

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.09.047

某双曲拱桥的维修改造及保护利用

王 强¹,赵永胜²

(1.兰州城市建设设计研究院有限公司,甘肃 兰州 730030; 2.长春市市政工程设计研究院有限责任公司,吉林 长春 130022)

摘 要:双曲拱桥系在我国钢材缺乏、资金紧张等特定的历史背景之下诞生的特色桥型,随着时间的推移、社会与技术的发展,该类桥型由于结构整体性差、承载力不足等缺点已逐渐被淘汰。现存的双曲拱桥面临荷载标准低、病害及老龄化严重等问题,已进入维修改造高峰期,且多数双曲拱桥将被拆除。双曲拱桥作为见证时代发展的实物标签,具有丰富的历史文化内涵和经济价值,结合某双曲拱桥维修改造的实际案例,阐述了桥梁维修改造和保护利用的思路及原则,介绍了景观提升、维修加固的技术要点,探索这一民族特色桥型资源保护和利用的思路。

关键词:桥梁;双曲拱;维修改造;景观提升;保护利用

中图分类号: U445.6

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)09-0197-04

1 概 况

某双曲拱桥于 1968 年建成,上部结构为 11 × 20 m 钢筋混凝土双曲拱,矢跨比 1/4,桥梁全长 262.4 m;桥面宽 8 m(1 m 人行道 + 6 m 行车道 + 1 m 人行道),采用钢筋混凝土桥面铺装,两侧为钢筋混

凝土栏杆;下部结构为重力式墩台、扩大基础。图 1 为全桥立面布置图。该桥在 2004 年以前是通往邻县必经之路上的一座桥梁,随着县域的发展,区域路网结构相应进行了调整,该桥的车行功能已被取代弱化,且该桥建设年代久远、技术标准低、承载力有限,加之病害问题等因素,该桥面临保留与拆除的抉择。

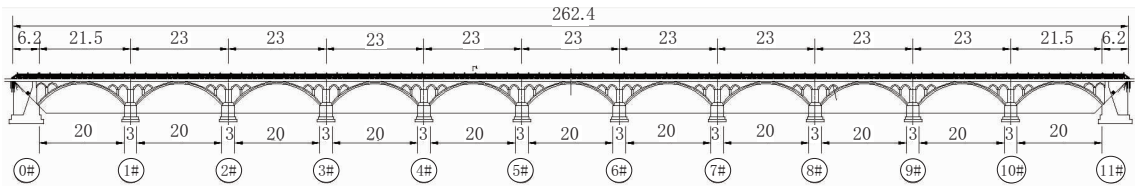


图 1 全桥立面布置图(单位:m)

考虑到该桥在周边地区属规模最大、保护最完整的双曲拱桥,且现状桥梁邻近当地旅游景区,为了充分利用旧桥价值,发挥其“余热”,综合权衡后选择对其保护利用。

本着弱化交通功能、强化休闲定位的原则,降低其使用荷载标准,并适度开发旅游功能。对该桥病害先进行维修,再增设桥面景观廊道、凉亭等建筑,将其改造为人行桥,使这一具有典型中国传统文化元素的双曲拱桥桥型在当地得以保留和延续。通过对该桥旅游功能的开发,服务当地经济、文化旅游事业的发展。该工程的成功建设,为保护利用双曲拱桥提供了新思路。

2 桥梁现状

为保证现状桥梁维修改造的工程质量,在工程设计前期即对现状桥梁进行了详细的实地调查,查阅了管养单位的定期巡检记录,并按要求对现状桥梁技术状况、承载能力进行了检测、评定^[1],全面掌握了现状桥梁的病害情况与技术状况,为后续工作的开展提供了可靠的依据。

现状桥梁存在的病害问题主要有:主拱圈渗水,钢筋锈蚀、破损。拱波共出现 16 条纵向裂缝,其中 4 条纵向裂缝贯通,裂缝最大宽度为 1.9 mm(超限),裂缝两侧均有不同程度渗水现象。拱上结构渗水泛白、勾缝脱落、径向裂缝、竖向裂缝、填料开裂。桥墩裂缝、勾缝脱落,10#墩基础有轻微腐蚀现象,个别部位表面磨损,粗骨料显露;桥台混凝土碳化、腐蚀,

收稿日期: 2024-01-22

作者简介: 王强(1991—),男,学士,工程师,主要从事土木工程桥涵设计工作。

有砌体缺陷;墩台基础总体技术状况良好。伸缩缝内杂物堵塞严重,人行道护栏有破损和裂缝,桥梁防排水系统中泄水管、引水槽有缺陷,照明设施缺失。

上述病害情况存在一定的安全隐患,严重影响车辆的通行安全。该桥上部结构技术状况评定为4类,下部结构评定为2类,桥面系评定为3类,按规范^[2]规定,该桥梁总体技术状况评定等级为4类。4类桥梁应修复养护、加固或改造,及时进行交通管制,必要时封闭交通^[3],故该桥在改造前及时进行了限行限载。现状桥梁仍具有一定的承载能力及使用功能,故根据检测情况对桥梁进行全面的耐久性养护维修及加固处理,使现有结构在维修后能满足规范和正常运营的要求。

3 维修改造和保护利用的思路及原则

该工程老桥原为车行桥,建设年代久远、荷载标准低、设计资料缺失,且病害较多,桥梁总体技术状况评级不理想。因车行荷载吨位较大,如作为车行桥继续使用,现状结构处于超负荷状态,车辆的冲击震动作用将导致主受力构件病害的进一步加重和发展,严重影响通行安全,桥梁的使用寿命也将大为缩短。另外,如果不作保护修缮而将其直接报废拆除,则又会造成严重浪费。

考虑到桥位周边路网布局已发生大的调整,该桥的交通功能已被县城内其他桥梁代替,但该桥又是区域内现存为数不多的大规模多跨双曲拱桥,因此可以结合工程实际情况降低其使用标准,将其开发改造为荷载标准及震动冲击作用均相对较小的人行桥。

在该桥改造过程中, 根据桥梁现状情况提出特定的修缮方案, 遵循保护性、适度性的开发原则, 同时结合桥梁区位特点, 在提升桥梁的历史内涵、文化内涵上做文章。主体改造方案考虑先对病害桥梁进行维修加固处理, 再在桥面上修建明清风格的景观廊亭, 将现状桥梁改造为人行桥, 使之与周边景区整体风格融为一体, 成功地当地保留了一处历史建筑, 充分利用了旧桥的价值。

在该桥的维修改造中,需要在桥面上增设景观廊亭,因此要先结合桥梁技术状况评定及承载能力鉴定情况,确认经过维修加固能满足结构安全或正常使用要求,始终把桥梁的结构安全放在第一位,把握好结构安全与经济效益、社会效益间的平衡点。

4 景观改造提升要点

该工程将现状桥梁改造为人行桥,整体拆除原桥两侧各 1 m 宽的人行道板,将原桥面改造为:0.3 m (栏杆)+7.4 m (人行道)+0.3 m (栏杆)=8 m。同时,在 7.4 m 桥面上设置景观凉亭、廊道、牌坊等仿古建筑,并配合景观照明对桥梁进行美化装饰。

(1) 增建构筑物布置

在桥面上沿桥跨中心对称布置三楼四柱牌坊、钢结构框架穿廊、重檐四角亭及卷棚穿廊梁。其中,牌坊 2 座(分别位于 1#、10# 墩墩顶)、框架穿廊 2 座(分别位于 1#~4# 墩之间、7#~10# 墩之间)、重檐四角亭 2 座(分别位于 4#、7# 墩墩顶)、卷棚穿廊 1 座(位于 4#~7# 墩之间),具体见图 2。

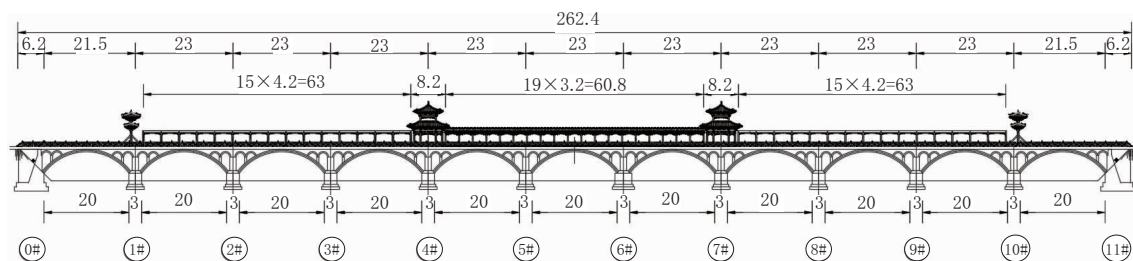


图 2 全桥改造方案立面布置图(单位:m)

牌坊、廊道、凉亭均横桥向居中于桥面布置,立柱横桥向间距均按 3.6 m 设计,可同时提供一条应急用的 小客车通行车道。重檐四角亭攒尖顶,最高处 9.79 m;卷棚穿廊卷棚顶,最高处 4.15 m;框架穿廊无顶,最高处 3.70 m。图 3 为改造方案立面图。

(2)增建构筑物材料选择

为降低施工难度,并有效解决木柱根部受水侵

蚀及后期表面油漆起皮脱落的通病,同时为方便后期维护管理,该工程的卷棚长廊、重檐四角亭、三楼四柱牌坊、框架穿廊立柱均采用了应用效果更佳的烤漆钢管结构。结合受力分析确定立柱结构尺寸及柱内混凝土灌注情况(见表1)。

卷棚长廊、重檐四角亭、三楼四柱牌坊除立柱材料外,其余上部主体均为木结构;框架穿廊均为单层

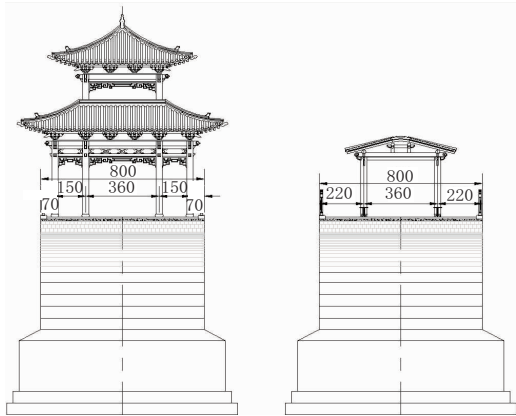


图 3 凉亭及卷棚穿廊横断面布置图(单位:cm)

表 1 立柱结构尺寸及柱内混凝土灌注一览表

构筑物	立柱 直径/mm	立柱 壁厚/mm	立柱内混凝土灌注情况
重檐四角亭	325	3	满灌 C35 混凝土
卷棚廊道	325	3	满灌 C35 混凝土
框架廊道	325	3	—
三楼四柱牌	530	9	底部 1 m 范围内灌注 C35 混凝土
牌坊斜撑	250	4	—

钢结构,框架廊道顶部设纵横向方钢梁。

(3)增建构筑物基础

老桥桥面结构为厚 20 cm 并配有双层钢筋网片的 C30 混凝土,网片间距均为 10 cm。其中:上层钢筋网横桥向为 $\Phi 20$ 钢筋,顺桥向为 $\Phi 16$ 钢筋;下层钢筋网纵横向均为 $\Phi 12$ 钢筋;上下层钢筋网竖向间距 10 cm。20 cm C30 混凝土桥面下为砂卵石拱顶填料,现状桥面结构层距离腹拱顶净距最小仅 65 cm。

桥面新增建筑物均采用了钢管柱,桥面上钢管柱数量较多,如何将钢管柱可靠锚固于老桥桥面上需要着重研究。因现状桥面结构状况良好,如果大面积凿除现有钢筋混凝土桥面再设置钢管柱基础,会破坏原桥面结构层的整体性,并且施工过程中会对桥梁主体结构及安全性造成很大影响。因此,结合实际情况,仅在立柱对应位置按基础尺寸凿开原桥桥面结构,并将对应位置处拱顶填料清掏后灌注独立基础混凝土,要求所有立柱基础钢筋与凿开的桥面板外露钢筋焊接固定,使之与桥面板结合,整体受力。

每个重檐四角亭立柱共设 4 个 $3.55\text{ m} \times 2.525\text{ m} \times 0.6\text{ m}$ 基础(每 4 个立柱共用 1 个基础,共 16 个立柱);卷棚每个立柱设置一个 $0.65\text{ m} \times 0.65\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ 基础;廊道每个立柱设置一个 $0.65\text{ m} \times 0.65\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ 基础;每个牌坊设置两个 $3.05\text{ m} \times 1.7\text{ m} \times 0.6\text{ m}$ 立柱基础(每 2 个立柱共用 1 个基础,共 4 个立柱)。基

础顶面均与现状桥面结构顶面齐平,并且基础内根据受力情况预埋锚固钢柱的地脚螺栓,具体见图 4。



图 4 基础施工实景

(4)涂装材料

因该桥已历经 50 余年风雨,桥身已显沧桑,为了使桥梁展现新风采,采用合成树脂乳液砂壁状涂料对拱桥侧面进行涂装,以达到美观效果。

(5)护栏

为减轻自重,栏杆采用风格与廊亭相近的 3 mm 壁厚铝合金仿古护栏。

(6)荷载试验

结合桥梁总体方案,桥梁增加的恒载主要为桥亭、廊道、牌坊等位于桥面以上的结构自重,改造后的人群荷载为 3.5 kN/m^2 。

因老桥使用年限较长,受病害、混凝土碳化等影响,难以通过计算模型准确模拟掌握其受力情况。为保证桥梁结构安全,在工程建设前先按照改造后的标准及新增桥面构筑物的实际荷载进行桥梁荷载试验。试验过程严格按照设计的加载程序进行,指挥人员准确掌握各方面情况并对加载进行控制,荷载由小到大逐渐增加,随时做好停止加载和卸载的准备。如实测值异常则暂停加载,待查明原因并采取相关措施后再决定是否继续加载。为保证试验过程中桥梁安全,出现下列情况应终止加载:a.控制测点应变值达到或超过按规范安全条件理论计算的控制应变值时;b.控制测点变位(或挠度)超过规范允许值时;c.加载使结构产生的裂缝宽度超过允许值,对结构使用寿命造成较大影响时;d.加载时沿跨长方向的实测挠度曲线分布规律与计算值相差过大或实测挠度超过计算值过多时;e.发生其他损坏,影响桥梁承载力或正常使用时。

最终的试验结果比较理想:试验荷载作用下,试验桥跨测试截面实测挠度均小于计算值,实测相对残余变形小于检测规范限值,表明测试截面的结构变形正常,且结构处于弹性工作状态;试验荷载作用下,试验桥跨测试截面实测应力均小于计算值,实测相对残余应变小于检测规范限值,表明测试截面的

结构受力状态正常,且结构处于弹性工作状态;在整个试验加、卸载过程中,桥梁试验桥跨未发现结构开裂等异常情况。

根据检测结论,现有状况下的桥梁承载能力能满足改造为人行桥并且在桥面修建景观凉亭的荷载要求,可以保证桥梁结构安全。

5 维修加固设计要点

通过桥梁检测、方案设计及荷载试验,最终确定了改造方案,工程建设是可行的,工程建设前还须对既有病害桥梁进行维修加固处理。因原设计资料缺失,本次设计结合病害调查及检测情况,针对各种主要病害提出维修加固方案。

(1)拱波裂缝处治

该桥拱波共出现 16 条纵向裂缝,其中 4 条纵向贯通,裂缝最大宽度为 1.9 mm(超限),裂缝两侧均有不同程度渗水痕迹。因双曲拱桥横向联系的强度及刚度较弱,活载横向分布不均,各拱肋受力和变形差异较大,加速了拱波裂缝的产生。对存在的裂缝进行修补,按裂缝宽度分别处治:a.裂缝宽度 <0.15 mm 的采用环氧胶表面封闭;b.裂缝宽度 ≥ 0.15 mm 的进行化学灌浆处理。拱波裂缝处理完成后再粘贴碳纤维布对拱波进行加固。

(2)拱肋钢筋锈蚀处治

拱肋共出现 33 处单根露筋病害,对外露锈蚀钢筋进行除锈,用聚合物水泥砂浆修补混凝土剥落掉角、空洞孔洞、蜂窝麻面及露筋部位。

(3)主拱圈混凝土破损处治

上部结构主拱圈共出现 4 处混凝土破损病害,主要由于主拱圈受力较大,受渗水侵蚀风化作用,混凝土局部破损。对破损的位置应将掉块的混凝土面凿除干净,同时进行凿毛处理,并对锈蚀的钢筋进行除锈,再用聚合物水泥砂浆修补处理。对混凝土剥落露筋面积 ≥ 0.1 m²的部位,粘贴一层双向碳纤维布。

(4)腹拱圈裂缝处治

腹拱圈均出现不同程度受水侵蚀痕迹,勾缝局部开裂、脱落,腹拱圈裂缝最大宽度约 1 cm(勾缝位置)。腹拱圈主要为混凝土预制构件,因其结构整体性差,荷载作用下容易环向开裂:a.裂缝宽度 <0.15 mm 的采用环氧胶表面封闭;b.裂缝宽度 ≥ 0.15 mm 的进行化学灌浆处理。最后用 M10 砂浆对腹拱圈开裂、脱落的勾缝位置进行修复。

(5)整体加固

待主拱圈、腹拱圈病害处理完成后,再对全桥主拱圈、腹拱圈粘贴碳纤维布,进行整体加固。在基本不增加恒载的情况下,主拱圈及腹拱圈粘贴碳纤维布可以有效改善拱圈受力状态,并可以封闭和限制结构裂缝以增加结构耐久性。

(6)拱上侧墙竖向裂缝处治

拱上侧墙出现两条竖向通长裂缝,主要是拱上填料在车辆作用下产生较大土侧压力所致。采用压力灌注法对拱上侧墙竖向裂缝进行裂缝封闭。

(7)桥墩墩帽裂缝处治

该桥 3 个桥墩墩帽出现 4 条竖向裂缝,0# 台局部受水侵蚀。墩帽竖向裂缝顶端与拱波纵向裂缝相接,主要由于拱肋间不协调变形及拱脚变位,引起拱波等横向联系薄弱位置出现开裂,进而引起拱脚处墩帽出现竖向开裂,并向上、下端延伸。对桥墩墩帽竖向裂缝首先进行化学灌浆处理,再在墩帽外侧粘贴钢板进行加固。在出现竖向裂缝的墩帽两侧(横桥向方向)粘贴与墩帽等宽的厚度 5 mm 的 Q235B 钢板。对墩台勾缝脱落的用 M10 砂浆进行修复。

(8)桥面处治

桥面上部改造完工后,重新施工桥面防水,并整体更换桥面泄水孔。同时,为提升景观效果,在桥面上铺设一层 1~2 mm 厚 MMA 彩色油性防滑涂层。

6 结 语

该工程已于 2022 年年底完工。工程建设初期,针对桥梁增设古建廊亭的目标,首先进行了科学荷载试验,试验结果比较理想,检测结果表明,桥梁现有状况下,承载能力能满足改造为人行桥并在桥面增设景观凉亭的荷载要求,能保证桥梁结构的安全;其次,针对桥梁既有病害进行了维修加固处理;最后,在桥面上搭建桥廊,使得该桥十分特别,整个建筑突出明清风格,既保留了既有桥梁的历史文化价值,又提升了该桥的实用价值,取得了良好的社会效益及经济效益。工程完工后,建设单位组织第三方检测机构进行了成桥荷载试验,试验结果符合预期目标。该双曲拱桥的维修改造及保护利用,不仅是文物保护的成功案例,更是历史文化遗产双曲拱桥“活化利用”的成功探索。本工程的成功建设给同类型桥梁保护与利用提供了参考思路。

参考文献:

- [1] JTG T J22—2008,公路桥梁加固设计规范[S]
- [2] JTG/T H21—2011,公路桥梁技术状况评定标准[S]
- [3] JTG 5120—2021,公路桥涵养护规范[S]