

荷载试验在城市桥梁检测及加固决策中的应用研究

张旭景

(国检测试控股集团安徽元正检测有限公司, 安徽 合肥 230011)

摘 要 为解决城市桥梁常规检测精准度不足、加固决策缺乏科学数据支撑, 导致过度加固或加固不到位的问题, 本文结合城市桥梁运营现状与核心痛点, 对荷载试验在桥梁检测及加固决策中的应用展开研究。明确荷载试验的检测指标、方案设计要点及应用场景, 通过精准解读试验数据, 为桥梁结构性能评估提供依据; 基于试验数据判断加固需求、优化加固方案、验证加固效果, 实现检测与加固决策的精准衔接。结果表明, 荷载试验可有效弥补常规检测局限, 提升桥梁检测的精准度与加固决策的科学性, 为城市桥梁安全运营、资源合理配置提供可靠支撑, 适配城市交通发展对桥梁安全的需求。

关键词 城市桥梁; 荷载试验; 结构检测; 加固决策; 安全运营

中图分类号: U446.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.24.019

0 引言

城市桥梁长期承担密集交通荷载, 服役环境复杂多变, 结构老化与性能退化问题持续显现。常规检测手段难以全面反映桥梁真实受力状况, 易造成结构隐患识别不充分、加固措施制定缺乏依据等问题, 直接影响桥梁运行安全与使用寿命。荷载试验能够真实还原桥梁受力状态, 量化评估结构承载能力与工作性能, 为病害诊断与加固方案提供可靠数据支撑。在城市基础设施精细化运维的新形势下, 依托荷载试验实现检测与决策一体化, 可有效提升桥梁管养科学性, 保障交通系统稳定运行, 推动城市桥梁安全运维水平持续提升。

1 城市桥梁检测与加固决策的核心需求

1.1 城市桥梁运营现状及核心痛点

城市桥梁作为城市交通网络的核心枢纽, 其运营状态直接关系到城市交通的顺畅与公众出行的安全。随着服役年限逐年增长, 多数既有桥梁出现不同程度的结构性能衰减, 混凝土碳化、钢筋锈蚀等老化现象普遍存在, 直接导致桥梁承载能力下降, 安全隐患日益凸显。城市进程的加快使得交通量呈现爆发式增长, 重型货运车辆的频繁通行, 往往超出部分老旧桥梁的原始设计荷载标准, 进一步加剧桥梁结构损耗, 缩短服役寿命^[1]。当前常规检测手段多以外外观观测、材料

性能抽检为主, 难以精准捕捉桥梁在实际受力状态下的结构响应, 无法全面反映桥梁真实承载能力。这种检测层面的局限直接传导至加固决策环节, 导致部分加固工作缺乏科学数据支撑, 要么出现过度加固造成资源浪费, 要么加固不到位无法彻底消除安全隐患, 形成“检测不精准、决策不科学”的恶性循环, 无法满足城市桥梁安全运营的实际需求。

1.2 荷载试验在检测与加固决策中的核心价值

荷载试验通过模拟桥梁实际受力场景, 精准获取结构在不同荷载作用下的力学响应数据, 为城市桥梁检测与加固决策提供不可替代的核心数据支撑, 显著提升决策的科学性与合理性。常规检测手段难以突破对桥梁实际受力状态的判断局限, 而荷载试验可直接还原桥梁在设计荷载、极限荷载下的挠度、应变等关键力学参数, 清晰呈现结构实际工作状态, 弥补常规检测的不足。基于试验获取的量化数据, 能够精准评估桥梁结构性能, 明确病害产生的根源的核心影响因素, 避免仅凭外观判断导致的病害误判。在加固决策环节, 荷载试验数据可指导加固方案的精准设计, 结合结构薄弱环节针对性选择加固措施, 从根本上避免盲目加固带来的资源浪费与加固不足引发的安全风险。加固施工完成后, 荷载试验可再次对桥梁结构性能进行检测, 验证加固措施的实际效果, 确保桥梁加固后

作者简介: 张旭景 (1994-), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 市政道桥。

达到设计承载要求,为加固决策的有效性提供直接佐证,保障桥梁长期安全运营。

2 荷载试验在城市桥梁检测中的策略应用

2.1 荷载试验的检测指标与方案设计

科学设定检测指标、优化试验方案,是荷载试验检测有效的核心,需结合桥梁类型与运营现状精准设计,杜绝试验流程形式化、数据失准。荷载试验核心检测指标需贴合桥梁结构受力特点,涵盖挠度、应变、裂缝宽度等关键参数。挠度反映荷载作用下桥梁整体变形能力,直接关联结构刚度;应变体现构件内部受力状态,可判断其是否处于正常受力范围;裂缝宽度直观呈现结构损伤程度,为评估耐久性提供依据,三者相互补充,构成核心指标体系。方案设计需立足桥梁实际,结合结构形式(梁桥、拱桥、斜拉桥)、设计标准、服役年限及既往检测记录,制定针对性荷载试验方案,不照搬通用模板^[2]。试验荷载类型需匹配桥梁实际受力场景,静力荷载试验可检测静态荷载下桥梁承载性能,精准获取强度、刚度等参数,适用于多数常规桥梁;动力荷载试验则检测车辆行驶、地震等动态荷载下的桥梁响应,捕捉振动频率、阻尼比等指标,适用于大跨度、异形等特殊桥梁。同时,需规范试验全流程,从试验前结构检查、仪器校准,到试验中荷载施加、数据实时监测,再到试验后数据分析、报告整理,严格把控每个环节,保障检测数据真实、可靠、完整,为后续检测评估提供高质量数据支撑。

2.2 荷载试验在检测中的重点应用场景

就城市桥梁不同服役状态而言,荷载试验可实现差异化检测,排查安全隐患、评估结构性能,适配各类桥梁检测需求,解决常规检测难以应对的问题。老旧桥梁长期服役后结构性能衰减,部分设计荷载标准已不满足当前通行要求。荷载试验可复核其服役性能,模拟现行荷载受力场景,检测实际承载能力,判断能否安全运营,为维修、加固或报废决策提供依据。受损桥梁因交通事故、自然灾害、材料老化等出现结构损伤后,常规检测无法明确损伤程度及对承载能力的影响。荷载试验可精准监测受损部位变形、应变数据,量化损伤影响,明确病害程度,为修复方案制定提供精准指导^[3]。新建桥梁竣工验收阶段,荷载试验可验证施工质量与设计的符合性。通过对比试验数据与设计参数,判断其是否达到设计承载要求,排查施工缺陷,保障安全运营条件。特殊桥梁(如异形桥、大跨度桥梁、景观桥梁)结构复杂、受力特殊,常规检测难以全面捕捉其受力状态。荷载试验可结合其受力特性制定专

项方案,突破技术难点,精准评估结构性能,保障安全运营。

2.3 荷载试验检测数据的解读与应用

精准解读荷载试验数据、建立其与桥梁结构性能的关联,是荷载试验发挥检测价值的核心。科学分析数据,才能为检测结论提供可靠依据。荷载试验受环境干扰、仪器误差等因素影响,检测数据可能存在无效数据和异常值。为此需先对原始数据进行降噪、筛选,通过专业方法剔除无效数据、修正误差,保障数据准确有效,为后续分析筑牢基础。数据解读需围绕桥梁结构性能,将试验获取的挠度、应变、裂缝宽度等数据,与桥梁设计标准、相关规范对比分析。通过对比明确实际承载能力与设计要求的差距,评估结构安全储备,判断桥梁是否安全运营。结合数据异常情况,可精准定位结构薄弱环节,找准病害根源。例如:某跨梁应变数据异常偏高,说明该部位可能存在构件损伤或受力不合理问题,需进一步排查病害原因,明确损伤类型与程度。数据解读完成后,需形成完整检测报告,清晰呈现试验过程、数据结果、分析结论及相关建议。将数据转化为可直接应用的检测成果,为后续加固决策提供精准数据支撑,确保决策能针对性解决桥梁问题,提升决策科学性与合理性。

3 荷载试验在城市桥梁加固决策中的策略应用

3.1 基于荷载试验的加固需求判断

以荷载试验数据为核心,结合桥梁运营需求,科学判断加固必要性与优先级,既能规避加固决策的盲目性、提升决策合理性,又能实现加固资源的优化配置。荷载试验数据可精准反映桥梁结构的实际承载能力,分析试验数据能评估承载能力富余度,明确其与现行荷载标准、运营需求的差距,以此判定桥梁是否需要加固。就承载能力满足运营需求且安全储备充足的桥梁而言,可避免开展不必要的加固施工;就承载能力不足、存在安全隐患的桥梁而言,需明确加固工作的紧迫性^[4]。结合城市交通规划,可判定桥梁加固的紧迫性与优先级。城市主干道、交通枢纽处的桥梁,通行效率关乎城市交通整体运转,若存在安全隐患,需优先开展加固施工,降低对城市交通的影响;次要道路上的桥梁,则可结合实际情况合理安排加固时序。荷载试验揭示的结构薄弱环节,可明确加固核心部位,避免盲目加固造成资源浪费。若试验数据显示某桥梁支座应变异常,支座即为结构薄弱环节,加固工作应聚焦支座开展,以此提升加固针对性。同时需结合经济成本,平衡加固需求与投入性价比。在保障桥梁安

全运营的前提下,选取成本合理、施工便捷的加固方案,避免过度投入,实现加固效果与经济效益的统一。

3.2 荷载试验指导下的加固方案优化

结合荷载试验数据优化加固方案,可确保加固措施贴合结构实际,提升加固效果,兼顾施工可行性与长期运营稳定性,避免与桥梁实际脱节。荷载试验可揭示结构薄弱环节及病害根源,据此选择适配的加固技术。构件强度不足、应变异常时,可采用粘贴碳纤维布、粘贴钢板等技术提升承载能力;结构刚度不足、挠度超标时,可通过增大截面、增设支撑改善受力状态,确保加固技术与病害、薄弱环节精准匹配。荷载试验数据可用于精确定加固参数,如粘贴碳纤维布层数、钢板厚度、增大截面尺寸等,避免参数不合理引发的过度加固或加固不足,保障加固后桥梁结构性能符合设计要求。城市桥梁加固施工易影响周边交通,需结合荷载试验数据优化施工流程,合理安排时序,采用模块化快速施工技术,缩短工期,减少交通干扰及对市民出行的影响^[5]。同时需结合桥梁服役年限,兼顾加固效果与长期运营稳定性。服役久、老化严重的桥梁,加固方案需兼顾后续维护便利,选用耐久性强的材料与技术,延长使用寿命,实现加固长期价值。依托试验数据可开展加固方案仿真对比分析,对多种加固工艺进行力学性能模拟,优选刚度匹配度高、受力传递顺畅、施工干扰小的方案。针对城市桥梁空间受限、管线密集等特点,结合试验揭示的受力路径优化加固构造细节,减少对原有结构的损伤。同时将荷载试验结果作为加固设计的验算依据,完善结构受力计算模型,提高加固设计精度,使加固方案既满足承载要求,又符合绿色低碳、耐久实用的工程理念,提升全生命周期效益。

3.3 荷载试验在加固效果验证中的应用

加固后荷载试验可精准验证加固效果,确保桥梁达到设计承载要求,是保障加固决策有效性、规避加固后安全隐患的关键环节,为桥梁后续运营维护提供可靠依据。加固完成后,需结合桥梁加固方案、原试验数据,制定针对性的荷载试验方案,试验指标、荷载类型、试验流程需与加固前保持一致,确保试验数据具有可比性,便于通过对比分析评估加固效果。通过将加固后荷载试验数据与加固前数据、设计标准进行对比,可清晰判断加固措施的有效性,验证加固后桥梁结构的挠度、应变、裂缝宽度等指标是否达到设计要求,承载能力是否满足运营需求,明确加固工作是否达到预期目标。若试验中发现数据异常,说明加

固措施可能存在不足,需结合异常数据定位问题根源,如加固后某部位应变仍超标,可能是加固参数不合理或施工存在缺陷,需及时优化完善加固措施,直至试验数据满足要求。加固效果验证完成后,需形成完整的加固效果验证报告,详细记录试验过程、数据对比结果、加固效果评估及后续运营维护建议,为桥梁后续的日常养护、定期检测提供依据,确保加固后的桥梁能够长期安全、稳定运营,充分发挥加固决策的价值。加固后荷载试验还可同步开展动力特性测试,对比加固前后桥梁自振频率、阻尼比等参数变化,全面评价结构整体刚度与完整性提升效果。对于重大桥梁加固工程,可将试验结果纳入结构健康监测基准数据,为长期状态评估提供初始参照。通过闭环式“试验—加固—再试验”验证机制,可有效杜绝加固质量缺陷,形成可追溯、可验证、可评估的科学管控体系,为城市桥梁加固工程质量保驾护航。

4 结束语

城市桥梁安全运营是城市交通顺畅运行的重要保障,随着服役年限增长与交通量提升,桥梁结构性能衰减问题日益突出,对检测与加固决策的科学性提出更高要求。荷载试验作为精准获取桥梁实际受力状态的核心手段,在桥梁检测与加固决策的全流程中发挥着不可替代的作用,既能精准排查安全隐患、评估结构性能,也能指导加固方案优化、验证加固效果,打破“检测不精准、决策不科学”的恶性循环。未来可结合新型检测技术,进一步优化荷载试验方案,提升数据解读的精准度与效率,推动荷载试验技术在城市桥梁养护、加固中的广泛应用,为城市桥梁长效安全运营提供更坚实的技术支撑,助力城市交通基础设施高质量发展。

参考文献:

- [1] 邓彬.基于有限元的桥梁荷载试验检测研究[J].广东建材,2025,41(10):65-67,82.
- [2] 唐勇.荷载试验在桥梁检测中的应用研究[J].运输经理世界,2025(13):115-117.
- [3] 罗亮,杨茹.桥梁检测与加固技术研究[J].交通科技与管理,2025,06(07):50-52.
- [4] 石琦.荷载试验在桥梁检测中的应用研究[J].工程技术研究,2025,10(04):46-48.
- [5] 刘永伟.动力荷载试验在桥梁检测评估中的应用研究[J].工程技术研究,2024,09(24):26-28.