

新时期公路桥梁养护及维修加固技术的探讨

黄 坚

广州市花都区道路养护中心 广东 广州 510000

摘要:新时期公路桥梁养护与维修加固技术面临交通量激增、超载严重及自然环境侵蚀等挑战。本文探讨桥梁常见病害类型及成因,分析预防性养护、信息化管理、无损检测及智能监测等养护技术体系,研究混凝土加固、钢结构补强、基础加固及新型材料应用等维修加固技术,提出智能化、绿色化、标准化发展方向及应对资金、技术、安全等挑战的策略。本文结合花都区S267线巴江大桥维修加固工程实践,系统分析新时期公路桥梁常见病害类型及成因,梳理养护管理体系与核心维修加固技术,探讨技术发展趋势及现存挑战,并提出针对性应对策略,为提升公路桥梁全生命周期性能、推动养护加固技术升级提供理论参考与实践借鉴。

关键词:新时期;公路桥梁;养护技术;维修加固;病害治理

引言:公路桥梁作为交通基础设施的关键节点,其安全性和耐久性直接关系到区域经济发展与社会稳定。随着交通荷载的加重、环境侵蚀的加剧以及服役年限的延长,桥梁病害问题日益突出,传统养护模式已难以满足新时期需求。本文聚焦新时期公路桥梁养护与维修加固技术,系统分析病害成因,探讨智能化、绿色化、标准化养护策略及创新加固技术,为提升桥梁全生命周期性能提供理论支持与实践参考。

1 新时期公路桥梁常见病害类型及成因分析

1.1 主要病害类型

结合工程实践与行业调研,新时期公路桥梁病害按结构部位可分为上部结构、下部结构及附属设施三类,各类病害均对桥梁结构稳定性产生不同程度影响:

(1)上部结构病害:作为桥梁核心承重体系,上部结构病害直接影响承载能力,主要表现为主梁弯曲裂缝、剪切裂缝,混凝土碳化引发的钢筋锈蚀,预应力混凝土结构钢绞线松弛,以及T梁翼板湿接缝开裂等。如巴江大桥维修加固中,发现T梁翼板湿接缝出现小于0.15mm的温缩裂缝,虽未影响结构安全,但需及时封闭处置。(2)下部结构病害:下部结构为桥梁支撑基础,病害具有隐蔽性强、危害大的特点,主要包括桥墩沉降与倾斜、桩基冲刷破损、支座老化变形与爆裂等。巴江大桥施工中曾出现更换后的T梁支座因超重荷载发生爆裂,最终通过更换高承载力矩形支座解决问题,反映出下部结构病害处置的重要性。(3)附属设施病害:附属设施虽非核心承重结构,但直接影响通行体验与主体结构保护,常见病害有桥面铺装厚度不均、裂缝与破损,伸缩缝锚固失效、橡胶老化,以及桥面标线磨损、反光效果下降等。如巴江大桥凿除旧铺装层时,发现铺装厚

度与设计值偏差较大,需全部凿除重新施工。

1.2 病害成因综合分析

新时期公路桥梁病害的产生并非单一因素导致,而是设计、施工、运营及环境等多因素共同作用的结果,核心成因可归纳为四类:

(1)设计层面缺陷:部分早期桥梁设计荷载标准偏低,如巴江大桥设计荷载为汽车-20级、挂车-100,已难以适配新时期重载交通需求;部分设计方案与现场实际结合不足,如湿接缝钢筋根数计算误差、铺装层厚度设计未考虑桥梁实际沉降,导致施工阶段需多次调整方案。(2)施工质量管控不足:施工过程中材料质量不合格、工艺执行不规范易埋下病害隐患,如混凝土振捣不密实导致铺装层开裂、支座安装定位偏差引发后期变形、钢筋保护层厚度不足加速锈蚀等。(3)运营荷载与交通环境变化:新时期交通量大幅增长,重载、超限车辆频繁通行,远超部分桥梁设计荷载极限,长期反复的荷载作用加剧结构疲劳损伤,导致支座爆裂、主梁裂缝等病害;此外,桥梁运营过程中交通管控不到位,如未严格执行限载限速要求,进一步加速结构老化。(4)自然环境侵蚀影响:大气腐蚀、雨水冲刷、温度变化等自然因素是桥梁病害发展的重要外部诱因,如温度骤变引发混凝土温缩裂缝、雨水渗入裂缝加速钢筋锈蚀、河道水流淘蚀桩基导致基础沉降,以及冻融循环破坏混凝土内部结构等,均会降低桥梁结构耐久性。

2 新时期公路桥梁养护技术体系

2.1 养护管理策略

(1)桥梁养护秉持三大核心理念,实现科学高效管护。一是全生命周期养护,打破“重建设、轻养护”模式,将养护贯穿规划设计、施工建设、运营使用全流

程,设计时考虑养护适配性,施工中严控质量、完善档案,为后期养护提供支撑,如巴江大桥施工同步完善质量档案。二是预防性与矫正性养护结合,以预防性养护为核心,通过封缝、防腐等措施遏制病害萌芽;对已出现的结构性病害,制定专项方案精准处置,如巴江大桥便通过封缝胶封闭温缩裂缝、化学压力灌浆处理超标裂缝,实现协同发力。三是构建信息化管理平台,依托BIM、GIS、物联网技术,实现桥梁三维建模、空间信息整合及实时数据采集,推动养护从经验驱动向数据驱动转变。

2.2 常规检测技术

(1)无损检测技术广泛应用:采用超声波检测技术精准定位混凝土内部裂缝、空洞等缺陷,保障检测过程不破坏结构完整性;利用红外热成像技术快速识别桥面铺装层脱空、钢结构腐蚀等问题,适用于大面积快速排查;通过雷达扫描技术探测桥梁基础冲刷深度、地下管线分布,为基础养护提供可靠依据,大幅提升检测效率与准确性。(2)智能监测技术升级赋能:构建传感器网络覆盖桥梁关键结构部位,实时监测主梁挠度、桥墩沉降、支座变形等核心指标;搭建结构健康监测系统,对监测数据进行实时分析、预警,实现病害的早期识别与动态追踪,替代传统人工定期检测的滞后性,为预防性养护提供及时的数据支撑。(3)定期巡查与专项评估协同:建立“日常巡查+定期检测+专项评估”的多层级检测体系。日常巡查重点排查桥面破损、伸缩缝堵塞等显性病害;定期检测按规范周期开展全面检测,评估结构整体性能;针对极端天气后、重载通行密集路段的桥梁开展专项评估,精准掌握特殊工况下的桥梁状态,为养护方案制定提供依据^[2]。

2.3 养护决策优化

(1)基于病害等级的优先级排序:建立科学的病害等级评估标准,根据病害对结构安全的影响程度、发展速率,将养护任务划分为紧急、重要、一般三个等级。优先处置影响桥梁承载安全的紧急病害,如严重裂缝、基础冲刷、结构变形等,合理调配养护资源,确保养护工作聚焦核心风险点。(2)养护成本与效益分析模型构建:构建全周期养护成本与效益评估模型,综合考量养护投入、桥梁使用寿命延长效益、通行安全保障价值等因素。通过对比不同养护方案的成本投入与长期效益,筛选性价比最优的养护策略,实现养护资源的高效配置。(3)动态养护计划制定:结合桥梁检测数据、交通荷载变化、环境因素影响等动态信息,建立弹性养护计划调整机制。定期更新桥梁技术状况评估结果,根据病

害发展趋势与养护效果,实时优化养护方案、调整养护周期与措施,确保养护计划始终适配桥梁实际状态。

3 新时期公路桥梁维修加固关键技术

3.1 混凝土结构加固技术

(1)核心加固技术应用:增大截面法通过增加混凝土构件截面尺寸并配置新增钢筋,显著提升结构承载能力,适用于主梁、桥墩等核心承重构件的重度损伤加固;粘贴钢板法借助结构胶将钢板与混凝土构件粘结,利用钢板抗拉强度弥补混凝土抗拉不足,具有施工便捷、见效快的优势,广泛应用于中小跨径桥梁加固;碳纤维复合材料(CFRP)加固凭借材料轻质高强、耐腐蚀的特性,适用于复杂结构部位加固,可有效提升构件抗裂性与耐久性,且不明显增加结构自重。(2)裂缝修补精准施策:针对不同宽度与深度的裂缝采用差异化技术,灌浆法适用于深度大于0.2mm的结构性裂缝;表面封闭法适用于宽度小于0.2mm的非结构性裂缝,有效延缓裂缝扩展。

3.2 钢结构加固技术

(1)结构补强与改造:焊接补强通过在钢结构薄弱部位焊接补强钢板或型钢,增强构件受力截面,需严格控制焊接工艺避免产生焊接应力;高强螺栓连接采用高强度螺栓实现新旧构件的可靠连接,保障结构连接的稳定性;局部替换技术针对锈蚀严重、损伤超标的钢结构部件进行整体替换,从根源上消除结构安全隐患。(2)防腐防护升级:防腐涂层更新采用新型高性能防腐涂料,通过除锈、打底、面涂等多道工序形成严密防护层,提升钢结构抗化学腐蚀与大气侵蚀能力;阴极保护技术通过外加电流或牺牲阳极的方式,改变钢结构电化学腐蚀机理,适用于桥梁钢箱梁、钢塔等关键部位,尤其适配潮湿、含盐雾等恶劣环境,大幅延长钢结构使用寿命^[3]。

3.3 基础与下部结构加固

(1)桩基加固精准发力:注浆加固通过向桩基周边土体或桩身缺陷处注入水泥浆、化学浆液,提升桩基承载力与抗拔性能,适用于桩基沉降、桩身破损等问题;微型桩加固在原有桩基周边布设小型钻孔桩,形成群桩协同受力体系,增强基础整体稳定性;扩底桩技术通过扩大桩端截面,提升桩基承载能力,适用于地基承载力不足的桥梁基础加固。(2)桥墩与基础防护:桥墩包覆采用钢筋混凝土、FRP套筒等材料对桥墩进行包覆加固,提升桥墩抗冲击、抗腐蚀能力,适用于桥墩破损、露筋等病害;防冲刷措施通过设置抛石防护、钢筋混凝土防冲刷板、导流结构等,减少水流对基础周边土体的淘

蚀,保障基础承载稳定性,尤其适用于河道内桥梁基础防护。

3.4 新型加固材料与工艺

(1) 超高性能混凝土(UHPC)应用:UHPC凭借超高强度、高耐久性与良好的界面粘结性能,广泛应用于桥梁加固修复,可用于桥面铺装改造、构件截面补强等,大幅提升结构承载能力与使用寿命,且施工便捷、体积小。(2) 3D打印技术潜力挖掘:3D打印技术可精准制作桥梁构件修补块、小型附属构件,适用于异形结构、复杂部位的修复,具有施工效率高、材料浪费少的优势,为个性化、精准化加固提供新路径,目前正逐步从实验室走向工程应用。(3) 智能材料与系统研发:自修复材料通过内置微胶囊、微生物等成分,在结构产生微裂缝时自动触发修复机制,实现裂缝自主愈合;智能加固系统集成传感器与加固材料,实时监测加固部位受力状态,同步调整加固效能,推动桥梁加固从被动修复向主动智能防护升级^[4]。

4 新时期公路桥梁养护及维修加固技术发展趋势与挑战

4.1 技术发展趋势

(1) 智能化水平持续提升:AI病害识别技术通过图像识别算法快速分析检测数据,实现裂缝、腐蚀等病害的自动定位与等级判定,大幅提升检测效率;无人机巡检凭借灵活机动的优势,突破传统人工巡检的空间限制,可对桥梁高空、跨水域等复杂部位进行全方位巡查,搭配高清摄像头与传感器实现数据实时传输,推动养护检测向自动化、精准化转型。(2) 绿色化发展理念深化:低碳环保材料逐步替代传统高能耗材料,如再生骨料混凝土、环保型防腐涂料等,降低材料生产与养护过程中的碳排放。(3) 标准化与模块化推进:建立统一的养护维修技术标准,规范施工流程与质量管控;研发模块化快速维修构件,实现桥梁破损部位的快速替换与修复,缩短施工工期、减少对交通通行的影响。

4.2 面临的挑战

(1) 资金投入不足与养护意识薄弱:部分地区对桥梁养护的重视程度不足,资金投入难以满足智能化、绿色化技术的应用需求,导致老旧桥梁养护滞后,病害隐

患累积。(2) 技术标准与规范滞后:新兴养护加固技术如3D打印、智能监测系统等发展迅速,但对应的技术标准、施工规范与验收准则尚未完善,导致新技术应用缺乏统一指导,影响技术推广效果与工程质量。(3) 复杂环境下施工安全性风险高:在山区、跨江跨海等复杂环境下开展维修加固施工,面临地质条件复杂、气象灾害频发等问题,易出现高空坠落、结构失稳等安全隐患,对施工技术与安全管控提出更高要求。

4.3 对策与建议

(1) 加强政策支持与资金保障:出台专项政策明确养护责任主体,建立稳定的养护资金投入机制,加大对智能化、绿色化技术应用的资金扶持,同时通过宣传引导强化全社会养护意识。(2) 推动产学研协同创新:鼓励科研院所与施工企业合作,聚焦技术瓶颈开展联合攻关,加速新技术、新材料的研发与成果转化,提升养护维修技术的核心竞争力。(3) 完善养护技术标准体系:结合新兴技术发展现状,及时修订完善养护技术标准与施工规范,明确新技术应用的技术要求、质量控制与验收标准,为技术推广与工程实施提供坚实保障。

结束语

新时期公路桥梁养护与维修加固技术正朝着智能化、绿色化、标准化方向加速演进。面对交通荷载升级、环境挑战加剧等现实需求,需进一步强化技术创新与产学研协同,完善技术标准体系,突破复杂环境施工安全瓶颈。通过科学养护决策与精准加固实施,可显著延长桥梁使用寿命、保障通行安全,为交通基础设施高质量发展提供坚实支撑,助力交通强国战略落地实施。

参考文献

- [1]王喜红.新时期公路桥梁施工管理养护技术及加固维修分析[J].工程建设与设计,2025,(15):267-269.
- [2]袁波.高速公路桥梁施工质量问题及其改进措施[J].汽车画刊,2024,(05):257-259.
- [3]江钰.公路桥梁施工质量控制体系及安全管理对策[J].城市建设理论研究(电子版),2022,(31):92-94.
- [4]苏永兴.新建公路桥梁施工管理及养护加固工作探究[J].黑龙江交通科技,2020,43(01):99-100.