

Analysis on the influence of highway bridge bearing aging detection and replacement construction on project cost

Gulibositan Nuershalimu

Tacheng Branch of the Highway Administration, Tacheng, Xinjiang, 834700, China

Abstract

As critical components connecting upper and lower structures, highway bridge bearings are prone to aging damage from environmental erosion, load variations, and material degradation during long-term service. Severe cases may jeopardize bridge safety. This study systematically examines bearing aging patterns and failure mechanisms, analyzes existing inspection technologies, construction techniques, and cost variations in engineering projects. Case studies compare practical performance of different inspection and replacement methods in terms of cost efficiency, risk management, and resource allocation, evaluating their impacts on lifecycle costs and operational expenditures. Research findings indicate that strategic selection of inspection methods and construction plans not only extends bridge lifespan but also optimizes cost structures and enhances economic benefits. The paper proposes recommendations for cost-benefit optimization, full lifecycle management, and innovative bearing material applications, providing theoretical and practical references for bridge maintenance and management.

Keywords

highway bridges; bearing aging; inspection technology; replacement construction; engineering cost; full lifecycle

公路桥梁支座老化检测及更换施工对工程造价的影响分析

古丽波斯 坦 · 努尔沙里木

塔城公路管理局塔城分局, 中国 · 新疆 塔城 834700

摘 要

公路桥梁支座作为连接上部与下部结构的核心部件, 长期服役中易受环境侵蚀、荷载变化及材料退化影响, 出现老化损伤, 严重时威胁桥梁安全。本文系统梳理了支座老化类型与损伤机理, 分析现有检测技术、施工工艺及工程造价变化, 结合案例对比不同检测与更换方式在造价、风险管控和资源配置等方面的实际表现, 评估其对全寿命周期造价及管理成本的影响。研究表明, 科学选择检测手段与施工方案不仅能延长桥梁寿命, 还可优化造价结构、提升经济效益。文章提出成本效益优化、全寿命周期管理与新型支座材料应用建议, 为桥梁养护与管理提供理论和实践参考。

关键词

公路桥梁; 支座老化; 检测技术; 更换施工; 工程造价; 全寿命周期

1 引言

随着我国公路交通网络的快速发展, 桥梁工程数量激增, 桥梁养护管理的重要性愈发突出。桥梁支座作为上部结构与墩台之间的核心连接单元, 其结构性能直接关系到桥梁整体的安全与耐久。受环境侵蚀、车辆荷载、温度变化及材料老化等多重因素影响, 支座在长期服役过程中极易发生性能退化、功能失效及安全隐患。支座老化不仅增加了桥梁结构安全风险, 还会显著提升后期养护与管理的经济压力。当前, 支座老化检测与更换施工已成为桥梁养护技术研究和工程管理的热点问题。

针对上述现实需求, 本文从公路桥梁支座老化的成因

与表现出发, 梳理主流检测技术与施工方法, 深入剖析支座更换过程中工程造价的构成与影响因素。通过典型工程案例分 析, 揭示检测与更换环节的成本变化及造价管控要点, 并提出优化策略, 为桥梁全寿命周期造价管理、经济效益提升和科学养护决策提供参考。

2 公路桥梁支座老化的成因及检测技术现状

2.1 支座老化的主要类型与成因

公路桥梁支座长期服役于复杂多变的环境中, 极易受到风雨侵蚀、冻融循环、化学腐蚀及交通荷载振动等多种因素的共同作用, 从而发生性能退化。常见的支座老化类型包括橡胶支座的表面龟裂与弹性下降, 钢结构支座的锈蚀和疲劳破坏, 以及滑移支座摩擦面的损伤和润滑失效。这些老化现象会导致支座位移吸收能力减弱、承载性能降低, 甚至影响桥梁整体结构的安全和耐久。导致支座老化的根本原因,

【作者简介】古丽波斯 坦 · 努尔沙里木(1974-), 女, 哈萨克族, 中国新疆塔城人, 副高级工程师, 从事公路工程研究。

不仅在于材料本身的性能劣化，还与周边环境介质的长期侵蚀、设计制造环节的缺陷以及桥梁超载运行密切相关。不同的桥梁所处环境和结构类型决定了支座老化表现的复杂性和演化速率，给后续的养护管理和检测策略提出了更高的专业要求和技术挑战。

2.2 支座老化检测的主流技术手段

针对桥梁支座老化问题，现有检测手段已经逐步从传统的外观目测拓展到物理检测与智能化监测。外观目测主要依靠人工巡查与摄影测量，可及时发现表面裂纹、锈蚀等直观损伤。物理检测技术包括超声波、磁粉、X射线、红外热像等方法，能够精准识别支座内部结构损伤及材料性能退化。近年来，智能监测手段的引入进一步提升了检测的科学性与时效性，通过传感器和数据采集系统对支座变形、温度、应力等关键参数进行实时监控，实现全寿命周期的健康监测。数字孪生、物联网和大数据等新兴技术的应用，使得桥梁支座的损伤识别、预警和健康评估更加智能化、自动化，为科学养护与管理决策提供了有力支持。

2.3 检测数据在支座更换决策中的作用

高质量、系统化的支座检测数据是桥梁科学养护和成本优化的基础。多源数据融合与损伤评估模型的应用，可以准确判定支座老化的严重程度及更换需求，科学规划更换的时机、范围和优先级，避免因过度维修或延误更换而造成的资源浪费与风险扩散。合理的数据采集和评估体系，有助于养护管理的系统化和精细化，实现桥梁运维全过程的动态监控和成本最优控制。检测数据的科学应用不仅提高了支座更换决策的精准度，也为后续施工组织 and 工程造价管控提供了坚实数据支撑，推动桥梁管理从经验主导向数据驱动的现代转型。

3 支座更换施工工艺及工程造价影响因素

3.1 支座更换施工工艺流程与技术要求

桥梁支座更换工程是一项技术密集、风险极高的养护作业，对工艺流程和技术装备提出了极高要求。其标准流程包括前期的支座状态评估和详细检测，结合梁体变形、受力、位移等实测数据，设计科学合理的顶升与更换方案。实际更换过程中，首先要进行临时顶升操作，通过液压系统、智能同步控制平台等设备将桥梁上部结构安全顶升，避免梁体局部应力集中和结构失稳。旧支座拆卸需采用专用切割设备确保对相邻结构的干扰最小，新支座安装则强调高精度定位和合理调整，确保后续运营期间支座功能可靠。恢复结构环节则需结合原有桥梁性能，采取高性能施工材料，保证整体耐久性和安全性。现代化施工装备的广泛应用显著提高了作业效率和成品质量，满足了高标准工程管理的需要。

3.2 施工过程中的风险控制与安全保障

支座更换施工的安全风险贯穿整个工程周期，涉及桥梁结构局部卸载与再加载的全过程，容不得任何疏忽。工程

实施前必须制定详尽的施工组织设计和安全技术措施，包括多点同步顶升、分段作业、应急预案管理等，确保每一环节受控、可追溯。施工过程中，采用自动化和智能监测系统实时追踪结构响应及环境变化，及时调整作业参数，防止突发事件演变为安全事故。特别是在桥梁顶升与新旧支座转换环节，需专人负责同步控制与质量验收，任何微小误差都可能引发梁体变形或结构失稳，甚至造成严重次生灾害。全面的风险评估、科学的作业流程和严格的验收标准，是保障支座更换施工安全、可控、优质完成的基础，也是工程造价有效控制的前提。

3.3 影响工程造价的关键因素分析

桥梁支座更换施工的造价构成复杂，涉及检测评估、材料设备采购、人工成本、交通组织、安全保障以及新旧支座更替等多个方面。其造价高低受桥梁结构规模、支座数量与类型、施工难度、工期安排和交通干扰等多因素影响。科学详实的前期检测和合理的施工组织，有助于减少不必要的返工与资源浪费，防止因误判导致工期延误和费用攀升。高性能材料和自动化设备虽初期投入较高，但有助于缩短工期、提升工程质量，降低后期维护和管理成本，实现全寿命周期的经济效益最优化。因此，支座更换项目的造价管理需统筹考虑短期投入与长期养护的平衡，注重全过程精细化管理和技术创新，以实现经济性与安全性的协同提升。

4 典型案例分析与造价影响对比研究

4.1 案例一：大型公路桥梁支座更换工程分析

以某大型高速公路桥梁为例，该项目需更换百余个因老化失效的橡胶支座。工程团队采用外观目测与红外热像检测相结合的方式，对所有支座进行了精准诊断，不仅识别了表面损伤，也发现了部分深层材料性能退化的问题。更换施工阶段引入智能液压顶升系统，有效降低了对桥梁结构的扰动，保证了施工安全性，并大幅度缩短了作业时间。全过程采用精细化施工管理与实时监测，确保关键工序高效可控。经过数据对比，该项目造价较同类传统桥梁支座更换工程降低约12%，工期缩短15%，桥梁恢复通行效率显著提升。案例表明，合理运用高效检测技术与现代化施工工艺，不仅有助于提升工程管理水平，还能优化造价结构，实现经济效益与社会效益的双赢。

4.2 案例二：城市快速路桥梁钢结构支座更换实践

城市快速路桥梁支座更换工程往往面临空间受限、交通压力大和作业时限紧迫等诸多难题。某市区快速路钢结构桥梁支座更换项目，为最大限度减少对交通的干扰，采用了夜间分段顶升、快速更换与即刻恢复交通的施工组织模式。尽管在材料采购、交通疏导、安全管理、临时设施等环节投入较大，直接造价高于常规公路桥梁工程，但这种模式显著提升了道路畅通性，降低了对社会经济运行的负面影响。多部门协作、精益化施工管理以及高标准的安全管控，使工程

顺利完成并赢得社会各界好评。该案例反映出,在复杂环境下,科学的施工组织与多方联动,是平衡工程造价与社会效益、保障城市运行秩序的重要抓手。

4.3 案例对比与造价管控经验总结

通过对比两类典型桥梁支座更换工程可以看出,项目造价高低不仅取决于材料与设备的投入,更与检测诊断的精准性、施工组织的科学性和风险管控能力密切相关。采用先进的检测技术与智能化施工装备,能够有效减少不必要的返工、缩短工期、提升资源利用效率。精细化管理、科学的交通组织和全过程的安全监控,是降低造价、提升项目经济效益和工程质量的核心环节。综合来看,随着技术进步和管理创新,桥梁支座更换工程的成本控制与效益提升可以实现良性互动。实践证明,现代化检测与施工工艺的集成应用,将推动公路桥梁运维管理向更高水平发展,促进全行业经济与安全的同步提升。

5 支座更换对全寿命周期造价与养护管理的影响

5.1 支座更换对桥梁全寿命周期造价的作用

桥梁支座的老化检测与及时更换是保障桥梁结构安全与经济效益的重要举措。从全寿命周期的角度看,支座的科学更换虽然在短期内会增加一定的工程投入,但能够有效防范重大结构病害的发生,避免支座失效引发的后续高额修复和灾害处置费用。通过对支座更换进行科学规划,制定有计划的养护管理策略,可显著降低桥梁运维中的突发性维修和损坏带来的不可控成本。相关工程实践与研究结果显示,采取主动更换、周期维护的养护管理模式,相较于传统的被动维修,可降低桥梁总运维成本10%以上,显著提高投资回报率。这种基于全寿命周期的成本管控,不仅优化了造价结构,也为桥梁安全运营和管理效能提升奠定了坚实基础。

5.2 支座更换与养护管理模式的优化关系

现代桥梁养护管理正朝着数据驱动、智能化和全寿命周期管理方向发展。高质量的支座检测数据与动态评估模型,为支座更换决策提供了科学依据,实现了更换时机、范围与方式的精准化、精细化管理。依托智能化管理平台,可以实时监测全桥支座的运行状态,对异常变化及时预警,提前防范结构安全风险。通过优化养护管理模式,将检测、评估、决策与执行全过程数字化、信息化,提升了资源配置效率,减少了人为主观干预,增强了桥梁养护的前瞻性和科学性。这不仅有助于延长桥梁的使用寿命,还能显著减少突发

性事故发生,保障道路交通的连续性与安全性,推动桥梁运维向高效、可持续方向迈进。

5.3 新型支座材料与技术应用对造价的影响

新型支座材料和智能化施工技术的推广应用,极大地改变了桥梁支座更换工程的造价结构和经济效益。高性能橡胶、耐腐蚀金属、复合材料等新型支座具备更优异的力学性能和耐久性,显著延长了支座的服役周期,降低了更换频率和维护成本。同时,智能滑移装置、自动化安装设备等施工技术的采用,提高了更换作业的效率 and 精度,缩短了施工工期,降低了人工与设备成本。尽管这些新材料、新技术初期投入较大,但从全寿命周期成本来看,能够有效分摊后续多次更换及长期养护的费用,实现经济性与安全性的双重提升。鼓励工程实践中积极引进和应用新型支座及智能施工装备,将推动桥梁工程经济效益最大化与管理现代化同步发展,为行业可持续升级奠定坚实基础。

6 结语

公路桥梁支座老化检测及更换施工不仅是桥梁结构安全与养护管理的关键环节,也是影响工程造价和社会经济效益的重要因素。本文通过分析支座老化成因、检测技术、施工工艺及造价影响,结合典型案例,对支座更换工程经济性和全寿命周期管理提出了系统思考。研究表明,科学的检测与高效的更换施工,不仅有助于优化造价结构、提高经济效益,更为桥梁养护管理现代化提供了坚实支撑。未来应继续加强支座材料与智能检测技术的研发应用,健全成本管控体系,实现桥梁全寿命周期造价的科学决策和动态优化,保障公路桥梁安全、耐久和可持续运行。

参考文献

- [1] 张水泉.市政桥梁橡胶支座老化性能检测与更换决策模型构建[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会,重庆建筑编辑部,重庆市建筑协会.智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(二).长宁县竹都建筑工程有限公司;2025:1531-1534.
- [2] 高云亮.公路桥梁支座病害成因及更换技术研究[J].交通世界,2025,(14):106-108.
- [3] 王伟伟,刘雅玲,高鑫.公路桥梁易损构件病害分析及养护提升建议[J].公路,2024,69(09):99-106.
- [4] 张恒.金属橡胶桥梁支座疲劳性能试验研究[D].兰州交通大学,2024.
- [5] 郭宇聪.基于局部振型特征的桥梁支座损伤识别与量化[D].湖南大学,2022.