

桥梁定期外观检测与无损检测技术的综合应用研究

何友涛

佛山市公路工程质量监测有限责任公司，广东省佛山市，528313；

摘要：桥梁结构安全关乎交通运转与公众安全，常规外观检测及无损检测技术是桥梁养护管控的核心方式。剖析两类检测手段在结构评定中的特性与应用场景，探索外观检查同无损检测配合使用的技术思路，搭建平衡效能与精准度的整体检测框架。实际应用验证，二者结合可强化病害辨识水平与结构评定可信度，为桥梁长久稳定运转夯实技术保障。

关键词：桥梁检测；外观检测；无损检测技术；结构评估；综合应用

DOI：10.69979/3029-2727.25.02.082

引言

桥梁在交通运输体系中发挥重要作用，结构状况直接关乎道路通行效率与公共安全。长期运营阶段，荷载作用、环境侵蚀及材料老化等因素会诱发结构病害，搭建科学完备的检测体系具备重要价值。传统外观检测可快速排查表层瑕疵，无损检测技术可辨识结构内部隐患，两类手段在桥梁检测工作中各有适用场景。两类检测手段的协同运用，既能保障检测作业效率，又能优化结构评定的精准度，为桥梁运维管控供给坚实的技术支撑。

1 桥梁结构检测需求与技术基础

1.1 桥梁服役过程中的结构变化特征

桥梁长期运营过程中，结构性能受荷载反复作用、环境侵蚀与材料时变效应影响不断演变。车辆动载、制动力与偏载作用下，梁体、桥墩及支座区域形成疲劳累积，局部构件易发生裂缝延展、挠度提升与连接松动问题。混凝土桥梁多伴随碳化加剧、钢筋锈蚀与保护层脱落，钢结构桥梁易产生焊缝瑕疵、节点应力集中与构件腐蚀变薄。此类变化并非单独发生，以耦合形式作用于结构承载能力、刚度与耐久性能，慢慢改变桥梁整体受力状态。

桥梁结构演变具备隐蔽性、渐进性与区域差异性特点，高湿、高盐或冻融频发区域的桥梁，病害发展速率远超常规环境中的同类结构，伸缩缝、泄水孔、支座与梁端区域多为损伤集中区段。部分病害初期仅呈现表层细微异常，结构内部却可能存在钢筋截面缩减、界面脱空与预应力降低情况。缺少连续性监测与阶段性评定，易出现外观损伤轻微、内部劣化程度严重的状况。掌握桥梁服役阶段的结构演变规律，是拟定合理检测方案与养护举措的关键基础。

1.2 定期外观检测的技术特点

定期外观检测为桥梁养护体系内基础直接的技术方式，核心依托目测、量测与记录操作，完成桥面系、上部结构、下部结构及附属设施可见病害的全面梳理。检测范畴涵盖裂缝宽度、渗水痕迹、混凝土破损、钢构件锈蚀、支座位移异常与伸缩装置运行状态等^[1]。这类方式落地简单、调配自由，可在交通运行环境下快速把控桥梁表层状态，整理病害台账与影像资料。桥梁日常巡查及周期性技术状况评定工作中，外观检测具备覆盖范围大、支出稳定、信息采集高效的突出特点。

定期外观检测的专业作用，覆盖病害排查环节，也包含结构异常信息的前期解读功能。依托裂缝走向、分布密度、剥落形态与构件变形特点，可判定结构受力异常、耐久性衰减及排水系统故障，为后续无损检测的点位布设提供参考。工程实践中，外观检测数据多与桥梁技术状况等级核定、养护次序确定、维修方案制定形成直接联系。该方式对内部隐患、初期损伤、隐蔽病害的辨识存在不足，需借助标准化记录、病害层级划分、动态核查流程，强化检测结论的可靠程度与溯源能力。

1.3 无损检测技术在桥梁检测中的应用形式

无损检测技术在桥梁检测中的应用，集中体现为对结构内部状态、材料性能及局部损伤的非破坏性辨识。针对混凝土桥梁，常用手段涵盖超声波检测、回弹法、冲击回波、探地雷达与钢筋位置扫描，可判定内部空洞、脱空、裂缝深度、保护层厚度及强度离散状况。针对钢桥与组合结构，磁粉检测、渗透检测及超声探伤可辨识焊缝缺陷、板件裂纹及局部损伤延展态势。与仅依靠外观判别相比，无损检测可将检测对象由表层拓展至内部受力核心区域，为桥梁结构安全评定提供更具参考价值的数据依据。

无损检测技术在实际桥梁工程中的应用具备较强针对性与组合特征,针对存在异常裂缝的梁板构件,可融合裂缝观测、超声参数测试与雷达扫描开展综合判别;针对支座区、湿接缝、锚固端等核心部位,可结合构造特性选取局部精细化检测手段,强化缺陷辨识效果。检测数据经波形分析、幅值对比、时差计算与特征参数反演,可精准呈现结构损伤位置与损伤程度。该类技术适配运营桥梁非封航条件下的状态核查工作,可补足外观检测对隐蔽病害辨识的局限,增强桥梁技术状况评定的合理性。

2 定期外观检测与无损检测的协同实施方式

2.1 检测流程中的协同组织模式

桥梁综合检测的流程搭建,需遵循外观检测前置、无损检测接续、结果复核闭环的核心逻辑。现场作业环节,可结合桥梁技术档案、过往检测记录与病害分布情况拟定检测方案,完成主梁、横隔板、桥墩、支座、伸缩缝等构件的分区编号,开展基础外观核查。裂缝集中、渗水析白、局部剥落、构件变形与异常振动的对应区域,可布设超声波、回弹、钢筋扫描或雷达检测设备,实现检测资源的合理分配。此类流程规划,可减少全域无差别检测造成的工期损耗,强化重点区域的病害辨识程度。

协同组织模式的核心,是把现场检测、数据记录与技术判定归入统一管理框架。检测推进阶段,可依据桥型特征与运营环境划分作业窗口,通车桥梁可采取分车道封闭、夜间施工或短时交通疏导措施,平衡检测作业安全与交通运行管控。外观检测形成的病害分布图,可作为无损检测点位布设的参考,无损检测反馈的内部结构异常,可反向调整外观检测的判断结论,构建双向验证体系。搭建标准化流程单据、检测记录台账与构件编码系统,可提升各检测小组的配合效率,保障桥梁综合检测工作的连贯度、系统性与可追溯特性。

2.2 多技术联合应用的关键方法

多技术联合应用的核心并非检测手段数量的简单叠加,需结合结构类型、病害特征与构件受力状态完成技术适配。混凝土梁桥产生表层裂缝时,单靠裂缝宽度观测无法判定裂缝深度与贯通状态,可融合超声波传播参数与冲击响应特征完成综合辨识;桥面铺装下方出现疑似脱空区段时,可采用探地雷达实施连续扫描,借助局部回弹测试调整材料状态判定结果^[2]。钢结构桥梁的焊缝、节点板与加劲肋部位,可将磁粉检测与超声探伤搭配运用,提升表面裂纹及内部缺陷的辨识效率。技术组合与病害特征契合度越高,检测结果的工程参考意义

越突出。

多技术联合应用需关注检测时序、参数校核与异常信息的交叉核验,现场应用可发现,各类设备对环境温度、构件含水率、表面平整度及测点布设的敏感程度存在差异,缺少统一作业规范会引发数据偏移。多技术检测开展前需完成测区清理、坐标定位与基准点布设,依照由面到点、由浅至深的流程实施,强化数据间的关联程度。同一构件产生的多源检测信号,可依托波速变化、回波特征、反射界面与强度推定数值完成综合解读,规避单一指标引发的判定偏差。依托技术互补与结果互证,可提升桥梁隐蔽病害的辨识水平。

2.3 综合检测结果的分析与结构评估

综合检测结果的分析不应局限于病害罗列,需转向结构状态、受力性能与耐久水平的整体判定。外观检测可输出裂缝分布、表层破损、排水失效、构件变形等直观内容,无损检测可补充内部缺陷、材料劣化、钢筋位置偏差与局部密实性欠缺等隐蔽内容,两类数据完成整合梳理,方可完整呈现桥梁的实际技术状态。开展评估工作时,可依照构件类别搭建分析单元,为梁体、桥台、墩柱、支座及连接部位单独建立检测档案,结合病害等级、缺陷范围与作用程度开展分类研判,让检测成果直接支撑结构安全评定与维修方案制定。

结构评估环节侧重从检测数据中梳理风险传导路径与性能衰减规律,主承重构件需留意裂缝延展方向、钢筋锈蚀状况、截面损伤点位与刚度弱化特征,判断此类问题是否对承载能力与使用性能形成实际作用;附属构造需分析病害是否引发渗水蔓延、支座异常或局部受力重新分配。实际操作中,可将综合检测结果与计算分析、荷载试验数据、养护历史资料比对,输出可信度更高的技术判断。依托检测至评估的递进转化,桥梁管理单位可明确处治核心、维修周期与养护层级,优化运营阶段结构管理的整体水平。

3 桥梁综合检测体系的实施与应用效果

3.1 桥梁结构病害识别能力提升

桥梁结构病害识别能力的提升,核心是从单一表象判断转向表层与内部信息的联合辨识。定期外观检测可快速发现各类可见病害,如混凝土表面的细微裂缝、钢筋外露锈蚀痕迹、桥面及梁体的渗漏痕迹、构件表面的蜂窝麻面缺陷,以及支座的轻微偏移和钢构件的锈蚀斑点。无损检测技术则可进一步精准判定裂缝的实际深度、混凝土内部隐藏的空洞或脱空缺陷、钢筋锈蚀的具体范围以及构件密实性的细微变化。两类技术协同运用,可

明确确认病害存在与否,更精准掌握损伤部位的具体位置、扩展程度的实际情况及未来发展态势。梁端衔接处、横隔板节点、湿接缝接口、锚固区等结构易损部位,这种多维识别方式能显著减少漏检与误判现象,有效强化桥梁病害诊断的针对性与可靠性。

病害识别水平的提升,更体现在对早期隐蔽损伤的精准发现能力上,不少桥梁在运营阶段不会立即出现明显的结构异常,但在车辆荷载反复作用、雨水持续侵入与温度应力交替影响下,构件内部可能已形成隐蔽脱空、微裂缝缓慢延展或局部应力集中问题。通过外观检查初步确定异常区域后,借助超声波检测、探地雷达、回弹法及钢筋扫描等专业手段进行细致复核,可将传统依赖经验的判断模式,转化为数据支撑下的科学技术解读。此类识别方式完全契合桥梁养护精细化管理的实际需求,还能及时锁定影响结构安全的主导病害,为后续维修方案的科学拟定提供清晰、可靠的技术依据。

3.2 检测数据在养护决策中的应用

检测数据介入养护决策环节,价值不止于留存病害情况,更成为维修安排、资金分配与管养重点调整的核心依据^[3]。外观检测获取的裂缝宽度、破损面积、渗水范围与无损检测捕捉的波速参数、强度推定值、钢筋保护层厚度、内部缺陷位置等信息,经过分类梳理、统一校准后,可搭建按构件类别归档的桥梁构件状态评价基础数据库。管理单位据此结合构件重要性与病害发展速度,清晰区分哪些病害仅需表层打磨、封堵等简单处置,哪些损伤已实质性影响结构承载性能,需及时实施加固补强、局部构件更换或交通限载管控措施。该决策模式可有效降低经验化养护的盲目性,让有限的养护资金与人力资源,优先投向技术风险较高、影响结构安全的桥梁关键部位。

检测数据在实际养护中的应用,更体现在对病害发展规律的连续追踪与动态把控。桥梁结构状态处于动态变化中,仅通过一次检测无法全面、准确完成状态判断,诸多隐蔽性、渐进性病害,需通过多个检测周期的连续数据比对,才能精准识别其演化速度与发展趋势。横向比对不同检测时段的裂缝长度、结构挠度变化、材料劣化参数及支座运行参数等核心指标,可明确判断病害处于稳定可控阶段还是加速恶化阶段,进而确定采取预防性养护干预或针对性修复性处理。对于日均交通量大、服役年限久、环境侵蚀严重的桥梁,这类连续的数据支

撑显得尤为关键。

3.3 综合检测模式对桥梁安全管理的支撑

综合检测模式为桥梁安全管理提供支撑,安全风险识别更全面,管理措施制定更精准。传统安全管理多依赖巡查人员经验与局部维修反馈,对结构内部损伤、受力状态异常及耐久性退化情况掌握较为欠缺。定期外观检测与无损检测纳入统一体系,可让管理人员同步获取桥梁外观病害信息与内部技术参数,对主梁、桥墩、支座、连接节点等关键部位形成完整的状态认知。该模式可提前识别可能导致结构性能下降的风险点,避免病害积累至明显失稳阶段再被动处置。运营期桥梁采用这种前移式安全管理,能更好保障通行安全,延长结构使用寿命。

综合检测模式可推动桥梁安全管理从分散化转向规范化,检测成果分类整理后,可直接用于建立桥梁健康档案、技术状况等级评定表及安全风险清单,让日常巡查、专项检测、维修加固与交通组织措施形成清晰衔接。存在中度以上病害的桥梁,可依据综合检测结果及时采取限速、限载、重点监测或阶段性维修措施,降低突发性安全事件发生率。状态较稳定的桥梁,可通过周期性复核维持正常管养秩序,避免过度维修造成的资源浪费。

4 结语

本文围绕桥梁定期外观检测与无损检测技术的综合应用展开研究,剖析桥梁服役阶段结构演化特征、检测流程协同逻辑及多技术适配联用策略,探究综合检测成果在结构性能评定与养护方案制定中的实践价值。搭建外观与无损检测融合的技术体系,可全方位辨识桥梁结构各类病害,提升检测精准度与管养工作效率,为桥梁长期安全运营与精细化科学养护提供坚实技术保障。

参考文献

- [1]康友良,周志强.公路桥梁检测中的无损检测技术应用[J].城镇建设,2021,4(7):112-114.
- [2]谢占月,刘海涛.道路桥梁检测中的无损检测技术研究[J].工程技术研究,2023,8(12):85-87.
- [3]刘宇飞,冯楚乔.基于机器视觉法的桥梁表观病害检测研究综述[J].中国公路学报,2024,37(2):1-12.