

公路桥梁支座、伸缩缝养护与更换技术研究

秦继荣

甘肃省天水公路事业发展中心高速公路养护所 甘肃 天水 741000

摘要: 支座与伸缩缝作为公路桥梁的关键功能构件,分别承担着荷载传递、位移释放的核心作用。其性能的优劣直接关系到桥梁结构的安全性、耐久性与行车舒适性。然而,在长期服役过程中,受交通荷载、环境侵蚀及材料老化等因素影响,二者极易出现各类病害,成为桥梁养护的重点与难点。本文系统梳理了板式橡胶支座、盆式支座及模数式、梳齿板式伸缩缝等主流产品的常见病害类型,深入剖析了病害产生的内在机理。在此基础上,重点研究了针对严重病害的支座同步顶升更换技术和伸缩缝整体更换技术,详细阐述了其施工工艺流程、关键技术要点(如PLC同步控制系统、临时支撑体系、快速修复材料应用)及质量控制措施。旨在为提升我国公路桥梁关键构件的养护技术水平提供理论依据与实践指导。

关键词: 公路桥梁; 支座; 伸缩缝; 病害成因; 同步顶升; 快速修复

引言

随着我国交通基础设施不断完善,公路桥梁数量与规模持续增长,截至2025年,全国公路桥梁已超100万座。在桥梁服役周期内,支座和伸缩缝等关键功能性附属构件至关重要。支座是连接桥梁上部与下部结构的“关节”,要传递反力,还要保证梁体自由转动和移动;伸缩缝位于桥梁梁端之间等位置,是适应变形、防止结构破坏的“缓冲器”。但二者长期暴露于复杂自然环境,还承受繁重交通荷载,尤其是超载、重载车辆,常最先出现病害。一旦失效,轻则桥面跳车、行车不畅,重则引发梁体受力异常、墩台开裂,甚至威胁桥梁结构安全。所以,对支座与伸缩缝进行科学有效养护,必要时精准高效更换,是保障桥梁全生命周期性能、延长其使用寿命的核心。

1 桥梁支座与伸缩缝常见病害及成因分析

1.1 桥梁支座典型病害

根据材质与构造不同,桥梁支座主要分为板式橡胶支座、盆式橡胶支座和球型钢支座等。其中,板式橡胶支座因其构造简单、成本低廉而被广泛应用于中小跨径桥梁。(1) 橡胶老化与开裂:这是最常见的病害。在长期紫外线照射、臭氧侵蚀、高低温循环及油类污染下,橡胶材料会发生不可逆的老化,表现为表面龟裂、硬化、粉化,失去原有的弹性和阻尼性能。根据《公路桥梁板式橡胶支座》(JT/T 4-2019),当橡胶裂纹宽度超过1mm且长度超过相应边长的25%时,即视为失效。(2) 钢板外露与锈蚀:板式支座内部通常嵌有加劲钢板以提高竖向刚度。当橡胶保护层因老化或剪切变形过大而开裂后,内部钢板会直接暴露于空气中,迅速发生锈蚀。锈蚀产物的体积膨胀会进一步撑大裂缝,形成恶性循环,最终导致支

座承载能力急剧下降^[1]。(3) 支座脱空与偏压:由于施工时垫石顶面不平整、支座安装位置偏差,或梁体在荷载作用下发生不均匀沉降,会导致支座与梁底或垫石之间出现局部甚至完全脱空。脱空的支座无法有效传力,会使相邻支座承受超额荷载,加速其损坏。偏压则会使支座产生非预期的附加弯矩,导致其过早破坏。(4) 剪切变形超限:在地震、强风或车辆紧急制动等水平力作用下,支座会产生剪切变形。若设计选型不当或实际水平位移超出支座允许范围,支座可能发生永久性的过大剪切变形,甚至被剪断,丧失其活动功能。

1.2 桥梁伸缩缝典型病害

伸缩缝按其构造可分为对接式、钢制支承式、组合剪切式(板式)、模数式和无缝式等多种类型,其中模数式(如GQF-C、GQF-F型)和梳齿板式应用最为广泛。(1) 锚固区混凝土开裂与破碎:这是伸缩缝失效的前兆。原因主要有二:一是设计预留的伸缩量不足,导致在极端高温下型钢受压屈曲,巨大的侧向推力使锚固混凝土开裂;二是车辆驶过伸缩缝时产生的巨大冲击荷载,反复作用于锚固区,造成混凝土疲劳破碎。(2) 止水带老化、破损与脱落:伸缩缝下方的橡胶或氯丁胶止水带长期处于拉伸、压缩和弯曲状态,加之受桥面渗水、除冰盐等侵蚀,极易发生老化、撕裂或从型钢卡槽中脱落。一旦止水失效,雨水将直接灌入梁端、支座及墩台帽,引发一系列次生灾害,如支座锈蚀、混凝土剥落、钢筋锈胀等。(3) 型钢变形、断裂与松动:模数式伸缩缝的边梁、中梁在超载车辆的反复碾压下,可能出现弯曲变形、扭曲甚至断裂。梳齿板式伸缩缝的齿板则可能因焊接质量不佳或疲劳而松动、脱落,形成行车安全隐患。(4) 伸缩

缝堵塞：泥沙、碎石、垃圾等杂物落入伸缩缝间隙，阻碍了其正常的伸缩功能。在温度升高时，梁体无法自由伸长，会在伸缩缝处产生巨大的挤压应力，导致上述的型钢变形和混凝土开裂。

为便于养护人员在现场快速识别病害、理解其成因并采取初步应对措施，特整理以下病害诊断与处置建议表。

表1：桥梁支座与伸缩缝常见病害诊断与初步处置建议

构件	病害现象	主要成因机理	初步处置/监测建议
支座	橡胶表面龟裂、硬化、粉化	紫外线、臭氧、高低温循环、油污侵蚀导致材料老化	定期检查裂纹尺寸，若超规范限值，列入更换计划
支座	内部钢板外露、锈迹明显	橡胶保护层失效，钢板直接暴露于潮湿空气中	清除锈迹，涂刷防腐涂料，并密切监控支座变形
支座	支座与梁底/垫石间存在明显缝隙（脱空）	垫石不平、安装误差、不均匀沉降	采用塞尺测量脱空面积与高度，评估是否需顶升调整
支座	支座发生明显剪切倾斜（> 10°）	水平位移超限、地震作用、支座选型不当	立即限制交通，进行结构安全评估，准备同步顶升更换
伸缩缝	锚固区混凝土开裂、破碎、剥落	冲击荷载疲劳、伸缩量不足导致型钢屈曲	清理破碎混凝土，采用快速修补砂浆进行局部修复
伸缩缝	止水带撕裂、卷曲、从卡槽中脱出	材料老化、安装不当、长期拉伸疲劳	及时更换止水带，防止雨水下渗引发次生病害
伸缩缝	型钢（边梁/中梁/齿板）弯曲、断裂、松动	超载车辆冲击、焊接缺陷、金属疲劳	设置警示标志，尽快安排整体更换施工
伸缩缝	缝内填满泥沙、碎石等杂物	日常保洁缺失、桥面排水不畅	定期（尤其在雨季前后）进行清缝作业

通过该表，可建立起从“现象观察”到“机理认知”再到“行动决策”的快速响应链条，提升桥梁养护工作的科学性与效率。

2 桥梁支座更换关键技术：同步顶升工艺

当支座病害严重，无法通过简单的调整或局部修补恢复其功能时，必须进行整体更换。对于仍在运营的桥梁，最核心的技术挑战是如何在不损伤主体结构的前提下，安全、平稳地将庞大的梁体抬升至所需高度。同步顶升技术为此提供了完美的解决方案。

2.1 同步顶升系统构成与原理

同步顶升系统是一个集机、电、液、控于一体的精密工程装备，其核心组成部分包括：（1）液压千斤顶组：根据桥梁的重量和跨度，沿桥墩或桥台均匀布置多台（通常每墩4-8台）大吨位（50-500吨）液压千斤顶。千斤顶需具备自锁功能，以防系统失压时梁体突然下落。（2）PLC中央控制系统：这是系统的“大脑”。它通过高精度的压力传感器和位移传感器（LVDT）实时采集每个千斤顶的负载和位移数据，并与预设的目标值进行比对^[2]。通过复杂的PID算法，系统能毫秒级地调节各千斤顶的液压流量，确保所有顶升点以完全相同的速度和高度同步运动。（3）临时支撑体系：由高强度钢管或贝雷架组成的稳固支架，用于在千斤顶完成顶升后，临时承担梁体全部重量，为更换支座提供安全的操作空间。该体系必须经过严格的结构验算，确保其强度、刚度和稳定性。

2.2 标准化施工工艺流程

（1）前期准备与精确计算：首先，通过详细的结构检测（如回弹法、超声波法）评估梁体状况，并利用有限元软件精确计算桥梁在顶升过程中的受力状态和所需顶升力。根据计算结果，确定千斤顶的型号、数量和布设位置。（2）搭设作业平台与安装设备：在墩台周围搭设稳固的操作平台，安装千斤顶、临时支撑和传感器。对千斤顶进行标定，确保其精度。（3）试顶升与系统调试：进行小行程（如5-10mm）的试顶升，全面检验整个系统的同步性、稳定性和安全性。校准传感器，确保数据准确无误。（4）正式同步顶升：在交通管制后，启动PLC系统，按照预设程序缓慢、平稳地将梁体顶升至预定高度（通常高出原支座5-10mm）。整个过程需严格监控，顶升速度一般控制在1-2mm/min以内，各点高差需控制在±1mm之内。（5）支座更换与落梁：在临时支撑体系稳固承重后，拆除旧支座，清理垫石顶面，精确安装新支座。确认无误后，再次启动同步系统，将梁体平稳、同步地回落至新支座上。（6）系统拆除与验收：拆除所有临时设施，恢复桥面铺装和交通。通过静载试验或长期监测，验证更换效果。

该技术的成功应用，完美解决了传统“单点顶升”易导致梁体开裂、扭曲的难题，实现了对桥梁结构“零损伤”的精准手术。

3 桥梁伸缩缝更换关键技术：快速修复与整体更换

伸缩缝的更换通常需要封闭交通,对社会影响较大,因此追求“快速、高效、耐久”是其技术发展的核心方向。

3.1 整体更换施工工艺

对于病害严重的伸缩缝,通常采用整体更换方案,其核心在于使用高性能快速修复材料。(1)放样与切割:精确放出伸缩缝更换范围线,使用马路切割机沿划线切割沥青或混凝土铺装层,深度需达到梁端预留槽底部。(2)开槽与清理:用风镐或液压破碎锤凿除切割范围内的旧混凝土,彻底清除所有松散、破碎的混凝土块、钢筋头及旧伸缩缝装置。对槽壁和槽底进行凿毛处理,并用高压水枪冲洗干净,确保基面洁净、湿润无明水。(3)植筋与型钢定位:根据设计图纸,在槽底和槽壁钻孔、清孔、注胶,植入新的锚固钢筋。将新的伸缩缝型钢吊装就位,利用精密水准仪和经纬仪进行三维空间精确定位,并用专用夹具临时固定^[3]。(4)浇筑快速修复混凝土:这是最关键的一步。选用早强、高强、微膨胀的聚合物改性水泥基快速修复料(如专利产品“30S”)。该材料具有以下特点:一是超早强:2小时抗压强度可达35MPa以上,满足3-4小时内开放交通的要求。二是高粘结:与旧混凝土界面粘结强度高,不易产生二次脱空。三是微膨胀:补偿早期塑性收缩,确保与型钢和旧混凝土紧密结合,无收缩裂缝。将材料按严格水灰比现场搅拌,分层浇筑入模,并充分振捣密实。(5)养护与开放交通:浇筑完成后,立即覆盖土工布并洒水保湿养护。根据材料性能和现场温度,通常在3-4小时后即可撤除交通管制,恢复通行。

3.2 局部快速修补技术

对于轻微的锚固区混凝土剥落或小范围破损,可采用局部快速修补技术,以最小化交通影响。该技术同样依赖于高性能修补砂浆,施工流程包括清理、界面处理、支模、浇筑和养护,但作业范围小、时间更短,可在夜间天窗点内完成。

4 全周期养护管理策略与未来展望

高效的支座与伸缩缝养护不应局限于病害发生后的被

动维修,而应建立一个涵盖“检测-评估-决策-实施-验证”的全周期主动管理体系。通过定期的无人机巡检、智能传感器在线监测等手段,实现对关键构件健康状态的实时感知与预警。基于大数据和人工智能,构建病害发展预测模型,从而科学制定预防性养护计划,将问题消灭在萌芽状态^[4]。展望未来,支座与伸缩缝的养护技术将朝着更智能、更绿色的方向发展。智能支座(内置传感器,可实时监测位移、转角、荷载)和智能伸缩缝(具备自诊断、自清洁功能)的应用将极大提升桥梁的智慧管养水平。同时,更多环保型、可再生材料的研发与应用,也将推动桥梁养护事业的可持续发展。

5 结语

公路桥梁支座与伸缩缝虽为附属构件,却关乎全局安全。本文系统分析了其常见病害的形态与成因,揭示了材料老化、设计缺陷、施工误差及外部荷载等多重因素的耦合作用。针对严重病害,重点论述了支座同步顶升更换和伸缩缝快速修复整体更换两大核心技术,详细阐述了其工艺流程与质量控制要点。研究表明,依托先进的同步控制技术和高性能快速修复材料,能够实现对桥梁关键构件安全、高效、低影响的更新。未来,通过构建全周期、智能化的养护管理体系,必将进一步提升我国公路桥梁基础设施的韧性与服务水平,为交通强国建设保驾护航。

参考文献

- [1]熊文.桥梁养护工程中支座病害处治技术[J].交通世界,2025,(23):173-175.
- [2]方向前.高速公路桥梁常用伸缩缝及支座养护技术探讨[J].中国公路,2021,(07):101-102.
- [3]黄柏源.高速公路桥梁伸缩缝施工工艺及支座维修养护[J].交通世界,2020,(35):115-116.
- [4]杜凯.桥梁伸缩缝快速更换技术在高速公路养护中的应用[J].工程建设与设计,2026,(05):206-209.