

# 粘贴钢板加固砼桥梁的应用研究

段小健, 曾瑶瑶

(中交第二航务工程局有限公司 第五工程分公司, 湖北 武汉 430040)

**摘要:** 以靖黎(靖州—黎平)高速公路第三合同段 3# 便道上既有钢筋砼板桥加固为研究背景, 通过多种方案比选, 采用粘贴钢板条补强的加固方法, 通过设计计算确定钢板条的布置形式, 同时探究粘贴钢板条加固方法的精细化施工技术; 加固后进行桥梁静载试验, 结果表明桥梁承载能力得到提高, 可确保 3# 便道上重载车辆顺利通行。

**关键词:** 桥梁; 粘贴钢板; 砼桥梁; 加固技术

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)05-0133-05

目前桥梁加固方法主要有碳纤维材料粘贴法、增大截面加固法、粘贴钢板加固法等。粘贴碳纤维材料加固法是在原结构砼表面粘贴树脂类胶结材料, 使碳纤维材料与原结构共同承载; 增大截面加固法在原结构底部和外侧增添部分受力钢筋, 同时浇筑部分砼, 增加结构的截面面积, 使原结构与新增部分共同承载; 粘贴钢板加固法是在结构受力部位采用机械固定并结合化学粘贴(建筑结构胶或环氧树脂)的方法把钢板牢固地黏结、锚固在需补强结构的主要受力部位, 使钢板和原结构牢固地形成整体共同受力。碳纤维材料粘贴法、增大截面加固法因其施工成本高、工序复杂、施工作业面要求高, 整体经济效益不高。粘贴钢板加固法具有施工简单、技术可靠、短期加固效果较好、工艺成熟且基本不改变原结构尺寸等优点, 经济效益和社会效益好, 因而得到广泛应用。该文以靖黎(靖州—黎平)高速公路第三

合同段 3# 便道上既有钢筋砼板桥为例, 研究粘贴钢板加固钢筋砼桥梁的应用技术。

## 1 工程概况

靖黎高速公路第三合同段起于 K41+085.450, 终于 K56+967.471, 全长 15.893 km(长链 11 m)。主线 K44+300 右侧的 3# 便道因工程项目需要, 施工车辆需经过村道上的钢筋砼板桥。根据当地交通局提供的桥梁设计图纸, 该桥按照公路 II 级设计, 无法满足现有最大载重 17 m 长挂车(载重 55~65 t)和砼罐车(12 m<sup>3</sup>, 总重 55 t)通行需求。该桥长 21.3 m, 宽 6.1 m(5 m 行车道+2×0.55 m 防撞护栏); 上部结构为 2-9.1 m 正交现浇钢筋砼板桥, 板厚 45 cm, 桥面铺装 10 cm; 下部结构为重力式桥台, 基础奠基于基岩上。桥型设计布置见图 1。

经现场勘查, 该桥上部结构、下部结构、桥面系

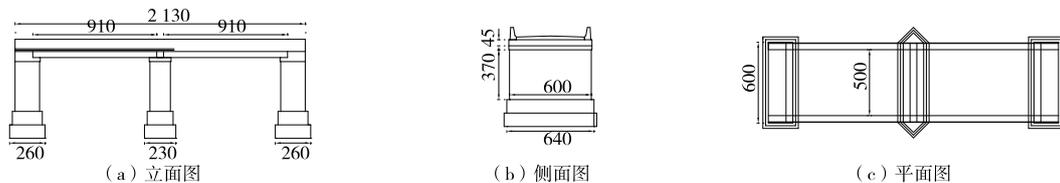


图 1 桥梁原设计布置(单位: cm)

均无裂缝、砼龟裂、剥落、露筋等病害, 总体技术状况评定等级为 1 类, 满足公路 II 级通行要求, 对其加固处理后桥梁荷载等级可满足公路 I 级要求。

## 2 加固方案优化选择

### 2.1 不同加固方案分析

(1) 新建钢栈桥。结合该项目规划的 10 条施工便道中仅有一条便道跨越既有桥梁的情况, 新建

与拆除钢栈桥预计需 50 t 履带吊 10 台班、型钢 34 t、C25 砼 47 m<sup>3</sup>, 费用 40 万元。另外, 项目施工需协调所在地区政府交通、水利、国土等部门, 协调难度较大。

(2) 埋设砼管涵。埋设砼管涵预计需要直径 2.5 m 圆管涵 30 m、片石 100 m<sup>3</sup>、碎石 100 m<sup>3</sup>、C20 砼 14 m<sup>3</sup>, 费用 26 万元。同时, 项目施工需协调属地交通、水利、国土等部门, 协调难度较大。

(3) 粘贴钢板条补强加固。采用粘贴钢板条补强加固法需高强螺栓 792 个、钢板 36 t、脚手管(12 m)30 根、10 mm 钢丝绳 120 m、PG 系列结构黏结剂 0.6 t、植筋胶 0.3 t、5 cm 厚脚手板 60 m<sup>2</sup>，预计费用约 18 万元。

## 2.2 加固方案选择

经多方案比选,确定采取对现有钢筋砼板底粘贴钢板条补强加固的方法。该工艺不需要新规划修建栈桥,不用长时间封闭上下行交通,仅需在既有桥梁桥底搭设作业平台进行加固即可满足施工通行需要,节约汽车吊、人员及型钢、调遣等费用,能安全、高效、环保、低成本地完成施工。加固后能达到规范要求的公路 I 级荷载等级要求,满足施工需要。

## 3 加固原理及设计计算

### 3.1 加固原理

根据原设计资料,该桥上部结构砼板底层采用 HRB400 直径 25 钢筋,间距 12.5 cm,共 48 根;顶层采用 HRB400 直径 14 钢筋,间距 25 cm,共 25 根;箍筋采用 HPB300 直径 10 钢筋。按照 JTG D62—2018《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》进行承载力验算,正截面抗弯承载力设计最大值大于构件承载力设计值。

根据验算结果,结合现场实际情况,拟对既有桥梁砼板的裂缝进行灌缝处治,对露筋、钢筋锈蚀部分进行除锈处理,对梁砼破损掉角、蜂窝麻面进行修补加固,然后在现浇钢筋砼板桥梁底粘贴尺寸为 7 500 mm×150 mm×15 mm、横桥向间距为 50 cm 的 Q235-B 钢板条加固,加固钢板布置见图 2。

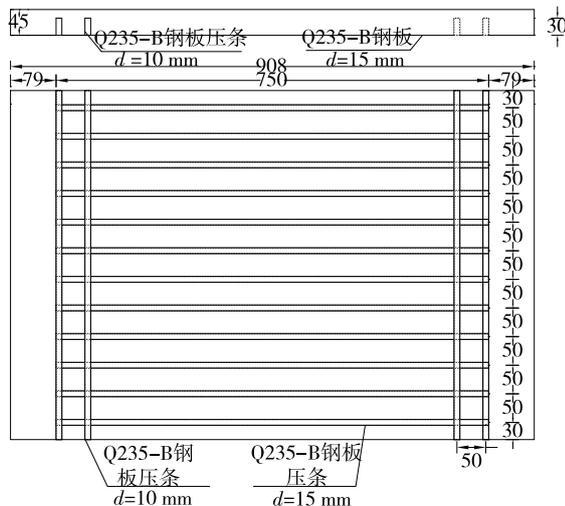


图 2 加固钢板布置示意图(单位:cm)

### 3.2 设计计算

#### 3.2.1 模型建立及计算

依据钢板条布置情况,将桥面考虑为由 12 个节点、11 个单位组成的结构。其边界条件为一侧约束 3 个方向位移,另一侧只约束  $z$  方向位移。计算模型见图 3。

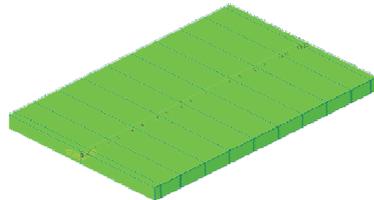


图 3 桥面模型

建模计算中考虑恒载+二期、恒载+二期+活载+温度 2 种工况及荷载组合,验算其在公路 I 级荷载作用下的持久状况承载能力极限状态,跨中最大弯矩  $M_u$  为 2 687.6 kN/m。考虑结构重要性系数  $r$  的影响,最终验算结果为  $rM_u = 1.1 \times 2 687.6 = 2 956.36$  kN/m。

#### 3.2.2 钢板加固主梁抗弯承载力计算

根据 JTG/T J22—2008《公路桥梁设计规范》,桥梁钢板条加固后正截面承载力应满足下式:

$$\gamma_0 M_d \leq f_{cd1} b x \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_{sd} A'_s \left( h_0 - a'_s \right) + E_{sp} \epsilon_{sp} A_{sp} a_s \quad (1)$$

式中: $\gamma_0$ 为桥梁结构的重要性系数; $M_d$ 为第二阶段弯矩组合设计值; $f_{cd1}$ 为原构件砼抗压强度设计值; $b$ 为原构件截面宽度; $x$ 为砼受压区高度; $h_0$ 为原构件截面有效高度; $f'_{sd}$ 为原构件纵向普通钢筋抗压强度设计值; $A'_s$ 为受压区纵向普通钢筋的截面面积; $a'_s$ 为受压区普通钢筋合力点至受压区边缘的距离; $E_{sp}$ 为加固钢板的弹性模量; $\epsilon_{sp}$ 为构件达到承载力极限状态时加固钢板的拉应变; $A_{sp}$ 为加固钢板的截面面积; $a_s$ 为受拉区普通钢筋合力点至受拉区边缘的距离。

已知梁板厚 450 mm、宽 6 000 mm,砼弹性模量为 200 GPa,钢筋弹性模量为 32.5 GPa,钢板弹性模量为 206 GPa,砼抗压强度设计值为 18.4 MPa,普通钢筋抗拉、抗压强度设计值为 400 MPa,按式(2)求得原梁砼的受压高度为 71.4 mm,原构件跨中截面抗弯承载能力为 2 698.85 kN/m。

$$f_{cd1} b x = f_{sd} A_s + E_{sp} \epsilon_{sp} A_{sp} - f'_{sd} A'_s \quad (2)$$

式中: $f_{sd}$ 为原构件纵向普通钢筋抗拉强度设计值。

钢板条加固后:

$$\epsilon_{sp} = \frac{\epsilon_{cu}(\beta h - x)}{x} - \frac{\epsilon_{c1}(h - x_1)}{x_1} \quad (3)$$

式中: $\epsilon_{cu}$ 为砼的极限压应变,砼强度等级为C50或C50以下时取0.0033; $\beta$ 为截面受压区矩形应力图高度与实际受压区高度的比值; $h$ 为受拉区新增纵向普通钢筋 $A_s$ 合力点至截面受压区边缘的距离; $\epsilon_{c1}$ 为 $M_{d1}$ (第一阶段弯矩组合设计值)作用下原构件截面上边缘的砼压应变; $x_1$ 为加固前原构件开裂截面换算截面的砼受压区高度。

$$\epsilon_{sp} = \frac{M_{d1} x_1}{E_c I_{cr}} \quad (4)$$

式中: $E_c$ 为原加固构件砼的弹性模量; $I_{cr}$ 为加固前原构件开裂截面换算截面的惯性矩。

由式(3)、式(4)求得采用钢板条加固叠合梁的受压区高度为141.54 mm,跨中截面抗弯承载能力为6 070.27 kN/m,远远大于2 956.36 kN/m,满足公路Ⅰ级要求。

## 4 钢板条加固施工

### 4.1 施工作业平台搭设

在桥梁现有护栏上以1.5 m的间距施打直径16 mm膨胀螺栓,安装直径10 mm钢丝绳至桥底施工区域。然后在桥底钢丝绳内安装横向、纵向脚手管,铺设5 cm厚木板,木板两端用8号铁丝固定。

### 4.2 灌钢区砼表面处理

依据设计图纸,在桥梁面板底部放样钢板条位置大样。用电动钢丝轮清除钢板粘贴区域砼表面的疏松物、砂浆及其他杂物,使钢板粘贴的砼区域为平整粗糙面,并用尖锤轻凿整平表面。最后用甲苯或工业丙酮擦拭经空压机吹净表面粉尘的灌钢区。

### 4.3 钻孔植埋螺杆

(1)采用钢筋砼保护层测试仪查明梁板钢筋位置,采用手孔钻机依据设计图纸在灌钢区沿粘贴钢板长度方向钻取直径18 mm、深度20 cm的盲孔(见图4)。



图4 盲孔钻芯

(2)利用甲苯或工业丙酮清洗经空压机吹净浮尘的盲孔,然后向盲孔内注入2/3孔深由专业厂家配制的改性环氧树脂胶黏剂或改性乙烯基酯类胶黏剂(见图5)。



图5 盲孔注入环氧树脂胶

(3)将全螺纹高强螺栓除油清洗干净并晾干,然后缓慢转动插入盲孔,补填植筋胶使孔口填满(见图6)。



图6 钻孔螺杆植埋

### 4.4 安装钢板条

(1)采用磨光砂轮机或钢丝刷磨机对钢板进行除锈及粗糙处理,打磨的粗糙程度越大越好,保证打磨的纹路和钢板受力方向垂直,并用脱脂棉沾丙酮将钢板表面擦拭干净(见图7)。



图7 钢板条打磨

(2)利用专业冲孔机对待灌注的钢板进行配套打孔(见图8)。

(3)将钢板固定在螺栓上,并保证钢板与砼表面的间隙在3 mm以上,以确保后期灌注胶层的厚



图8 钢板条打钻孔处理

度在 3 mm 以上(见图 9)。



图9 钢板条安装

#### 4.5 钢板条封边

将注浆管和排气管用黏结胶粘结在钢板上,布置间距为 1~2 m,注入咀及排气管采用 2 mm 镀锌钢管(见图 10)。同时,为防止螺栓头漏浆,在锚栓头上涂固态黏结胶,用抹子涂抹黏结胶封闭钢板边缘完成封边。按照专业厂家提供的固态结构胶的配置比例用低速搅拌器搅拌均匀,24 h 内用完。



图10 安装注浆管

#### 4.6 结构胶灌注

利用手摇式增压泵以 0.2~0.4 MPa 的压力将液态黏钢灌注胶从注入咀压入钢板和砣的空隙中。灌注过程中用橡皮锤敲打钢板,确认是否灌注密实。灌注工作持续到所有排气管均有胶液流出。当排气孔出现浆液后停止加压,以钢板封边胶封堵除灌浆孔以外的所有预留孔,再以 0.2 MPa 的低压力维持 10 min(见图 11)。



图11 结构胶灌注

#### 4.7 灌注钢板表面处理

(1) 采用敲击检测法或超声波检测法确认钢板粘贴固化密实效果,保证钢板的有效黏结面积不小于 95%。

(2) 清除所有注浆管、排气管,并用磨光砂轮机清除钢板表面污垢和锈斑。同时用切割机切除多余螺栓头,对外露钢板用人工涂装防腐漆,涂装厚度不小于 0.5 mm。

### 5 加固效果

靖黎高速公路第三合同段 3# 便道跨河道既有砣桥梁粘贴钢板条补强后按照公路—I 级荷载进行桥梁静载试验。在设计荷载及试验荷载作用下,确定 1 个主要内力控制截面,对应于这个内力控制截面确定 2 种静载试验工况,选用总重 550 kN 的 2 台加载车辆。同时在中跨跨中截面、边跨及支点控制截面设置挠度测点(见图 12)。

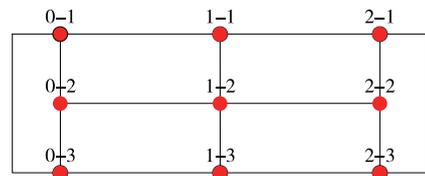


图12 挠度测点布置

加载前后仔细观察桥梁结构面,桥面未出现明显裂纹。静载试验结果显示,对桥梁进行粘贴钢板加固后,极限承载力下跨中弯矩为 4 842.1 kN/m,较原桥梁理论计算跨中弯矩提高 2 154.5 kN/m。

用精密水准仪测定桥梁控制截面的挠度,均小于理论值(见图 13)。卸载后,残余变形小,结构基本处于弹性工作状态。

### 6 结语

采用粘贴钢板条补强方法加固后,靖黎高速公

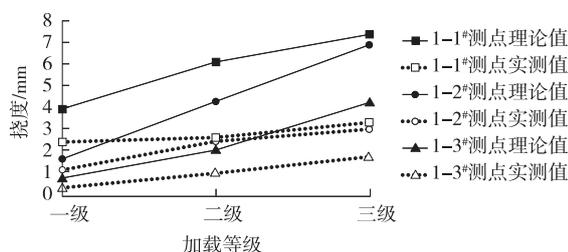


图 13 挠度测量理论值与实测值对比

路第三合同段 3# 便道跨河道既有砼桥梁已通行使用超过半年,效果如下:1) 梁板未出现任何结构裂缝、破碎现象,保证了桥梁安全和行车安全。2) 采用粘贴钢板条补强加固方法未改变桥梁的净空,也未增加其他结构物,保证了河道行洪安全。3) 采用粘贴钢板条补强加固方法施工便捷、环保,同时没有占用土地,节约造价、协调难度小。4) 加固后桥梁通行能力提高,可确保 3# 便道上重载车辆顺利通行,且方便了当地村民运输粮食和木材。

#### 参考文献:

- [1] 周小波. 小桥加固方案比选中的思考[J]. 建筑工程技术与设计, 2016(33): 1002-1003.
- [2] 李树青. 桥梁粘贴钢板加固施工技术[J]. 现代物业(上旬刊), 2012(3): 62-63.
- [3] 张建明, 汪文清, 李德月. 粘贴钢板法加固混凝土桥梁技术[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2007(9): 106-108.
- [4] 金天峰, 陈朝晖. 粘贴钢板在旧桥加固中的应用[J]. 科技信息, 2010(9): 358.
- [5] 魏利强. 浅析桥梁加固粘贴钢板施工的质量控制[J]. 山西建筑, 2010, 36(20): 331-332.
- [6] 中交第一公路勘察设计院有限公司. 公路桥梁加固设计规范: JTG/T J22-2008[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [7] 四川省住房和城乡建设厅. 混凝土结构加固设计规范: GB 50367-2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [8] 刘锐生. 基于模糊层次分析法的服役桥梁维修方案评价[J]. 公路与汽运, 2021(1): 133-136.
- [9] 杨杰平. 某现浇连续箱梁桥裂缝原因及加固技术分析[J]. 公路与汽运, 2020(1): 118-120.
- [10] 袁友忠. 钢筋砼双曲拱桥病害分析及粘贴钢板加固[J]. 公路与汽运, 2016(6): 232-234.
- [11] 胡玲, 卢亦焱, 李杉, 等. 基于混凝土残余应变的 CFRP 布与钢板复合加固 RC 梁疲劳损伤研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2019, 27(1): 156-166.
- [12] 王敏容. 粘贴钢板法在混凝土桥梁加固中的应用[C]. 中国老教授协会. 第八届建筑物改造与病害处理学术研讨会论文集, 2009: 179-183.
- [13] 袁卓亚, 冯威, 王志强, 等. 钢板-混凝土组合加固技术在桥梁加固中的应用[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2011(6): 31-35.
- [14] 张涛, 李纪元, 邱焕荣. 粘贴钢板在桥梁加固中的应用[J]. 交通标准化, 2007(7): 60-62.
- [15] 杨转运, 刘会, 吴汉辉. 粘贴钢板法在桥梁加固中的应用[J]. 施工技术, 2005, 34(9): 7-10.

收稿日期: 2021-05-27

## 《公路与汽运》杂志 2022 年征订启事

《公路与汽运》杂志由长沙理工大学主办,是一份介绍汽车、道路、桥梁等公路交通领域科技信息的面向国内外公开发行的技术类科技期刊。国际标准连续出版物号:ISSN 1671-2668,国内统一连续出版物号:CN 43-1362/U。为首届(2006年)中国高校特色科技期刊、湖南省一级期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊、中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊,被中国期刊全文数据库及中文科技期刊数据库全文收录、万方数据-数字化期刊群全文上网,并荣获首届《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊奖。

本刊立足公路交通系统,报道国内外汽车与公路交通领域的最新研究成果,荟萃汽车运用与维修技术,传播公路交通安全知识,介绍公路运输行业的新技术与管理经验,刊登公路交通工程的新工艺、新技术、新材料。2022年拟设主要栏目:汽车工程;交通规划与管理;运输与物流;道路工程;桥隧工程;工程经济与管理。

本刊为双月刊,逢单月 25 日出版。发行代号:国内 42-95,国外 DK43002。每期定价 15 元,全年 90 元。读者可在当地邮局订阅,也可直接向本刊编辑部索取订单订阅,订阅款请汇至本刊编辑部或银行账号。

通信地址:长沙理工大学金盆岭校区 8 号信箱 邮编:410076 联系电话:0731-83528400

开户行:长沙市农行高云支行 户名:长沙理工大学 账号:18051401040000158