

浅谈高速公路桥梁病害养护与维修施工

闫聪慧

安阳市龙安区交通运输局 河南 安阳 455000

摘要：高速公路桥梁作为交通基础设施的关键组成部分，其结构性能直接影响路网通行效率与运营安全。本文系统分析桥梁常见病害类型及成因，探讨养护维修施工的技术要点与质量控制措施。通过研究混凝土结构劣化、钢结构疲劳损伤、支座功能失效等典型病害的演化规律，提出基于全生命周期理念的预防性养护策略，结合无损检测技术与新型材料应用，构建科学的维修施工技术体系。研究结果可为提升桥梁结构耐久性、延长使用寿命提供技术参考，对保障高速公路网络的可持续运营具有重要实践意义。

关键词：高速公路桥梁；病害类型；养护技术；维修施工；结构耐久性

引言：随着我国高速公路网络的持续扩展，桥梁结构在服役过程中面临荷载累积、环境侵蚀与材料老化等多重挑战，病害问题日益凸显。桥梁病害不仅降低结构承载能力，更可能引发交通安全隐患，对运输系统的高效运行构成威胁。传统养护模式多以事后维修为主，存在响应滞后、成本高昂等局限。因此，深入研究桥梁病害的形成机制，优化养护维修施工技术，建立预防性养护与精细化维修相结合的管理体系，已成为交通基础设施养护领域的重要课题。本文结合桥梁工程实践，从病害诊断、养护策略、施工技术等方面展开探讨，旨在为提升高速公路桥梁养护维修水平提供理论与技术支撑。

1 高速公路桥梁常见病害类型及成因分析

高速公路桥梁病害表现形式多样，按结构部位可分为上部结构病害、下部结构病害及附属设施病害三大类。上部结构中，混凝土梁体常见裂缝（包括弯曲裂缝、剪切裂缝、温度裂缝）、保护层剥落、钢筋锈蚀等问题，主要因荷载效应超出设计限值、混凝土碳化深度过大或碱骨料反应所致。钢结构桥梁则易出现疲劳裂纹、螺栓松动、涂层老化等病害，与车辆冲击荷载反复作用及防腐体系失效密切相关。下部结构中，桥墩墩身裂缝、基础不均匀沉降、盖梁变形等病害较为普遍，多由地质条件变化、基础冲刷或长期受力不均引发。支座作为连接上下部结构的关键部件，其病害主要表现为老化开裂、剪切变形、脱空等，直接影响桥梁的受力传递与位移调节功能。附属设施中，伸缩缝损坏、排水系统堵塞、防撞护栏锈蚀等问题，虽不直接威胁结构安全，但会加速主体结构的劣化进程^[1]。

2 高速公路桥梁病害检测与评估技术

2.1 外观检测技术

外观检测是桥梁病害诊断的基础手段，通过目测、

尺量及辅助工具对结构表面病害进行定性与定量描述。检测内容包括混凝土表面裂缝分布特征（长度、宽度、深度）、蜂窝麻面程度、钢筋外露情况，钢结构的锈蚀等级、焊缝缺陷，支座的变形量与老化状态等。检测过程中需遵循《公路桥梁技术状况评定标准》，对病害进行分类记录，并拍摄高清影像资料存档。外观检测具有操作便捷、成本低的优势，可快速识别明显病害，但对内部缺陷的判断存在局限性，需与其他检测方法配合使用。

2.2 无损检测技术

无损检测技术通过物理方法在不损伤结构的前提下获取内部信息，主要包括超声波检测、回弹法、电磁感应法、红外热成像技术等。超声波检测利用声波传播速度与介质密度的关系，可测定混凝土内部缺陷（如空洞、裂缝）的位置与尺寸；回弹法通过测量混凝土表面硬度推算抗压强度，适用于大面积结构的强度评估；钢筋扫描技术基于电磁感应原理，能准确测定钢筋位置、数量及保护层厚度，判断钢筋锈蚀程度；红外热成像技术则通过检测结构表面温度差异，识别脱空、脱粘等病害。无损检测技术具有精度高、对结构无损伤的特点，是深入分析病害机理的重要手段，但对操作人员技能要求较高，检测结果需结合工程经验综合判断^[2]。

2.3 荷载试验技术

荷载试验是评估桥梁承载能力的直接方法，分为静力荷载试验与动力荷载试验。静力荷载试验通过施加已知荷载（如车辆、沙袋），测量结构关键截面的应力、应变及变形，验证结构实际承载能力是否满足设计要求；动力荷载试验则通过激振或车辆行驶，测试桥梁的自振频率、振型、阻尼比等动力参数，评估结构刚度与整体性。荷载试验结果直观可靠，但实施过程需中断交通，成本较高，通常用于重要桥梁或病害严重桥梁的评

估。试验前需制定详细方案,确保加载过程安全可控,数据采集准确。

2.4 结构健康监测技术

结构健康监测技术通过在桥梁关键部位布设传感器(如应变计、加速度计、位移计、温湿度传感器等),实时采集结构响应与环境参数,实现病害的早期预警与长期跟踪。监测系统由感知层、传输层、数据层与应用层构成,可对荷载作用、结构变形、材料劣化等进行动态监测。通过建立结构数字模型与损伤识别算法,能及时发现潜在病害并评估其发展趋势。该技术实现了从“定期检测”到“实时监测”的转变,为预防性养护提供数据支持,但系统建设与维护成本较高,适用于大型复杂桥梁或高风险桥梁。

3 高速公路桥梁养护与维修施工技术

3.1 混凝土结构病害维修技术

混凝土结构是高速公路桥梁的主要形式,其病害维修需根据损伤程度采取针对性措施。对于表面裂缝,宽度小于0.15mm的非结构性裂缝可采用表面封闭法,使用环氧树脂浆液或聚合物砂浆涂抹封闭;宽度大于0.15mm的结构性裂缝则需进行压力注浆处理,常用材料包括低粘度环氧树脂、聚氨酯树脂等,注浆压力应根据裂缝深度与混凝土强度合理控制,确保浆液充分填充。保护层剥落与钢筋锈蚀病害的维修,首先需清除松动混凝土,对锈蚀钢筋进行除锈处理(机械除锈或化学除锈),必要时采用钢筋阻锈剂,然后选用高性能修补材料(如自密实混凝土、纤维增强复合材料)进行修补,修补层厚度应满足保护层厚度要求,且与原结构结合紧密。

针对混凝土碳化问题,可采用碳化深度检测确定影响范围,对碳化严重区域进行表面处理后,涂刷混凝土保护剂或采用硅烷浸渍技术,提高混凝土的抗渗性与抗碳化能力。碱骨料反应引起的膨胀开裂,需评估反应程度,对轻微病害可采用表面修补与阻锈处理,严重时需考虑结构加固或局部更换。混凝土结构维修施工中,需严格控制材料配合比、施工温度与养护条件,确保修补材料与原结构的兼容性,避免因收缩差异产生新的裂缝^[1]。

3.2 钢结构病害维修技术

钢结构桥梁维修需聚焦疲劳裂纹处理、防腐体系修复及连接节点加固三大核心。针对疲劳裂纹,首先通过超声波探伤、磁粉检测等无损检测手段,精准定位裂纹位置、测量长度并评估扩展趋势。对浅表层裂纹(深度<0.3mm)采用机械打磨消除法,打磨范围需扩展至裂纹尖端外50mm,形成半径不小于10mm的平滑过渡面,避免应力集中;深度超过0.3mm的裂纹采用焊接修复,选用

与母材材质匹配的低氢型焊条(如E5015-G),实施多层多道焊接工艺,焊前预热至80-120℃,焊后立即进行250-300℃去应力退火处理,保温时间按板厚每毫米1-2分钟控制。

螺栓连接节点维修遵循“拆卸-检测-修复-复装”流程。对松动螺栓采用扭矩扳手按设计值(通常350-450N·m)复紧;锈蚀螺栓需使用专用扳手拆卸,用钢丝刷配合除锈剂清除螺纹锈迹,螺纹损伤超过1牙的必须更换,复装时在螺纹处涂抹石墨润滑脂,采用扭矩转角法分三次紧固,确保节点刚度满足设计要求。

防腐体系修复执行严格的表面处理标准。涂层破损区域采用喷砂除锈(Sa2.5级)或机械除锈(St3级),表面粗糙度控制在50-80μm。底漆选用环氧富锌底漆(干膜厚度60-80μm),中间漆采用环氧云铁厚浆漆(干膜厚度100-120μm),面漆选用氟碳面漆(干膜厚度40-60μm),总厚度不低于200μm。海洋环境桥梁优先采用热浸镀锌处理(锌层厚度85-100μm),或锌铝合金喷涂(干膜厚度120-150μm),配合封闭漆形成复合防腐体系。

施工过程中实施焊接变形动态控制,采用“对称施焊、分段退焊”工艺,大型构件使用刚性固定工装,焊后24小时内采用火焰矫正(加热温度700-800℃),确保构件轴线偏差 $\leq L/1000$ (L为构件长度),平面度误差 $\leq 3\text{mm/m}$,最终通过三维坐标测量验证结构几何尺寸符合设计标准。

3.3 支座系统维修与更换技术

支座病害维修需根据支座类型(板式橡胶支座、盆式支座、球型支座等)与损坏程度制定方案。板式橡胶支座出现老化开裂、鼓包等病害时,若损伤较轻可采用局部修补,更换老化橡胶层;严重损坏时需整体更换。支座更换施工步骤包括:设置临时支撑体系,确保桥梁结构在更换过程中受力稳定;拆除旧支座,清理支座垫石表面,检查垫石平整度与高程;安装新支座,调整支座位置与标高,确保受力均匀;拆除临时支撑,完成体系转换。

盆式支座常见病害为密封件老化、钢件锈蚀、位移超限等,维修时需更换老化密封件,对锈蚀钢件进行除锈防腐处理,调整支座位移量。球型支座的维修重点在于检查球冠与衬板的磨损情况,更换磨损部件,补充润滑油脂。支座更换施工中,临时支撑的设置至关重要,需通过结构受力计算确定支撑位置与数量,避免局部应力过大导致结构损伤。同时,新支座的选型应考虑桥梁的设计荷载、位移需求与环境条件,确保支座性能满足

使用要求^[4]。

3.4 桥面系维修施工技术

桥面系包括桥面铺装、伸缩缝、排水系统、防撞护栏等，其维修质量直接影响行车舒适性与结构耐久性。桥面铺装层常见病害有裂缝、车辙、坑槽、推移等，维修时需根据病害类型选择合适工艺。对于局部破损，可采用铣刨重铺法，清除破损铺装层，喷洒粘层油后铺设新的沥青混凝土或水泥混凝土；大面积病害则需进行整体铺装层更换，施工中需控制铺装层厚度、平整度与压实度，确保与桥面防水层的粘结性能。

伸缩缝损坏表现为密封胶老化、型钢变形、锚固混凝土开裂等，维修时需拆除旧伸缩缝，清理锚固区，修复损坏的混凝土，安装新伸缩缝装置，确保伸缩缝与桥面平顺连接，防水密封良好。排水系统维修包括疏通泄水孔、更换破损排水管，确保桥面排水畅通，避免雨水渗入梁体或墩台。防撞护栏锈蚀或损坏时，需进行除锈防腐处理或更换，保证护栏的结构强度与防护功能。桥面系维修施工需做好交通组织，设置安全警示标志，确保施工期间行车安全，同时缩短施工周期，减少对交通的影响。

3.5 桥梁加固技术应用

当桥梁结构病害导致承载能力下降，无法满足现行荷载标准时，需进行加固处理。常用加固技术包括增大截面法、粘贴纤维复合材料（FRP）加固法、体外预应力加固法、钢套箍加固法等。增大截面法通过增加构件截面尺寸与配筋量提高承载能力，适用于混凝土梁、柱等构件的加固，施工时需处理原结构表面，确保新旧混凝土结合牢固；粘贴FRP加固法利用FRP材料的高强度特性，通过粘结剂将其粘贴于构件受拉区或薄弱部位，提高结构刚度与强度，具有施工便捷、自重增加小的优

点，适用于梁、板、柱等构件的加固；体外预应力加固法通过设置体外预应力束，调整结构内力，改善受力状态，适用于大跨度桥梁的加固；钢套箍加固法通过在构件外部设置钢套箍，约束构件横向变形，提高其抗压与抗剪能力，适用于桥墩、桩基础等构件的加固。

加固设计需根据桥梁检测评估结果，结合结构受力特点与使用要求，选择经济合理的加固方案。施工过程中，需对原结构进行预处理（如表面清理、裂缝修补），严格控制加固材料的质量与施工工艺，确保加固效果。加固完成后，应进行荷载试验或现场检测，验证加固后的结构性能是否达到设计目标。此外，加固技术的选择还应考虑耐久性要求，选用耐环境侵蚀的材料，延长加固结构的使用寿命^[5]。

结束语：高速公路桥梁病害养护维修是保障桥梁安全运营的关键，要树立“预防为主、防治结合”理念，经科学检测、精准诊断、合理选技，实现全生命周期精细化管理。应用中注重传统工艺与新材、智能监测技术融合，加强施工质控与安全管理。未来挑战增多，需持续创新研究，为桥梁安全耐久运营提供保障。

参考文献

- [1] 邹建喜. 高速公路桥梁伸缩缝病害成因及维修处理分析[J]. 工程建设与设计, 2026(2): 104-106.
- [2] 冯彦章. 高速公路桥梁病害检测及策略探究[J]. 工程建设与设计, 2026(6): 80-82.
- [3] 许杰. 高速公路桥梁养护与加固维修施工技术[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2025(5): 060-063.
- [4] 温云飞. 高速公路桥梁病害养护与维修施工分析[J]. 四川建材, 2024, 50(7): 185-186+189.
- [5] 谢帅. 高速公路桥梁病害养护与维修施工分析[J]. 汽车周刊, 2024(11): 0258-0260.