

公路桥梁伸缩缝常见病害成因与维修加固技术

杜 雷

云南省公路工程监理咨询有限公司 云南 昆明 650021

【摘 要】：公路桥梁伸缩缝是保障桥梁结构形变适配与行车安全的核心构件，长期服役中易受多重因素影响产生各类病害。本文以公路桥梁伸缩缝为研究对象，从设计选材、施工工艺、运营养护三个维度系统剖析伸缩缝常见病害的形成机理，针对性提出局部快速维修、锚固区加固更换、全周期预防性养护等技术措施。研究成果可有效解决伸缩缝常见病害问题，提升桥梁服役稳定性，为同类桥梁养护维修提供工程参考。

【关键词】：公路桥梁；伸缩缝；维修加固

DOI:10.12417/2811-0536.26.09.028

引言

在公路桥梁工程长期服役过程中，伸缩缝承担着适配梁体形变、缓冲车辆荷载冲击的关键作用，直接关乎桥梁结构稳定性与行车舒适度。受设计缺陷、施工不规范、自然环境侵蚀及重载车辆碾压影响，多数伸缩缝易出现开裂、脱落、变形等病害。为有效管控病害、延长构件使用寿命，本文系统分析伸缩缝病害核心成因，探究科学可行的维修加固与养护技术，为桥梁运维工作提供技术支撑。

1 公路桥梁伸缩缝工程概况

公路桥梁伸缩缝能够抵消梁体温度形变、车辆动荷载作用产生的位移变化，消解桥面结构产生的附加应力，维持桥梁结构与行车状态的稳定安全。国内现有公路桥梁普遍采用的伸缩装置以模数式和梳齿板式为主，模数式伸缩装置依托分段型钢搭配密封橡胶带的组合形式，适配大伸缩量的工程场景，梳齿板式伸缩装置依靠交错钢板的咬合结构，满足桥梁小幅变位的适配需求^[1]。结合模数式伸缩缝构造可以看出，整套构件由外露型钢、橡胶止水带、锚固钢筋以及锚固区混凝土组合而成，各部件协同工作实现变形调节与防水密封。见图1

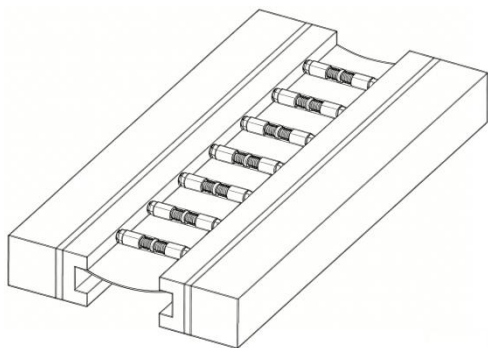


图1 模数式桥梁伸缩缝构造示意图

伸缩缝施工依托梁端预留槽口完成锚固钢筋预

埋、补强混凝土浇筑等核心工序，成品构件长期暴露于户外环境，持续经受雨水渗透、季节冻融交替及重载车辆的碾压冲击。结合实地项目摸排结果，全线在用桥梁伸缩缝服役年限存在明显差异，大量投入使用多年的构件陆续出现密封胶条撕裂、锚固区域骨料松散脱落等实体病害，现场采集整理的病害分布数据，为病害溯源分析和维修技术研究提供了真实可靠的工程依据。

2 公路桥梁伸缩缝常见病害成因分析

(1) 设计阶段与材料选型缺陷引发的病害：设计参数核算偏差是伸缩缝先天病害的主要来源，部分设计人员仅参考常规气温条件测算结构伸缩量，未结合项目属地极端温度波动、梁体混凝土徐变收缩等实际工况完成参数取值，预留的伸缩空间无法适配梁体实际形变需求。夏季高温环境下主梁伸长量超出缝体可调区间，型钢结构受挤压发生弯曲形变，橡胶密封带在硬性拉扯作用下发生断裂破损。材料选型管控不到位同样会加剧病害发展，部分工程项目为控制建设成本，选用掺杂大量再生料的橡胶止水带，这类产品抗臭氧老化、耐酸碱腐蚀等核心性能无法满足行业规范要求，投入使用数年便会出现硬化、脆裂等老化问题^[2]。锚固体系设计缺乏针对性优化调整，锚固钢筋直径规格、排布间距无法适配路段重载通行工况，槽体几何尺寸与成品伸缩构件匹配度偏低，狭小的施工空间会影响混凝土浇筑密实度，结构整体服役寿命从设计阶段便受到限制。部分设计方案照搬通用图纸模板，未结合桥梁跨径、梁体结构形式及当地交通荷载特征开展个性化设计，对长期行车振动带来的结构累积形变考量不足，模板化的设计模式难以适配复杂路段的实际服役条件，让伸缩缝从投入使用之初便存在不可逆的结构隐患。

(2) 施工工艺不规范导致的病害成因：施工现场精细化管控工作的缺失，会直接造成伸缩缝锚固区出

现结构性破损。开槽作业完成后,施工人员对槽底及侧壁的清理工作较为粗放,残留的碎石、浮浆与粉尘会让新旧混凝土结合面无法形成稳固粘结结构,后期浇筑的锚固混凝土易出现分层、空鼓等质量缺陷。槽口基面浇筑前未完成充分洒水润湿,干燥基面会快速吸收新拌砂浆内部水分,混凝土成型表层会形成大量网状干缩裂缝。混凝土振捣施工把控精度不足,锚固边角区域普遍存在振捣不充分问题,结构内部留存蜂窝状空洞,雨雪水分可通过空隙持续向内渗透,结构中间区域的过度振捣会造成骨料下沉、砂浆上浮,桥面表层结构强度大幅下降。伸缩缝就位调平作业的标高把控偏差,会让缝体与前后桥面形成错台结构,车辆轮胎碾压产生的瞬时冲击震动,会持续破坏锚固粘结界面,型钢与预埋钢筋的搭接焊缝存在虚焊、短焊等施工缺陷,结构受力后焊点逐步脱落开裂,最终造成构件松动、脱落等病害。

(3)运营荷载、环境因素及养护缺失的综合影响:公路路段常态化的超限重载通行,会持续加剧伸缩缝结构疲劳损伤,重型货车往复行驶产生的交变冲击荷载,持续牵拉锚固混凝土结构,原本细微的结构裂缝会不断拓宽、延伸。自然环境的长期侵蚀会持续恶化构件服役工况,雨水沿结构缝隙不断下渗,寒冷地区冬季除冰作业使用的含盐融雪剂,会随积水附着在预埋钢筋表面,钢筋产生电化学锈蚀后出现体积膨胀,产生的侧向应力会撑开周边混凝土造成结构崩块。季节交替带来的冻融循环持续作用,会让锚固区表层混凝土逐层起皮、剥落。日常养护工作的形式化问题较为普遍,常态化清缝作业未能落实,路面泥沙、碎石长期淤积在伸缩间隙内部,缝体伸缩活动空间被卡死,主梁温度形变无法正常释放,结构产生的附加应力会直接作用于密封橡胶与型钢构件。养护巡查无法及时发现处置破损部位,各类轻微病害会持续发展,逐步演变为大范围结构性损坏。多数基层养护单位未建立针对性的伸缩缝专项养护机制,病害排查多依赖人工目视巡查,难以识别结构内部隐性损伤,养护工作存在滞后性与片面性,长期累积的结构损伤无法得到及时修复,大幅缩短伸缩缝整体服役周期,增加桥梁整体运行安全隐患。

3 公路桥梁伸缩缝病害维修加固技术

(1)伸缩缝装置本体局部病害快速维修技术:伸缩缝服役期间出现的橡胶止水带老化开裂、型钢局部轻微变形、缝隙杂物堵塞等轻度本体病害,可采用快速维修工艺完成处置,整体施工无需大面积破除原有结构,不会干扰桥梁主体受力体系,适配日常养护中

的轻微病害抢修场景。工艺施工标准参照《公路桥梁养护规范》JTG H11-2021 执行,可实现道路半幅短时通车,最大程度弱化施工对道路交通运行的干扰。止水带病害处置过程中,施工人员借助专用清缝工具与高压空压机,彻底清理伸缩缝内部淤积的砂石、淤泥等杂物,保证缝体内部无遮挡、无残留,剔除老化撕裂、脱落破损的老旧止水带后,对型钢卡槽内部残留的胶体杂质、污渍进行打磨清理,保证卡槽接触面平整、干燥^[3]。

适配安装同规格耐老化橡胶止水带,精准控制止水带拉伸余量,预留3至5毫米的伸缩富余空间,规避高温挤压、低温拉扯引发的二次破损问题,型钢接缝位置灌注专用桥梁密封胶,保障接缝填充密实无空隙。型钢轻微弯曲、错位变形病害可通过小型液压千斤顶完成精准矫正,矫正作业全程搭配水平尺监测结构平整度,保障型钢与桥面坡度保持一致,矫正完成后对结构细微裂缝、脱焊位置开展补焊打磨作业,双层涂刷防锈漆,阻断型钢锈蚀扩散路径。伸缩缝间隙不均匀的轻微问题,可通过人工微调限位装置校准缝体伸缩间距,保障梁体温度形变可以正常释放。快速维修作业需要避开暴雨、高温暴晒等恶劣天气,施工完成后安排专人开展路面清扫与交通疏导,避免通行车辆带起的砂石碾压未完全固化的密封结构,整套工序完成后静置养护两小时即可恢复交通,早期轻微病害可得到有效处置,病害恶化发展趋势得到有效遏制,低成本、高效率的施工模式可以稳定伸缩缝服役性能。

(2)锚固区混凝土破损加固与伸缩缝整体更换技术:锚固区混凝土空鼓、开裂、剥落以及钢筋锈蚀是伸缩缝频发的重度病害,也是造成伸缩缝整体失效的核心诱因,重度病害场景需要依托专项加固修复技术完成处置。锚固区病害破损面积超过整体三分之一、型钢出现严重变形松动的工况,需要开展伸缩缝整体更换升级作业,施工流程严格遵循《公路桥梁加固设计规范》JTG/T 3650-2020 的标准要求。锚固区混凝土破损加固施工阶段,使用切割机划定结构破除范围,破除边界延伸至病害破损边缘十厘米以外,彻底清除隐性开裂混凝土结构,搭配小型电镐人工凿除破损、空鼓、松散的混凝土材质,施工全程禁用大型机械设备,避免震动荷载损伤完好结构与预埋钢筋。

修补主材选用超早强聚合物耐磨混凝土,材料两小时抗压强度可达三十兆帕,具备优异的抗冻、抗渗、抗冲击特性,浇筑作业分层振捣密实,重点把控锚固钢筋周边、型钢底部等施工死角,杜绝蜂窝、空洞等施工缺陷,浇筑完成后及时收面抹平,覆盖土工布洒

水养护二十四小时,保障锚固区结构整体稳定性。施工环节严格把控浇筑厚度与面层坡度,保障桥面排水通畅,规避积水长期浸泡锚固结构的问题,从施工细节处提升加固结构的耐久性能。

伸缩缝出现大面积锚固区坍塌、型钢扭曲变形、整体位移失效,局部加固无法修复结构性能时,需开展整体更换施工。封闭作业路段交通后,拆除老旧伸缩缝型钢、止水带及破损锚固混凝土,清理修整梁端槽口杂物与破损结构,对老化锈蚀的预埋钢筋做整体更换补强。结合桥梁设计伸缩量参数精准定位全新伸缩缝装置,型钢顶面与桥面平整度误差控制在两毫米以内,彻底消除行车错台隐患,定位完成后焊接固定锚固钢筋,分层浇筑高强度锚固混凝土并做好振捣、收面作业。养护阶段落实保温保湿防护措施,昼夜温差较大时段加盖保温棉被,规避新浇筑混凝土产生温度裂缝,养护周期结束后安装全新止水带,调试伸缩缝限位功能与伸缩性能,完成整体升级改造,重度病害隐患可被彻底消除,伸缩缝承载能力与形变适配性能得到全面恢复^[4]。

(3) 预防性养护与全生命周期管控措施:伸缩缝病害治理工作核心在于防治并行,全生命周期养护管控体系的落地,能够从源头降低病害发生概率,延长构件实际服役时长。2024年全国公路桥梁养护行业统计数据表明,标准化全周期养护可让伸缩缝使用寿命提升百分之三十五以上,大幅压缩后期大修投入成本。日常养护工作需要搭建常态化巡查机制,月度常规巡查搭配季度精细化专项检测,重点核查止水带完整状态、锚固区混凝土结构完整性、型钢平整度及伸缩间隙工况,细微裂缝、表层渗水、杂物淤积等早期问题做好详实记录,建立一机一档专项养护台账,实现病害动态化管控。常态化清缝作业需要定期清理伸缩缝内部淤积的砂石、垃圾、淤泥,防止杂物卡滞伸缩间隙阻碍梁体形变释放。

参考文献:

- [1] 龚先祁,范栋铭.公路桥梁伸缩缝病害问题及维修养护对策[J].中国公路,2025(6):56-57.
- [2] 张小丹.高速公路桥梁伸缩缝快速维修与更换技术研究[J].工程机械与维修,2025(12):128-130.
- [3] 班午东,孙杰.公路桥梁工程结构维修加固关键技术的应用[J].四川水泥,2025(6):259-261.
- [4] 田伟,彭铖,孙艳刚,安曙浩,许守岩.桥梁伸缩缝病害分析与养护维修技术探讨[J].四川建材,2025,51(7):164-167.
- [5] 钟曼君.高速公路养护中桥梁伸缩缝维护探讨[J].工程建设与设计,2025(14):207-209.

春秋季节气温交替阶段,重点核查缝体伸缩余量,结合实时温度变化微调缝体状态,适配温度应力带来的结构形变。夏季高温环境重点排查止水带老化、胶体流淌问题,及时修复密封缺陷阻断雨水渗透通道,冬季低温及融雪作业结束后,清理缝内残留积雪与融雪剂,降低盐碱腐蚀、冻融循环对锚固结构的损伤。全生命周期管控体系需要覆盖伸缩缝全服役阶段,施工完成后录入施工工艺、材料参数、投用时间等基础服役信息,服役年限超五年的伸缩缝适当提升检测频次,重点监测钢筋锈蚀、混凝土疲劳开裂、构件老化等隐性问题。

巡查发现的轻微病害需要及时处置,规避小问题持续演化成重大病害,形成完整的巡查、记录、处置、复查养护闭环。日常交通管控环节联动交通执法部门,严控超限重载车辆长期碾压通行,建立路段重载通行监测台账,高频重载通行路段的伸缩缝适当加密养护、检测频次。现代化养护技术的融合应用可进一步提升管控精度,无损检测设备可精准排查锚固区混凝土内部密实度、钢筋锈蚀程度,弥补人工巡查的局限性,荷载、环境、养护、检测多维度管控模式,能够有效降低伸缩缝病害发生概率,搭建全方位的全周期养护管控体系,保障公路桥梁伸缩缝长期稳定服役^[5]。

4 结语

文章梳理了公路桥梁伸缩缝各类病害的诱发因素,结合病害轻重程度匹配对应的维修加固技术,明确了轻度病害快速处置、重度病害加固更换的标准化施工方式,凸显了全生命周期预防性养护在伸缩缝运维工作中的核心价值。常态化巡查管控、精细化运维作业与重载交通管控,能够从源头抑制病害滋生发展,搭建的病害治理与养护体系可切实优化伸缩缝服役状态,压缩桥梁后期养护成本,为公路桥梁安全稳定运行提供保障。