

大跨径轻型石砌肋板拱桥加固技术研究^{*}

钟正强, 刘宇

(长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 轻型石砌肋板拱出现在 20 世纪 80 年代初, 持续发展了 20 多年, 由于其发展时间较短, 对其研究较少。文中以中国首座轻型石砌肋板拱桥为工程实例, 根据现场实际情况提出主拱圈拱背填平和拱底套拱 2 种加固方案, 从受力性能、施工条件、施工难度和经济适用性方面对两方案进行比选, 确定采用主拱圈拱背填平方案; 通过静载试验对加固效果进行评估, 结果表明结构处于弹性状态, 加固效果良好。

关键词: 桥梁; 轻型石砌肋板拱; 加固技术; 应力; 旧桥改造

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)02-0117-03

轻型石砌肋板拱的主要特点是轻型, 为减少圬工数量、大幅度降低造价, 该结构从新的平铰拱和连拱理论出发, 力求在构造上减轻自重并充分发挥联合作用。轻型石砌肋板拱桥的施工工艺、理论计算方法及结构构造和传统石拱桥相比都有很大区别。传统石拱桥拱圈截面多为矩形, 材料为块石, 而轻型石砌肋板拱桥拱圈截面为山形、凸形, 采用小石子砼砌块片石和方块石镶面。轻型石砌肋板拱和传统石拱桥相比平均体积减少约 35%, 造价降低 40%; 与钢筋砼梁桥结构相比, 造价降低 25%~50%。轻型石砌肋板拱桥大多建于 20 世纪八九十年代, 至今已服役三四十年。了解轻型石砌肋板拱桥目前的承载能力状况并对其进行加固改造, 使其满足现有交通需求, 对在役轻型石砌肋板拱桥的正常使用及管理养护具有重要意义。

1 工程概况

湖南怀化地区辰溪县柿溪大桥为中国首座轻型石砌肋板拱桥, 建成于 1979 年。该桥建成后, 轻型石砌肋板拱桥在湘西自治州及江西、四川等地得到大力推广。

该桥全长 100 m, 桥面全宽 7.6 m、净宽 6.6 m, 设计标准为汽—15 级, 单幅双向两车道。上部结构为 1×60 m 轻型石砌肋板拱, 主拱圈形式为悬链线。主拱圈采用山形截面, 中间肋板高 1.3 m, 边缘肋板高 0.75 m。腹拱为净跨径 6.0 m、厚 0.35 m 等截面圆弧拱, 拱上立墙厚 0.4 m, 立墙设置 2 个人行

孔。拱顶横断面布置见图 1。

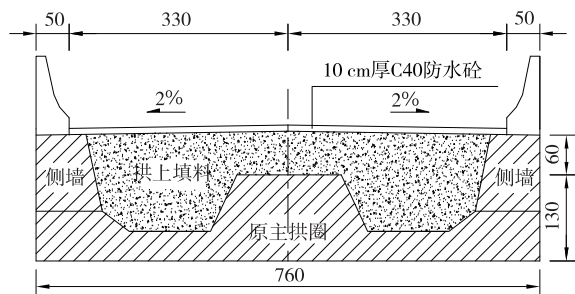


图 1 柿溪大桥拱顶横断面布置(单位: cm)

2 轻型石砌肋板拱加固设计

2.1 原桥承载能力评定

按照 JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》, 选取 2 种最不利荷载组合计算该桥主拱圈内力。荷载组合 I 为 1.2 恒载+1.4 汽车荷载+0.75×1.4×0.7 降温 15℃; 荷载组合 II 为 1.2 恒载+1.4 汽车荷载+0.75×1.4×0.7 升温 15℃。计算结果显示, 控制截面在 2 种荷载组合作用下的抗力小于荷载效应值, 表明该桥荷载等级不满足现有交通需求, 需对该桥进行提质改造。

2.2 加固设计

按式(1)计算, 得该桥加固层厚度为 0~0.15 m。

$$H = \frac{l_0}{100} + k(0.6 \sim 0.8) \quad (1)$$

式中: H 为新拱圈截面厚度; l_0 为拱桥净跨; k 为系数, 荷载等级为公路—II 级时 $k=1.05$, 荷载等级为公路—I 级时 $k=1.15$ 。

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金项目(51878073); 湖南省教育厅科学研究项目(18K46; 19A004)

根据现场实际情况,提出2种主拱圈加固方案:

1) 主拱圈拱背填平。拆除桥面铺装、主拱圈拱顶填料及侧墙;对主拱圈拱背截面进行钻孔植筋,浇筑C35钢筋砼,浇筑后截面高1.3 m(与原拱圈中间肋齐平);重砌拱顶侧墙,填筑轻质陶粒C20砼,施作桥面铺装[见图2(a)]。2) 主拱圈拱底套拱。将拱圈底面凿毛,通过钻孔植筋的方式在主拱圈底面布设钢筋网,浇筑15 cm厚C35钢筋砼[见图2(b)]。

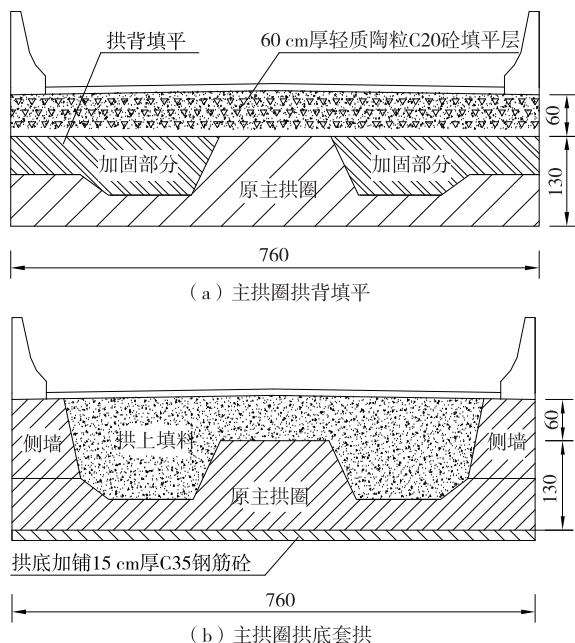


图2 拱顶加固设计示意图(单位:cm)

采用这2种加固方案,拱脚截面和拱顶截面承载能力及偏心距在2种荷载组合作用下均能满足要求。限于篇幅,仅给出主拱圈验算应力值(见表1和图3)。

表1 加固前后主拱圈应力值 MPa

位置	加固前应力	加固后应力	
		主拱圈拱背填平	主拱圈拱底套拱
拱脚上缘	-5.51	-0.75	-2.43
拱脚下缘	-3.28	-0.53	-1.35
1/4L 上缘	-3.41	-0.42	-1.61
1/4L 下缘	-5.09	-0.61	-1.29
1/2L 上缘	-4.61	-0.42	-1.95

2.3 加固方案对比分析

2.3.1 受力性能

根据模型计算结果,采用主拱圈拱背填平和主拱圈拱底套拱2种加固方案对该桥进行加固后,其承载能力都满足现有交通荷载要求,对桥梁结构受力都有一定改善。由表1可知:加固后,拱圈上下缘

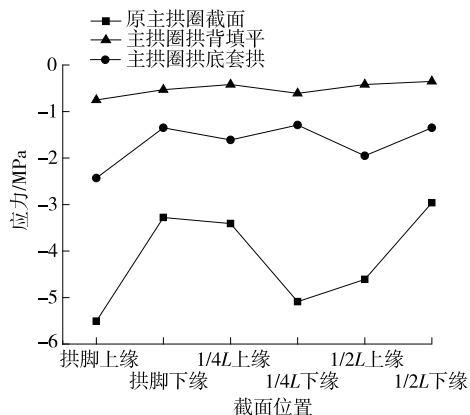


图3 2种加固方案下截面上下缘应力

应力均有所减少,特别是在拱脚上缘位置。采用拱背填平方案时,拱脚上缘位置最大应力为-0.75 MPa,和原桥相比降低4.76 MPa,约占原结构应力的86.4%;采用拱底套拱方案时,拱脚上缘位置最大应力为-2.43 MPa,和原桥相比降低3.08 MPa,约占原结构应力的55.9%。另外,拱背填平方案将原桥填料更换为轻质陶粒C20砼,拱上建筑恒载大幅减小,结构承受的自重也相应减小。

2.3.2 施工条件

采用主拱圈拱底套拱加固方案,除需在拱座设置钢围堰外,还需搭设满堂支架,施工较麻烦;主拱圈底面需配置钢筋网,砼浇筑不仅施工困难,而且砼密实度无法保证;下缘砼浇筑无法确保能和原主拱圈完全联结为一个整体共同参与受力。主拱圈拱背填平方案施工较简单,仅需在拱座处设置钢围堰,而且加固部分能与原结构较好地联结为一个整体。

2.3.3 经济适用性

主拱圈拱背填平方案不需搭设满堂支架,和拱底套拱方案相比工程造价更低。但拱上侧墙重砌及轻质陶粒填料更换时需封闭桥梁,对当地交通有一定影响。

2.3.4 加固方案确定

从受力性能、施工条件及经济适用性方面综合分析,采用主拱圈拱背填平方案对桥梁进行加固,结构受力性能改善更明显,工程造价更低,故选用该方案进行加固。

3 主拱圈加固效果评估

该桥加固完成后进行静载试验,对加固效果能否达到设计要求进行评估。在各试验荷载作用下,各截面挠度、应变实测值与理论值见图4~7。

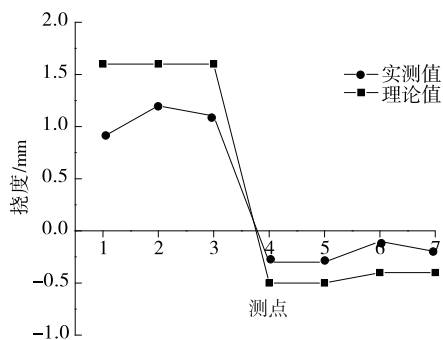


图 4 荷载组合 I 作用下挠度实测值与理论值对比

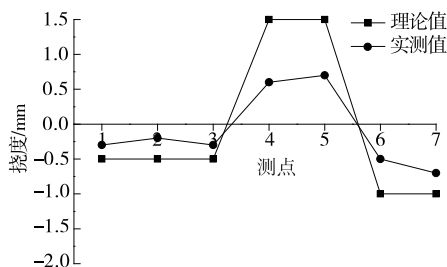


图 5 荷载组合 II 作用下挠度实测值与理论值对比

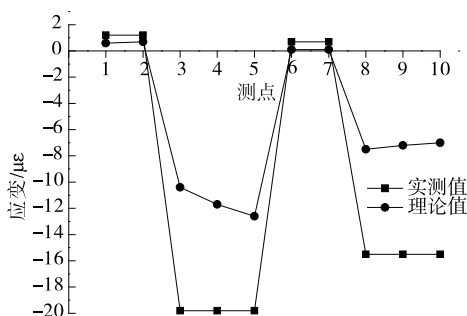


图 6 荷载组合 I 作用下应变实测值与理论值对比

由图 4~7 可知:采用主拱圈拱背填平方案加固后,在各试验荷载作用下,桥梁各截面挠度、应变实测值均小于理论值,卸载后,相对残余变形(应变)、挠度(应变)校验系数均满足规范要求。表明加固后桥梁承载能力和荷载等级满足设计要求。

4 结语

通过对首座轻型石砌肋板拱桥进行加固计算分析,确定最佳加固方案为主拱圈拱背填平。静载试

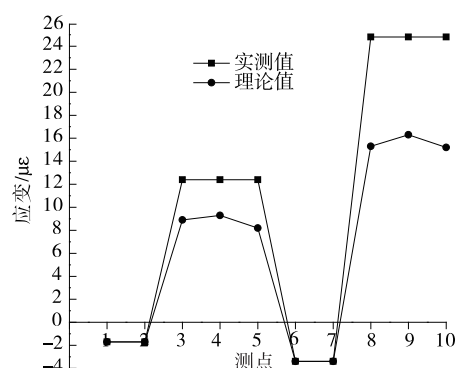


图 7 荷载组合 II 作用下应变实测值与理论值对比

验结果表明,加固后桥梁变形、应变都处于弹性范围,与加固前相比,桥梁总体刚度和强度有较大提升,加固效果良好,加固方案对轻型石砌肋板拱桥的加固改造具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 中交公路规划设计院有限公司.公路桥涵设计通用规范:JTG D60—2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [2] 贾悦.石拱桥病害分析及加固研究[D].郑州:郑州大学,2013.
- [3] 单成林,马兴健.空腹式石拱桥主拱圈的 3 种增大截面法加固效果分析[J].中外公路,2019,39(5):156—160.
- [4] 长安大学.公路桥梁荷载试验规程:JTG/T J21—01—2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [5] 李锋燕,郭元凯,唐王华,等.基于“释能法”的拱桥加固受力性能[J].沈阳大学学报,2019,31(1):51—55.
- [6] 中交公路规划设计院.公路圬工桥涵设计规范:JTG D61—2005[S].北京:人民交通出版社,2005.
- [7] 黎小刚,丁鹏,陈晓虎,等.考虑参数随机性的肋拱桥套箍加固优化设计研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2020,39(10):49—53.
- [8] 方向,周志祥,姚冠兵,等.C—S—C 法加固石拱桥主拱圈的正截面承载力分析[J].中外公路,2018,38(6):101—104.

收稿日期:2021—03—30

(上接第 116 页)

- 究[J].施工技术,2019,48(增刊 1):1245—1247.
- [5] 程炜,周超民.大跨度 PC 连续刚构桥病害成因分析及加固研究[J].公路,2020(4):184—186.
 - [6] 姚国文,吴文杰,何令.钢管混凝土连续刚构桥端横梁病害成因分析及处治技术[J].中外公路,2016,36(3):95—97.

- [7] 吕宏奎.某重载铁路连续刚构桥底板崩裂加固设计[J].桥梁建设,2019,49(1):71—76.
- [8] 王若谷,李睿,杨晶晶,等.腹板参数对增设中腹板的连续刚构桥加固方法的影响研究[J].混凝土,2019(12):45—48.

收稿日期:2021—04—20