

# 公路桥梁加固技术应用与效果评价

周冰倩

济宁鲁南公路工程公司 山东 济宁 272000

**摘要:** 公路桥梁加固技术对保障桥梁安全运营意义重大。本文详细阐述加固技术应用基础,涵盖损伤类型、技术选择依据及基本要求;介绍常见加固技术及应用方式,包括主体与辅助结构加固;说明加固流程及控制要点;构建效果评价方法体系,明确核心维度、方法与实施流程。通过系统研究,为公路桥梁加固工程提供全面技术指导与实践参考。

**关键词:** 公路桥梁;加固技术;应用流程;效果评价;结构性能

引言:公路桥梁作为交通网络关键节点,其安全状况直接影响区域经济发展与社会稳定。随着服役年限增长,桥梁结构损伤问题日益凸显,加固需求愈发迫切。当前,桥梁加固技术发展迅速,但实际应用中仍存在技术选择不当、施工控制不严、效果评价缺失等问题。深入研究公路桥梁加固技术应用与效果评价,有助于提升加固工程质量,延长桥梁使用寿命,保障交通运输安全,对推动桥梁养护技术进步具有重要现实意义。

## 1 公路桥梁加固技术应用基础

### 1.1 加固技术应用前提

#### 1.1.1 桥梁结构损伤类型及表现

公路桥梁加固技术的科学应用需建立在对桥梁结构损伤全面认知的基础上。桥梁结构损伤类型复杂多样,涵盖材料层面与结构层面的双重退化。混凝土材料损伤常表现为表面剥落、内部孔隙率增大及骨料-水泥界面过渡区弱化,此类损伤多由碳化作用、氯离子侵蚀或冻融循环引发。钢筋损伤则集中体现为锈蚀膨胀导致的混凝土开裂,锈蚀产物体积膨胀可达到原有钢筋体积的数倍,进而引发保护层剥落<sup>[1]</sup>。结构层面损伤涉及整体受力性能劣化,如梁体挠度异常增大、节点连接失效或基础沉降不均,这些损伤往往由长期超载、地基不均匀沉降或地震等动力荷载作用导致。

#### 1.1.2 加固技术选择的依据

加固技术选择需遵循“损伤机制-技术原理”匹配原则。针对混凝土碳化损伤,宜采用具有碱度补偿功能的修补材料,通过中和酸性环境抑制钢筋锈蚀进程。对于结构性裂缝,需根据裂缝宽度与发展趋势区分处理:静止裂缝可采用渗透结晶型材料封闭,活动裂缝则需预留变形空间并采用弹性密封材料。当桥梁承载能力不足时,技术选择应兼顾结构受力体系重构需求,简支梁桥可通过增设体外预应力索实现体系转换,连续梁桥则需

重点加强中支座区域以改善内力分布。

### 1.2 加固技术应用的基本要求

#### 1.2.1 施工适配性要求

施工适配性要求贯穿加固工程全周期。材料性能与施工工艺的匹配性直接影响加固效果,如粘贴钢板加固需确保结构胶固化温度与施工环境温度相适应,低温环境下应选用改性环氧树脂并采取加热养护措施。结构胶的固化温度一般在5℃-35℃之间,当环境温度低于5℃时,需采用加热养护,使温度保持在15℃-25℃,养护时间不少于48小时。施工设备选型需考虑桥梁结构空间限制,城市高架桥加固宜采用模块化升降平台替代传统脚手架,以减少对交通的干扰。施工工序安排应遵循“先基础后上部、先关键后一般”的原则,对于具有联动效应的结构部件,需制定专项施工顺序方案避免二次损伤。

#### 1.2.2 结构兼容性要求

结构兼容性要求强调新旧结构的协同工作。材料相容性方面,加固材料弹性模量宜与原结构材料接近,避免因刚度差异导致应力集中。当采用碳纤维复合材料加固时,需通过表面处理技术增强混凝土基面粗糙度,确保纤维布与基材之间有效粘结。力学相容性要求加固部分与原结构形成整体受力体系,体外预应力加固需合理设置转向块以控制预应力筋线形,防止出现局部应力超限。热工相容性方面,不同材料线膨胀系数的差异需通过构造措施消解,如钢-混凝土组合加固界面应设置剪力键并预留伸缩间隙。

#### 1.2.3 使用适配性要求

使用适配性要求关注加固后桥梁的服务功能延续。交通适应性方面,加固设计需满足现行交通荷载标准,对于预期流量增长的桥梁应预留结构强度富余度。环境适应性要求加固措施适应桥梁所处气候条件,潮湿环境需采用憎水性材料,盐雾环境应加强防腐涂层厚度。耐

久性设计需考虑材料自身老化规律,通过材料改性或构造优化延长加固体系使用寿命,如采用耐候钢替代普通钢材可显著提升节点耐久性。

## 2 公路桥梁常见加固技术及应用方式

### 2.1 主体结构加固技术

#### 2.1.1 混凝土结构加固技术及应用方式

混凝土结构加固需针对损伤机制选择技术路径。对于承载能力不足的梁体,增大截面法通过增设钢筋并浇筑新混凝土实现截面扩增,新增部分与原结构通过植筋或化学粘结形成整体,设计时需验算新旧混凝土结合面抗剪性能<sup>[2]</sup>。当空间受限时,外包钢加固法采用角钢或钢板包裹混凝土构件,通过缀板焊接形成封闭钢套筒,既提升构件抗弯刚度又增强抗剪能力,适用于城市高架桥墩柱加固。纤维增强复合材料加固技术利用碳纤维布或芳纶纤维板的高强特性,通过环氧树脂粘结于混凝土表面,施工时需控制纤维方向与主应力方向一致,对曲线构件需采用预成型纤维板适应线形变化。

#### 2.1.2 钢结构加固技术及应用方式

钢结构加固重点解决疲劳损伤与局部失稳问题。焊接加固通过熔敷金属填补缺损部位,需对焊缝进行无损检测确保质量,适用于非应力集中区域的修复。螺栓连接加固采用高强螺栓增设补强板,施工时需控制螺栓预紧力并避免偏心受载,常用于钢梁腹板加劲肋加固。粘贴钢板加固利用结构胶将钢板粘结于钢构件表面,形成复合受力体系,设计时需考虑钢板与原构件的协同变形,对动力荷载作用下的结构需进行疲劳验算。

#### 2.1.3 砌体结构加固技术及应用方式

砌体结构加固需兼顾整体性与局部稳定性。增设构造柱法通过在墙体转角或交接处浇筑混凝土柱,增强墙体空间刚度,柱内钢筋需与原墙体可靠拉结。压力灌浆加固利用水泥基或化学浆液填充砌体裂缝,施工时需控制灌浆压力避免二次开裂,适用于非活动裂缝修复。面层加固法采用钢筋网水泥砂浆或喷射混凝土覆盖原墙体,形成复合受力面层,设计时需验算面层与砌体的粘结抗剪强度。

### 2.2 辅助结构加固技术

#### 2.2.1 基础及下部结构加固技术及应用方式

基础及下部结构加固需适应地质条件变化。扩大基础加固通过增设混凝土底板扩大基底面积,施工时需清除基底软弱层并确保新旧基础共同受力,适用于浅基础沉降处理。桩基加固采用高压旋喷桩或微型桩在原桩侧增设桩体,形成群桩效应,设计时需考虑桩间土的共同作用,对软土地基需进行沉降复核。桥台加固针对台背

填土沉降问题,采用注浆加固填土或增设支撑梁减少台后土压力,施工时需控制注浆压力避免桥台位移。

#### 2.2.2 桥面及附属结构加固技术及应用方式

桥面及附属结构加固需满足使用功能需求。桥面铺装层加固采用钢纤维混凝土或聚合物改性沥青提高抗裂性能,施工时需设置防水粘胶层防止渗水,对重载交通桥梁需验算铺装层结构强度。伸缩装置加固通过更换为模数式伸缩装置或增设弹性密封带提升耐久性,设计时需根据温度变形量选择装置型号,施工时需确保安装精度避免跳车现象<sup>[3]</sup>。护栏加固采用增设横向连接杆或更换为高强钢材提升防撞性能,对曲线段护栏需进行空间力学分析确保受力合理。

## 3 公路桥梁加固技术应用流程及控制

### 3.1 加固施工前期准备

施工前期勘察需构建三维信息模型。通过地质雷达扫描基础周边土体密实度,结合红外热成像技术检测混凝土结构内部缺陷分布,对钢结构节点采用磁粉检测定位表面裂纹走向。规划阶段需综合桥梁服役年限、交通流量及环境侵蚀因素制定技术路线,城市高架桥加固应优先选择非交通高峰时段施工,跨河桥梁需规划材料运输的水陆转换节点,山区桥梁需考虑雨季施工的边坡稳定措施。材料准备需建立质量追溯体系,结构胶粘剂需提供耐老化性能检测报告,纤维复合材料需验证纤维与基体的界面结合强度,钢材需进行冷弯性能试验确保塑性变形能力达标。设备选型需匹配工艺精度要求,混凝土表面处理宜采用金刚石磨盘打磨机,钢结构焊接需配备数字化焊机实现参数实时监控,高空作业需配置防坠落制动装置与风速监测仪。

### 3.2 现场施工流程及关键环节

工序衔接需遵循力学传递规律。基础加固施工前需完成周边排水系统疏通,防止地下水渗入影响固化质量,梁体加固需待下部结构应力重分布稳定后实施。混凝土界面处理需控制粗糙度梯度,采用喷砂工艺时需调整喷射压力与砂粒粒径匹配,钢构件除锈需达到白金属表面标准并立即进行防腐处理。结构胶配制需执行双人复核制度,采用机械搅拌时需控制转速避免引入气泡,粘贴施工需在适用期内完成并保持环境温湿度稳定。纤维布铺设需遵循“单向受拉”原则,转角处需采用导角处理避免应力集中,多层粘贴时需滚筒压实排除气泡。

### 3.3 施工过程技术控制

质量控制需实施全过程动态管理。混凝土增大截面施工需分层振捣形成均匀骨料分布,采用附着式振捣器时需控制振动频率与结构固有频率错开,表面抹压需

在初凝前完成三道收光工序。钢结构焊接需监控熔池形态,角焊缝焊接宜采用退焊法减少焊接变形,焊缝外观检查需满足无气孔、裂纹、夹渣等缺陷要求。纤维复合材料加固需检测空鼓率,采用敲击法结合红外热成像进行复核,空鼓区域需钻孔注胶修补并重新铺设纤维。安全控制需构建双重预防机制,高空作业平台需设置防倾覆装置并定期进行承载试验,临边作业人员必须佩戴双钩安全带并固定于独立锚点,张拉作业区域需设置声光报警装置并安排专人巡查。动火作业前需清除周边易燃物并配备灭火器材,有限空间作业需持续监测氧气浓度与有毒气体含量,遇突发情况立即启动应急响应程序。

#### 4 公路桥梁加固效果评价方法及流程

##### 4.1 效果评价的核心维度

###### 4.1.1 结构性能提升相关维度

结构性能提升维度聚焦力学指标优化。承载能力评价需验证加固后结构在标准荷载下的应力水平是否低于材料设计强度,重点监测加固区域与原结构交界处的应力集中现象<sup>[4]</sup>。刚度改善评价通过动载试验测定结构自振频率变化,分析加固对整体变形控制能力的提升幅度,尤其关注桥墩、主梁等关键构件的挠度减小程度。稳定性评价采用有限元模拟分析加固后结构抗倾覆、抗滑移能力,对曲线桥梁需验证横向稳定性指标是否满足规范要求。

###### 4.1.2 使用功能改善相关维度

使用功能改善维度关注服役性能提升。行车舒适性评价采用加速度传感器采集桥面振动数据,对比加固前后车辆行驶平顺性变化,重点监测伸缩缝、支座等部位的冲击系数是否降低。交通适应性评价根据加固后车道数量、荷载等级变化,验证桥梁是否满足区域交通量增长需求,对重载交通桥梁需评估加固对疲劳寿命的延长效果。维护便捷性评价考察加固后结构可检测性、可维修性是否提升,如增设的检查通道、传感器布设位置是否便于日常管养。

###### 4.1.3 加固后结构耐久性相关维度

耐久性维度侧重长期性能保障。材料耐久性评价通过取样分析加固材料抗老化性能,对混凝土结构需检测氯离子渗透深度、碳化深度等指标,对钢结构需评估防腐涂层附着力衰减规律。环境适应性评价模拟极端气候条件,验证加固结构在温差、冻融、腐蚀等环境作用下的性能稳定性,沿海桥梁需重点评估抗盐雾腐蚀能力。

##### 4.2 效果评价的方法体系

现场检测类方法依托无损检测技术。超声波检测用

于定位混凝土内部缺陷,通过波速、振幅变化判断加固区域密实度;雷达扫描可识别钢结构焊缝内部缺陷,结合图像处理技术量化裂纹尺寸;红外热成像通过温度场分布检测结构脱空、不密实区域。结构性能对比类方法通过建立加固前后有限元模型,对比分析应力、应变、位移等参数变化,验证加固设计合理性。使用状态反馈类方法采集长期监测数据,分析结构在运营荷载作用下的性能退化规律,结合健康监测系统预警指标评估加固效果持续性。

##### 4.3 效果评价的实施流程

评价前期准备需收集设计文件、施工记录、监测数据等基础资料,制定包含检测项目、方法、频次的专项方案。评价过程实施步骤分为三个阶段:初期评价在加固完成后立即开展,重点验证施工质量控制效果;中期评价在运营1-2年后进行,评估结构性能稳定性;长期评价每5年开展一次,跟踪耐久性指标变化<sup>[5]</sup>。评价结果整理需建立量化评分体系,将检测数据与设计目标对比分析,形成包含性能提升率、功能改善度、耐久性等等级的评估报告。反馈要点需针对发现的问题提出处置建议,对性能未达预期部位提出补充加固方案,为后续养护决策提供技术支撑。

##### 结束语

公路桥梁加固技术应用与效果评价是一个系统性工程,涉及技术选择、施工控制、效果评估等多个环节。通过科学分析桥梁结构损伤特征,合理选择加固技术,严格把控施工过程,建立完善的效果评价体系,可有效提升桥梁结构性能,改善使用功能,增强耐久性。实践表明,遵循加固技术规范与评价标准,结合工程实际灵活应用,能够显著提高桥梁加固工程的质量与效益,为桥梁安全运营提供坚实保障。

##### 参考文献

- [1]姬利君.公路桥梁养护和加固维修技术应用[J].河南水利与南水北调,2024,53(12):47-49.
- [2]张竹.公路桥梁中碳纤维加固技术的应用研究[J].江西建材,2025(2):293-295.
- [3]谢志丹.灌浆加固技术在公路桥梁隧道施工中的应用[J].工程技术研究,2025,10(20):59-61.
- [4]李福强.灌浆加固技术在公路桥梁隧道施工中的应用[J].中国住宅设施,2023(7):139-141.
- [5]杜维坤.高速公路桥梁养护加固中新型预应力技术的应用方法[J].山西交通科技,2023(2):69-71.