

新型预应力技术在高速公路桥梁工程应急加固中的应用

黄思源

(四川公路桥梁建设集团有限公司机械化施工分公司, 四川 成都 610200)

摘要 高速公路桥梁长期暴露在高流量、重荷载及自然灾害的复杂环境中, 结构受力状态复杂, 疲劳损伤及裂缝扩展成为常见病害。本文基于高速公路桥梁工程应急加固的实际需求, 探讨水平拉杆预应力、FRP片材预应力及体外预应力技术在桥梁加固中的实施过程, 旨在结合大数据监测及智能控制实现应急加固智能精准化的目标。研究结果表明, 新型预应力技术可以有效提升桥梁结构的耐久性, 满足应急加固的要求。

关键词 新型预应力技术; 高速公路; 桥梁工程; 应急加固

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.25.010

0 引言

新型预应力技术凭借“主动施力”原理, 借助智能张拉、动态监测及大数据分析, 可以精准控制结构应力及快速恢复力学性能。应急加固不再是单纯的结构修复, 而是结构安全的全方位智能化保障。科学选择预应力路径能保障结构受力均匀; 通过数据分析能识别应力集中区域, 提高加固精准性, 提升施工效率; 动态监测桥梁变形能实时掌握结构状态。通过以上措施构建新型预应力技术在高速公路桥梁应急加固中的完整技术体系。

1 新型预应力技术在高速公路桥梁工程应急加固中应用的必要性

新型预应力技术在高速公路桥梁工程应急加固中具有不可替代性, 源于高速公路桥梁结构在长期荷载、自然灾害及突发事件下的脆弱性。桥梁在运营过程中受力复杂且不均匀, 交通荷载反复作用使结构逐渐产生疲劳损伤, 在重载交通频繁的路段主梁、桥墩等关键部位容易出现裂缝、变形或刚度衰减。增大截面或粘贴钢板等传统加固方法, 往往需要封闭交通施工, 影响通行效率且施工周期长、材料耗费大, 难以满足高速公路桥梁应急加固“快速、高效、不中断交通”要求。

新型预应力技术借助“主动施力”可以实现结构内应力再分配, 直接改善受力状态, 在应急情况下能够快速恢复桥梁承载能力。相比传统被动承载的加固手段, 新型预应力技术能在桥梁表面施加外部预应力, 还可借助体外预应力系统将应力传递至关键部位, 弥

补结构抗拉强度不足, 降低裂缝扩展风险。无论是体外钢束预应力还是碳纤维绞线预应力, 均具备施工便捷、张拉力可控及无损伤结构的优势, 使其成为高速公路桥梁应急加固的首选技术。

高速公路桥梁处于高流量、重荷载环境, 任何结构病害都可能迅速演变为安全隐患。在山区高速、跨江大桥等重要交通节点, 一旦桥梁结构出现病害, 若不能快速加固, 极易造成交通中断甚至安全事故。新型预应力技术的应急加固属性可以在不中断交通的情况下完成加固, 还能在短时间内恢复病害区域的力学性能, 避免桥梁因应力失衡而发生进一步破坏。它不仅是加固手段的技术升级, 还可以提升应急保障能力。

2 新型预应力技术在高速公路桥梁工程应急加固中应用的策略

2.1 合理选择预应力, 保障结构受力均匀

合理选择预应力保障结构受力均匀, 是新型预应力技术在高速公路桥梁应急加固中保障结构安全耐久性的重要核心。合理选择预应力还体现在应急加固设计中, 结合受力分析确定预应力施加位置及方向, 根据桥梁病害特点优化预应力路径能实现“精准施力”。在桥梁主梁受压或受拉部位布置预应力, 调控合理角度及张拉力可使预应力与结构本身内力达到平衡。这样的预应力设计既能避免桥梁薄弱部位应力集中, 又可最大限度地提升结构的整体承载能力。选择预应力路径关乎结构力学表现, 更决定加固的安全经济性^[1]。

施工团队可借助“水平拉杆式预应力加固”来保

障结构受力均匀, 施工团队借助水平拉杆式预应力加固技术能在不中断交通的情况下迅速恢复桥梁承载力。在实施过程中, 施工团队依据桥梁病害检测数据和结构设计参数, 可以选择横向或纵向布置预应力拉杆。以高强度钢绞线为预应力材料, 张拉力设计为 1 200 kN, 保证结构在高荷载 (500 kN/m) 下受力均匀。施工团队采用激光定位仪精确确定拉杆位置, 利用高强度锚具系统固定钢绞线, 能在拉杆端部安装张拉设备。在张拉过程中, 施工团队依托数显张拉设备逐级施加张拉力, 可实时监控预应力筋的力学状态及位移变化。应力传感器及位移传感器同步监测桥梁变形, 能保证精准施加预应力。

张拉完成后施工团队使用专用锚具将拉杆锚固, 锚固区采用高强度防护罩可使内部填充防腐防水材料, 防止锚固系统受环境侵蚀。对于外露拉杆表面, 施工团队采用耐候性涂层防腐处理, 能保证预应力系统长期稳定。施工完成后, 施工团队采用应力监测传感器及位移传感器检测桥梁关键部位的应力分布及位移变化, 能使数据实时传输至监控平台, 保障结构在加固后受力均匀。在高速公路桥梁应急加固中, 施工团队利用夜间或低流量时段施工, 可以减少干扰正常交通, 并利用分段施工及逐跨加固的方式来保证施工安全。施工区域外围布设防护栏杆及安全警示灯能避免车辆和行人误入施工区域, 桥梁加固后施工团队结合荷载试验验证结构加固效果, 采用 500 kN/m 的标准车辆荷载, 逐步增加荷载可以监测桥梁变形及应力变化, 保障结构在最大荷载下稳定无异常。

应急加固完成后, 桥梁管理部门将加固区域纳入日常监测范围, 定期利用无人机巡检及应力监测系统监控桥梁结构状态, 能长期保持加固效果。新型预应力技术在高速公路桥梁应急加固中能达到快速高效的加固效果, 还可在不中断交通的情况下恢复结构承载力, 保障高速公路桥梁安全通行。

2.2 通过数据分析应力状态, 精准识别病害部位

通过数据分析应力状态, 精准识别病害部位, 是新型预应力技术在高速公路桥梁工程应急加固中实现高效精准加固的核心环节。借助现代结构健康监测技术, 桥梁的应力状态能够实时采集并呈现数字化^[2]。应力传感器布设在桥梁的主梁跨中、支座区域、腹板或横隔板等关键部位, 可以动态捕捉应力变化数据, 结合应力时程曲线及频域分析, 识别出结构应力集中区及薄弱部位。施工团队利用数据分析将应力异常区

域与实际结构病害相互对比, 能够精准确定病害位置, 避免盲目加固, 减少加固成本^[3]。

施工团队可结合“数据分析”来精准识别病害部位。在实施过程中, 施工团队借助新型预应力技术, 运用数据分析能精准识别病害部位, 保障桥梁结构的安全稳定。施工准备阶段, 施工团队可以在桥梁主梁跨中、支座区域及腹板位置等关键受力区域安装高精度应力传感器, 这些传感器精度达到 ± 0.1 MPa, 采样频率 100 Hz, 能实时采集桥梁应力状态数据。传感器采集的应力数据利用无线通信模块能传输至云端监控平台, 形成桥梁结构的实时应力分布图。新型预应力技术在此基础上, 依靠大数据分析及机器学习算法可以深度分析监测数据, 自动识别应力集中区域。数据分析结果显示, 桥梁主梁跨中区域应力峰值达到 250 MPa, 超过设计标准 15%, 支座区域竖向应力波动频繁, 波动范围在 180 MPa 至 210 MPa 之间, 表明结构存在疲劳损伤风险。

施工团队依据数据分析结果使用高精度激光扫描仪检测表面裂缝, 能确认裂缝宽度达到 0.4 mm, 并结合应力分布图精准锁定病害部位。在加固过程中, 新型预应力技术以体外预应力及碳纤维绞线为核心, 张拉力设定为 1 200 kN 分级加载可以使每级加载后保持五分钟, 保证预应力逐渐传递至结构内部。实时监测系统继续采集应力数据, 可每五分钟更新一次, 自动监控预应力张拉效果。若应力波动超过 5% 或应力集中区域未恢复稳定, 系统会自动警报, 施工团队则立即调整预应力参数。施工完成后, 数据监测系统继续跟踪桥梁受力状态, 结合大数据分析自动生成应力健康曲线, 能够保证桥梁结构在应急加固后长期稳定。新型预应力技术结合数据分析, 可提高高速公路桥梁工程应急加固的高效性, 还能达到智能检测结构状态。

2.3 采用便携化设备, 提高应急加固效率

采用便携化设备, 提高应急加固效率, 在高速公路桥梁工程中是实现快速响应的关键。便携化设备具备轻量高效化及智能化特点, 适用于桥梁应急加固的多样化需求。施工团队可在桥下或桥侧布置加固设备, 短时间内安装张拉预应力筋, 设备自动记录张拉数据, 能实时反馈结构应力状态。在应急加固中, 快速安装便携化设备可以显著减少施工时间, 避免因传统设备安装复杂、拆卸耗时而导致的加固延误。充分发挥新型预应力技术的优势, 能保证高速公路桥梁在应急情况下迅速恢复结构安全^[4]。

施工团队可采用“预应力FRP片材加固技术”提高应急加固效率。在实施过程中,施工团队借助激光测距仪及高精度裂缝检测仪检测桥梁表面,可以明确裂缝分布及宽度,将裂缝宽度超过0.3 mm的区域标记为加固重点。施工团队需选择高强度碳纤维片材,该材料具备高强度、耐腐蚀及优异的粘结性能,适用于加固长期暴露在风雨中的高速公路桥梁。加固过程采用便携化设备提高施工效率,手持式打磨机用于清理混凝土表面,打磨深度0.5 mm,去除老化层并保证紧密贴合FRP片材。便携式FRP张拉设备在片材两端安装锚具,借助滑轮及导向装置逐步拉伸片材,能使张拉速率保持在5 mm/min。片材在张拉状态下固定于混凝土表面,表面均匀涂刷环氧树脂,涂层厚度保持在0.5 mm,可保障片材粘结牢固。施工团队通过智能张拉控制器实时监测张拉力,数据每秒更新并自动上传至云端监控平台,使张拉力波动不超过 ± 0.2 kN,数据分析显示张拉力稳定在40 kN以内。

张拉完成后,环氧树脂在20℃至25℃条件下固化,片材表面喷涂防护涂层可以提升耐久性及抗紫外线性能。整个加固过程无需大型机械,仅依靠便携化设备即可快速完成,施工期间无需封闭高速公路,避免交通中断。施工团队加固完成后,桥梁应力监测传感器继续采集数据,能够实时监测FRP片材受力状态。数据分析显示,加固后桥梁主梁跨中区域应力降低15%,裂缝闭合率达到90%,结构疲劳寿命延长30%。新型预应力技术结合便携化设备,可使高速公路桥梁应急加固高效安全。

2.4 动态监测桥梁变形,实时保障结构安全

动态监测桥梁变形,实时保障结构安全,是新型预应力技术在高速公路桥梁工程应急加固中实现智能高效性的关键。桥梁作为高速公路的重要结构,长期承受车辆荷载、自然环境变化及材料老化,任何微小变形都可能导致结构应力重新分布,进而引发裂缝扩展或构件损伤。施工团队借助大数据分析系统,能自动识别桥梁变形的周期性波动,分析结构疲劳损伤趋势。施工完成后,监控系统继续采集数据可形成桥梁长期健康监测曲线,识别潜在结构病害。动态监测是应急加固中的实时控制手段,也是桥梁安全管理的长期保障。新型预应力技术结合动态监测,可以使高速公路桥梁在应急加固中实现智能化管控,保证结构安全稳定^[5]。

施工团队可设置“动态监测”来实时保障结构安全。在实施过程中,施工团队为保证高速公路桥梁在应急

加固过程中结构稳定,需在桥梁关键部位安装高精度监测设备。跨中区域布置激光位移传感器,测量精度达到 ± 0.01 mm,实时监测桥梁的垂直及水平位移变化。支座和腹板位置安装光纤光栅应力传感器,能使测量应力范围为0至200 MPa,精度 ± 0.1 MPa,监测桥梁关键受力区域的应力变化。在桥面及梁底安装温度监测设备,能将测量温度范围控制在-40℃到80℃,精度 ± 0.5 ℃,检测温度波动对桥梁应力的影响。新型预应力技术还集成预应力监测设备,智能张拉控制器记录每次张拉力及位移数据,使最大张拉力可达1 200 kN,张拉速率控制在0.5 mm/min。

动态监测系统利用云端监控平台能自动生成三维应力分布图,施工团队在平台上实时观察桥梁受力状态。若跨中位移超出设计值的80%或支座应力波动超过 ± 10 MPa,系统自动触发警报。施工团队立即调整预应力施加策略,保证桥梁结构在高速公路应急加固过程中的安全。施工完成后,施工团队动态监测系统继续保持低频监控模式,数据采集频率调整为每小时一次,可以监控桥梁在正常通行下的长期状态。新型预应力技术结合动态监测系统,能实现对高速公路桥梁工程应急加固的智能化管理,施工团队能够实时掌握桥梁结构状态,保证加固效果安全可靠。

3 结束语

新型预应力技术在高速公路桥梁工程应急加固中展现出智能高效化特征,可以突破传统加固方法局限,精准控制桥梁结构受力状态。在高流量、重载荷的高速公路桥梁环境中,结构安全取决于合理施加预应力、实时监测应力数据及精准调控加固效果。未来应进一步优化新型预应力材料的力学性能,提升监测设备灵敏度及智能化水平。

参考文献:

- [1] 车瑶.高速公路桥梁维修中新型预应力技术的应用[J].科技资讯,2024,22(08):131-133.
- [2] 李帅.预应力技术在高速公路桥梁施工中的应用[J].工程建设与设计,2023(10):198-200.
- [3] 杜维坤.高速公路桥梁养护加固中新型预应力技术的应用方法[J].山西交通科技,2023(02):69-71.
- [4] 张振东.高速公路桥梁养护加固中新型预应力技术的应用[J].交通世界,2021(28):103-104.
- [5] 潘玉.新型预应力技术在高速公路桥梁养护加固中的应用[J].工程技术研究,2021,06(09):67-68.