

道路桥梁施工中的伸缩缝施工技术研究

文 / 陈 杰 中科深美环境科技股份有限公司安庆分公司

摘要：道路桥梁施工期间，伸缩缝施工属于重要技术节点，要能够在正确理解该技术的原理之后，可以归结此方面的伸缩缝施工技术管理技巧，保证建立完善的技术标准，这样才能够全面发挥该技术的效益。文章从这个角度入手，对于道路桥梁施工中伸缩缝施工技术的诸多问题进行探讨。

关键词：道路桥梁；桥梁施工；伸缩缝施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.16.050

引言

伸缩缝在施工技术中非常重要，对道路桥梁施工有很大影响。在施工过程中，如何提高伸缩缝施工质量，是道路工程需要研究的重要课题之一。由于地区之间的施工情况是不一样的，所以有必要对于伸缩缝施工技术的细节进行探讨。

一、伸缩缝施工技术概述

（一）伸缩缝的定义与功能

伸缩缝，是桥梁与道路工程系统中的一种特殊结构。在外界温度变化的时候，混凝土与钢材都可能会因为热胀冷缩出现变形的情况，车辆行驶期间会有震动、地震等外力，这些外力会对于桥梁结构产生微小的影响，比如出现移动的情况。如果对应的桥面完全固定，出现类似于这样的变形，可能会让路面开裂，继而对于结构造成更加大的负面影响。伸缩缝的作用在于：依靠自身的弹性变形，吸收这些位移变化，继而保证桥梁整体安全系数处于理想的状态。

（二）伸缩缝的常见类型

1. 模数式伸缩缝

多个可调节的钢制模块和橡胶密封条组合起来，形成的模数式伸缩缝。每个模块之间可以灵活伸缩，尤其是在跨度比较大的桥梁工程中，可以更好地发挥该伸缩缝的效能。其优势体现在：可以适应比较大的变形量，耐用性强，比如在一些昼夜温差大的山区桥梁中，模数式伸缩缝可以有效应对桥面反复的热胀冷缩。需要注意的是，该伸缩缝方案的安装精度要求高，模块之间的缝隙如果调整不当，很有可能出现行车颠簸或者部件损坏的情况。

2. 梳齿板式伸缩缝

这种伸缩缝从外在结构上来看，相当于两把交错的金属梳子，齿板之间预留了缝隙。在桥面伸缩的时候，齿板可以相互滑动，同时齿状结构还可以避免杂物被卡入到缝隙中去。对于该伸缩缝而言，其最大的特点是：排水性能好，雨水可以顺着齿缝快速溜走，不会让积水对于内部结构造成不良影响，对于一些多雨地区的城市高架桥工程而言，会优先选择这种伸缩缝方案。下图1为梳齿板式伸缩缝示意图。



图1 梳齿板式伸缩缝示意图

3. 橡胶式伸缩缝

这种伸缩缝主要使用的是高弹性橡胶材料，必要的时候还会加入钢板，确保其支撑力可以满足实际需求。从结构上来看，整体是简单的，利用橡胶的柔韧性，吸收变形。该伸缩缝的施工是比较方便的、成本很低，可以有效减少车辆经过时候的震动感，对于交通量比较大的市政道路或者中小型桥梁工程，都可以很好地发挥该技术方案效益。下图2为橡胶式伸缩缝示意图。



图2 橡胶式伸缩缝示意图

二、道路桥梁施工中伸缩缝施工技术

(一) 优化伸缩缝结构设计

1. 基于有限元分析的伸缩量计算方法

伸缩量的精确计算,是伸缩缝选型和设计的依据所在。在此维度,可以将有限元分析方法融入进去,通过建立桥梁三维精细化模型,综合考虑温度梯度、混凝土收缩徐变、车辆动载、基础沉降等因素的耦合作用。比如对于某跨径组合梁桥而言,可以将 ANSYS 软件使用到全桥有限元模型使用进去,在热-力耦合分析的基础上,得出极端温度工况下主梁纵向位移、横向位移参数,与规范经验公式计算结果进行比对,再者结合概率统计方法,设定 95% 的保证率,在此基础上确定伸缩缝设计位移量,这样可以降低因为计算误差导致的伸缩装置卡死或者过度变形风险^[1]。

2. 多向位移协同控制的设计参数匹配

现代桥梁的空间变形特征,要求伸缩缝有多向位移协调能力,通过建立位移传递函数模型,可以量化分析伸缩装置的纵向伸缩量、横向错动量、竖向转角的相互关系,在设计期间,需要重点控制如下的参数:1) 刚度匹配系数。通过调整橡胶支承的弹性模量,实现纵向自由伸缩与横向约束的平衡,避免因刚度失配造成应力集中的情况;2) 滑移界面设计。使用聚四氟乙烯-不锈钢复合滑板,将摩擦系数控制在比较小的范围,让横向位移过程中摩擦力处于不超过锚固系统承载力的状态;3) 转角补偿机构。设置球铰支座或者弧形滑道,允许竖向转角,确保能够适应桥面铺装层的不均匀沉降。

3. 桥面连续性与伸缩缝布置的协同优化

减少伸缩缝数量,并且优化器布置位置,这是提升行车舒适性和结构耐久性的关键性举措。在此维度可以使用连续桥面体系,通过预应力筋配置补偿温度应力,其设计期间,需要满足如下的原则:避开弯矩突变区、优先设定在纵坡不大于 2% 的直线段;与支座中心线错开,大于等于 1.5 米,避免位移出现叠加效应。

(二) 新型材料应用研究

1. 高弹性改性沥青填料的耐候性试验

高弹性改性沥青填料,会通过 SBS、废胎胶粉与基质沥青复合改性,形成有弹性、粘性的密封材料。其耐候性会经过:紫外老化试验、冻融循环试验、化学腐蚀试验。比如某高原冻土区桥梁应用表明,填料在年温差达到 70 摄氏度的环境中,可以服役 5 年,还保持完整的密封性能,显然是比传统沥青砂材料要优秀^[2]。

2. 记忆合金锚固件的温度自适应性能

镍钛(Ni-Ti)形状记忆合金锚固件,可以通过马氏体相变,实现温度自适应调节。在此期间,需要将关注点放在:1) 相变温度的设计。调整合金中镍含量,让奥氏体转变温度与桥梁所在地年最高温度匹配;2) 预应变控制。在奥氏体状态下,要施加 8%~10% 预应变,

在温度超过 Af 时候恢复原状,可以产生对应的回复应力,有效补偿锚固螺栓的热胀冷缩位移;3) 循环稳定性验证。通过 MTS 疲劳试验机模拟温度循环,残余应变率小于等于 2%,远远低于普通钢锚件。

(三) 施工工艺创新

1. 预埋式伸缩缝的精准定位安装技术

预埋安装期间,需要控制三维,保证将偏差控制在 2mm 以内。为此需要做好的工作有:1) 使用全站仪网格定位。在梁端预埋阶段,以桥轴线为基准,建立 5m×5m 的测量网格,使用全站仪,实时跟踪锚固筋的位置,数据可以反馈到液压调整平台上,继而进入到自动纠偏的状态;2) 使用温度补偿算法。结合施工时段的气温与设计基准温度的差值,计算出预偏量;3) 使用多级固定系统。采用可以拆卸的钢构架临时固定,等待混凝土强度达到 75% 之后,分级去释放约束,这样可以避免应力集中。

2. 无收缩混凝土浇筑的界面处理工艺

接缝混凝土的收缩控制,也是重要的节点之一,在此期间需要将关注点放在:1) 材料的优化,要能够使用硫铝酸盐膨胀水泥,渗入 10% 的钢纤维、0.03% 的聚羧酸减水剂,保证 7 天膨胀率可以稳定在合理的范围内;2) 界面处理环节,在旧混凝土面喷洒水泥、硅烷浆液,保证形成过渡层,这样新旧界面粘结强度处于理想的状态;3) 分层浇筑工艺,要能够分两次浇筑,首次填入高度为三分之二,插入振捣棒,然后以 45 度角斜向振捣,间隔 30 分钟后,浇筑到设计高度,这样可以消除收缩裂缝。

3. BIM 技术指导下的多专业协同施工流程

基于 BIM 技术的协同施工流程优化,也是至关重要的节点。在此期间,需要注意的有:1) 模型整合。将桥梁主体模型、伸缩缝参数化族、施工进度计划集成起来,可以让三维朝着可视化的方向进展;2) 冲突检测,通过碰撞分析的方式,提前发现预埋筋与预应力管道的位置冲突;3) 进度模拟,关联 BIM 模型,将施工数据融入进去,可以动态调整工序逻辑。

三、道路桥梁施工中伸缩缝施工技术质量控制与检测方法

(一) 施工过程关键控制点

1. 槽口清理与钢筋焊接质量验收标准

槽口清理与钢筋焊接,是伸缩缝施工的重要节点,由此要建立对应的质量验收规范。从杂物清除的角度来看,使用高压水枪冲洗槽底,保证混凝土碎屑、浮浆等污染物的清除率大于 98%,并且检查预埋钢筋是否存在锈蚀或者变形的清理;从界面处理的角度来看,要对于旧混凝土界面进行凿毛处理,涂刷环氧树脂界面剂,确保粘结强度可以不断提升;对于钢筋焊接的验收而言,要使用双面搭接焊,焊缝饱满度需要达到 90% 以上,并且通过磁粉探伤检测裂纹缺陷^[3]。

2. 伸缩装置安装精度三维激光扫描检测

安装精度控制期间,可以将三维激光扫描技术融入进去。该技术方案的落实,需要将关注点放在:1)建立基准。将桥梁中心线作为基准,布设控制点间距小于等于5米,使用扫描仪获取点云的数据;2)偏差分析。通过软件对比设计模型与实际点云信息,重点控制型钢顶面标高偏差、纵横向位置偏差、平整度等;3)动态调整。对于偏差超标部位,可以使用液压千斤顶微调,确保可以满足实际技术要求^[4]。

3. 后浇混凝土养护期的温湿度控制策略

对于后浇混凝土养护而言,需要执行分级控制方案。在此期间,需要将关注点放在:1)初期养护。覆盖双层土工布的同时,还需要使用自动喷淋系统,保持表面湿度处于大于等于95%的状态,温度波动小于等于5摄氏度每小时,这样可以避免塑性收缩裂缝的出现;2)中期养护。使用智能温控仪,监测内部温度,在芯部温度大于65摄氏度的时候,可以启动循环水冷系统,避免温度应力过于集中的情况;3)后期养护。喷涂混凝土养护剂,每天进行湿度检测,保证强度发展速率符合对应C50混凝土的强度曲线。

(二) 质量缺陷诊断与修复

1. 异响与跳车现象的成因分析模型

异响和跳车现象的应对,可以将多因素耦合模型诊断方案融入进去。首先,对于力学模型而言,可以建立车载动载与伸缩缝刚度匹配关系,在型钢支承刚度与混凝土弹性模量比值达到一定状态的时候,可能会出现振动异响,要将其控制在合理范围内;其次,使用三维路面仪去检测接缝处错台高度,结合变换分析振动频率,可以定位病害的位置所在;再者,通过红外光谱检测橡胶支座老化的程度,继而建立材料性能退化与异响的关联模型^[5]。

2. 渗漏水问题的注浆修复技术比选

对于渗漏水问题,可以结合裂缝特征,选择合适的注浆工艺。如果是微裂缝修复,可以使用环氧树脂化学注浆方案,控制好注浆压力和渗透深度;如果是中裂缝修复,要使用超细水泥-水玻璃双液注浆方案,在此期间要控制好水灰比、凝胶时间、注浆压力、抗渗等级等;如果是贯通缝修复,可以将聚氨酯弹性体注浆方案融入进去,配合止水带置换工艺,保证在修复后接缝抗渗性能达到理想的状态^[6]。

(三) 智能化检测技术应用

1. 基于无人机影像的伸缩缝变形监测

无人机检测技术的使用,需要将焦点放在如下几个方面:1)数据采集。搭载高分辨率相继的无人机,航高50米、重叠率80%拍摄,获取到正摄影像;2)图像处理。可以通过软件提取伸缩缝边缘特征,计算型钢间距变化了多少,识别异常位移的区域;3)趋势预测。结合LSTM神经网络模型,将历史数据使用到未来位移发

展规律的预测中去,继而保证预防性维护可以朝着更加理想的方向进展^[7]。

2. 光纤传感技术在位移监测中的实践

对于光纤传感系统而言,在部署期间,需要将关注点放在:1)能够沿着伸缩缝长度方向敷设FBG光纤光栅,串联成为监测网络,确保监测的全面性;2)通过ASE宽带光源,激发光栅反射谱,解算波长漂移量,反演位移值;3)使用氟橡胶封装光纤,可以在零下30摄氏度到80摄氏度环境下,保证比较小的信号衰减率,保证可以长时间服役。

3. 大数据平台下的服役性能评估系统

大数据平台下服役性能评估系统的构建,可以保证性能矫正、提升有着明确的方向。详细来讲述,主要可以将其归结为:数据层,会将传感器数据、巡检记录、环境数据等融入进去,保证每天处理数据量不断提升;分析层,会将随机森林算法使用进去,建立性能退化模型,输出剩余寿命预测值,风险等级;应用层,通过WebGIS可视化界面,展示全域桥梁伸缩缝健康状态,自动生成维修优先级清单。

结语

在道路桥梁施工中,伸缩缝技术至关重要。其定义与功能明确了保障桥梁安全的关键作用,优化设计、材料应用与施工工艺创新是提升效能的核心。质量控制与检测方法确保了施工精度与耐久性,而针对质量缺陷的智能化诊断与修复则进一步保障了桥梁的长期稳定运行。通过无人机影像、光纤传感及大数据平台等智能化检测技术的运用,实现了对伸缩缝状态的实时监测与评估,为预防性维护提供了有力支持。这些技术的综合应用,不仅提升了桥梁的安全性和舒适性,也为桥梁工程的可持续发展奠定了坚实基础。

参考文献

- [1] 何俊朝. 厂房大面积整体耐磨地坪施工技术应用[J]. 中华建设, 2024, (08): 148-150.
- [2] 齐柏璐. 地下车库地坪钢纤维混凝土施工技术应用研究[J]. 重庆建筑, 2024, 23(07): 79-81.
- [3] 段建宇. 高层建筑工程施工技术的重点与难点探究[J]. 建材发展导向, 2024, 22(14): 58-60.
- [4] 王健. 公路桥梁工程伸缩缝施工质量控制[J]. 交通世界, 2024, (20): 186-188.
- [5] 陈赞涛. 探析公路桥梁工程施工中伸缩缝施工技术应用效果[J]. 科技资讯, 2024, 22(13): 135-137.
- [6] 孙敏娟. 桥梁伸缩缝过渡区智能修复结构及施工技术探析[J]. 中国公路, 2024, (13): 108-109.
- [7] 王占峰, 孙明浩, 渠述强, 李明星. 高速铁路路基纤维混凝土封闭层施工技术[J]. 路基工程, 2024, (05): 126-130.

作者简介: 陈杰, 1988年9月, 女, 汉, 安徽合肥, 本科, 工程师, 研究方向: 市政道桥。