

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.07.044

小跨径圬工板拱加固设计与施工方法研究

陈 锋,徐文豪

(武汉二航路桥特种工程有限责任公司,湖北 武汉 430061)

摘 要:针对设计施工图纸缺失的小跨径圬工拱桥,通过从原桥基本参数的确定、加固设计分析与施工方法分析,结合工程实践验证此类桥梁的加固设计与施工方法的可行性,提供一套完整的加固设计施工方法。圬工板拱加固成功工程实例表明整个加固流程技术是可行的,该综合加固设计与施工技术可为同类型桥梁的加固设计及施工提供一定的借鉴作用。

关键词:圬工板拱;设计与施工;维修加固

中图分类号:U445.7+2

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)07-0186-03

0 引言

拱桥具有悠久的历史,圬工拱桥因造型优美、耐久性高、取材方便、维护成本低等特点,在我国山区地带公路桥梁较为常见。然而石拱桥在现代桥梁工程中已没有竞争力,往更大跨径的发展也不再具有工程意义,承载着历史和文化的古老石拱桥,是历史的见证^[1]。早期建造的桥梁设计荷载等级低,已不适应当今重车运输需要,出现缺陷及承载能力不足等问题。由于年代久远,部分桥梁图纸遗失,给加固设计带来了难点。

1 工程概况

孔家寨桥建成于20世纪80年代,全桥跨径布置为 1×30.0 m圬工板拱桥,桥面全宽8.8 m,桥梁全长45.6 m。上部结构为圬工板拱,净跨径30 m,净矢高5.2 m;下部结构采用重力式桥台,基础采用扩大基础。根据某公司现场检测,依据桥梁总体技术状况计算及分类界限标准,将该桥技术评定等级为“四类桥”。该桥建成年份久远,原桥设计施工图纸已经缺失。

通过设计人员对该桥进行现场勘查,结合检测报告及参考林阳子等^[2]针对石板拱桥提出评估和鉴定的方法分析,该桥存在以下病害:主拱跨中区域砌块脱落两块,多处渗水风化,主拱圈无变形;桥面护栏大面积缺失;桥面大面积骨料外露、坑槽、破损;桥面长满杂草,影响行车安全。

收稿日期:2022-10-24

作者简介:陈锋(1995—),男,工学硕士,助理工程师,从事桥梁加固设计与施工工作。

通过上述病害情况初步分析,该桥桥面铺装破坏,雨水下渗,加速主拱及病害的发展。此外,该地区雨量较大,常年风化作用造成结构强度降低。桥头湾桥加固前如图1所示,最终决定对该桥进行维修加固。



图1 桥头湾桥加固前

2 原桥基本参数的确定

2.1 原桥主拱拱轴线方程的推算

在对年代久远的桥梁进行加固设计时,会面临建设资料、设计资料全部丢失的情况,从而大大增加了这类桥梁加固设计工作的难度。

由于原桥设计图纸缺失,首先应确定原主拱的拱轴线通过测量工具对拱桥的拱顶、拱脚、 $1/16 \sim 1/8$ 跨拱轴线与桥面相对位置关系,根据测量结果初步判定圬工板拱的主拱拱轴线为二次抛物线,采用仲爱宝等^[3]旧拱桥拱轴线形确定方法及多次试算对比分析,最终拟合确定原桥主拱拱轴线为二次抛物线。

2.2 拱圈几何尺寸及材料参数的确定

现场测得原桥结构参数见表1。原桥材料参数见表2。

表1 原桥结构参数表

结构部位	计算跨径 L	计算矢高 f	矢跨比 f/L	厚度 h	宽度 b
主拱圈	30.5 m	5.3 m	0.17	0.9 m	8.8 m
腹拱圈	3.4 m	1.7 m	0.5	0.4 m	8.8 m

表2 原桥材料参数表

结构部位	材料	抗压极限强度 /MPa	弹性模量 E /MPa	重度 γ /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)
拱圈	7.5# 砂浆砌 25# 混凝土预制块砌体	7.5	6 000	24
拱上填料	砂砾石	—	—	18

注:由于缺乏原设计图纸,以上参数材料按照《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ 022-1985)以及结合类似圬工拱桥选用。

3 有限元分析与加固设计

3.1 加固前承载力检算

由于缺失原桥图纸,故结合现场实际情况做计算分析,总体静力计算采用专业结构计算软件 midas Civil,全桥共划分 120 个梁单元,按原桥设计荷载等级,考虑了永久作用荷载、汽车、温度力等荷载,并根据荷载组合要求的内容进行截面计算,验算结构在承载能力极限状态及正常使用极限状态下是否满足 85 规范的要求^[4]。分别列出了该桥在原汽车 -15 级,挂车 -80 级荷载作用下组合轴向力与弯矩最不利时主拱拱顶、拱脚、1/4 跨截面强度的验算结果(见表 3、表 4)。

表3 组合弯矩最不利时主拱各截面验算结果

项目	拱脚	L/4	拱顶
$M_{\max}/\text{kN}\cdot\text{m}$	-4 021.65	2 570.93	-9 942.16
对应的轴向力 N/kN	-14 991.48	-11 100.79	-11 613.65
N_u/kN	14 734.71	17 154.0	27 405.34
是否满足规范要求	不满足	满足	满足

表4 组合轴向力最不利时主拱各截面验算结果

项目	拱脚	L/4	拱顶
轴向力 N/kN	-14 991.48	-12 902.46	-11 613.65
对应的弯矩 $M_{\max}/\text{kN}\cdot\text{m}$	-4 021.65	649.8	-9 942.16
N_u/kN	14 734.71	29 817.09	27 405.34
是否满足规范要求	不满足	满足	满足

由表 3、表 4 可以看出,加固前该桥在汽车 -15 级,挂车 -80 级荷载下拱脚截面的强度不满足规范要求,需对该桥进行加固。

3.2 加固设计

加固荷载等级:根据现有道路功能特点,维持原结构设计荷载等级,汽车 -15 级,挂车 -80 级。

孔家寨桥下部结构无明显病害,主拱圈是主要承重构件,提高主拱圈的承载能力及减轻上部结构恒载是主要的加固方式。

综合考虑桥梁结构安全及施工便利,对原桥进行以下主要加固改造措施:a.采用主拱圈拱腹及两边腹拱处拱背增大截面法进行加固,验算确定采用最小加固层 20 cm^[5];b.减载法,即更换轻质拱上填料的方法进行减载^[6];c.为增加结构的耐久性能,主拱圈及拱上建筑区域涂刷耐候材料。

最终确定的加固设计总体布置图如图 2 所示,横断面布置图如图 3 所示。

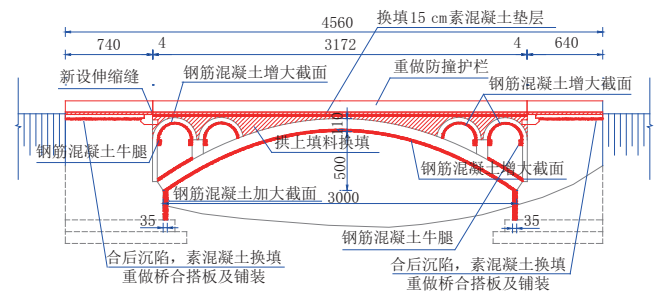


图2 桥梁加固总体布置图(单位:cm)

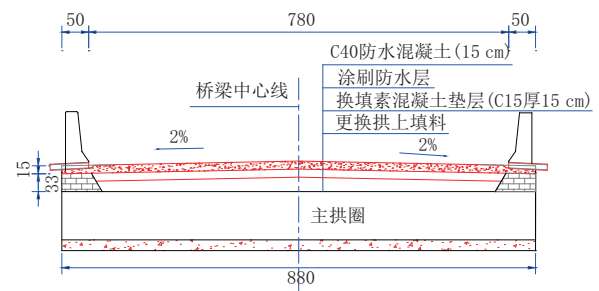


图3 桥梁加固横断面布置图(单位:cm)

4 加固方案实施应用

4.1 主拱圈增大截面施工

为了提高主拱圈原结构与增大截面受力整体性和承载力,新旧结构采用植筋连接,焊接并钢筋骨架,使其与原主拱圈结构有效连接,从而增大构件有效受压区高度,提高结构承载能力^[7]。对原主拱圈拱腹采用植筋并浇筑混凝土套箍措施进行加固可有效提高原桥技术状况水平,但施工难度较大,因此合理的施工工序是重要保障。

为减小增大截面时对主拱圈受力体系的影响,主拱圈施工时采用满堂支架进行现场浇筑,主拱圈底模衬板铺好后应依据《钢管满堂支架预压技术规程》进行预压监测。根据现场监测数据,判断主拱圈施工支架现处于稳定状态,其承载能力满足上部结构施工和正常使用要求^[8-9]。

其施工工序为:封闭交通→搭设支架→主拱拱腹区域凿毛及清除松动部分→主拱植筋、安放钢筋、立模→涂刷界面剂→自两侧拱脚沿纵桥向桥对称分节段、桥面开孔浇筑混凝土→混凝土养护,待混凝土强度达到80%后→主拱拱背加固。

4.2 桥梁桥面系及拱上填料拆除

结合公路桥梁加固施工技术规范^[10],确定以下拆除原则。

(1)桥面系拆除原则:以桥跨中心线为轴线,遵循横向对称的原则,分别向两侧桥台方向拆除桥面系。

(2)拱上填料拆除原则:以桥梁中心线为轴线,遵循分层、横向对称的原则,分别向两侧桥台方向拆除拱上填料。

拆除示意图如图4所示。

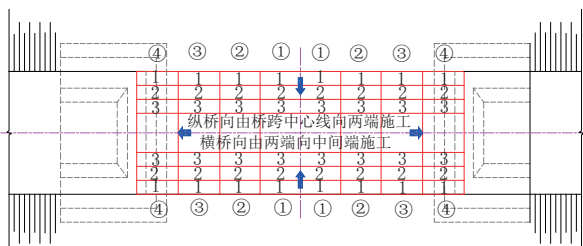


图4 拆除示意图

4.3 实施工序

合理的实施工序是保证结构安全的前提,在施工过程中,应遵循先减载后加载的方式,合理组织施工,应验证减载-加载过程中对主拱圈承载力的验算。

本着结构安全,综合考虑实施工序如下:封闭交通,设立禁行标志和告示牌→场地清理并搭设支架→全压力灌浆修补裂缝、破损修补→沿纵桥向对称拆除桥面系,拱上填料→主拱增大截面施工→施工拱上填料→施工桥面系→养护、清理场地,开放交通。孔家寨桥经加固改造后如图5所示。



图5 加固改造后

4.4 加固后承载力检算

表5、表6分别列出了该桥加固后在原汽车-15级,挂车-80级荷载作用下组合轴向力与弯矩最不

利时主拱拱顶、拱脚、1/4跨截面强度的验算结果。

表5 组合弯矩最不利时主拱各截面验算结果

项目	拱脚	L/4	拱顶
Mmax/kN·m	-4 872	2 759.5	-940.9
对应的轴向力 N/kN	-16 958.1	-12 631.3	-13 543.8
Nu/kN	20 677.2	25 648.9	36 085.2
是否满足规范要求	满足	满足	满足

表6 组合轴向力最不利时主拱各截面验算结果

项目	拱脚	L/4	拱顶
轴向力 N/kN	-16 958.1	-14 397.2	-13 543.8
对应的弯矩 Mmax/kN·m	-4 872	925.3	-940.9
Nu/kN	20 677.2	36 324.6	36 085.2
是否满足规范要求	满足	满足	满足

由表5、表6中验算结果得知,加固后主拱圈各控制截面在汽车-15级,挂车-80级荷载下强度均满足规范要求。

5 结论

(1)通过实践工程项目的实施,验证了圬工拱桥先减载再加载的科学性与可行性。

(2)增大截面法与减载法的同时应用可以增加主拱圈的承载力。

(3)圬工板拱加固成功工程实例表明整个加固流程技术是可行的,可为同类型桥梁的加固设计及施工提供一定的借鉴作用。

参考文献:

- [1] 徐勇.拱桥的起源与石拱桥的发展[J].世界桥梁,2013(3):85-92.
- [2] 林子阳,黄侨,任远,等.既有石板拱桥的评估及鉴定方法研究[J].公路交通科技,2008(4):89-93.
- [3] 仲爱宝,任国旭.旧拱桥拱肋及拱轴线形确定方法[J].中外公路,2004(4):94-98.
- [4] JTJ 022—1985,公路砖石及混凝土桥涵设计规范[S].
- [5] 刘庆阳,周建庭,王玲,等.增大截面法加固石拱桥最小加固层厚度[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2008(1):20-23.
- [6] 高荣雄.加固减载法在拱桥治理改造中的应用[J].中外公路,2003(3):50-52.
- [7] 张森.混凝土-石材粘结界面抗剪性能试验研究[D].成都:西南交通大学,2019.
- [8] JGJ/T 194—2009,钢管满堂支架预压技术规程[S].
- [9] 杨晓鑫,杨翔,杨建荣,等.空腹式拱桥满堂支架预压施工技术研究[J].施工技术,2015,44(S2):750-752.
- [10] JTG/T J23—2008,公路桥梁加固施工技术规范[S].