

农村公路桥梁常见病害成因分析与低成本养护技术探讨

郭利杰 王延超

郑州市路通公路建设有限公司 河南 郑州 450000

摘要:农村公路桥梁作为连接乡村与外界的重要交通节点,在促进乡村振兴、改善民生和推动区域经济发展中发挥着不可替代的作用。然而,受建设标准偏低、资金投入不足、养护管理薄弱等多重因素影响,大量农村公路桥梁在服役过程中出现了不同程度的病害,严重威胁通行安全与使用寿命。本文系统梳理了当前农村公路桥梁常见的病害类型,深入剖析其成因,并结合农村地区资源禀赋与经济条件,提出一系列具有可操作性、经济性和可持续性的低成本养护技术。研究表明,通过“预防为主、防治结合”的策略,辅以因地制宜的技术手段和健全的管养机制,可在有限资金条件下显著提升农村桥梁的安全性与耐久性,为新时代“四好农村路”高质量发展提供技术支撑。

关键词:农村公路桥梁;桥梁病害;成因分析;低成本养护;预防性养护

引言

近年来,随着国家“乡村振兴战略”和“交通强国”建设的深入推进,农村公路网络持续完善,桥梁作为关键节点设施,其安全状况直接关系到农村居民出行安全与物流畅通。据统计,截至2023年底,全国农村公路桥梁总数已超过80万座,其中大量为20世纪90年代至21世纪初修建的中小跨径桥梁,设计荷载等级普遍偏低(多为汽-10、拖-50或更低),且多采用石拱桥、钢筋混凝土板梁、T梁等传统结构形式。然而,受限于历史条件,这些桥梁普遍存在设计标准不高、施工质量参差、后期养护缺失等问题。加之农村地区超载运输频发、自然灾害频仍、环境侵蚀加剧等因素,导致桥梁病害日益突出,部分桥梁甚至处于“带病运行”状态,存在重大安全隐患。与此同时,农村地区财政能力有限,难以承担高昂的维修加固费用,亟需探索一套适用于农村实际的低成本、高效益的桥梁养护技术体系。

1 农村公路桥梁常见病害类型及特征

1.1 上部结构病害

混凝土开裂是最为普遍的现象,既包括由超载或设计承载力不足引起的结构性裂缝,如主梁跨中受弯裂缝和支座附近的斜裂缝,也涵盖因混凝土收缩、温度变化或施工缝处理不当造成的非结构性裂缝。尽管后者短期内不危及结构安全,但长期暴露会加速内部钢筋锈蚀,进而削弱构件整体性能。钢筋锈蚀与混凝土剥落往往相伴发生,尤其是在保护层厚度不足或防水措施失效的区域,氯离子侵入或碳化作用促使钢筋发生电化学腐蚀,体积膨胀后导致混凝土鼓包、开裂甚至大面积剥落,严重时可使有效截面显著减小。此外,农村桥梁广泛采用的简易橡胶支座或油毛毡支座易因老化、剪切变形或安

装偏差而失效,造成梁体受力异常,诱发次生裂缝。桥面铺装层则常因材料劣化、重载碾压或排水不良而出现坑槽、网裂和车辙,不仅降低行车舒适性,更成为雨水下渗侵蚀主梁结构的通道。

1.2 下部结构病害

桥墩与桥台在长期服役中易受多种因素影响而产生裂缝甚至倾斜。基础不均匀沉降、洪水冲刷、冻土胀缩或偶然的车辆撞击均可能导致墩台结构损伤,一旦发生位移,将破坏上部结构的受力平衡。尤其在山区或季节性河流区域,桥基冲刷问题尤为突出。由于河道采砂、水流改道或极端降雨事件频发,桥墩周围土体被持续淘蚀,形成空洞区,严重时可导致基础失稳乃至桥梁倾覆^[1]。此外,桥头引道两侧的锥坡与护坡若因排水系统不畅、植被覆盖不足或施工质量缺陷而损毁,不仅影响美观,更会削弱桥台的侧向支撑能力,加剧路基沉降,形成“跳车”现象,进一步恶化桥梁使用状态。

1.3 附属设施病害

伸缩缝作为调节梁体热胀冷缩的关键构造,一旦被泥沙、碎石堵塞或橡胶条老化断裂,将限制梁体自由变形,产生附加内力,甚至引发主梁端部混凝土压碎。排水系统失效同样不容忽视,泄水管缺失、堵塞或布置不合理会导致桥面积水,长期浸泡加速铺装层破坏并渗透至主梁,加剧钢筋锈蚀。栏杆作为安全防护设施,若因锈蚀、撞击或基础松动而破损,将丧失防坠功能,对行人和非机动车构成潜在威胁。这些看似“次要”的病害若长期得不到处理,往往会成为结构性损伤的诱因,最终增加维修成本。

2 病害成因综合分析

2.1 设计与施工因素

早期农村公路桥梁多在资金紧张、技术条件有限的背景下建成,设计标准普遍偏低,未能充分考虑未来交通量增长和重载车辆通行的实际需求。许多桥梁按汽-10甚至更低荷载等级设计,结构冗余度不足,缺乏应对突发超载的能力。同时,施工过程中的质量控制体系不健全,混凝土配合比随意调整、振捣不密实、钢筋定位偏差、养护周期不足等问题屡见不鲜,导致构件初始强度和耐久性先天不足。部分工程甚至使用劣质水泥、含泥量超标的骨料或已锈蚀的钢筋,进一步降低了结构的服役寿命。这些设计与施工阶段的缺陷,为后期病害的快速萌生与发展埋下了隐患。

2.2 使用与管理因素

在使用阶段,农村地区超限超载运输现象极为普遍。由于监管力量薄弱、执法难度大,农用车、货运车辆长期超载运行,远超桥梁原始设计承载能力,加速了结构疲劳与损伤累积。更为严峻的是,多数农村桥梁缺乏系统的定期检测与技术状况评估机制,病害往往在发展到较严重阶段才被发现,错过了最佳干预时机。县级以下养护机构普遍存在专业技术人员短缺、检测设备落后的问题,难以开展科学有效的养护决策^[2]。此外,针对洪水、地震等自然灾害的应急预案普遍缺失,一旦遭遇极端事件,往往措手不及,造成不可逆的结构损伤。

2.3 环境与自然因素

自然环境对农村桥梁的侵蚀作用不容小觑。在北方寒冷地区,反复的冻融循环使混凝土内部孔隙水结冰膨胀,导致表层剥落;在南方湿热地区,干湿交替与紫外线辐射加速材料老化。水文条件的变化同样带来风险,上游水库调度、河道非法采砂等活动改变了水流形态,加剧了桥基冲刷。生物因素亦不可忽视,苔藓、杂草等植物根系侵入混凝土微裂缝,在生长过程中不断扩张裂缝宽度。此外,滑坡、泥石流等地质灾害对位于山区的桥梁构成直接威胁,可能瞬间摧毁下部结构,造成灾难性后果。这些自然因素与人为使用叠加,共同加速了农村桥梁的性能退化。

3 低成本养护技术体系构建原则

面对农村地区财政能力有限、技术力量薄弱的现实,构建低成本养护技术体系必须坚持科学性与实用性相统一。首先,应确立“预防为主、防治结合”的核心理念,将养护重心前移,通过日常巡查和小修保养及时消除隐患,避免小病拖成大患。其次,技术方案应充分考虑就地取材的可能性,优先选用当地易得的砂石、石灰、废旧材料等,降低运输与采购成本。第三,工艺流程需力求简单,便于基层养护人员掌握和操作,减少对大型专

用设备的依赖。第四,所有措施应在保证基本安全的前提下追求经济高效,注重长期效益而非短期应付。最后,技术选择必须符合现行规范的基本要求,确保结构安全底线不被突破。唯有如此,低成本养护才能真正落地生根、持续见效。

4 低成本养护关键技术探讨

4.1 预防性养护技术

预防性养护是延长桥梁寿命、控制全生命周期成本的关键。对于宽度小于0.2毫米的非结构性裂缝,可采用环氧树脂或聚合物水泥浆进行表面涂刷封闭,有效阻隔水分和有害离子侵入。当裂缝宽度达到或超过0.2毫米时,则需采用压力注浆法,利用手动注浆器将低黏度环氧或聚氨酯浆液注入裂缝深处,实现结构性修复,其成本仅为专业高压注浆设备的五分之一左右^[3]。此外,在裂缝区域铺设土工布后再抹压水泥砂浆,既能增强抗裂性能,又能形成防水屏障,是一种经济实用的复合处理方式。在混凝土表面防护方面,喷涂硅烷类渗透型防护剂可形成深层憎水层,显著提升抗氯离子和抗碳化能力,单位面积成本仅十余元;而采用水泥基渗透结晶材料或掺加胶乳的水泥砂浆进行现场涂覆,则能以极低成本实现良好的防水效果。

4.2 结构性病害修复技术

对于已出现钢筋锈蚀的区域,应先凿除松散混凝土,彻底清除钢筋表面锈迹,随后涂刷亚硝酸钙等阻锈剂以延缓再次腐蚀,最后用聚合物修补砂浆回填恢复外形。近年来推广的锈转化剂技术,可将疏松的氧化铁转化为稳定化合物,大幅减少凿除工作量,提高修复效率。支座更换是恢复桥梁正常受力状态的重要手段,通过同步千斤顶局部顶升梁体,可安全更换老化脱空的橡胶支座;对于轻微脱空情况,也可直接注入高强无收缩灌浆料填充空隙,操作简便且成本可控。桥面铺装的修复宜采取“局部挖补+薄层罩面”策略,对坑槽区域清理后使用快硬水泥混凝土或冷补沥青混合料修补,再整体喷洒乳化沥青并撒布碎石形成磨耗层,既能快速恢复功能,又具备良好防水性能。

4.3 下部结构防护技术

桥基冲刷防护是保障下部结构安全的重中之重。在汛期前向桥墩周围抛投块石或废弃混凝土块,可迅速形成反滤层,有效减缓水流冲刷,成本低廉且见效快。生态格宾笼技术则将镀锌铁丝网箱填充卵石后置于冲刷区,不仅防护效果显著,还能促进植被生长,实现工程与生态的融合。在河岸种植柳树、芦苇等根系发达的植物,亦可通过生物固土作用减轻冲刷。对于出现裂缝的墩台,

可在表面粘贴碳纤维布以提升抗弯抗剪能力,虽然材料单价较高,但用量少、施工快,总体经济性良好;另一种更经济的做法是挂设钢丝网后抹压高强砂浆,形成外包加固层,增强整体刚度和耐久性。

4.4 智慧化低成本监测技术

现代信息技术为低成本养护提供了新路径。利用消费级无人机搭载高清摄像头进行定期航拍,可高效识别桥梁表观病害,替代部分人工高空作业,大幅提升巡检安全性与覆盖率。配套开发简易的桥梁病害登记手机APP,使养护员能实时拍照上传、自动归档,形成动态电子台账^[4]。在关键部位部署基于LoRa或NB-IoT通信协议的低成本位移、倾角传感器,单点成本可控制在500元以内,实现对墩台稳定性的远程实时监测,为预警决策提供数据支撑。这些智慧化手段虽投入有限,却能显著提升养护的精准性与前瞻性。

5 养护管理机制优化建议

5.1 建立“县为主体、乡村参与”的管养体制

明确县级交通运输部门在农村桥梁养护中的主体责任,同时鼓励村委会设立专职或兼职的“桥梁协管员”,负责日常巡查、信息上报和小型维护,形成上下联动、全民参与的管养格局。这种模式既能弥补专业力量不足,又能增强村民的爱桥护桥意识。

5.2 推行“桥梁健康档案”制度

为每座桥梁建立包含建设资料、历次检测报告、维修记录等内容的电子健康档案,实现从“经验管理”向“数据管理”转变。通过信息化平台动态更新桥梁技术状况,为科学制定养护计划提供依据,避免重复投入或遗漏重点。

5.3 设立专项养护资金池

整合乡村振兴、交通补助、涉农资金等渠道,设立县级农村桥梁养护专项资金,并实行“以奖代补”机制,对管养成效显著的乡镇给予额外奖励,激发基层主动作为的积极性,确保资金用在刀刃上。

5.4 加强技术培训与推广

由省级或市级交通主管部门牵头,组织专家团队定期赴基层开展低成本养护技术培训,重点讲解裂缝处理、支座更换、冲刷防护等实用技能。同时编制图文并茂、通俗易懂的《农村桥梁简易养护手册》,发放至一线养护人员手中,提升整体技术水平。

5.5 探索“保险+养护”模式

引入商业保险机制,对技术状况较差或位于高风险区域的桥梁投保结构安全险。一旦发生因自然灾害或意外事故导致的损坏,可由保险公司承担部分维修费用,有效分散财政风险,为桥梁安全提供市场化保障。

6 结语

农村公路桥梁病害问题复杂多样,其成因涉及设计、施工、使用、环境等多方面。在财政资源有限的现实约束下,单纯依赖大修大建不可持续。本文提出的低成本养护技术体系,强调“预防优先、小修常养、就地取材、智慧赋能”,不仅技术可行,且经济合理,具有广泛的推广价值。未来,应进一步推动农村桥梁养护从“被动抢险”向“主动预防”转变,构建“技术+管理+资金”三位一体的长效机制。同时,结合数字乡村建设,探索基于物联网与大数据的智能管养平台,以科技手段提升养护效率与精准度,真正实现农村公路桥梁“建得好、管得住、养得久、行得安”的目标,为全面推进乡村振兴筑牢交通基石。

参考文献

- [1]杨洪广.农村公路小跨径桥梁病害及维修对策分析[J].运输经理世界,2024,(36):141-143.
- [2]商显文,徐德福.农村公路桥梁病害成因与养护管理措施[J].运输经理世界,2024,(20):141-143.
- [3]孙志云.农村公路桥梁的病害成因及养护管理措施[J].工程技术研究,2022,7(12):143-145.
- [4]韩佳.基于农村公路桥梁病害及养护问题的思考[J].居舍,2021,(01):158-159.