

道路桥梁维修与加固施工技术

江志铭

广州市花都区道路养护中心 广东 广州 510000

摘要：道路桥梁作为交通基础设施核心，其服役安全性与耐久性直接影响通行保障。本文分析结构裂缝、基础沉降等五类常见病害及成因，构建“分类框架-选型原则-匹配策略”的维修加固技术体系，阐述了表面修复、承载力增强等核心技术，介绍新型材料与智能化技术的应用。研究结合工程实操要点，明确不同病害的适配技术与施工关键参数，为道路桥梁病害治理提供技术支撑，助力提升基础设施养护质量，延长服役寿命，满足现代交通运维需求。

关键词：道路桥梁；病害类型；维修与加固；施工技术

引言：随着交通量增长与服役年限延长，道路桥梁易受荷载、环境等因素影响，滋生各类病害，威胁结构安全并缩短服役周期。当前，我国道路桥梁养护需求日益迫切，传统技术已难以适配高效、精准的治理要求。基于此，本文聚焦道路桥梁维修与加固施工技术，先剖析典型病害及成因，再构建科学技术体系，梳理核心施工方法与新型技术应用，为工程实践提供理论与实操参考，推动道路桥梁养护技术升级，保障交通基础设施稳定运行。

1 道路桥梁常见病害类型与成因分析

1.1 结构裂缝

结构裂缝主要表现为混凝土开裂与钢筋锈蚀的连锁损伤。混凝土开裂源于材料缺陷与外力作用，实际工程中，配合比不当、养护不及时会引发早期收缩开裂，长期车辆荷载冲击及温度骤变产生的应力，会加速裂缝扩展。钢筋锈蚀多由混凝土碳化、氯离子侵入导致，当保护层不足或出现裂缝时，水分与有害物质渗入破坏钢筋钝化膜，锈蚀后钢筋体积膨胀，进一步加剧混凝土开裂，形成“开裂—锈蚀—裂宽增大”的恶性循环，大幅削弱结构承载能力。

1.2 基础沉降与不均匀变形

此类病害常见于软土、湿陷性黄土等不良地质区域的桥梁，核心成因包括地质先天不足、基础施工缺陷及后期荷载扰动。软土地基承载力低，若基础埋深不够、压实度不足，或运营期间周边基坑开挖、地下水过度开采，会导致地基土体压缩变形，引发基础沉降。当沉降量超出设计允许值或出现不均匀沉降时，上部结构将产生附加应力，诱发梁体开裂、墩台倾斜等次生病害，严重时致结构失稳。

1.3 桥面铺装层破坏

桥面铺装层直接承受车辆荷载与环境侵蚀，破坏形

式以车辙、坑槽、剥落为主。车辙由重载车辆反复碾压，使沥青铺装层高温软化、塑性变形累积形成，夏季高温时更为明显；坑槽源于铺装层局部破损后雨水渗入基层，在车辆冲击下基层骨料脱落、铺装层松散剥离；剥落则因铺装层与桥面板粘结不牢，受温度变化、荷载振动影响出现分层脱落，既影响通行舒适性，又丧失对桥面板的防护作用，加速主体结构老化。

1.4 支座与伸缩缝功能失效

支座与伸缩缝是桥梁上下部结构衔接的关键，其失效易引发连锁病害。支座失效表现为老化、变形、脱空，多由橡胶支座长期受载老化、钢材支座锈蚀、安装精度不足导致，会造成梁体受力不均、局部应力集中开裂。伸缩缝失效体现为密封胶老化脱落、构件锈蚀、缝隙堵塞，雨水渗入会腐蚀梁体与支座，且无法适配桥梁温度变形，产生附加应力加剧损伤，维护不及时是主要人为诱因。

1.5 外部荷载与环境耦合作用下的病害机理

道路桥梁病害多由外部荷载与自然环境耦合作用引发，而非单一因素所致。外部荷载方面，超载车辆频繁通行远超设计承载力，加速材料疲劳损伤；环境因素方面，高温、严寒、降雨、冻融循环及工业腐蚀介质，持续侵蚀结构材料。实际场景中，超载冲击扩大混凝土裂缝，雨水渗入后经冬季冻融循环进一步加剧裂缝发展，同时诱发钢筋锈蚀，多重因素叠加显著加快病害进程，缩短桥梁使用寿命，增加维修加固成本^[1]。

2 道路桥梁维修加固技术体系构建

2.1 维修加固技术分类框架

按治理范围与强度，维修加固技术体系可分为三类。（1）表面修复技术，针对表层病害，以恢复结构外观及基础防护能力为目标，涵盖混凝土表面修补、裂缝灌缝、桥面铺装层翻新等，适用于病害未深入结构内部

的场景。(2)局部加固技术,聚焦结构局部受损部位,通过强化局部承载力消除隐患,如粘贴钢板或碳纤维布加固梁体、支座更换与加固、墩台局部补强等。(3)整体加固技术,针对结构整体承载不足、病害范围较广的问题,通过重构受力体系提升整体稳定性,例如体外预应力加固、增设纵梁或横隔梁、基础托换加固等。

2.2 技术选择核心原则

技术选型需综合多方面因素,遵循四大核心原则。

(1)安全性,优先选用能彻底消除结构隐患、满足长期承载需求的技术,杜绝“治标不治本”。(2)经济性,在保障加固效果的前提下,统筹考量材料、设备、人工成本,避免过度加固造成浪费。(3)耐久性,结合当地气候与环境特点,选用抗腐蚀、抗老化、适配性强的技术与材料。(4)施工便捷性,优先选择施工周期短、对交通影响小、现场操作难度低的技术,减少施工扰民与通行阻碍。

2.3 典型病害对应技术匹配策略

病害与技术的精准匹配是体系落地的关键。(1)表层裂缝、铺装剥落等轻微病害,搭配表面修复技术,如裂缝采用灌缝胶灌注处理,铺装剥落实施薄层铣刨重铺。(2)梁体局部开裂、钢筋锈蚀等中度病害,选用局部加固技术,如粘贴碳纤维布增强梁体抗弯能力。(3)基础沉降、整体承载不足等重度病害,采用整体加固技术,如软土地基基础用托换法加固,梁体整体承载不足采用体外预应力技术。(4)支座、伸缩缝失效问题,针对性匹配局部更换与加固技术,同步做好密封防水处理,防范次生病害发生^[2]。

3 道路桥梁维修加固核心技术

3.1 表面修复与防护技术

表面修复与防护技术主要针对表层破损、裂缝、腐蚀等轻微病害,通过针对性处理恢复结构表面完整性与防护能力,阻断病害向内部延伸,是道路桥梁养护的基础环节。(1)混凝土表面修补技术。针对混凝土表面蜂窝、麻面、剥落等病害,先彻底清理破损区域,剔除松散骨料与浮渣,直至露出坚实基层,清理深度控制在5-15mm。再采用修补砂浆、聚合物砂浆等材料分层涂抹,每层厚度不超过10mm,涂抹中做好压实、抹平处理,保证修补层与原结构粘结强度 $\geq 2.5\text{MPa}$ 。潮湿环境优先选用防水型修补材料,提升抗渗性能,避免水分再次侵蚀。(2)裂缝灌缝与密封技术。按裂缝宽度分类处理,微裂缝采用渗透型灌缝胶,较宽裂缝采用压力灌缝法,注浆压力控制在0.2-0.4MPa。施工前先沿裂缝开槽,清理缝内杂物与积水,埋设注浆嘴后注入灌缝胶,待胶

液完全固化后,切除注浆嘴并修补表面,确保裂缝密封胶到位,阻断有害物质渗入路径。(3)桥面铺装层修复技术。针对桥面坑槽、车辙、裂缝等病害,轻微坑槽经切割清理后填补沥青混合料,压实温度控制在130-150℃;车辙较浅时进行薄层铣刨重铺,较深车辙需铣刨至基层并压实,压实度需达到96%以上。修复后铺装层平整度误差 $\leq 3\text{mm}/3\text{m}$,确保与原铺装层衔接紧密,无分层脱落隐患。(4)表面防腐防护技术。钢筋混凝土结构可涂刷防腐涂料,干膜厚度控制在80-120 μm ,或粘贴防腐卷材;金属构件如支座、伸缩缝,除锈等级达到Sa2.5级后涂刷防锈漆,沿海、工业腐蚀区域采用热镀锌或喷涂聚脲防腐涂层处理,强化抗腐蚀能力。

3.2 结构承载力增强技术

此类技术核心是强化结构受力构件性能,提升整体承载能力,适配原有设计标准或重载通行需求,适用于梁体、板体、墩柱等构件承载力不足场景,施工中需严控工艺细节确保受力均匀。(1)粘贴加固技术。包括粘贴钢板与碳纤维布两种方式,粘贴钢板时,构件表面与贴合面打磨粗糙度达到Sa2级,涂刷2-3mm厚结构胶后加压固定;粘贴碳纤维布按设计层数铺贴,确保布面平整无气泡,适配梁体抗弯、抗剪加固,可使构件承载力提升15%-30%。(2)体外预应力加固技术。针对梁体整体承载不足,在梁体外部设置预应力钢束,张拉控制应力值为钢束抗拉强度标准值的60%-70%,抵消部分荷载应力。施工中精准定位钢束锚固点,偏差不得超过5mm,张拉完成后做好防护,避免锈蚀影响使用寿命。(3)增设构件加固技术。通过增设纵梁、横隔梁等构件重构受力体系,分散原有构件荷载。增设纵梁采用H型钢,与原梁体通过植筋、焊接固定,植筋深度 ≥ 15 倍钢筋直径,焊接焊缝高度不小于8mm,同步调整支座受力分布,保障整体稳定性。(4)截面增大加固技术。对墩柱、梁体等构件,通过增大截面尺寸提升承载能力,适用于承载力缺口较大的场景。施工前清理原构件表面,植入间距200-300mm的拉结钢筋,再浇筑或喷射混凝土,养护至设计强度85%以上后形成复合截面,强化承载性能。(5)钢套箍加固技术。针对圆形墩柱,采用8-12mm厚钢板加工成套箍,包裹墩柱后焊接固定,必要时注入灌浆料填充间隙,增强二者协同受力能力,适用于应急加固与局部补强,可使墩柱承载力提升。

3.3 基础与下部结构加固技术

基础与下部结构是桥梁承载核心,加固技术聚焦墩台、基础等构件,解决沉降、倾斜、破损等问题,需结合地质条件与病害程度选型,严控关键工序避免二次损

伤。(1)基础托换加固技术。适用于基础沉降过大、承载力不足场景,包括静压桩托换与注浆托换。静压桩通过托梁与原基础连接,单桩承载力 $\geq 800\text{kN}$;注浆托换向基础周边土体注入浆液,固化后地基承载力可提升40%-60%,适配不同地质条件。(2)墩台加固技术。墩台开裂宽度 $> 0.3\text{mm}$ 时,采用外包混凝土、粘贴钢板补强;墩台倾斜率 $> 0.3\%$ 时,轻微倾斜用压重纠偏,严重倾斜结合托换技术同步处理,加固后沉降速率控制在 2mm/月 以内,倾斜率 $\leq 0.15\%$,确保稳定性达标。

(3)扩大基础加固技术。通过扩大基础底面面积降低地基压力,适用于浅基础病害。开挖基础周边土体后,清理原基础表面并植入连接钢筋,浇筑扩大基础混凝土,养护7天后回填土体,压实度 $\geq 95\%$,保证基础受力均匀。(4)桩基础加固技术。针对桩基病害,采用桩身注浆补强、增设护桩处理。桩身注浆钻孔注入水泥浆或聚合物浆液,注浆压力 $0.5\text{-}1.0\text{MPa}$;增设护桩间距 $2\text{-}3\text{m}$,分担原有桩基30%-40%荷载,提升基础整体承载能力。

(5)地基处理加固技术。软土地基、湿陷性黄土地基采用换填法、压实法、挤密法处理,换填法替换 $1\text{-}3\text{m}$ 深不良土体,用级配砂石、灰土回填压实,压实系数 ≥ 0.97 ;挤密法通过冲击、振动挤密土体,使地基承载力特征值提升。(6)墩台钢筋防锈加固技术。适用于钢筋锈蚀引发的墩台结构隐患,先清除锈蚀钢筋浮锈并涂刷阻锈剂,再用防腐砂浆包裹防护。施工中保证阻锈剂涂刷均匀,砂浆包裹密实,阻断锈蚀持续发展,强化墩台钢筋骨架整体性与耐久性^[3]。

3.4 新型材料与智能化加固技术

随着工程技术发展,新型材料与智能化技术逐步应用于道路桥梁维修加固,兼具高效、耐久、精准等优势,有效提升施工质量与效率,适配现代交通基础设施养护需求。(1)新型加固材料应用技术。包括高性能聚合物砂浆、碳纤维复合材料、自修复混凝土等。高性能聚合物砂浆粘结强度高、抗裂性好,替代传统砂浆用于表面修补;碳纤维复合材料质量轻、耐腐蚀,适用于复

杂构件加固;自修复混凝土可通过内部微胶囊技术,自动修复轻微裂缝,提升结构耐久性。(2)智能化监测与施工技术。施工前采用无人机探测、雷达扫描等技术,精准检测病害位置与程度,为加固方案提供数据支撑;施工中通过智能张拉设备、自动注浆系统,精准控制工艺参数,避免人为操作误差。(3)模块化加固技术。采用预制加固构件,现场组装拼接,缩短施工周期,减少对交通的影响。如预制钢套箍、预制碳纤维板等,可提前工厂加工,现场通过螺栓、结构胶固定,适配标准化施工需求。(4)绿色环保加固技术。选用环保型材料,减少施工过程中污染物排放;采用节能设备与工艺,降低能耗。如水性防腐涂料、可回收加固材料等,兼顾加固效果与生态环保需求。(5)智能化运维辅助技术。加固完成后,安装传感器、物联网设备,实时监测结构受力、沉降、腐蚀等状态,形成智能化运维体系,提前预警潜在病害,为后续养护提供精准数据,延长道路桥梁使用寿命^[4]。

结束语:本文围绕道路桥梁维修与加固施工技术展开系统探讨,明确了病害成因、技术体系及核心施工要点,凸显了新型材料与智能化技术的应用价值。道路桥梁养护是长期工程,要兼顾技术适配性与实操可行性。未来应持续推进技术创新,强化新型材料与智能化技术的落地应用,优化病害与技术的匹配方案。期望本文研究能为一线养护工作提供借鉴,助力提升道路桥梁养护水平,为交通基础设施高质量发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1]刘明星.道路桥梁维修与加固施工技术[J].四川建材,2022,48(4):163-163+165.
- [2]宋洪波.道路桥梁维修与加固施工技术研究[J].智能城市应用,2023,6(5):46-48.
- [3]贾丽.道路桥梁维修与加固施工技术[J].中华传奇(下旬),2021(9):0077-0078.
- [4]黄懿刘.道路桥梁维修与加固施工技术[J].门窗,2024(11):64-66.