

双曲拱桥加固方案探讨及工程应用

陆智

(怀化市交通建设质量安全监督站, 湖南 怀化 418000)

摘要: 采用增大截面法对湖南郴州某双曲拱桥进行维修加固, 根据工程实际提出 4 种加固方案, 从受力性能、工程量、施工难易程度、工期及交通影响方面进行对比分析, 得出最优加固方案, 并提出具体加固措施; 对加固后桥梁进行静、动载试验和承载力分析, 结果表明维修加固后桥梁结构刚度、横向整体性和承载力得到较大提高, 维修加固效果较好。

关键词: 桥梁; 双曲拱桥; 增大截面法; 加固方案

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)04-0130-05

双曲拱桥的加固方法有很多, 常用方法主要有裂缝修补法^[1]、增大主拱截面加固法^[2-4]、粘贴加固法^[5]、转换体系加固法^[6]等, 其中增大截面法使用最多, 效果也最明显。黄春亮等采用拱背增大截面法对空腹式双曲拱桥进行加固, 结构验算结果表明, 采用该方法可对双曲拱桥主拱圈的承载能力进行结构补强, 延长双曲拱桥的服役年限^[2]; 高勇等针对双曲拱桥拱肋横向裂缝、拱波纵向开裂、腹拱顶部铰缝开裂等病害, 采用增大截面法进行维修加固, 加固前后承载能力对比结果表明, 增大截面法能提高主梁的强度和抗弯刚度^[3]; 李琛以永安市西门中桥(左桥)在役三跨连续双曲拱桥为例, 采用增大截面法和粘贴碳纤维布法进行加固, 加固后桥梁承载能力大大提高^[7]; 陈伟卿采用超高强度混凝土, 结合增大截面法对双曲拱桥进行了加固^[8]; 谢俊武等对拆与不拆拱上建筑进行双曲拱桥增大截面法加固进行模拟分析, 结果显示, 先拆除拱上建筑再进行增大截面法加固的方法可行^[9]; 胡轩采用在主拱顶拱肋底面粘贴钢板、在拱脚现浇混凝土增大截面的方法对双曲拱桥进行加固, 加固后桥梁能满足公路 II 级荷载通

行要求^[10]; 赵川等针对某双曲拱桥主拱圈截面尺寸过小, 材料强度降低, 结构开裂变形严重的问题, 采用增大截面法进行加固补强, 提高了其承载力^[11]。本文结合湖南郴州某双曲拱桥改造工程, 对两跨连续双曲拱桥加固方案进行对比分析, 优选最佳加固方案, 为同类工程提供参考和借鉴。

1 工程概况

湖南郴州某双曲拱桥建于 20 世纪 70 年代, 桥梁全长 103 m, 为两跨 40 m 双曲拱桥及两跨 2.5 m 实腹式板拱拱形通道。主拱圈由 5 片钢筋混凝土拱肋组成, 每跨主拱肋间由 7 道横系梁连接。拱波净跨径为 1.1 m, 主拱肋净跨径为 40.0 m, 净矢高为 6.67 m, 矢跨比为 1/6, 拱肋宽 0.30 m、高 0.52 m。腹拱净跨径为 2.5 m, 净矢高为 0.70 m。拱顶处拱上填料厚 0.4 m。拱肋材料为钢筋混凝土, 拱波材料为水泥混凝土; 腹拱圈、拱上立墙及桥台均采用浆砌块石, 以粗料石镶面; 桥面铺装为水泥混凝土。下部结构为重力式墩台、扩大基础。桥梁立面见图 1。

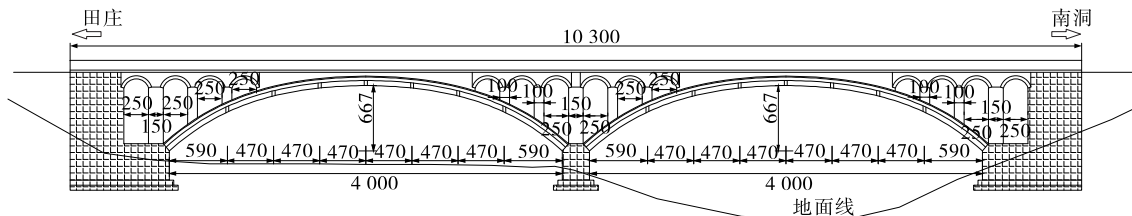


图 1 某双曲拱桥立面设计(单位: cm)

按照桥梁各部件权重综合评定方法, 桥梁总体技术状况评定为三类。荷载试验结果显示部分工况

下实测应变值大于理论计算值, 加载过程中出现新裂缝, 在特殊车辆荷载(3.0 MW 山地叶片倒运工装

车及配重)作用下受力性能不满足要求。固和拆除重建两种方案,其优缺点见表 1。综合考虑,确定对该桥进行维修加固。

表 1 维修加固和拆除重建对比

改造方案	施工	外观	建筑高度	经济性
维修加固	工艺要求较低,运输安装方便,中断交通时间短,工期短,对环境扰动小	较好	较低,无通航要求,净空较高	总预算较低
拆除重建	工艺要求较高,运输安装要求高,中断交通时间长,工期长,对环境扰动大	较差	较高,无通航要求,净空较低	总预算较高

注:拆除重建方案为拆除老桥,兴建 3×30 m 预应力混凝土简支 T 梁桥。

2 加固方案

2.1 拟定加固方案

针对该桥技术状况评定结果,初步拟定 4 种维修加固方案。

方案一:在主拱圈拱腹布设钢筋网,按照对称均衡的原则,在第二个立墙至拱脚间拱背增大截面,由第二个立墙外包 15 cm 厚混凝土过渡为拱脚处 25 cm 厚混凝土,全桥拱肋增大截面外包 10 cm 厚钢筋混凝土。加固层采用 C40 混凝土。

方案二:在主拱圈拱腹布设钢筋网,按照对称均衡的原则,在第二个立墙至拱脚间拱背增大截面,由第二个立墙外包 15 cm 厚混凝土过渡为拱脚处 25 cm 厚混凝土,全桥拱肋增大截面外包 20 cm 厚钢筋混凝土。加固层采用 C40 混凝土。

方案三:在主拱圈拱腹布设钢筋网,按照对称均衡的原则,在第二个立墙至拱脚间拱背增大截面,由第二个立墙外包 20 cm 厚混凝土过渡为拱脚处 30 cm 厚混凝土,全桥拱肋增大截面外包 20 cm 厚钢筋混凝土。加固层采用 C40 混凝土。

方案四:在主拱圈拱腹布设钢筋网,按照对称均衡的原则,在第一个立墙至拱脚间拱背增大截面,由第一个立墙外包 20 cm 厚混凝土过渡为拱脚处 30 cm 厚混凝土,全桥拱肋增大截面外包 20 cm 厚钢筋混凝土。加固层采用 C40 混凝土。

2.2 方案比选

利用有限元软件 MIDAS/Civil 分别建立 4 种加固方案下双曲拱桥有限元模型,计算基本荷载组合(1.2×恒载+1.4×汽车荷载)作用下拱脚、1/4L(L为桥梁跨径)、拱顶等控制截面的轴力、弯矩、应力和挠度,对 4 种方案进行受力性能对比,同时对比分析 4 种加固方案的工程量、施工难易程度、工期及交通影响,确定最优维修加固方案。

2.2.1 受力性能

如图 2~4 所示,采用方案一进行加固,主拱圈弯矩、轴力、应力和原桥相比明显降低,基本荷载组合作用下最大应力为-18.2 MPa,比原桥降低 10.6 MPa、约 36.8%,加固后受力得到一定程度改善,竖向抗弯刚度提高;采用方案二进行加固,应力、轴力、弯矩的改善效果总体上与方案一相差很小,基本荷载组合作用下最大应力为-17.6 MPa,比原桥降低 11.2 MPa、约 38.9%;采用方案三进行加固,主拱圈弯矩、轴力、应力和原桥相比明显降低,基本荷载组合作用下最大应力仅为-15.1 MPa,比原桥降低 13.7 MPa、约 47.6%,加固后桥梁结构受力性能得到大幅度改善,改善效果比前两种方案好;采用方案四进行加固,与方案一、方案二相比,弯矩、轴力、应力进一步减小,对主拱圈受力性能的改善效果比这两种方案好,与方案三相差很小。采用方案三、方案四加固后桥梁结构受力性能的改善幅度最大,控

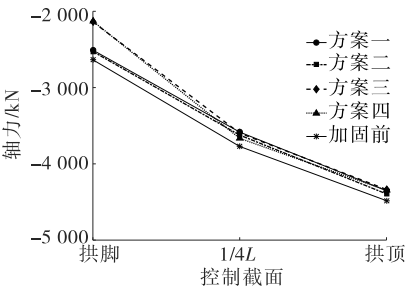


图 2 不同加固方案下控制截面最大轴力对比

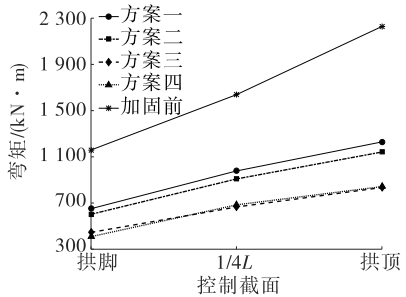


图 3 不同加固方案下控制截面最大弯矩对比

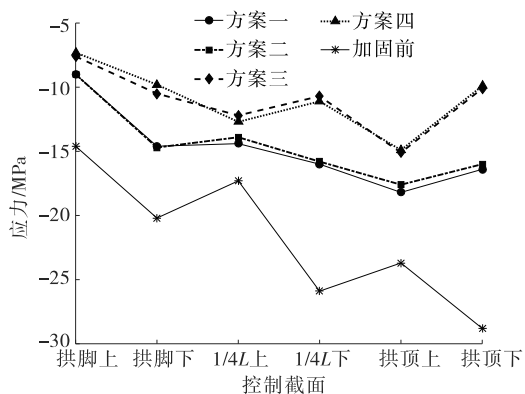


图4 不同加固方案下控制截面应力对比

制截面的应力水平下降明显,结构整体性能增强。

如图5所示,该桥加固前拱顶最大挠度为-29.39 mm;采用4种方案加固后,跨中挠度都有不同程度减小,其中方案一跨中最大挠度比加固前减小10.18 mm、约34.6%,方案二跨中最大挠度比加固前减小10.87 mm、约37.0%,方案三跨中最大挠度比加固前减小14.24 mm、约48.5%,方案四跨中最大挠度比加固前减小14.44 mm、约49.1%,都小于规范要求($L/800$),采用方案三、方案四加固时挠度下降幅度最大。

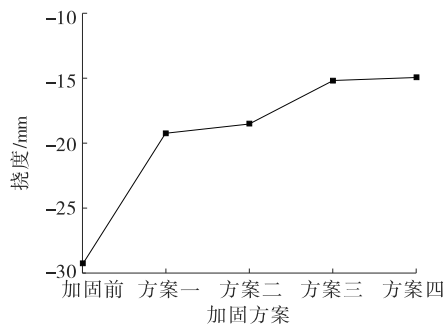


图5 不同加固方案下挠度对比

2.2.2 工程量

如图6所示,采用方案四进行加固,混凝土用量最大,其次是方案二、方案三,方案一最少。综合前

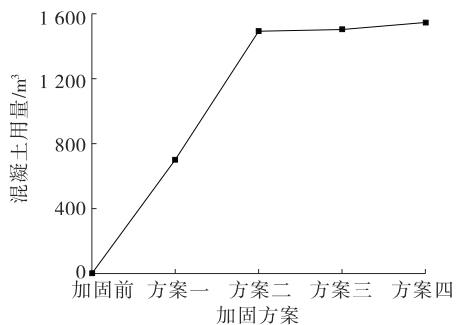


图6 不同加固方案下混凝土用量对比

文所述,采用方案三进行加固,混凝土用量虽然较多,但加固后桥梁受力性能好;采用方案四加固后的受力比方案三有所改善,但改善程度较小,混凝土用量增加较多,不经济。综合考虑,采用方案三进行加固最经济,且受力较好。

2.2.3 施工难易程度

4种加固方案都需要在主拱圈拱腹布设钢筋网,并浇筑混凝土使原主拱圈完全联结为一个整体共同参与受力。方案一、方案二、方案三需要在2个拱洞处进行拱背加固,加固部分能与原结构较好地联结为一个整体,其区别在于厚度不同;方案四需要在3个拱洞的拱背进行加固,不仅模板拆卸和安装工程量增加,施工也困难。

2.2.4 工期及交通影响

4种方案施工过程中都不需要封闭桥梁交通,车辆能正常通行。但主拱圈下缘浇筑混凝土时需要搭设满堂支架,工期较长。其中:方案一、方案二、方案三由于拱背的浇筑长度和面积比方案四小,工期较短,工程量减少,对当地交通影响较小;方案四的施工工期最长,造价最高,工程量最大,对当地交通的影响也较大。

2.3 加固方案确定

从受力性能、工程量、施工难易程度、工期及交通影响方面综合考虑,方案三最优,故采用该方案对桥梁进行维修加固。

2.4 加固方案设计

桥梁加固设计见图7。

(1) 修复全桥构件缺陷。

(2) 修补桥面铺装、栏杆缺陷,重新施作排水设施并加高护栏。

(3) 在拱脚与第二个立墙间拱背外包混凝土,主拱肋外包20 cm厚现浇C40钢筋混凝土,全桥横系梁改为横隔板,以加强对拱波的支撑和约束作用,改善拱波的受力。

(4) 对全桥腹拱圈拱顶及立墙裂缝、墩台进行灌缝封闭处置。

(5) 对全桥腹拱圈采用5 cm厚高强度聚合物水泥砂浆抹面。

3 加固效果评价

3.1 荷载试验

对加固后桥梁进行静、动载试验,分析结构在设计荷载作用下的工作状态、控制截面的抗力效应和

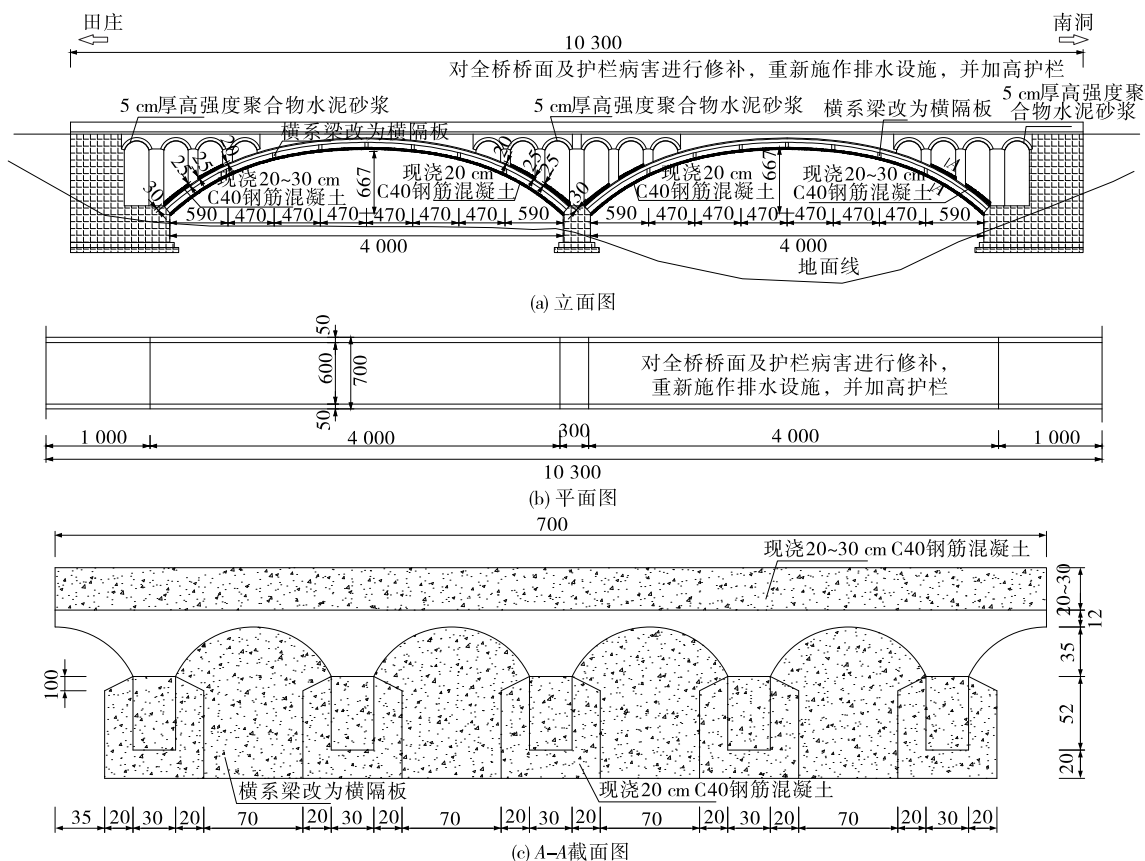


图7 桥梁加固示意图(单位:cm)

桥梁特性。

3.1.1 静载试验

静载试验设置拱顶截面最大正弯矩、拱脚截面(1[#]墩处)最大负弯矩、3L/4截面最大正弯矩3种工况,均为横桥向中载。在各静载试验工况下,该桥荷载效率系数为0.95~1.05,满足JTG/T J21—01—2015《公路桥梁荷载试验规程》、JTG/T J21—2011《公路桥梁承载能力检测评定规程》的要求。在最大试验荷载作用下,挠度实测值与理论值之比为0.6~0.8,残余值与实测值之比小于0.20,说明桥梁实际状况好于理论状况,处于弹性工作状态。关键截面应变实测值与理论值之比为0.6~0.8,残余值未超过规范要求,说明关键截面受力状况满足要求。第一跨、第二跨拱顶最大正弯矩工况加载过程中主拱肋拱顶处裂缝有增长、增宽的趋势,但增加幅度不大,加至最大荷载后裂缝稳定,没有延伸和继续扩宽,卸载后裂缝能恢复到加载前的状态,未出现新的裂缝,其他工况下未出现明显裂缝,说明各级荷载作用下结构的实际刚度保持不变,结构处于弹性工作状态。

3.1.2 动载试验结果

第一跨无障碍行车试验最大动态应变增量系数为1.26,对应冲击系数为0.26;刹车试验最大动态应变增量系数为1.18,对应冲击系数为0.18,10 km/h、20 km/h无障碍行车引起的桥梁振动较大。第二跨无障碍行车试验最大动态应变增量系数为1.23,对应冲击系数为0.23;刹车试验最大动态应变增量系数为1.20,对应冲击系数为0.20,10 km/h无障碍行车引起的桥梁振动较大。两跨动力系数均小于设计规范的要求(0.27),按规范取用的冲击系数值安全。

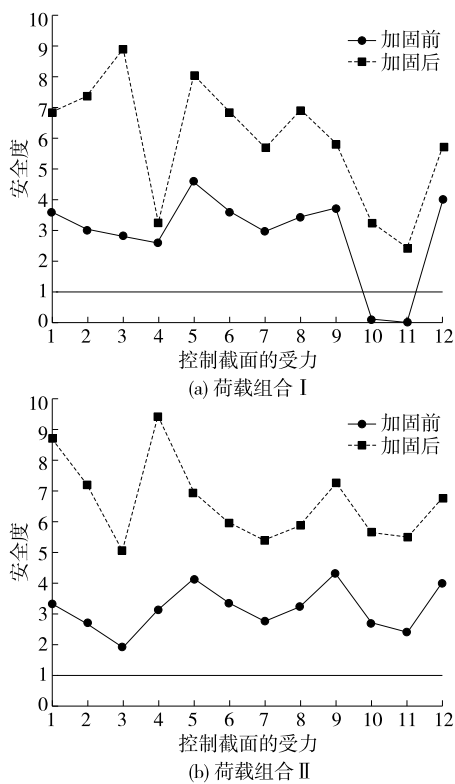
实测第一跨(0[#]台~1[#]墩)一阶基频为6.75 Hz,理论分析基频为5.11 Hz,两者比值为1.32;实测第二跨(1[#]台~1[#]墩)一阶基频为6.56 Hz,理论分析基频为5.11 Hz,两者的比值为1.28。第一跨、第二跨结构实际动刚度大于理论预测刚度,对结构受力有利。

综上,静、动载试验结果表明该桥经过维修加固后,结构刚度和横向整体性得到较大提高,桥梁的实际承载力满足设计荷载等级要求,维修加固效果较好。

3.2 加固前后承载力分析

通过对现有交通荷载状况进行调查分析与推算,按照满足 3.0 MW 山地叶片倒运工装车及配重的通行要求进行验算。

运用 MIDAS/Civil 对加固前后桥梁结构控制截面进行作用效应和设计抗力分析,控制截面包括各跨拱顶、拱脚和 $1/4L$ 。考虑恒载、特殊车辆荷载和温度荷载,将特殊车辆荷载视为偶然荷载,按规范规定的荷载效应最不利组合,取两种组合进行验算;荷载组合 I 为 $1.0 \times \text{恒载} + 1.0 \times \text{特种车辆荷载} + 0.7 \times \text{降温 } 15^\circ\text{C}$,荷载组合 II 为 $1.0 \times \text{恒载} + 1.0 \times \text{特种车辆荷载} + 0.7 \times \text{升温 } 15^\circ\text{C}$ 。2 种荷载组合下加固前后各控制截面作用效应与设计抗力的比值见图 8。



1 拱脚最大轴力;2 拱脚最小轴力;3 拱脚最大弯矩;4 拱脚最小弯矩;
5 $1/4L$ 最大轴力;6 $1/4L$ 最小轴力;7 $1/4L$ 最大弯矩;8 $1/4L$ 最小
弯矩;9 拱顶最大轴力;10 拱顶最小轴力;11 拱顶最大弯矩;
12 拱顶最小弯矩

图 8 2 种荷载组合下控制截面安全度对比

从图 8 可以看出:在荷载组合 I 和荷载组合 II 作用下,加固前桥梁拱顶截面在最小轴力及最大弯矩处的极限轴力大于极限抗力,抗力与效应的比值

小于 1,说明结构在拱顶处的应力储备不足,承载力不足;加固后桥梁的荷载效应值均小于抗力值,承载力提高,能满足 3.0 MW 山地叶片倒运工装车及配重的通行要求。

4 结语

随着使用时间的增加,桥梁会出现各种病害,影响桥梁的安全运营。相比拆除重建,加固是最经济合理的维修方案。加固方案是指导桥梁维修加固施工与决定加固效果的关键,其选择尤为重要。本文对双曲拱桥的加固方案进行对比分析,优选出最佳方案。加固效果评价结果表明,所采用的加固方案体现了安全、适用、经济、美观的原则,提高了桥梁的结构刚度、横向整体性和承载力。

参考文献:

- [1] 肖欢.混凝土桥梁裂缝修补及加固技术[J].建筑机械,2017(4):108—110.
- [2] 黄春亮,杜召华,李蓉,等.拱背增大截面法在双曲拱桥加固设计中的应用[J].工程抗震与加固改造,2019,41(2):73—79.
- [3] 高勇,魏景和,阳浩,等.增大截面法在既有双曲拱桥加固中的应用[J].公路与汽运,2017(2):147—148+153.
- [4] 狄生奎,李吉勇,项长生,等.增大截面法加固双曲拱桥的仿真分析[J].中外公路,2013,33(6):159—162.
- [5] 刘莉萍,杨宏平,宋鹏.公路钢筋混凝土双曲拱桥病害分析及钢板粘贴加固施工方法应用[J].中国建材科技,2015,24(3):75—78.
- [6] 陈顿.体系转换法加固鳌头大桥[J].广东公路交通,2000,26(增刊 1):198—199.
- [7] 李琛.三跨连续双曲拱桥病害分析及加固方案探讨[J].福建交通科技,2021(8):68—73.
- [8] 陈伟卿.双曲拱桥维修加固方案研究及工程应用[J].福建交通科技,2018(5):95—97.
- [9] 谢俊武,彭辉.拆与不拆拱上建筑下增大截面法加固双曲拱桥模拟分析[J].公路与汽运,2019(3):144—147.
- [10] 胡轩.某公路双曲拱桥加固方法分析[J].四川建材,2014(2):160—161.
- [11] 赵川,王起才,王艳艳.增大截面法进行双曲拱桥加固的研究[J].水利与建筑工程学报,2009,7(3):107—109+126.

收稿日期:2022-06-23