耳板销接形式,耳板与隔板十字交叉,在隔板上开槽口,耳板与隔板的交叉长度不小于 1.3 m。耳板采用变厚度,厚度从 50 mm 变化到 120 mm。主拱吊点隔板构造见图 2。

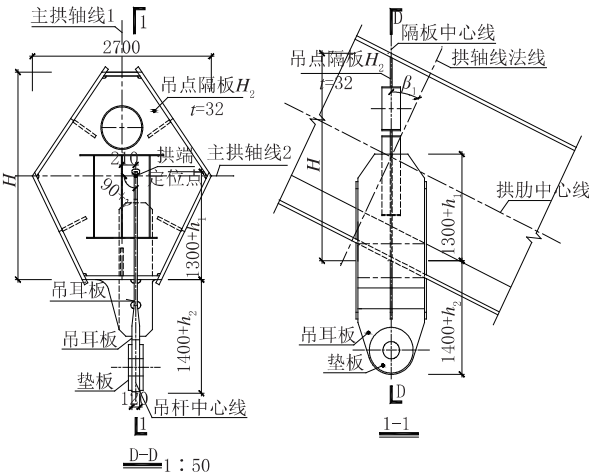


图 2 主拱吊点隔板构造图(单位:mm)

收稿日期: 2021-01-22

作者简介: 姚宝文(1987—),男,本科,工程师,从事桥梁设计工作。

2 计算条件

对于局部模型,首先应该准确模拟其边界条件,主拱除了自身拱脚约束外,主要是受到风撑及拉索的作用;其次是准确模拟其荷载效应,主拱及其隔板的力的传递应该符合圣维南原理^[2]。

2.1 荷载计算

从总体模型计算结果中可以看出,主拱主要承受压力,拉索产生的弯矩非常小。正常使用状态下作用标准组合的主拱弯矩图、轴力图见图3、图4,从模型中读出的索力结果见表1。

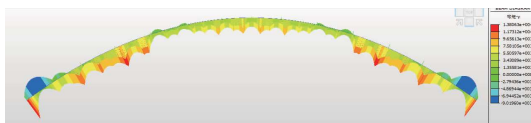


图3 正常使用状态下作用标准组合的主拱弯矩(单位:kN·m)

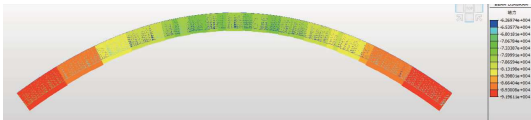


图4 正常使用状态下作用标准组合的主拱轴力(单位:kN)

表1 索力计算结果 单位:kN

拉索编号	成桥索力	基本组合	
		最大索力	最小索力
WS1	3 413.6	4 243.0	3 062.2
WS2	3 926.2	5 397.2	3 677.3
WS3	3 868.4	5 601.7	3 694.2
WS4	4 183.0	5 933.0	3 895.7
WS5	3 634.7	5 380.2	3 441.5
WS6	3251.20	4 587.6	2 970.0
WS7	4 354.9	5 943.8	3 882.6
WS8	4 564.0	6 070.3	3 998.2
WS9	3 493.3	5 017.6	3 198.7
WS10	3 499.8	4 726.9	3 104.3
WS11	3 491.4	4 750.6	3 122.6
WS12	4 409.6	5 973.2	3 949.7
WS13	3 330.1	4 502.4	2 991.0
WS14	3 862.0	5 333.0	3 512.6
WS15	3 569.4	4 733.6	3 187.3
NS1	3 395.9	4 154.9	2 992.2
NS2	3 881.3	5 360.0	3 659.9
NS3	3 852.8	5 557.1	3 675.8
NS4	4 210.7	5 871.4	3 864.4
NS5	3 664.4	5 318.9	3 410.5
NS6	3 274.2	4 536.6	2 944.1
NS7	4 381.6	5 876.0	3 847.6
NS8	4 596.0	6 002.7	3 963.5
NS9	3 521.7	4 930.7	3 149.5
NS10	3 521.4	4 649.2	3 059.6
NS11	3 507.6	4 665.9	3 072.5
NS12	4 425.9	5 873.1	3 892.3
NS13	3 340.9	4 426.9	2 951.0
NS14	3 867.0	5 224.3	3 455.9
NS15	3 548.4	4 573.9	3 105.0

2.2 模型建立

采用 Civil FEA 建立板单元模型,模型格栅密度为 50 mm。考虑主拱腹板加劲对应力的有利影响,同时考虑吊点隔板加劲和人孔对应力扩算的不利影响。板单元模型消隐图见图5。

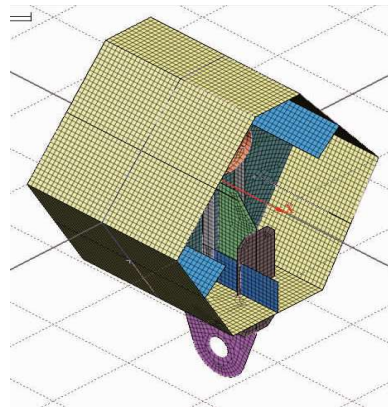


图5 板单元模型消隐图

2.3 吊耳板加载

建立了局部模型后,将索力转化成吊耳板的均布力 F ,该均布力可以通过赫兹公式计算^[3-4]。赫兹公式原理图示见图6。

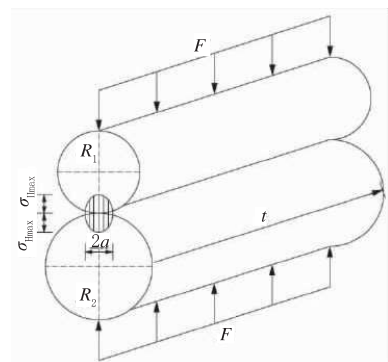


图6 赫兹公式原理图示

接触面半宽 a 为:

$$a = \sqrt{\frac{4F}{\pi t} \frac{\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}}{\frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2}}} = 143.8 \text{ mm}$$

吊耳板最大接触应力 σ_{Hmax} 为:

$$\sigma_{Hmax} = \sqrt{\frac{F}{\pi t} \frac{\frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2}}{\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}}} = 169.5 \text{ MPa}$$

3 结果分析

3.1 吊耳板应力

吊耳板应力云图见图7。由图7可知,应力流主要通过跟耳板接触的吊点隔板和主拱底板传递,其余板件基本不参与传递。吊耳板与隔板相交处沿竖

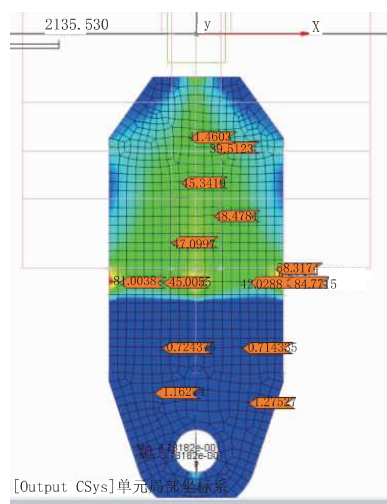


图7 吊耳板应力云图(单位:MPa)

向高度方向的应力变化曲线见图8。

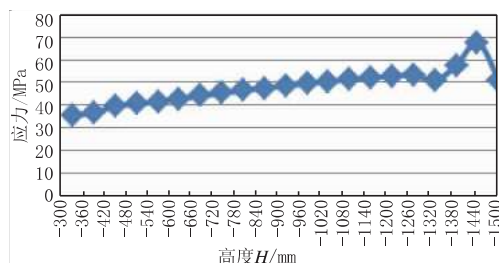


图8 吊耳板与隔板相交处沿竖向高度方向的应力分布图

吊耳板在上段呈线性扩散趋势,即越往高处应力越小,扩散(衰减)速率约为 $-1.7 \text{ MPa}/100 \text{ mm}$ (减小为负值,反之为正值)。吊耳板在隔板与主拱底板交界处应力较为复杂,应综合考虑。

吊耳板在主拱底板交界沿横向应力分布见图9。

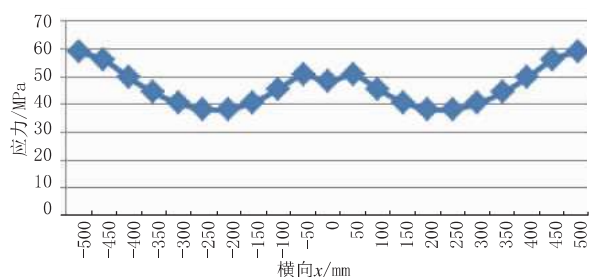


图9 吊耳板在主拱底板交界沿横向应力分布图

吊耳板在主拱底板交界沿横向应力分布基本对称,主拱腹板和吊耳板加劲对应力扩散有较大影响。吊耳板总体应力水平较低,结构安全可靠。

3.2 吊点隔板应力

吊点隔板应力云图见图10。由图10可见,应力主要在隔板下部的吊耳板范围传递,受到主拱底板、腹板及吊耳板的影响。

图11为隔板沿竖向高度方向的应力分布图集。图11中:应力1为隔板在吊耳板处沿高度方向的分

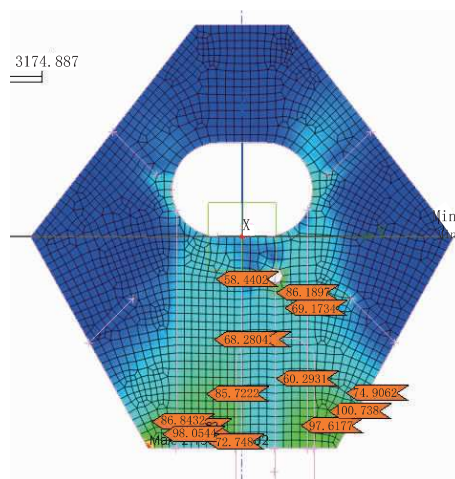


图10 吊点隔板应力云图(单位:MPa)

布曲线;应力2为隔板中心沿高度方向的应力分布曲线;应力3为吊耳板相对隔板中心线对称位置沿高度方向的应力分布曲线。

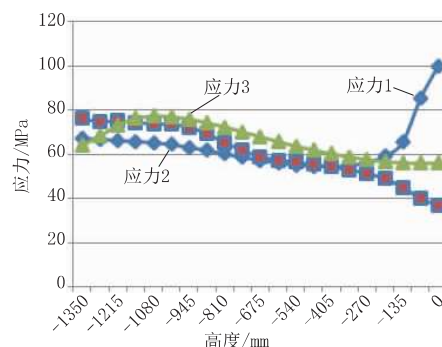


图11 隔板沿竖向高度方向的应力分布图集

由图11可见,吊点隔板范围的应力呈线性扩散趋势,规律明显。但上下两端受到人洞加劲及主拱底板的影响较大,特别是吊耳板顶端,隔板开洞对隔板应力影响很大。隔板总体应力水平较低,结构安全可靠。

4 结语

(1)从有限元分析结果可以推出,本工程的网状吊杆系杆拱桥的吊耳及吊点隔板在应力传递中呈线性扩散趋势。

(2)吊耳板及吊点隔板的应力传递受到厚板约束时,对应力传递影响较大。

(3)本工程吊耳板及吊点隔板应力满足规范要求,结构安全可靠。

参考文献:

- [1] 邵长宇.索承式组合结构桥梁[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
- [2] 腾振超.圣维南原理的有限元模拟[J].价值工程,2018(24):188-190.
- [3] 刘琛.138 m 钢箱叠拱桥耳板锚固结构应力分析[J].铁道标准设计,2014(7):98-101.
- [4] 应天益.国内、外桥梁销接点设计方案[J].世界桥梁,2011(2):22-25.