

旧桥加固改造中碳纤维布加固技术应用分析

鲁 涛 束文阳

安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司 安徽 合肥 230088

【摘 要】：针对早期干线混凝土旧桥设计标准偏低、长期荷载作用下病害多发、承载力衰减的工程问题，本文系统梳理了旧桥典型结构病害特征，总结了梁体裂缝、墩柱风化、受力体系失衡等递进式损伤机理。对比增大截面、粘钢等传统加固技术，阐明碳纤维布加固自重轻、强度高、耐腐蚀、施工干扰小的综合优势。依托标准化施工流程，详述基面处理、胶料配制、碳布铺贴及养护检测等关键工艺，明确各工序质量控制要点。结合实体工程应用效果可知，碳纤维布加固可有效提升旧桥刚度与承载力，抑制病害发展、降低运维成本，综合效益突出，可为同类公路旧桥提质改造提供可靠的技术参考。

【关键词】：旧桥改造；结构病害；碳纤维布；加固技术；质量控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.027

1 引言

国内多数早年修建的干线混凝土公路桥梁，设计荷载标准偏低、服役周期较长，车辆反复荷载、温湿度循环及环境介质的长期侵蚀，致使桥体出现梁体裂隙、墩柱老化、承载力下降等结构损伤。各类损伤不断累积相互作用，桥梁结构安全与耐久性能持续衰减，难以满足当下道路交通通行需求。传统桥梁加固工艺存在施工周期长、运维成本高、占用桥梁净空等问题，无法适配旧桥提质改造建设需求。碳纤维布依托良好的材料属性与施工优势，广泛应用于旧桥结构加固工作。文章结合旧桥损伤特征、碳纤维布加固技术优势、施工流程及工程应用效果展开分析，为旧桥加固工程实施提供理论与技术参考。

2 旧桥病害特征及碳纤维布加固技术优势

2.1 旧桥典型病害及结构受损特征

早期干线混凝土旧桥设计荷载标准偏低，长期经受重载疲劳、温湿度交替与介质腐蚀，形成逐级发展的结构损伤。上部T梁、空心板跨中受拉区出现横向弯裂，腹板滋生斜剪裂缝，介质侵入引发钢筋锈蚀、保护层剥落，梁体产生不可逆下挠，结构刚度持续衰减^[1]。盖梁频繁萌生受力裂纹，横隔板破损弱化桥梁横向整体性，荷载集中加重单片梁结构损坏。下部墩柱表层风化剥落，箍筋约束效果减弱，桥面渗水、支座脱空扰乱结构受力平衡。多数旧桥图纸资料残缺，基础冲刷沉降削弱承载能力，各类隐蔽病害持续堆积，桥梁承载力难以适配现有交通，损伤叠加持续发展形成病害循环，压缩桥梁安全服役时长。

2.2 碳纤维布加固技术相较于传统技术的优势

相较于多种传统加固工艺，碳纤维布厚度0.11~0.43mm、自重极小，不新增桥梁恒载，不占用通行净空，无需校核基础应力状态。材料抗拉强度可达3550MPa，具备线弹性受力特征，耐腐蚀、抗疲劳，后期无需防腐养护。粘钢工艺适用环境受限，

长期使用易锈蚀，后期养护投入较高。增大截面工艺作业工序繁琐，养护耗时久，会缩减桥梁通行空间。碳布施工机具简便，可实行夜间半幅施工，道路封闭时长较短，对交通运行影响较小。材料可贴合各类构件表面粘贴，修复多种结构病害，适配不同构件补强需求。同等加固效果下，碳布施工耗时更少、造价更低，施工效率与耐久性能兼备，整体应用效果优于传统工艺（见图1）。

碳纤维布加固	粘钢工艺	增大截面工艺
薄而轻、强度高	钢材自重较大	混凝土工序复杂
不新增恒载、不占净空	占用空间更明显	截面增大影响通行
耐腐蚀抗疲劳、无需防腐	长期易锈蚀 现场限制较多	养护周期长 施工耗时久
机具简便、夜间施工	养护投入较高	养护等待时间长
后期投入低	受环境影响	空间约束明显
贴合复杂构件	同等加固效果下，碳布综合效益更优	

图1 碳纤维布加固技术相较于传统技术的优势

3 旧桥加固改造中碳纤维布加固技术施工工艺

3.1 碳纤维布加固标准化施工流程

碳纤维布旧桥加固拥有规范完整的施工流程，各工序紧密衔接，施工质量可稳定管控^[2]。施工前期，工作人员依托桥梁检测结果划定加固区域，核查碳布、底胶、找平胶与浸渍胶等材料参数，保证材料符合施工标准，搭设临时安全防护设施。施工基面进行打磨处理，清除混凝土表层浮浆、碳化层、油污与杂物，构件转角打磨成圆弧形态，规避弯折应力造成的材料损伤，吹扫粉尘并使用丙酮清理基面。构件细微裂缝实施注浆修补，表面缺陷用找平胶填补，基面干燥后均匀涂刷底胶。底胶初凝后，按规范比例调配浸渍胶，裁切碳布并保持材料完好无污染。基面涂胶后铺贴碳布，沿纤维方向滚压排出气泡，多层粘贴待上层胶液初凝后施工。施工完成后进行常温固化，养

护完涂刷防护涂料抵抗紫外线，通过空鼓与粘结强度检测，保障碳布和原混凝土结构协同受力。

3.2 施工关键工序质量控制要点

施工工序的质量管控决定碳纤维布加固成效，可规避桥梁结构后续产生各类病害，施工操作需要贴合行业规范标准。基面处理是施工核心环节，打磨后的混凝土基面平整度误差维持在 2mm/m 以内，清理干净表层粉尘、油污与松散骨料，基材含水率检测数值控制在 15% 以下，混凝土基材强度满足标准方可开展粘贴施工，构件转角圆弧打磨尺寸、基面清洁程度不达标均需重新整改施工。胶料调配依照标准重量配比低速搅拌，限定单次配胶用量，胶液需在可用时效内消耗完毕，失效凝胶直接作废，不得兑水稀释重复利用。碳布铺贴采用单向滚压方式，防止纤维偏移、褶皱变形，把控碳布搭接长度与锚固区胶层厚度，避开雨天、高湿、大风等恶劣天气施工，户外作业配套搭设防雨遮阳防护设施。加固完成后的 72 小时养护阶段，加固面层禁止人员踩踏与车辆碾压。养护结束后开展质量抽检，粘结强度不得低于 1.5MPa，单处空鼓面积不超出单块碳布总面积的 5%，超标区域切除后重新施工。户外桥梁表面涂刷环氧防护层减缓材料老化，施工与检测资料完整留存，全流程管控可消除碳布剥离、粘结失效等施工隐患。

4 碳纤维布加固技术在旧桥改造中的实际应用与效果

4.1 碳纤维布技术在旧桥主体构件中的应用场景

碳布能够针对性补强旧桥各类核心受力构件，适用场景涵盖桥梁上部与下部结构。上部简支 T 梁、空心板跨中位置粘贴多层碳布，可提升构件抗弯能力，抑制横向弯曲裂缝发展^[1]。腹板布设 U 型碳布箍带可限制斜剪裂缝扩张，盖梁正负弯矩区域局部贴布，能够替换传统易锈蚀加固钢板。下部墩柱塑性铰区域全包碳布，环向约束作用可改善结构抗震延性。桥面各类裂缝先完成注浆修补，表层薄贴碳布可隔绝外界腐蚀介质。旧桥拓宽改造阶段，碳布轻质特性不会增加桥基荷载，可配合横隔板增设作业提升桥梁横向整体受力性能。该技术适配资料缺失、净空受限、病害类型复杂的中小跨径公路旧桥，可一次性处置结构弯曲、剪切、耐久性能不足等多重缺陷（见图 2）。

参考文献：

- [1] 韩平.桥梁拓宽改造中的旧桥加固设计案例分析[J].黑龙江交通科技,2025,48(4):81-84+89.
- [2] 卢晓琪,顾无敌,苗建宝,等.钢混组合结构在危桥改造工程中的适应性[J].黑龙江科学,2024,15(22):74-77.
- [3] 吴发展.市政桥梁无盖梁桩柱式一体化结构施工技术[J].内蒙古科技与经济,2023,(8):99-101.

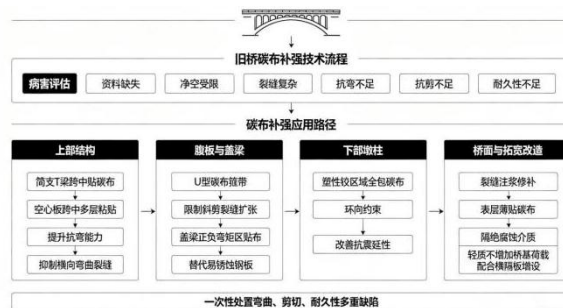


图 2 碳纤维布技术在旧桥主体构件中的应用场景

4.2 旧桥加固后的结构性能与应用成效分析

服役多年的干线 T 梁桥经碳布加固后开展静载试验，主梁跨中挠度下降 42%，既有裂缝收缩六成，结构承载力提升 28%。挠度与应变校验系数满足规范标准，残余变形处于可控范围，结构具备良好的弹性恢复性能。碳布封闭表层可隔绝外界腐蚀介质，减缓钢筋锈蚀速度，相比粘钢加固模式有效降低全周期运维开销。施工采用夜间半幅封闭的作业模式，整体工期优于增大截面工艺，降低道路通行受阻带来的交通损耗。五年长期监测数据表明，碳布贴合状态完好，无空鼓、剥离现象，原有结构病害未再次出现，桥梁整体刚度保持稳定，规避预应力松弛、结构增重沉降等常见问题。桥梁改造相比整体重建可节约七成投资成本，无需大面积开挖与完全断交施工，平衡通行条件、结构安全与耐久性能，适配国内存量老旧公路桥梁的提质改造场景。

5 结语

本文依托混凝土旧桥典型病害特征与结构损伤演变规律，比对碳纤维布加固技术与传统加固工艺的应用差异，整理出可落地的标准化施工流程及精细化质量管控体系。工程实践能够证实，碳纤维布加固技术可以修复旧桥各类结构损伤，提升桥梁整体承载能力与结构刚度，遏制结构病害持续蔓延。技术施工效率优异，对道路交通影响程度低，长期使用稳定性强且经济成本合理，能够适配中小跨径老旧公路桥梁的改造工作，化解传统加固方式与桥梁整体重建存在的各类短板。施工工艺可继续优化完善，助力这项技术在旧桥提质改造项目中实现大范围普及与应用。