

# 石板拱桥加固工艺的应用研究

张裕衍 王树林

广东冠粤路桥有限公司 广东 广州 511450

**摘要:**以一座全长269.45米,连续9跨等跨径的石板拱桥为研究对象,通过施工工艺的应用,探索类似桥梁的施工工艺。随着常年累月的雨水侵蚀,桥梁出现不同程度的剥蚀开裂;随着交通荷载的增大,原有桥梁已远超设计荷载。为保全桥梁的完整性,延长桥梁寿命,提高桥梁的荷载等级达到汽车荷载的等级,达到现代桥梁标准,需要采用性能更好的钢筋混凝土对桥梁进行全面的维修加固、改建与扩建。

**关键词:**多跨连续拱桥;石板拱桥;桥梁加固;桥梁改扩建

## 引言

根据2021年6月该大桥的裂缝、外观缺陷、桥梁技术状况检测报告显示,该桥综合评定等级为四类桥梁。上部结构主要病害有:9个主拱圈灰缝松散脱落,局部有明显渗水现象;12个拱上侧墙与主拱圈有开裂,腹拱圈开裂及渗水。下部结构主要病害有:墩身有磨损现象,个别部位表面磨损,粗集料显露。桥面系:桥面铺装出现大量破碎板,两侧人行道出现破损剥落现象。

因老桥周边无其他桥梁可绕行,考虑桥梁建设周期及造价等因素,宜对桥梁进行维修加固施工,以消除桥梁安全隐患,恢复桥梁通行能力。维修加固工程要求桥梁达到公路—II级设计荷载等级,桥面宽度要求由原来的9m提升至11m。按照设计要求,本桥梁的主要改造内容为:扩大基础及墩身外包,主拱圈套拱加固,桥面系拆除重建。

经过对本项目的施工组织和施工工艺的研究发现,此桥梁加固方法安全可靠,质量过关,为后续开展石板拱桥改扩建工程提供了工艺借鉴及引导。后续连续石板拱桥应根据桥梁具体情况和施工区域具体情况采用科学合理的施工措施,调整施工工艺,做好桥梁质量的控制工作,以更好地保障施工安全与施工质量。

## 1 项目概况

本大桥为1座9跨连续石板拱桥,建成于1985年,桥梁全长269.45m,桥面总宽9.0m,单跨净跨径为25m,矢跨比为1:5。桥宽组合为0.25m(护栏)+0.75m(人行道)+7m(行车道)+0.75m(人行道)+0.25m(护栏)。桥梁上部结构为等截面悬链线无铰拱,主拱两侧为规则的条石砌筑,内部为乱石堆砌。桥梁下部结构为石砌重力式墩台和明挖扩大混凝土基础,其中1#—5#墩位于河床内,其余为岸上填埋基础。桥面系为砂石拱上填料和水泥混凝土桥面铺装。桥梁设计荷载等级为汽—15级。桥

梁现状如图1所示。

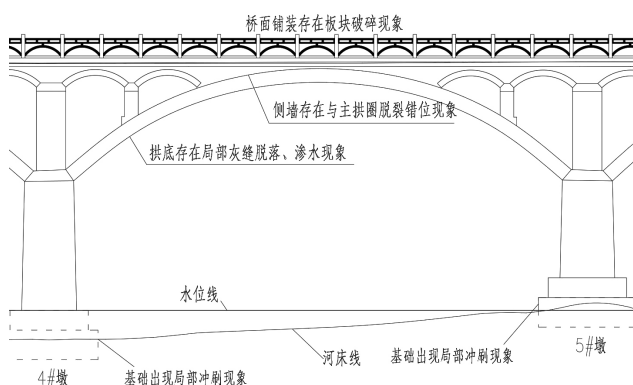


图1 桥梁现状图(单跨)

本桥线型美观,为保留桥梁自身特色,根据设计要求,本次改造内容主要包括下部构造维修措施、上部构造维修措施、桥面系维修措施等内容。

## 2 基础加固

根据设计要求,桥梁加固优先安排基础加固。根据现场水文情况,围堰施工方案为3-5#墩为沙土围堰与沙袋围堰相结合,1#墩、2#墩用沙袋对桥墩单独围堰。

**3-5#墩围堰:**利用铲车就近利用桥底的沙土,由近岸侧向河道中间逐步填筑(5#墩到3#墩方向),填筑至3#墩由于水流流速加大,沙土被冲刷,转为沙袋围堰,沙袋由铲车转运至墩身边由人工进行有序铺筑。填筑完成后利用挖机将围堰进行压实,随后对围堰进行加宽至高于水面高度1米,再压实。

**2#墩围堰:**由于这两个基础水深较深(最高水位大于2米),沙土围堰无法成型,且为保证水道的正常流水,需用沙袋进行单独围堰。沙袋布置为双层,中间填塞黏土,边填筑边压实,填筑至高于水面1米。

**基础施工:**完成围堰施工后,对围堰范围内的水进行抽除,随后利用人工对基础加固范围内的岩土进行炮

除。为避免对现基础造成破坏,经过测量放线后采用人工配合小型风炮机的办法对岩面进行垂直破除,破除至岩面往下50cm,对破除后的石块清除出现场。对桥梁基础表面进行清理,清除杂物,随后用高压水枪对表面进行清洗。准备工作完成后,进行支模浇筑。

### 3 墩身外包加固

根据墩身设计加固方案,先人工处理较大的附着物,后使用高压水枪清除基础表面剥落、疏松、腐蚀等劣化混凝土及附生在石头表面的水生物至石头表面干净。

根据设计图纸在墩身表面标志放线,定位出植筋孔位置,植筋宜在牢固、坚硬、未风化、经钻孔后不崩裂的石材上,发现与砌缝冲突时可适当调整植筋孔位置。钻孔垂直于墩身表面,初钻时要慢,待钻头稳定后再全速钻进,孔深25cm,误差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 。成孔后先检查钻孔的深度,进行试插,确保满足设计要求后用压缩空气吹出孔内积灰,确保孔内清洁、干燥。孔内清洁后进行植筋胶注入,将注胶管插入孔底,从孔底向外注入胶体,注入量控制在注满孔洞的 $2/3$ ,完成注胶后缓慢插入钢筋,插入过程应单向旋转,尽量排除孔内空气,使植入的钢筋与孔壁间的间隙均匀,直至达到规定的深度。植筋完成后,安装钢筋网片,最后进行支模浇筑,墩身浇筑分节段完成,每次不得超过2.5m。

### 4 主拱圈套拱外包加固

主拱圈作为桥梁受力的主要结构,其施工质量直接影响到桥梁的整体质量及使用寿命,是本项目的关键控制工程。

结合本项目基础加固时的围堰情况,对河道内跨(1#跨、4#跨、5#跨)采用围堰后落地满堂支架支模加固,岸上部分进行基础处理后搭设满堂支架,2#跨、3#跨采用贝雷梁满堂支架。满堂支架作为传统施工模式,工艺成熟、安全可靠。根据现场水文条件情况,并严格遵守对称均衡施工原则,全桥桥跨主拱套拱施工顺序为1#、9#桥跨 $\rightarrow$ 5#桥跨 $\rightarrow$ 4#、6#桥跨 $\rightarrow$ 2#、8#桥跨 $\rightarrow$ 3#、7#桥跨,且单跨套拱同时从拱脚至拱顶对称施工<sup>[1]</sup>。

支架搭设完成后,先对主拱圈下缘进行清理,除去大块杂物后用高压水枪进行清洗至表面洁净。结合自密实混凝土的施工工艺,在拱圈安装模板之前,采用钻机进行钻孔,套筒直径为160mm,从桥面钻孔至拱圈下缘,并预装固定相对应的混凝土塑料导管。钻孔布置为5列,拱顶加密,第1、第5列布置在腹拱拱脚处,第2、第4列布置在实腹板段距离拱圈中心线约3.6m,第3列布置在拱圈中心线处。钻孔的钻设应避免在同一直线上。第1、第5列的中间的孔应布置在腹拱拱脚靠近桥墩侧以便

于拱圈上缘的浇筑<sup>[2]</sup>。

钻孔后进行植筋及钢筋制作安装,钢筋安装报检通过后,进行模板安装。模板采用大块的厚14mm的1220mm $\times$ 2440mm的木模板,横肋采用方木加强,纵肋用双拼的48 $\times$ 3.5mm钢管加强,下方为钢管及楔木进行支撑稳定,模板安装需要注意弧度。经过现场实践发现,采用顶托拧紧的方式调整钢管弧度较为困难,本项目最终使用千斤顶顶模的方式进行弧度的调整。安装模板时,同步预埋压浆管,方便后期对新旧拱圈结合面进行压浆,保证新旧拱圈的粘结效果。

拱圈套拱砼为收缩补偿自密实混凝土,采用细骨料(粒径0~20mm)、塌落度为600mm~700mm的自密实收缩补偿商品砼。混凝土到场后应当现场检测其和易性,达到施工要求后方可浇筑。浇筑顺序应从拱脚处开始,对称浇筑,向跨中推进,浇筑采用混凝土车自卸,通过漏斗、导管输送入模,漏斗上布置一层钢筋筛网,防止过大的石块进入洞口造成堵孔。混凝土浇筑时严格控制浇筑的对称性,两边拱脚浇筑长度相差不超过2m。浇筑过程中,两侧均安排专人敲击底模引导气泡流出,并通过预留的观察口观测浇筑情况。浇筑至漫过钻孔时,用插入式振动棒插入拱圈套拱部分对洞口及周边进行振捣。砼浇筑完成后应安排专人进行养生,采用表面淋水的方法进行湿润养生。拱圈施工及等强期间全过程应该全封闭桥面,混凝土达到强度之前禁止桥面大型作业造成桥面扰动影响新浇筑混凝土与旧拱圈的结合。

### 5 桥面系拆除重建

待主拱圈套拱砼达到95%以上强度后方可进行桥面系拆除作业。凿除原桥桥面系过程中,采用小型机具配合人工进行凿除或挖除,以免对桥梁侧墙、主拱圈产生新的损伤,避免破坏台后不需重建的路面板,并及时将废料运至弃土场地。桥面系及拱上侧墙的拆除及重做严格遵守对称均衡施工原则,即桥面系与侧墙拆除时上下游侧同时从拱顶至拱脚对称施工,重做侧墙及桥面系时同时从拱脚至拱顶对称施工<sup>[1]</sup>。

桥面拆除首先拆除两侧护栏及人行道,随后在桥面上进行放样弹线,然后采用切割机将铺装层切割成块,切割过程中不可破坏拱圈。切割完成后用风枪对切割成块的铺装层进行钻孔,钻孔时向自由面略微倾斜,钻孔深度按铺装层实际厚度减1~2cm控制,间距50cm,现场可根据劈裂操作情况适当调整钻孔间距。混凝土裂开后才有小型风镐作辅助性破除,分离桥面钢筋,解除约束,最后用挖机、铲车装车运走。

清除桥面残渣后,利用高压水枪冲洗桥面,保持工

作面洁净,随后完成侧墙浇筑。侧墙完成浇筑后整修拱上填料,随后铺设垫层混凝土,等待垫层砼初凝后终凝前按设计位置植入架立筋。

桥面整体式悬浇板采用一次性全幅浇筑,为保证桥面坡度,分别于桥梁中心线位置及两侧防撞梁位置设置混凝土整平机行走轨道。待垫层混凝土终凝后,按设计布设钢筋网。混凝土采用手持震动棒进行振捣,行走轨道在浇筑完成后初凝前拆除,后续安排工人修面、收光。

## 6 施工监控

在维修加固的施工过程中,由于施工荷载的变化、新浇混凝土的重量的误差、结构弹性模量的变化、温度的变化、结构体系调整以及混凝土的收缩与徐变等都会影响结构的变形和内力,而这众多的因素在设计阶段是无法准确确定的,这些因素的改变均可能引起原有结构线形与内力的改变,影响后浇构件的施工质量,加重原桥的病害,甚至危及桥梁安全。为了使施工能按照设计意图进行,确保施工安全并最终达到设计的理想状态,通过对每个工况实施全过程的跟踪监控监测,以确保施工中结构的安全,使维修后原桥结构有所改善,结构内力满足维修设计要求,确保桥梁施工安全和后期正常运营,需对施工过程进行监控。

本桥主要对主要施工工艺在施工过程中对桥梁的沉降位移,水平位移,裂缝发育等进行监测。在施工前,选好控制点,确保控制点不受桥梁施工影响,桥梁加固全过程不会产生位移。在施工过程中,要利用全站仪、水准仪观测植筋钻孔、新增的混凝土结构是否造成桥梁位移,在每跨拱桥的墩顶、拱顶、1/4、3/4跨径处,横向布置观测点,对施工前、施工过程中、施工后进行观

测。在桥面系拆除及重建过程中,按上述监测点,监测拆除跨对其余跨及本跨拱结构的影响。

施工日常监测在每日早、中、晚各测一次,避免有温度变化造成的影响。当主拱圈浇筑时,需要对建筑前后及强度变化过程进行监测。当桥面系进行拆除时,在切除混凝土板、挖除拱上填料、拆除侧墙及后续的新建、填筑等荷载变化过程对拱圈进行观测。若发现桥梁在施工过程中有明显裂缝或较大位移,应暂停施工,报监理工程师、设计单位及业主单位。

经过全过程的监控数据分析,在施工全过程中,基础及主拱圈的扰动均小于2mm,施工安全可靠。

## 结语

桥梁改扩建项目结构复杂,由基础至桥面,涵盖桥梁全部施工内容。本文介绍的施工工艺,理论可行,技术成熟,安全可靠,基本满足对石板拱桥加固的需求,这对于保证拱桥加固安全具有非常深刻的意义,对于类似项目的技术选择具有深刻的借鉴意义。由于桥梁加固施工技术方式种类较多,所以,项目的实施应该依据项目的实际情况,在进行实际项目施工过程时,使用不同类型的施工技术。

## 参考文献

- [1]向云,何通,胡盛,涂金平.多跨连续石拱桥维修加固总体设计.公路[J]2021(6)01:198-200
- [2]刘真华.套拱加固技术在中小跨径拱桥维修中应用的探索.中国公路学会养护与管理分会第十一届学术年会论文集[J]2014:481-485
- [3]江林.套拱法在石拱桥加固中的应用实例分析.黑龙江交通科技[J].2020(12):90,92