

This paper discusses the management and maintenance technology of highway bridge and the reinforcement and maintenance method

Jin Cheng

Shanxi Fulu Industry and Trade Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030006, China

Abstract

The essence of highway bridge management lies in comprehensive lifecycle control spanning design, construction, operation, maintenance, and repair. Preventive maintenance techniques prove particularly crucial, as early detection and timely addressing of minor defects can prevent their progression into major structural failures. This approach significantly reduces costly reinforcement and maintenance expenses while extending bridge service life. Effective reinforcement and maintenance require selecting appropriate methods based on defect causes, structural configurations, and site conditions. Using a highway bridge project as a case study, this paper examines existing quality issues and analyzes the application of bridge maintenance technologies. The discussion specifically focuses on prestressed anchor cable reinforcement and carbon fiber cloth bonding techniques.

Keywords

highway bridge engineering; maintenance technology; reinforcement and maintenance method

探讨公路桥梁管理养护技术及加固维修方法

程进

山西富路工贸有限公司, 中国·山西太原 030006

摘要

公路桥梁管理的核心是从设计、施工到运营、养护、维修的全过程周期的管理, 预防性养护技术尤为关键, 通过早期发现和及时处理轻微缺陷, 避免发展成重大病害, 显著降低后期高昂的加固维修成本, 延长桥梁的使用寿命。公路桥梁的加固维修则要结合病害原因、结构形式、现场条件等选择合适的方法, 本文以某公路桥梁工程为案例, 探讨该工程存在的公路质量问题, 针对问题分析公路桥梁管理养护技术的应用, 聚焦于预应力锚索加固技术、粘贴碳纤维布加固技术进行分析。

关键词

公路桥梁工程; 养护技术; 加固维修方法

1 引言

我国公路桥梁管理已形成国家统筹规划、地方精准施策的多层级政策框架体系。近年来, 交通运输部牵头制定了一系列专项行动方案, 为桥梁安全管理提供了系统性指导。2024年出台的《进一步推进公路桥梁隧道结构监测工作的实施方案(2024-2030年)》设定了明确的时间节点: 要求到2025年底完成公路桥梁群轻量化结构监测系统试点建设, 到2030年底实现高速公路和普通国道桥梁隧道结构监测体系全面建立。

2 公路桥梁工程概况

以某公路桥梁工程举例, 建设目标为打通区域交通瓶

颈、完善区域网络结构, 项目符合国家及地方交通发展规划和区域经济发展的需求。该工程为一级公路, 设计速度为100km/h, 荷载等级为公路-I级。桥梁为双向六车道标准路基宽33.5m, 包含行车道、硬路肩、防撞护栏。桥梁主桥结构为主跨25.3m预应力混凝土连续钢构/连续梁桥, 预制装配式预应力混凝土T梁, 桥梁全长为1286.5m, 桥跨左幅为3×30m+3×30m连续梁; 右幅为3×30m+3×30m连续梁。桥梁主墩采取钻孔灌注桩基础, 引桥采用钻孔灌注桩基础。

2.1 桥面铺装病害

桥面铺装病害类型为: (1) 裂缝。表现为纵横向裂纹、网裂、反射裂缝, 会造成雨水下渗腐蚀梁体, 降低铺装层整体性。(2) 脱层/离析。铺装层与防水层/桥面板黏结失效, 存在局部剥离空鼓。会加速造成铺装层破损, 引发结构性破坏风险。(3) 车辙。加速铺装层破损, 引发结构性破坏风险, 导致公路表面平整度下降, 影响公路行车安全。(4)

【作者简介】程进(1992-), 女, 中国山西太原人, 本科, 工程师, 从事公路桥梁管理养护技术及加固研究。

坑槽 / 松散。集料脱落形成凹坑（多因水损害或施工缺陷），导致扩大局部破损，危及车辆通行安全。（5）泛油 / 泛白。沥青层油分上浮或水泥浆析出（材料配比失衡或压实不足），会造成公路抗滑性能下降，车辆容易打滑。

造成桥面铺装病害的原因为：（1）技术标准影响。沥青层油分上浮或水泥浆析出（材料配比失衡或压实不足）。宽桥面的温度梯度效应更显著，导致铺装层收缩裂缝增多。（2）结构形式关联性。①钢桥面板桥梁：钢板刚度小，变形大 → 沥青铺装层易疲劳开裂（占比 > 60% 病害案例）。②混凝土梁桥：接缝处反射裂缝高发（伸缩缝附近 80% 铺装破损源于此）。③基础类型：软基桥梁沉降差异 → 桥台搭板区域铺装层断裂率高。（3）材料与施工关键点，见表 1。

表 1 材料与施工关键点

失效环节	具体病因
材料缺陷	沥青混合料高温稳定性不足、防水黏结层材料耐候性较差
施工工艺问题	铺装压实度不足 (< 93%)、层间污染 (浮灰 / 油渍)、温度控制失误 (沥青摊铺温差 > 20℃)
结构协同性缺失	梁体与铺装层模量不匹配 → 应力集中 (如混凝土梁 + 高模量铺装)

2.2 桥头跳车问题

造成桥头跳车问题的原因为：（1）设计阶段。后台填土模量失配，刚度差异导致应力集中；搭板长度不足，无法覆盖塑性沉降区域；排水系统缺陷，水力侵蚀导致沉降加速。（2）施工难点控制较差。压实盲区施工中，桥台背墙后 2m 区域压实度普遍 < 93%，标准要求 ≥ 96%；填料劣化问题，例如偷工减料使用含有有机质土（液限 > 50%），施工沉降量增加 3 倍；地缝处理不佳，搭板与桥台铰缝混凝土开裂率 > 60%。

3 公路桥梁管理养护技术的应用

3.1 桥面铺装病害养护技术

病害检测与评估。先目视观察裂缝、坑槽、剥落、车辙、泛油等明显病害，然后通过三米直尺、连续式平整度仪进行公路平整度检测；通过摆式摩擦系数仪进行抗滑性能检测；通过裂缝测宽仪、探地雷达对路面破损情况进行检测。（2）养护技术选择。①轻微病害采取预防性养护。< 3mm 裂缝采用专门密封胶封堵；采用雾封层还原老化沥青，封闭微小裂缝。②中等病害采取修复性养护。3 ~ 10mm 裂缝进行开槽灌缝、压力注浆处理。局部坑槽、松散采取冷补胶、热料热补技术；局部车辙进行铣刨后罩面。③严重病害，进行结构性修复。大面积裂缝例如网裂、龟裂，严重坑槽和车辙等，需要根据损坏深度决定铣刨层数，可能涉及防水层修复，修复后重新铺装路面。（3）养护技术要点。①表面处理。采用铣刨、喷砂、高压水冲洗去除杂物、灰尘、油污、松散料，确保粘结面洁净干燥。在界面上喷洒粘层油（乳化沥青、改

性乳化沥青、热沥青）或黏结剂，确保新旧材料、层间粘结牢固。②材料选择。根据技术方案选择符合规范要求的材料（沥青、集料、填料、添加剂、密封胶、灌缝料、修补料等）。严格控制混合料配合比、拌合温度、均匀性。③摊铺与压实。控制摊铺厚度、温度、均匀性。选择合适的压实设备（钢轮、胶轮）、压实遍数、速度，确保达到设计要求的压实度和平整度。对于局部修补，小型压实设备尤为关键。④接缝处理。新旧铺装、修补边缘的接缝要切割整齐、涂刷黏结剂、紧密搭接、充分压实，防止渗水和脱落。

3.2 桥头跳车病害养护技术

精准评估。采用激光水准仪检测桥台与路基沉降差，进行高精度高程测量；扫描台背填土密实度和空洞位置通过探地雷达检测；通过弯沉检测评估路基承载能力，本工程采用落锤式弯沉仪。错台 10 ~ 25mm，无结构性损害，为轻度损害；错台 > 25mm，伴随桥台位移或路基空洞，表示重度损害。（2）根据病害分类选择合适养护技术。见表 2。

（3）关键养护要点。①过渡段坡度控制：桥头接坡纵坡变化率 ≤ 0.3%~0.5%，长度 ≥ 10m（高速公路需 ≥ 20m）。②台背填筑工艺：优先选用轻质材料（EPS 泡沫混凝土、砂砾）；分层厚度 ≤ 20cm，重型压路机 + 小型夯机边角压实。③注浆技术要点：布孔间距 1~1.5m，分序注浆（先外围后内部），压力控制在 0.5~1.5MPa 防止抬裂。④搭板设置：搭板长度 ≥ 5m，厚度 ≥ 30cm，底部设碎石垫层防积水，坡度与路基平顺衔接^[1]。（4）技术创新方向。智能化技术融合，采用 InSAR 遥感监测，实现大范围扫描沉降趋势，预警高风险路段；注浆机器人可精准控制注浆点与压力，有效减少人工误差。

4 公路桥梁工程加固维修方法

4.1 预应力锚固加固技术

预应力锚固加固技术通过主动施加预应力改善结构受力状态，有效提高承载力、抑制裂缝发展并且增强整体性。作用机制为：对混凝土或钢结构施加预压应力，抵消部分荷载应力；通过锚固体系将荷载传递到深层稳固岩土或结构内部。

应用流程为：（1）方案设计。首先进行缺陷诊断，裂缝测绘 + 荷载试验可确定应力薄弱区，然后进行岩土勘探。其次，通过缺陷诊断选择合适的锚固类型，体内锚固采用钻孔植入钢绞线、体外锚固采取钢束外置 + 转向块^[2]。然后进行由于应力设计，计算需补偿的应力缺口，通常为极限承载力的 15 ~ 30%，控制张拉力 ≤ 0.65f_{ptk}。最后，锚固系统设计，采用夹片式锚头，做好锚固系统的多重防护。（2）关键施工技术。①钻孔施工，定位误差 ≤ 10mm，岩层采用潜孔锤冲击成孔，孔径为 110 ~ 150mm；混凝土钻孔采用金刚石钻孔和清水冷却。②张拉与锁定。进行分级张拉：0 → 10%σ_{con} → 20% → 100%（持荷 5min）。

表2 病害分类的使用养护技术分析

病害类型	适用养护技术	技术要点
轻度错台 (10 ~ 25mm)	桥头跳车	铣刨桥头 30~50m 范围旧路面, 分层摊铺沥青混凝土 (AC/SMA) 找平, 过渡坡度 ≤0.5%。
	局部注浆抬升	钻孔注水泥基 / 化学浆液 (聚氨酯), 填充台背空洞并抬升路基 (精度控制 ±3mm)。
重度错台 (> 25mm)	路基综合处治	开挖换填: 挖除松散填土, 分层回填砂砾 + 水泥稳定土 (压实度 ≥96%)。 强夯 / 冲击碾压: 对台背 5~10m 范围补强压实。
	桥台加固 + 接坡重建	若桥台位移, 采用微型桩加固基础; 重建接坡并设置钢筋混凝土搭板 (长度 ≥5m)。
伸缩缝损坏性跳车	伸缩缝更换	拆除损坏装置, 安装模数式或多向变位伸缩缝, 锚固区采用环氧树脂混凝土修复。
伴随渗水病害	排水系统修复	增设盲沟或竖向排水管, 修复破损防水层, 确保台背排水通畅。

4.2 粘贴碳纤维布加固技术

粘贴碳纤维布 (CFRP) 加工技术具有高强度、高效、耐腐蚀性好的优势。将碳纤维布通过专用结构胶粘贴在混凝土结构表面, 两者发挥协同作用以提高结构的承载力、刚度, 预防裂缝的形成。

该技术应用方法: (1) 施工准备。搭设安全可靠的操作平台 (脚手架、吊篮等), 确保施工安全和工作便利。必要时进行交通管制。重点要做好基面处理: ①打磨。使用角磨机、喷砂等工具彻底清除粘贴区域的混凝土表面浮浆、风化层、油污、苔藓等杂物, 直至露出坚实、清洁的混凝土新茬。②裂缝处理。对于需要加固区域的裂缝, 根据宽度和性质采用压力灌注结构胶、表面封闭法或填充法进行处理。(2) 涂刷底胶。按照产品说明书精确配制底胶, 用滚筒或毛刷将底胶均匀涂刷在处理好的混凝土基面上, 厚度适中, 不漏涂、不堆积。底胶的作用是渗透加固混凝土表层, 提高其强度, 并增强与后续胶层的粘结力。待底胶指触干燥 (通常不粘手) 后, 方可进行下一步。(3) 涂刷浸渍胶。在需要粘贴碳纤维布的区域, 均匀涂刷一层浸渍胶, 厚度略大于设计要求。胶量要充足, 确保能充分浸润碳纤维布^[1]。(4) 粘贴碳纤维布。按设计尺寸和层数裁剪碳纤维布。注意纤维方向, 预留搭接长度 (一般 ≥100mm)。将裁剪好的碳纤维

布敷设在涂好胶的基面上, 展平对正。使用特制的滚筒 (如橡胶刮板、脱泡罗拉) 沿纤维方向多次、均匀、单向滚压, 排除气泡, 使胶液充分浸透纤维布, 并使布与混凝土表面紧密贴合。这是保证粘贴质量的核心操作! 滚压应从中间向两边进行, 避免产生皱褶。相邻布幅的搭接宽度应符合设计要求 (一般 ≥100mm), 搭接区域需保证胶液饱满, 滚压密实。

5 结语

公路桥梁是连接两岸河流、山谷、公路等交通运输线路的重要工具, 加强公路桥梁管理养护和加固, 提高了公路桥梁的坚固性、稳定性, 对带动当地居民生活质量、促进地区经济发展有重要意义。公路桥梁管理养护技术和加固维修方法应用后, 公路桥梁病害得到解决, 对提高交通能力、运输能力有重要意义。

参考文献

[1] 方丹.关于公路桥梁养护及维修加固施工技术探究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(7):160-163.
 [2] 魏子翔.探讨公路桥梁养护与维修加固施工技术[J].居业,2025(2):37-39.
 [3] 邹肖肖.高速公路桥梁养护与加固维修施工技术分析[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(2):110-113.