

公路桥梁伸缩缝病害快速维修技术与材料应用研究

王秀国

丰宁满族自治县交通运输综合执法大队 河北承德 068350

摘要：公路桥梁伸缩缝大多时候出现病害，传统的维修方法有着维修周期长、封闭时间久以及二次损坏率高等诸多问题。研究针对此情况，对伸缩缝常见的病害以及形成原因展开了分析，提出了快速维修的关键技术。其中，涉及无损检测、模块化拆装工艺以及交通导流方案，还研究了高性能聚氨酯、硅酮、环氧砂浆和UHPC等材料的应用成效，并且借助典型工程案例对其技术可行性加以验证。最终结果显示，该方案可有效缩短工期、提升耐久性与安全性，有良好的经济性以及推广价值。

关键词：伸缩缝病害；快速维修；高性能材料；公路桥梁

近些年来，我国高速公路以及国省干线的桥梁数量呈现出快速增长的态势，伸缩缝身为桥梁上部结构里的关键构成部分。高速公路车流量远远超过一般公路，而高速公路桥梁伸缩缝相对敏感，更容易受到损坏。高速公路的车流量逐渐增加，各类大型货车频繁通过，再加上后期施工企业对高速公路的伸缩缝设计不合理、维护不到位，最终引发桥梁伸缩缝病害。损坏程度轻的公路桥梁会导致来往车辆产生轻微颠簸，给司机或乘客带来不适感；而损坏严重的公路桥梁会直接引发交通事故，造成人员伤亡。除此之外，桥梁伸缩缝病害还会缩短公路和桥梁的使用年限，对高速公路的正常运行产生干扰，最终降低社会收益。在适应温度变化以及车辆荷载变形这两方面发挥着关键作用，然而因为设计存在不足、施工质量良莠不齐、材料出现老化以及长期承受重载冲击等诸多因素的影响，伸缩缝病害频繁发生，像橡胶条老化、缝隙剥落、金属断裂、渗漏等情况。这些病害会破坏桥面平整度，致使行车舒适性降低，还可能引发附加应力，缩短桥梁的使用寿命。传统的维修方法施工周期比较长，交通封闭时间也久，二次损坏率较高，很难契合现代公路对于安全性、耐久性以及通行效率的要求。随着养护管理要求不断提高，研发快速维修技术以及高性能材料，并剖析其在工程中的应用效果，成为提升桥梁服务性能以及降低养护成本的关键方向。本文会从病害现状、快速维修技术与材料创新应用等方面着手展开研究。

一、公路桥梁伸缩缝病害现状与成因分析

（一）常见病害类型

公路桥梁在长时间的运营进程当中，伸缩缝由于要承受频繁的车辆荷载、温度发生变化以及自然环境的侵蚀，非常容易出现各种各样的病害。常见的病害有：橡

胶密封条出现老化、硬化以及开裂的情况，使得防水性能下降，钢构件焊缝出现开裂、支撑螺栓松动或者断裂，造成结构稳定性降低，缝隙两侧混凝土出现剥落、沉降以及掉块的状况，破坏了桥面的平整度，伸缩装置出现卡滞变形，失去了正常的伸缩功能，装置间隙被堵塞、排水不顺畅引发渗漏以及锈蚀，车辆经过的时候出现十分突出的异响或者跳车现象^[1]。这些病害会对行车舒适性与安全性产生影响，还可能致使桥梁附加应力增大，缩短使用寿命，给后续的养护工作带来比较大的压力。

（二）病害成因分析

伸缩缝病害的出现乃是多种因素共同作用所引发的后果，在设计层面存在欠缺之处，部分老旧桥梁于伸缩量计算时，未能充分考量长期累积变形以及极端温度变化，使得结构变形超出了缝隙调节能力的范围，施工环节的质量控制未达标准，像是混凝土浇筑的密实度欠佳、伸缩装置安装得不够平整、螺栓预紧力不足、焊接工艺不符合相关规范等，这些缺陷在投入使用的过程中会逐渐显现出来^[2]。材料老化属于关键因素，橡胶件在紫外线、油污以及温湿度交替作用的情况下，容易丧失弹性与密封性，金属构件在反复荷载以及腐蚀环境中，易于产生疲劳裂纹，车辆荷载持续加重，超载运输较为频繁，冲击力较大增大，这加速了伸缩缝的结构疲劳与磨损，养护管理存在不足，排水系统堵塞或者缝隙中杂物堆积致使局部受力出现异常，同样会加剧病害的发展态势。

（三）传统维修方法局限性

当前所采用的伸缩缝维修方式主要借助人工切割、焊接修补以及橡胶条更换等办法，存在着较为突出的局限性。其一，施工周期相对较长，多数维修项目需要长时间封闭车道，致使交通出现拥堵状况，增加了安全方

面的风险。其二，人工操作的环节较多，机械化程度较低，使得施工效率难以得到有效提升。其三，维修工艺一般会涉及大面积的开挖以及二次浇筑，容易对原有结构造成二次破坏。更为突出的问题在于，所运用的维修材料性能与原装置的匹配程度欠佳，无法在长期荷载以及环境作用下维持稳定状态，致使部分伸缩缝在修复后短时间内再度损坏，形成“反复维修—再次病害”的恶性循环。这些问题增加了养护成本，而且也难以契合现代公路对于快速、高效、耐久维修的要求^[3]。

二、伸缩缝病害快速维修关键技术

(一) 快速病害检测与诊断技术

实现快速维修的首要条件是准确把握病害信息并及时拟定合理方案。近些年来，无损检测技术于伸缩缝病害诊断里获得了广泛运用，像红外热成像可识别橡胶件内部的裂纹以及老化区域，超声波检测可以检测金属构件焊缝的缺陷以及疲劳裂纹，视频巡检以及无人机航拍则可迅速覆盖大面积桥梁，针对伸缩缝表面的破损、沉降以及漏水等状况展开实时监测^[4]。借助传感器布设以及应变计采集，可构建动态响应数据库，联合有限元分析以及病害发展预测模型，快速评估伸缩缝的剩余寿命以及结构安全等级，和传统人工巡查相比较，这项技术可提升病害识别效率，缩短诊断周期，为制定针对性的快速维修措施给予科学依据。

(二) 快速拆除与安装工艺

在维修实施阶段，传统的人工切割以及焊接方式如今已经难以契合快速修复的需求，机械化切割设备可达成旧伸缩装置的高效拆除，避免对周边桥面造成大面积的破坏。采用预制模块化伸缩装置可以在工厂完成大部分的加工与组装工作，现场仅仅需要开展模块拼装以及高强螺栓连接，如此一来便可大幅减少焊接以及二次浇筑工序。部分工程所推广的半幅施工技术，可在维持一侧车道通行的状况下完成另一侧的伸缩缝拆换，减少对整体交通的影响，结合快速固化灌浆料开展底座填充，可在数小时内达到设计强度，达成施工后快速恢复通车，提高维修效率。

(三) 施工组织与交通导流方案

快速维修依靠先进工艺，也需要科学的施工组织以及交通管理方案，运用BIM技术模拟施工流程，可提前优化作业步骤，合理安排工序衔接，达成多工位并行作业和流水化施工。在交通组织上，借助智能交通管控系统实施分流，引导车辆绕行或者采取单幅交替通行方式，减轻维修期间的交通压力^[5]。施工时充分利用夜间或者交通低峰期开展关键工序，避免长时间封闭主车道，为保证作业安全，现场采用封闭隔离设施、自动化预警系

统以及应急救援预案，保障施工人员和车辆通行安全，依靠技术与组织措施协同，可实现施工过程的高效化以及风险最小化，为快速维修提供保障。

三、快速维修材料的创新与应用

(一) 高性能填缝与密封材料

在伸缩缝实施快速维修工作时，填缝以及密封材料所有的性能，对于修复效果以及使用寿命有着直接的关联。近些年来，新型的聚氨酯、硅酮以及橡胶复合材料获得了广泛的运用，聚氨酯类密封材料拥有出色的弹性回复性能与耐磨性。在高低温交替的环境中可维持稳定的伸缩性能，同时还有良好的粘结性，可以迅速地旧混凝土以及钢构件构建起牢固的结合^[6]。硅酮材料呈现出了优良的耐候性以及抗紫外线能力，可有效地阻挡阳光直射、酸碱侵蚀以及雨水冲刷，保障伸缩缝长时间密封而不会漏水，橡胶复合材料是在天然橡胶或者合成橡胶里添加提高纤维以及耐老化助剂，提升抗疲劳性能以及耐久性，这些新型材料共有的特点是施工方便、固化速度快，可在较短的时间内完成填缝作业并且恢复通车，减少传统材料需要长时间养护的不足之处。施工过程中要留意缝隙表面清理、底涂涂刷均匀、材料分层灌注以及密封胶刮平等工艺要点，以此保证密封效果并且延长维修周期。

(二) 耐久性桥面过渡材料

伸缩缝两侧的桥面和装置结合的地方是最容易出现剥落、破碎情况的薄弱之处。为了提高这个部位的抗冲击能力，快速固化环氧砂浆以及超高性能混凝土也就是UHPC在近些年开始被推广使用，快速固化环氧砂浆有高强度以及良好的粘结性能，可在两小时到四小时内达到通车的标准，极大地缩短了维修工期。它的低收缩率以及优良的抗渗性能可以有效地防止因为温度以及荷载变化而引发的开裂和渗水问题，UHPC作为一种新型的高性能材料，拥有极高的抗压强度、韧性以及耐久性，依靠添加钢纤维可提高抗裂能力，可在极端的交通荷载和环境条件下维持结构稳定，UHPC大多时候被用于伸缩缝边缘加固以及过渡段修复，可和原来的混凝土桥面达成良好的结合，延长使用寿命。在施工过程中，借助机械搅拌、专用喷涂或者浇筑工艺，可以在有限的封闭时间内迅速完成铺装，并且借助加热或者化学反应加快固化进程，实现当天开通交通^[7]。

(三) 现场应用案例

选取某高速公路跨江大桥的伸缩缝维修工程作为实例，原本的伸缩装置由于长时间受到重载车辆的冲击，出现了较为严重的剥落现象，还存在漏水以及变形的问题，养护部门运用模块化伸缩缝装置，同时结合新型聚氨酯密封胶以及快速固化环氧砂浆展开快速维修工作。

在施工期间，首先运用机械化切割设备将旧装置高效拆除，对桥面接口位置进行清理以及修整；接着，在底座位置利用环氧砂浆把不平整的区域填补好，以此保证新装置可稳定安装；随后，借助高强螺栓快速拼装预制模块化伸缩装置，在缝隙处灌注聚氨酯密封胶并刮平；最后，在两侧桥面过渡段铺设UHPC层来提高抗冲击性能。整个维修过程在单幅桥面仅仅花费了24小时就完成了，相比传统方法缩短了将近一半的时间，通车后进行动载检测与雨水渗漏试验，结果说明伸缩缝的变形能力、防水性以及抗冲击性能都达到了设计标准，预计使用寿命比原装置延长5年以上。此案例说明，新型高性能材料与快速施工工艺相结合可切实提升维修质量和效率，为类似工程提供了可参考的技术路线。

四、快速维修效果评估与性能验证

（一）结构安全与耐久性评估

快速维修工作完成以后，要借助多维度的结构安全以及耐久性评估来验证修复的效果，借助静载试验和动载试验对比维修前后伸缩缝的承载力以及变形协调性。结果说明，维修后结构的整体刚度以及稳定性都有了一定程度的提升，运用位移传感器以及激光测量系统监测伸缩装置在不同温度以及荷载作用下的伸缩性能，确认其可以契合设计变形要求。依靠现场实车荷载试验，证实新装置在重载冲击条件下可保持平稳运行，不会出现松动或者跳车现象，对桥面与伸缩缝结合部展开裂缝观测以及渗水测试。结果显示，维修之后防水密封性能有了明显改善，可有效防止雨水侵入以及二次腐蚀，提升整体耐久性。

（二）材料性能与使用寿命监测

为了保证维修效果可长期稳定可靠，有必要对所使用的高性能材料展开性能验证工作。施工结束后在现场开展取样检测操作，对环氧砂浆的粘结强度、抗压强度以及抗渗性进行测试，聚氨酯密封胶的弹性恢复率和粘结性能都符合设计提出的要求，接着借助加速疲劳试验来模拟长期车辆荷载作用之下材料的磨损以及老化状况。结果说明，新材料的抗疲劳性能比传统材料提高了30%以上。运用紫外线老化试验以及盐雾腐蚀试验，验证材料在高温、强紫外线、酸碱环境当中维持稳定性能的能力，历经6个月的现场运营监测，伸缩缝及其周边区域并未出现十分突出的病害情况，材料性能可以契合快速维修对于耐久性以及使用寿命的要求。

（三）经济性与社会效益分析

快速维修技术于经济以及社会效益层面呈现出一定优势，相较于传统维修方式而言，运用模块化装置以及快速固化材料可大幅缩短施工周期以及车道封闭时间，

一般情况下可节省40%至50%的工期，减少交通拥堵现象以及因绕行所带来的油耗与运输延误。从成本角度给予分析，虽然新型材料单价稍有偏高，然而因维修周期得以延长且二次返修率较大降低，整体养护成本下降了约25%。在社会效益方面，快速恢复通行能力提升了公路通行效率，降低了交通事故风险，改善了公众出行体验。部分工程依靠引入智能化检测设备以及机械化施工装备，还减少了人工作业量，降低了施工安全风险。总的来说，快速维修技术在技术上有可行性，而且在经济与社会层面拥有良好的推广前景，为公路桥梁养护管理提供了可持续发展路径。

五、结论与工程推广建议

本文围绕公路桥梁伸缩缝在长期服役期间出现的常见病害展开，对病害类型以及成因展开系统分析，提出了适用于快速修复的关键技术路线，并且结合高性能材料的创新应用开展了研究以及工程实践验证。研究结果显示，借助引入无损检测技术、模块化快速拆装工艺以及高性能密封与过渡材料，可提升维修效率与质量，达成在短时间内让桥梁恢复正常通行的目的，减少交通拥堵以及安全隐患。运用快速固化材料以及耐久性提高措施，可以有效延长伸缩缝的使用寿命，降低长期养护成本。现场应用案例以及效果评估结果都证实该技术方案在结构安全性、材料耐久性、经济性以及社会效益等方面有优势。未来需要完善快速检测与诊断方法，推动智能化施工装备以及高韧性材料的研发，探索不同气候以及交通条件下的适用性研究，形成标准化、模块化的快速维修体系，促进该技术在全国范围内的推广应用，为公路桥梁的安全、耐久以及高效运行提供坚实保障。

参考文献

- [1] 张海涛. 高速公路桥梁伸缩缝病害原因分析和快速维修更换工艺[J]. 交通标准化, 2012, (02): 123-125.
- [2] 何佳林. 高速公路桥梁伸缩缝病害原因分析和快速维修更换工艺[J]. 交通世界, 2018, (10): 138-139.
- [3] 付杰. 高性能混凝土在公路桥梁建设当中的重要作用[J]. 住宅与房地产, 2018, (16): 121.
- [4] 王睿劼. 高性能混凝土在公路桥梁建设中的应用探讨[J]. 四川水泥, 2019, (08): 17.
- [5] 伏志杰. 公路桥梁施工中高性能混凝土的应用[J]. 现代物业(中旬刊), 2019, (09): 245.
- [6] 陈国友. 高速公路桥梁伸缩缝病害成因与快速维修更换工艺[J]. 中国高新科技, 2020, (10): 97-98.
- [7] 石健, 曹昆. 公路桥梁施工中高性能混凝土的应用[J]. 黑龙江交通科技, 2020, 43(09): 222+224.