

桥梁伸缩缝锚固混凝土开裂对行车舒适性的干扰作用分析

张伟

云南云路工程监理咨询有限公司 云南 昆明 650051

【摘要】：桥梁伸缩缝锚固混凝土开裂会破坏伸缩缝结构完整性，通过改变桥面平顺性进而对行车舒适性产生显著干扰。锚固混凝土开裂后形成的结构缺陷，会导致车辆通行时产生冲击振动，同时加剧桥面平整度衰减，引发车辆颠簸、噪声等问题。明确锚固混凝土开裂与行车舒适性干扰之间的作用机制，厘清不同开裂形态的干扰差异，对提升桥梁运营质量具有重要意义。深入分析这种干扰作用的表现形式与内在逻辑，可为伸缩缝锚固系统病害治理提供核心依据，保障行车过程的平稳与安全。

【关键词】：桥梁伸缩缝；锚固混凝土开裂；行车舒适性；干扰作用；结构缺陷

DOI:10.12417/2811-0722.26.03.011

引言

桥梁作为交通基础设施的核心组成部分，其结构完整性直接影响通行质量与运营安全。伸缩缝锚固混凝土是保障伸缩缝功能正常发挥的关键承载结构，其受力状态与完好程度密切相关桥面通行的平顺性。锚固混凝土开裂作为桥梁运营中的常见病害，不仅会削弱结构承载能力，更会通过多种路径对行车舒适性形成干扰，这种干扰作用随着病害发展逐步加剧，可能引发系列通行问题。深入探究锚固混凝土开裂对行车舒适性的干扰规律，明晰二者之间的内在关联，是解决桥梁通行质量提升难题的重要切入点，也为病害防控与结构维护提供关键方向，衔接起病害分析与治理实践的核心逻辑。

1 桥梁伸缩缝锚固混凝土开裂的形成机理与表现形态

1.1 锚固混凝土开裂的核心形成机理

桥梁伸缩缝锚固混凝土长期承受车辆荷载的反复冲击与振动，荷载作用下锚固区域产生局部应力集中，当应力超过混凝土材料的抗拉强度极限时，便会逐渐形成微裂缝并不断扩展。同时，温度变化引发的伸缩缝伸缩变形会对锚固混凝土产生附加应力，这种应力与荷载应力叠加，进一步加剧裂缝的产生与发展。混凝土自身材料性能不足、施工过程中振捣不密实、养护不到位等因素，会降低锚固混凝土的整体强度与耐久性，使其在正常运营环境下更易出现开裂现象。环境因素如雨水侵蚀、冻融循环等，会破坏混凝土内部结构，加速裂缝的扩展进程，最终形成不同程度的开裂病害。

1.2 锚固混凝土开裂的主要表现形态

锚固混凝土开裂的表现形态呈现多样化特征，按裂缝走向可分为横向裂缝、纵向裂缝与斜向裂缝。横向裂缝平行于伸缩缝布置，多因伸缩变形引发的附加应力作用形成，常见于锚固混凝土与桥面铺装衔接处及伸缩缝两侧区域。纵向裂缝垂直于伸缩缝方向，主要由车辆荷载的反复作用导致，裂缝多从荷载作用集中区域开始出现并向周边延伸^[1]。斜向裂缝则多因应力集中区域的复合应力作用形成，裂缝走向不规则，常出现在锚

固螺栓周边等受力复杂部位。按裂缝宽度可分为微裂缝、中等裂缝与宽裂缝，微裂缝宽度较小，初期对结构功能影响有限但易发展；中等裂缝与宽裂缝则会直接影响锚固系统稳定性，加剧对行车舒适性的干扰。

1.3 锚固混凝土开裂的发展演化规律

锚固混凝土开裂的发展演化呈现阶段性特征，初期阶段以微裂缝形成为主，此时裂缝宽度小、延伸范围有限，仅在材料内部或表面局部区域出现，对行车舒适性的干扰较为微弱，不易被直接感知。随着运营时间的延长，在荷载、温度、环境等多重因素的持续作用下，微裂缝不断扩展、贯通，形成明显的可见裂缝，此时车辆通行时的冲击振动逐渐增强，对行车舒适性的干扰开始显现。当裂缝发展至严重阶段，会出现裂缝贯通、混凝土剥落等现象，锚固系统承载能力大幅下降，车辆通行时会产生强烈的颠簸与冲击，严重影响行车舒适性，甚至威胁通行安全，形成从轻微病害到严重隐患的渐进式演化过程。

2 锚固混凝土开裂对行车舒适性的干扰表现形式

2.1 车辆通行振动加剧引发的颠簸干扰

锚固混凝土开裂后，伸缩缝区域的结构平整度遭到破坏，形成局部的凸起、凹陷或台阶状缺陷。车辆通行至该区域时，车轮与桥面缺陷部位产生剧烈碰撞，引发车辆车身的垂直振动与水平晃动。这种振动会通过车架传递至车厢内部，使驾乘人员感受到明显的颠簸感。振动的强度与裂缝的形态、宽度及分布范围密切相关，宽裂缝与贯通性裂缝引发的振动更为剧烈，且振动持续时间更长，不仅会降低驾乘体验，还会导致车辆行驶稳定性下降，进一步放大颠簸带来的不适感受，形成对行车舒适性的直接干扰。

2.2 通行噪声增强带来的感官干扰

锚固混凝土开裂破坏了桥面的连续性与平顺性，车辆通行过程中，车轮与开裂区域的混凝土边缘、裂缝间隙发生反复摩擦、撞击，产生额外的噪声。这种噪声相较于正常桥面通行噪声频率更高、强度更大，且随着裂缝病害的加剧，噪声的分贝值会显著提升^[2]。同时，开裂区域的空气振动也会叠加形成次

生噪声,两种噪声共同作用,对驾乘人员的听觉产生强烈干扰。持续的高频噪声会引发驾乘人员的烦躁情绪,分散注意力,间接降低行车过程中的舒适体验,成为锚固混凝土开裂对行车舒适性干扰的重要表现形式之一。

2.3 行驶轨迹偏移导致的操控干扰

锚固混凝土开裂伴随剥落时,伸缩缝区域会形成不规则坑槽或凸起,破坏桥面连续平整性。车辆通行至此,车轮接触受力突变,受非均匀垂直支撑力及侧向力影响,行驶轨迹出现细微持续偏移。驾乘人员需通过转向系统高频微调以维持方向,既增加操作负担,又破坏行驶平稳性。开裂区域承载能力不均,会改变车轮与桥面附着力系数,雨天、冰雪等恶劣天气下,附着力不稳定会加剧干扰,增大操控难度,甚至引发侧滑隐患,从操控层面严重影响行车舒适性。

3 锚固混凝土开裂对行车舒适性干扰的作用机制

3.1 桥面平顺性衰减的传导机制

锚固混凝土开裂是桥面平顺性衰减的重要诱因,裂缝的形成与扩展会直接破坏桥面的整体平整度,使原本连续平整的桥面出现局部缺陷。这种平顺性的衰减会通过车辆与桥面的接触界面直接传导至车辆系统,当车轮碾过开裂区域时,桥面缺陷会对车轮产生周期性的冲击荷载,该荷载通过轮胎、悬挂系统传递至车身,引发车身振动。振动的频率与振幅取决于桥面缺陷的形态与车辆行驶速度,形成从桥面结构缺陷到车辆振动的完整传导路径,最终通过振动感知转化为对行车舒适性的干扰,实现从结构病害到舒适体验下降的传导过程。

3.2 荷载传递不均的放大机制

正常状态下,车辆荷载通过桥面均匀传递至桥梁主体结构,而锚固混凝土开裂后,开裂区域的混凝土承载能力下降,无法实现荷载的均匀传递。荷载会向未开裂的周边区域集中,形成局部的高应力区域,这种荷载传递的不均匀性会导致车轮受到的反作用力呈现显著的波动性。波动的反作用力会加剧车辆的振动,同时使车辆各部件的受力状态变得复杂,进一步放大振动对驾乘人员的影响^[3]。荷载传递不均还会导致伸缩缝结构的受力失衡,加速伸缩缝的损坏,形成病害加剧与干扰增强恶性循环,放大对行车舒适性的不利影响。

3.3 结构振动耦合的叠加机制

锚固混凝土开裂后,伸缩缝区域的结构刚度出现局部下降,当车辆通行产生的振动频率与桥梁结构或车辆自身的固有频率接近时,会发生共振现象,形成结构振动耦合的叠加效应。这种叠加效应会使振动强度大幅增强,振动范围进一步扩大,不仅会加剧驾乘人员的颠簸感受,还会导致通行噪声的进一步增强。同时,结构振动的耦合叠加会加速裂缝的扩展与结构的损伤,使桥面缺陷持续恶化,进而形成振动强度与病害程度相互促进的叠加机制,持续加重对行车舒适性的干扰,形成难以

逆转的不利影响。

4 锚固混凝土开裂病害的防控与行车舒适性提升对策

4.1 锚固混凝土开裂的前期预防措施

锚固混凝土开裂的前期预防需从材料选择、施工工艺与结构设计三个核心环节入手。材料选择方面,应选用高强度、高耐久性的混凝土材料,同时添加适量的外加剂提升混凝土的抗裂性能,确保材料性能满足运营过程中的荷载与环境要求。施工工艺层面,需严格控制混凝土的搅拌、浇筑与振捣质量,保证混凝土密实度均匀,避免因施工缺陷导致的早期开裂;伸缩缝与锚固混凝土的衔接部位应加强施工处理,确保衔接牢固、平顺。结构设计阶段,应优化锚固系统的受力布局,减少应力集中区域的形成,合理设置伸缩装置的规格与型号,提升结构对荷载与温度变形的适应能力,从源头降低开裂风险。

4.2 开裂病害的及时修复与处理技术

针对已出现的锚固混凝土开裂病害,需根据裂缝的宽度、深度与分布范围采取针对性的修复处理技术^[4]。对于宽度较小的微裂缝,可采用压力灌浆技术,将专用的灌浆材料注入裂缝内部,填充裂缝间隙,恢复混凝土的整体性与承载能力。对于中等宽度的裂缝,在灌浆处理的基础上,需增设加固钢筋或钢板,增强锚固区域的结构强度,防止裂缝再次扩展。对于严重开裂伴随混凝土剥落的情况,应拆除破损区域的混凝土,重新浇筑高强度混凝土,并严格按照施工规范完成养护,确保修复后的结构性能满足运营要求,及时消除病害对行车舒适性的干扰。

4.3 运营阶段的常态化监测与维护

运营阶段的常态化监测与维护是防控锚固混凝土开裂病害、保障行车舒适性的关键环节。应建立完善的桥梁结构监测体系,采用专业的监测设备对锚固混凝土区域的应力状态、裂缝发展情况进行实时监测,及时掌握病害的演化趋势。同时,制定定期的巡检制度,安排专业人员对伸缩缝锚固系统进行全面检查,发现裂缝等病害隐患及时记录并处理。加强桥面的日常养护,及时清理伸缩缝间隙内的杂物,避免杂物堆积导致伸缩缝功能失效,进而引发锚固混凝土开裂,通过常态化的监测与维护,持续保障桥面平顺性,提升行车舒适性。

5 锚固混凝土开裂治理与行车舒适性保障的实践路径优化

5.1 基于干扰程度的差异化治理策略构建

基于锚固混凝土开裂对行车舒适性的不同干扰程度,构建差异化治理策略是提升治理效果与经济性的关键。通过详细勘察开裂病害,结合通行车辆类型、行驶速度等实际运营条件,精准评估病害对行车舒适性的干扰等级。针对轻微干扰病害,采用简易修复结合强化监测的方式,避免资源浪费;中度干扰

病害需采取针对性修复加固措施,遏制病害发展、降低干扰;重度干扰病害则实施全面改造修复,彻底消除结构缺陷,恢复桥面平顺性与行车安全。同时建立多维度评估体系,结合桥面平顺性、振动强度、通行噪声等指标动态评判效果,依托监测数据优化方案,实现治理资源合理配置与效果精准提升。

5.2 跨环节协同防控体系的建立与完善

锚固混凝土开裂防控与行车舒适性保障,需设计、施工、运营多环节协同配合,构建跨环节协同防控体系是核心。设计环节需兼顾施工可行性与运营耐久性,提供科学方案;施工环节严格落实设计要求,强化与设计单位对接,及时解决问题、严控质量;运营环节将监测数据反馈给设计、施工单位,为方案优化、工艺改进及治理迭代提供依据。通过建立信息共享、责任追溯、协同联动机制,形成全流程防控合力,结合长期监测数据总结经验、提炼技术,持续优化治理路径,有效提升开裂治理效果,保障行车舒适性长期稳定^[5]。

5.3 工程实例验证

为验证上述治理策略与技术的实用性,以云南省某高速公路双向四车道预应力混凝土连续梁桥为实例。该桥运营8年后,伸缩缝锚固区出现大面积纵向、局部斜向裂缝,部分区域伴随混凝土剥落,裂缝宽度0.2-1.5mm,车辆通行垂直振动加速度

0.35g(正常 $\leq 0.15g$)、噪声均值78dB(正常 $\leq 65dB$),属中重度干扰。针对病害采用差异化治理与跨环节协同模式修复: $\leq 0.5mm$ 微裂缝采用环氧树脂压力灌浆; $0.5-1.0mm$ 中等裂缝灌浆后,增设 $\Phi 12mm$ 钢筋网(间距 $150mm \times 150mm$)加固; $>1.0mm$ 裂缝及剥落区拆除破损部分至坚实基层,采用C50超早强高韧性混凝土重浇,同步优化衔接构造。施工中设计单位驻场指导,运营单位布设传感器实时监测。修复后经6个月动态监测,振动加速度降至 $0.12g$,噪声控制在63dB,桥面平整度达《公路工程质量检验评定标准》一级要求;后续1年监测显示结构稳定无二次开裂,验证了治理体系有效性,为同类工程提供实践参考。

6 结语

本文围绕桥梁伸缩缝锚固混凝土开裂对行车舒适性的干扰作用展开分析,明确了开裂病害的形成机理、干扰表现与作用机制,提出了涵盖预防、修复、监测的全流程防控对策与优化实践路径。锚固混凝土开裂对行车舒适性的干扰具有多维度、渐进式特征,其治理需兼顾结构安全与通行体验。相关分析与对策可为桥梁伸缩缝锚固系统病害治理提供实践指导,助力提升桥梁运营质量,保障行车过程的平稳与安全,为交通基础设施的长效运维提供有益参考。

参考文献:

- [1] 王稷良,马淑梅,吕志刚. 桥梁伸缩缝锚固区破坏机理及材料应用现状[J].建材世界,2024,45(01):87-91.
- [2] 马淑梅.桥梁伸缩缝锚固区超高性能混凝土组成设计与性能研究[D].河北工程大学,2023.
- [3] 徐刘勇.桥梁伸缩缝检测技术要点分析[J].建筑机械,2023,(08):50-53.
- [4] 王亮.超早强高韧性桥梁伸缩缝修补材料的研究及应用[D].重庆交通大学,2023.
- [5] 李双龙.公路桥梁伸缩缝锚固区病害快速修复及构造优化研究[D].重庆交通大学,2022.