

Research on Process Optimization and Construction Quality Control of Demolition and Replacement of Large Bridge Support on Expressway

Yanwei Luo

China Communications Construction Special Engineering Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430074, China

Abstract

Highway bridge bearings are prone to aging, damage, and deformation under prolonged loads and environmental conditions, compromising structural safety and performance. Bearing replacement involves complex construction techniques and high risks, requiring stringent structural stability and organizational management. This study focuses on the dismantling and replacement of large bridge bearings, analyzing damage mechanisms, process optimization pathways, and quality control measures throughout the entire workflow. Through technical comparisons and engineering practice, an optimized solution based on structural monitoring and intelligent control was developed, establishing a construction model of “precision jacking—synchronized replacement—dynamic monitoring—full-process acceptance.” The research demonstrates that this method significantly enhances construction accuracy and safety, reduces structural risks, and enables efficient, low-disruption bearing replacement, providing technical support for optimizing highway bridge maintenance and operation systems.

Keywords

expressway; large bridge; bearing replacement; construction process optimization; quality control

高速公路大型桥梁支座拆除更换工艺优化及施工质量控制研究

娄彦伟

中交特种工程有限公司, 中国 · 湖北 武汉 430074

摘要

高速公路桥梁支座在长期荷载与环境作用下易出现老化、损坏与变形, 影响结构安全与使用性能。支座更换施工工艺复杂、风险高, 对结构稳定与组织管理要求严苛。本文以大型桥梁支座拆除与更换为研究对象, 分析支座损坏机理、工艺优化路径及全过程质量控制要点。通过技术对比与工程实践, 总结形成基于结构监测与智能控制的优化方案, 构建“精确顶升—同步更换—动态监测—全过程验收”的施工模式。研究表明, 该方法可显著提升施工精度与安全性, 降低结构风险, 实现高效、低扰动的支座更换, 为高速公路桥梁养护与运维体系优化提供技术支撑。

关键词

高速公路; 大型桥梁; 支座更换; 施工工艺优化; 质量控制

1 引言

随着我国高速公路网络的不断扩张, 大型桥梁数量持续增长, 支座作为连接上部结构与下部结构的重要部件, 其性能直接关系到桥梁整体受力与耐久性。长期运营中, 由于荷载变化、温度应力、材料老化、施工误差及环境侵蚀等因素, 支座易出现锈蚀、剪切变形、滑移失效等问题, 进而引发结构不均匀受力和病害扩展。支座更换作为桥梁养护的重要环节, 其施工过程不仅需保证精确的顶升与复位控制, 还

要兼顾结构受力连续性与行车安全。传统施工模式中存在顶升同步性差、测控手段滞后、质量验收标准不统一等问题, 严重制约了施工质量与效率。本文在分析支座损伤特征与更换难点的基础上, 探讨工艺优化路径与质量控制体系的构建, 以期实现支座更换过程的安全可控、技术可复制与质量可追溯, 为大型桥梁的养护施工提供系统性技术支撑。

2 支座损伤机理与更换必要性分析

2.1 支座结构类型与受力特征

高速公路桥梁支座是连接上部结构与下部结构的重要承力构件, 其受力与变形特性直接决定桥梁运行的安全性与耐久性。常用的支座类型包括盆式橡胶支座、球形支座和板

【作者简介】娄彦伟 (1982-), 男, 中国河南通许人, 本科, 工程师, 从事路桥施工与养护技术研究。

式橡胶支座。盆式橡胶支座由钢制盆体、橡胶垫块及密封圈组成，具备高承载力和良好的转动性能，适用于大跨径和重载桥梁；球形支座通过钢球面传递反力，可实现多方向转动与微位移，能够有效适应桥梁温度变形和地基沉降；板式橡胶支座结构简单、造价低，适用于中小跨径桥梁，但其抗老化与抗剪性能相对较弱。不同类型支座在受力特性上呈现明显差异：前者偏向于高承载与复杂变形协调，后者更强调经济性与简易性。长期服役过程中，支座在交通荷载、温度梯度和环境作用下易出现橡胶老化、钢构件腐蚀或滑移阻滞等现象，从而导致支座功能下降甚至失效，影响结构整体受力与安全稳定。

2.2 支座损伤原因分析

桥梁支座的损伤与退化通常呈多因素耦合特征，主要包括材料劣化、环境侵蚀、施工误差与运营超载等方面。橡胶类支座在长期受紫外线照射、臭氧氧化及油污浸蚀作用下，弹性模量降低、硬度增大，导致剪切与转动能力下降；钢制构件若防腐层破坏，则易产生点蚀、锈蚀及疲劳裂纹，形成潜在危险源。施工阶段的高度误差或支座中心偏位，会导致上部结构受力不均，使局部荷载集中并加速材料疲劳。运营期内，车辆超限荷载、制动力冲击及温度变化引起的循环应力，也会对支座造成累积损伤。环境湿度及氯离子侵蚀会加速钢材腐蚀与混凝土剥蚀，进一步削弱支座的约束与传力性能。上述因素共同作用，使支座逐步出现滑移受阻、转角受限及局部破坏等病害，进而影响桥梁的正常变形协调与结构安全。

2.3 更换工程实施的必要性

随着服役年限的延长，支座性能衰退已成为高速公路桥梁养护中的普遍问题。研究表明，支座一旦失效，将导致梁体内力重新分布，可能引发主梁偏压、伸缩缝变形异常及墩台开裂等连锁反应，严重时甚至危及桥梁整体稳定性。定期检测数据显示，多数服役超过二十年的桥梁支座存在摩擦阻滞、老化硬化及锈蚀失稳等问题。若不及时更换，局部病害将逐渐扩展为结构性损伤，增加维修成本并降低结构安全储备。实施科学的支座拆除与更换，不仅能恢复支座的正常受力与变形能力，还能优化结构受力体系、延长桥梁寿命。通过在更换过程中引入先进的顶升同步控制与监测技术，可有效降低施工风险，确保结构稳定与交通安全。因此，支座更换工程是桥梁后期养护管理中不可或缺的关键环节，具有显著的技术与经济意义。

3 支座拆除与更换工艺流程分析

3.1 施工准备与受力分析

支座更换工程的前期准备直接决定施工的安全性与技术精度。针对不同桥型与受力特征，应在更换前进行系统的结构受力分析与方案论证。通过有限元建模结合现场实测数据，对主梁、横梁及墩顶区域的应力分布进行精细化计算，

明确顶升位置、荷载传递路径及控制参数。为避免不均匀抬升造成主梁扭曲或二次应力，应设立合理的顶升同步点与监测基准。施工前须完成旧支座外观与性能检测，核实其变形量、锈蚀程度与滑移状态，确定拆换顺序。锚固螺栓及底板混凝土需提前检修并进行复测。顶升系统投入使用前进行试运行校验，确保液压系统响应灵敏、压力分配均衡。施工现场应结合交通组织方案实行分幅施工、限速管控与监测布点规划，形成技术、组织、安全三位一体的系统准备机制。

3.2 支座顶升与拆除工艺

顶升作业是整个支座更换过程中风险最高、技术要求最严的环节。施工中采用多点同步液压顶升系统，通过中央控制与传感反馈实现多缸协调。顶升前应分阶段加载，以缓慢稳定的方式抬升主梁，顶升高度控制在5~10mm范围内，以保证梁体受力连续性和附属结构完整性。实时监控油压、位移与梁体挠度变化，确保各支点同步误差不超过0.2mm。拆除旧支座时需遵循“先外后内、先松后取”的顺序，防止支承面受力突变。旧支座拆除后应立即检查墩顶混凝土表面平整度与强度，对存在剥蚀或偏差的部位进行修补、打磨与复测。所有残留杂质与锈蚀应彻底清除，确保新支座安装面光洁、坚实、标高准确，为后续安装提供可靠基底。

3.3 新支座安装与复位控制

新支座安装需在精确测量与多级校核基础上实施。安装前对支座的型号、转角、滑移方向及承载性能进行复核，确保与设计参数完全一致。安装时采用定位垫块与可调钢板调平技术，使支座底面受力均匀、中心对称。安装完成后逐步卸载复位，采用分级回落控制法，使梁体缓慢回落至设计标高，避免瞬时卸载造成冲击应力。全过程应监测支点应变、梁体位移及墩台反力变化，确保受力状态平稳。复位后应检测支座的转动与滑移性能，通过加载试验验证其运行灵活性与复位精度。最终形成详细的测控与质量验收报告，作为后续运行监测与养护评估的重要依据。该工序的精确实施是保证支座更换工程安全性与耐久性的关键环节。

4 支座更换工艺优化研究

4.1 结构监测驱动的施工优化

在大型桥梁支座更换工程中，顶升同步性与荷载分配的精确控制直接关系到结构安全。传统施工主要依赖经验判断，难以实现量化调控与实时反馈。通过引入结构健康监测系统(SHM)，可在施工过程中实时采集支点应变、梁体挠度、位移及温度数据，实现智能化、可视化的动态控制。监测系统与有限元模型相结合，通过模型反演实时评估结构受力状态，并对顶升系统的油压与行程进行自动校正，使多点顶升过程保持同步与稳定。该技术的应用显著减少了人工误差与延迟响应问题，提高了顶升精度和安全性。监测数据的长期积累还可用于施工后期的结构健康评估，形成“实时监测—反馈控制—安全决策”的闭环机制，为复杂桥梁施工提供科

学支撑,实现从经验型控制向数据驱动型控制的转变。

4.2 施工装备与工艺创新

现代桥梁支座更换工程的复杂性要求施工装备具备更高的自动化与协调精度。通过采用电液伺服同步顶升系统,可利用闭环控制算法实现油缸间荷载自动均衡与位移同步,顶升误差控制在 $\pm 0.1\text{mm}$ 以内。自适应分布式控制技术能够根据反馈信号动态调整控制参数,使系统在非线性荷载环境下保持平稳运行。为提高施工安全性与效率,研发的集成式支座拆装平台将液压顶升、监测模块与防护装置模块化组合,减少现场布置与人工干预。新型滑移导轨与精调装置的应用,使支座安装定位误差控制在 $\pm 0.2\text{mm}$,极大提升了施工精度。该装备体系在减少工期的同时,有效降低了安全风险与劳动强度,实现了机械化、智能化施工的深度融合,为桥梁运维技术创新提供了可复制的技术范式。

4.3 信息化管理与施工组织优化

支座更换工艺的优化不仅在于技术装备的更新,更体现在施工组织与信息管理的协同融合。通过BIM技术建立桥梁数字化信息平台,可实现工程结构的三维可视化与施工全流程数据集成。施工阶段各类监测数据、设备运行状态及施工进度被同步上传至信息系统,实现实时监控与决策辅助。基于大数据分析,可对施工进度偏差进行动态预警,对风险点进行自动识别与分级管控。信息化平台还能整合人力资源、设备调度与材料供应,提升资源利用率与组织效率。数字化管理不仅提高了工期预测与成本控制的准确性,还实现了施工全过程的可追溯与可量化管理,为后期桥梁维护提供长期数据支撑。通过技术与管理的深度融合,支座更换过程由传统线性施工模式转向智能化、系统化的集成管理模式,全面提升工程质量与运行安全。

5 施工质量控制体系构建

5.1 材料与设备质量管理

支座更换工程的质量控制应以材料与设备的可靠性为前提,任何微小的偏差都可能影响结构受力与施工安全。新支座进场后需进行系统检测,内容包括承载力、摩擦系数、转角性能、耐久性 & 抗老化性能等指标,检测结果应与设计参数严格比对,确保其在复杂荷载与环境条件下性能稳定。橡胶类构件需进行硬度、压缩永久变形及剪切模量试验,钢构件则应完成超声探伤与防腐层附着力检测。施工设备如液压顶升系统、压力表、位移传感器及智能监测仪器,应在使用前完成校准与联调试验,确保同步精度与测控准确。建立分级验收与责任追溯制度,将质量管理贯穿采购、运输、安装全过程,形成材料与设备双向闭环管理体系,为后续工序质量稳定奠定基础。

5.2 关键工序过程控制

支座顶升、拆除与安装是更换工程中最关键、最易发

生风险的环节,必须通过全过程监测与精细化控制确保施工安全。顶升作业应依据结构受力分析结果分级加载,实时监测油压、位移、应变及梁体变形,保证顶升同步性与结构稳定性。监测数据应实现自动采集与动态比对,若出现偏差应立即调整系统参数。拆除阶段要防止梁端失稳或墩台受损,施工人员须在支架加固及限位装置完备的前提下操作。新支座安装需严格控制标高偏差与受力中心位置,通过激光测量与精调装置确保安装精度。安装完成后进行复测、复核及动态加载试验,检测支座转动与滑移性能。全过程形成完整质量档案,为后续运行监测提供基础数据,实现质量控制的追溯与量化管理。

5.3 安全与风险管理体系

支座更换施工具有高风险特征,其安全管理应以系统性与预防性为核心。建立覆盖“风险辨识—动态监测—应急响应”的安全管理体系,对顶升同步误差、设备故障、人员误操作等关键风险进行分级评估与实时监控。施工现场应设立多级防护与警戒区域,明确安全责任人 & 操作权限。采用视频监控与智能报警系统,对顶升油压异常、梁体位移突变等情况进行自动预警与联动处置。制定应急处置预案并定期演练,确保异常情况可快速响应与纠正。管理制度应实行“日检查—周评估—专项验收”的分级控制模式,形成安全闭环。通过构建“人防+技防+制度防”的多维防控体系,可有效防止事故发生,保障结构安全与人员生命安全,实现支座更换全过程的本质安全与风险可控。

6 结语

高速公路大型桥梁支座拆除与更换是结构运维中的关键技术环节,其安全性、精度与质量控制直接影响桥梁使用寿命与运营安全。本文从支座损伤机理出发,构建了集结构监测、施工优化与质量控制于一体的系统化工艺体系。研究表明,基于信息化与智能监测的施工模式能显著提升顶升同步精度与风险控制水平,实现支座更换作业的标准化与高效化。未来研究可进一步探索智能传感与数字孪生技术在施工决策支持中的应用,实现“监测—分析—控制—反馈”的闭环管理。

参考文献

- [1] 冯文锋,杨艳.桥梁支座更换施工技术[J].工程技术研究,2019,4(13):72-73.
- [2] 潘志强,李浩.一种新型易更换桥梁支座系统[J].城市道桥与防洪,2019,(01):91-92+14.
- [3] 袁恒.同步顶升技术在桥梁支座更换中的应用[J].四川水泥,2023,(02):245-247.
- [4] 薛承开.带减隔震与防落梁措施的复杂结构大型梁桥支座更换[J].科学之友,2011,(13):96-98.