

市政道路桥梁支座老化病害检测与更换施工技术优化

罗 鼎

江西省国利建设集团有限公司 江西南昌 330200

摘要：市政道路桥梁支座作为连接桥梁上部结构与下部结构的关键受力构件，其性能状态直接影响桥梁的整体安全性、稳定性与耐久性。随着服役时间的增长及外界环境因素的综合作用，支座不可避免地会产生老化病害，如橡胶老化、钢板锈蚀、变形失效、脱空偏位等，进而导致桥梁结构受力不均、振动加剧，甚至引发安全隐患。本文针对市政道路桥梁支座的老化病害问题，首先系统阐述了支座老化的主要成因与常见病害类型，随后重点探讨了支座老化病害的检测技术方法，包括外观检查、无损检测、荷载试验及性能参数评估等，旨在精准识别病害程度与范围。在此基础上，深入分析了支座更换施工的关键技术环节，涵盖施工前的方案设计、支座选型、结构临时支撑体系构建、旧支座拆除、新支座安装与定位以及施工过程中的质量控制要点。最后，结合市政工程的实际特点与技术发展趋势，从施工工艺改进、智能化技术应用、绿色施工理念融入及全过程管理优化等方面，提出了支座更换施工技术的优化策略，以期提升市政道路桥梁支座维护工程的质量与效率、延长桥梁使用寿命提供理论参考与技术支持。

关键词：市政道路桥梁；支座老化；病害检测；更换施工

引言

市政道路桥梁是城市交通网络重要部分，保障城市内外交通顺畅。桥梁支座是桥梁核心传力部件，承受竖向荷载等，适应桥梁位移与转动，其性能可靠性对桥梁安全运营至关重要。但长期服役中，受自然环境、交通荷载及材料性能退化等影响，桥梁支座会出现老化、损伤等病害。若未及时处理，可能导致支座功能失效，引发桥梁结构系列问题，威胁桥梁安全、影响交通。随着城市基建发展，早期市政道路桥梁进入中老年期，支座老化问题凸显，维护与更换成养护管理重要内容。传统检测方法依赖人工，存在精度不高、效率低等局限；支座更换施工中，临时支撑安全、旧支座拆除、新支座安装及施工对交通的影响等，制约施工质量与效率。因此，针对支座老化病害特点，开展检测技术研究，优化更换施工工艺与管理方法，对提高支座维护科学性、安全性与经济性有重要现实意义。

一、桥梁支座老化病害的主要类型与成因分析

（一）支座老化病害的典型表现形式

桥梁支座老化病害通过多种物理形态变化呈现，是判断其健康状态和评估剩余承载能力的依据。橡胶支座常见病害有表层龟裂与开裂，始于表面，呈网状或不规则走向，随老化加剧向内部扩展，减小有效承压面积、衰减力学性能；还可能出现橡胶层鼓包与脱层，源于内

部钢板与橡胶粘界面失效，削弱整体刚度和荷载传递能力。盆式橡胶支座可能出现密封圈失效，导致硅油泄漏，阻碍转动和滑动功能，增大摩擦系数。钢支座病害主要是锈蚀与磨损，锈蚀削减构件有效截面，降低强度和稳定性，关键部位锈蚀可能导致卡死；磨损发生在相对运动接触面，会使滑动摩擦系数上升，增大温度应力对下部结构的影响。

（二）引发支座病害的材料与环境因素

支座病害源于材料性能退化与外部环境因素的长期耦合。材料方面，橡胶作为高分子聚合物，在热、氧、光作用下分子链断裂或交联，出现硬化、开裂和弹性丧失问题，添加剂决定其抗侵蚀能力，材料不均或有初始缺陷会加速老化。环境方面，温度周期性变化使支座材料热胀冷缩产生疲劳损伤，极端低温降低橡胶性能；水分加速橡胶水解和钢构件腐蚀；臭氧使橡胶产生裂纹；工业污染物形成的酸性环境对钢支座腐蚀更显著。

（三）设计与施工因素对支座耐久性的影响

除材料与环境中，设计与施工偏差是导致支座过早失效的关键人为因素，初期不易察觉却埋下隐患。设计上，若荷载预估不足，对偶然作用考虑欠缺，会使支座长期超载，加速疲劳损伤；位移量和转角设计与桥梁实际变形需求不匹配，会使支座在极限位移下工作，导致剪切变形过大或局部受力超限；对支座安装位置细节设计考虑不周，会引发施工和运营问题。施工中，安装质

量决定支座功能发挥。支座垫石不平整会使支座受力不均；安装时有杂物等会破坏紧密接触，影响荷载传递；板式橡胶支座施工的剪切变形会造成初始损伤；复杂支座安装方向错误或未注硅油会丧失设计功能^[1]。

二、现有支座病害检测方法评述

（一）常规人工目视检查与简易测量方法

常规人工目视检查是市政桥梁支座病害检测的基础手段，其核心在于通过检查人员的直接观察与接触，对支座的外部形态和宏观状态进行定性判断。检查人员通常借助强光手电、放大镜、裂缝宽度观测仪以及钢卷尺等简易工具，对支座的表观病害进行系统排查。具体操作包括：检查橡胶支座表面是否存在龟裂、起皮、鼓包、脱层，并使用裂缝观测仪测量主要裂缝的宽度；观察支座是否存在异常的剪切变形、压缩变形或不均匀的鼓出，并用钢卷尺测量其变形量；对于盆式支座，需重点检查密封圈的完整性、有无硅油泄漏痕迹、上下座板的相对位移是否顺畅；对于钢支座，则需检查其锈蚀程度、焊缝开裂情况以及活动支座的滑动面或滚动部件的磨损与卡滞状态。此方法的价值在于其操作简便、成本低廉，能够快速发现明显的、已发展到表观的严重病害，是制定初步养护计划和确定是否需要进一步详查的直接依据。

（二）无损检测技术的应用与特点

为弥补人工检查的不足，多种无损检测技术被逐步应用于支座病害的评估中，旨在实现对支座内部状态及材料性能的定量探测。其中，超声波检测技术利用超声波在异质界面传播时发生的反射、透射和衰减特性，可用于检测板式橡胶支座内部钢板与橡胶层的脱层、空洞等缺陷。通过分析超声波的传播时间和波形特征，能够对缺陷的位置和大小进行初步判定。红外热成像技术则基于材料缺陷区域与完好区域在热传导性能上的差异，通过外部加热或利用日照，使支座表面形成不同的温度场分布，从而在红外图像上识别出脱层、积水等异常区域。该方法具有非接触、检测效率高的优点，适合对大批量支座进行快速筛查。此外，声发射技术通过捕捉材料内部在应力作用下产生微裂纹扩展时释放的瞬态弹性波，可用于动态监测支座在荷载作用下的损伤演化过程，实现对支座健康状态的实时评估。这些无损检测技术的应用价值在于，它们将支座检测从宏观的表观观察推进到了微观的内部探查，实现了从定性描述到定量分析的转变，为支座病害的早期预警和精准评估提供了技术支持。但各项技术均有其适用范围，如超声波检测对耦合

条件要求高，红外热成像易受环境温度和太阳辐射干扰，声发射信号解释复杂，这要求技术人员必须根据具体工况选择合适的技术并正确解读数据^[2]。

（三）现有检测方法在市政桥梁应用中的局限性

尽管检测技术不断发展，但在市政道路桥梁这一特定应用场景下，现有方法仍面临显著的局限性。首先，市政桥梁通常位于交通繁忙的城市区域，其检测作业必须在保障交通通行和公共安全的前提下进行，这极大地限制了检测窗口期和作业空间。大型无损检测设备往往难以在有限的空间内展开，且长时间的交通封闭会引发严重的社会经济成本。其次，市政桥梁支座的工作环境更为复杂，受车辆振动、尾气、扬尘、城市热岛效应以及冬季融雪剂等多种因素的综合影响，这些干扰因素会降低无损检测数据的信噪比，增加病害特征识别的难度。例如，车辆振动会干扰声发射监测，而表面油污和灰尘则会影响超声波探头的耦合效果。再者，现有检测技术体系多为针对单一病害或单一材料类型开发，缺乏能够对支座整体性能（包括承载力、变形能力、耗能性能）进行一体化、综合性评估的成熟技术。检测结果往往呈现为离散的物理参数（如裂缝宽度、脱层面积），如何将参数与支座的实际承载能力和剩余使用寿命建立精确的对应关系，仍是当前研究的难点。因此，深入剖析这些局限性，其价值在于明确了未来技术优化的方向：亟需开发适用于城市复杂环境、高效便捷、能够实现多信息融合与综合性能评估的智能化检测系统，以提升市政桥梁支座管理的科学性和前瞻性^[3]。

三、支座更换施工技术的关键环节与优化路径

（一）支座更换施工方案的核心技术要点

支座更换施工方案需围绕支座选型适配性、顶升点科学设置、临时支撑可靠性三大核心要点，确保方案符合桥梁结构受力特性与现行规范要求，某地级市跨河大桥支座更换项目（该桥为30m简支T梁桥，建成于2005年，共42跨，原采用GYZ系列天然橡胶支座，检测发现65%支座出现老化裂缝（最大裂缝宽度3mm）、压缩变形超标（最大变形12mm，超《公路桥梁支座》JT/T 4-2019限值8mm），需更换支座168个）。方案核心技术要点包括：一是支座选型，根据桥梁荷载计算（单支座竖向承载力1200kN）与环境条件（桥梁所在区域年平均湿度75%），更换为氯丁橡胶支座（型号GYZ300×63），其抗压强度 $\geq 15\text{MPa}$ 、弹性模量 $1.0 \times 10^3\text{MPa}$ ，耐老化性能较天然橡胶提升40%；二是顶升点设置，每跨T梁按“对称均匀”原则设4个顶升点（间距8m），每个顶升点采

用200t液压千斤顶,千斤顶底座铺垫Q355钢垫块(厚度50mm,面积0.5m×0.5m),经受力验算垫块抗压应力≤200MPa,满足安全要求;三是临时支撑设计,顶升期间采用Φ200mm无缝钢管(壁厚10mm)作为临时支撑,每根钢管承载力≥1500kN,支撑顶部设置50mm厚钢板调节高程,确保梁体顶升后稳定。方案实施前,通过Midas Civil软件模拟顶升过程,验证梁体应力最大值≤18MPa(小于T梁设计抗拉强度21MPa),方案获批后,支座更换一次成功率达98%,无1处因方案设计问题导致结构损伤^[4]。

(二) 顶升施工工艺的安全控制与效率优化

顶升施工工艺需通过同步控制、实时监测保障安全,同时优化作业流程提升效率,避免因顶升失衡导致梁体开裂或施工延误。原施工计划采用传统人工控制千斤顶,顶升同步精度仅±3mm,单跨顶升需8小时,且存在梁体局部应力超标的风险。优化后采用数控同步顶升系统(型号SYN-200),核心安全控制措施包括:一是同步精度控制,系统通过PLC编程实现4个千斤顶同步动作,同步误差≤±0.5mm,每5秒采集一次千斤顶位移数据,超差时自动停机;二是荷载与应力监测,每个顶升点安装压力传感器(量程0-2000kN,精度0.5级)与应变片(测量范围-2000μ ϵ ~2000μ ϵ),实时传输数据至控制平台,当荷载超130%设计值(1560kN)或梁体应变超1800μ ϵ 时,系统触发声光报警并切断油路;三是位移监测,在梁体端部布设百分表(精度0.01mm),监测梁体纵向位移,限值设为5mm,超限时暂停施工。效率优化方面,将桥梁分3个施工段(每段14跨),每段配置2套顶升设备同步作业,同时简化千斤顶安装流程(提前预制钢垫块安装支架,安装时间从1.5小时缩短至0.5小时)。优化后,单跨顶升时间缩短至3小时,全桥顶升施工工期从原30天缩短至18天,顶升过程中梁体最大应变1650μ ϵ ,未超限值,无1处梁体出现裂缝,施工安全与效率显著提升。

(三) 新支座安装与旧结构连接的精细化作业

新支座安装与旧结构连接需聚焦垫石处理、支座定位、粘结密封三大精细化环节,确保连接可靠性与支座受力均匀。精细化作业要点包括:一是旧结构垫石处理,先采用角磨机打磨支座垫石表面(原垫石存在5mm凹凸差),打磨后用2m靠尺检测平整度,偏差控制在2mm/m内(符合《公路桥涵施工技术规范》JTJ 041-2000要求),再用高压水枪清理垫石表面杂物,干燥后涂

刷界面剂(型号J-302),增强粘结力;二是新支座定位安装,采用全站仪(精度±2mm)校准支座中心线,确保支座中心线与梁体中心线偏差≤2mm,支座顶面高程偏差≤1mm,安装时在支座底部铺设环氧树脂砂浆(强度等级M50),砂浆厚度控制在10-15mm,用水平仪实时监测支座水平度;三是粘结与密封处理,环氧树脂砂浆养护7天(养护期间环境温度控制在15-25℃,相对湿度≤80%),养护完成后检测粘结强度≥3MPa,同时在支座周边粘贴遇水膨胀止水条(型号CP-1,宽度20mm,厚度5mm),止水条拉伸强度≥3MPa、膨胀倍率≥300%,防止雨水渗入垫石。作业完成后,对168个新支座进行承载试验(加载至1.2倍设计荷载1440kN),支座压缩变形均匀(最大变形3mm),无渗漏、脱空现象,后期跟踪6个月,支座工作状态稳定,无老化病害复发迹象,旧结构连接部位未出现裂缝或渗漏^[5]。

结语

市政道路桥梁支座的老化病害检测与更换施工技术优化,是一项复杂且系统的工作。从设计到施工,每一个环节都可能对支座的耐久性产生深远影响。因此,在实际工程中,必须将全生命周期管理理念贯穿始终。通过科学的设计选型、精细化的施工操作以及先进的检测技术应用,才能有效应对支座病害带来的挑战。同时,针对现有检测和施工方法中存在的局限性,未来还需进一步加强技术创新,开发更加智能化、集成化的解决方案,以满足城市复杂环境下桥梁支座管理的需求。只有这样,才能确保桥梁结构的安全性和使用寿命,为城市交通的可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]高鸿伟.地铁桥梁支座病害处理过程中梁体顶升技术研究[D].北京工业大学,2020.
- [2]赵丽红.公路桥梁养护与维修加固施工关键技术研究[J].收藏,2022(2):0037-0039.
- [3]张传波.高速公路桥梁支座病害检测及维护技术分析[J].工程建设(2630-5283),2022(009):005.
- [4]纪盈舟.高速公路桥梁支座病害检测及维护技术分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022(6):4.
- [5]李舒婷.桥梁支座病害检测与维护技术分析[J].汽车画刊,2022(11).