

道路桥梁伸缩缝施工的质量控制分析

骆 恒

武汉市市政工程机械化施工有限公司 湖北 武汉 430050

摘 要：道路桥梁伸缩缝是适应桥梁结构变形、保证桥面连续平顺的关键构造，其施工质量直接影响行车安全、舒适性及桥梁耐久性。本文系统分析了伸缩缝施工中常见的质量缺陷及其深层成因，从选型设计、材料准入、工艺参数、过程监测、验收标准等环节构建了全过程质量控制框架。研究表明，伸缩缝施工质量是材料、温度、工艺、养护等多变量耦合作用的结果，必须引入精细化管理与信息化监测手段，建立闭环质量控制系统。本文旨在为提升道路桥梁伸缩缝施工品质提供系统的技术参考。

关键词：道路桥梁；伸缩缝；施工质量；质量控制；耐久性；工艺参数

引言

道路桥梁在服役期间受到环境温度变化、车辆动载冲击、混凝土收缩徐变、地基不均匀沉降等因素的综合作用，桥梁梁体必然产生纵向伸缩、横向转动及竖向剪切位移。伸缩缝装置作为适应这些位移、传递荷载并保障桥面连续性的过渡结构，其力学行为复杂且服役环境恶劣。工程统计表明，桥梁养护维修费用中约 30%~40%直接或间接与伸缩缝病害相关，伸缩缝的平均使用寿命往往远低于桥梁主体结构的设计基准期。跳车、渗水、锚固区碎裂、异常噪声等问题不仅降低行车体验，更可能引发交通事故和结构安全隐患。因此，对伸缩缝施工实施严格、系统、全过程的质量控制，具有显著的经济效益与社会效益。然而，现行施工实践中普遍存在重主体轻附属、重安装轻养护、重经验轻数据的倾向。本文从质量控制的技术逻辑出发，系统阐述伸缩缝施工各阶段的关键控制要素、工艺参数阈值及管理策略，以期为工程实践提供理论指导与操作依据。

1 伸缩缝的类型及质量控制基准

1.1 主要结构类型与力学特征

道路桥梁伸缩缝按照结构形式和变形能力可分为多种类型。模数式伸缩缝由异型钢与橡胶密封带组成，适用于变形量 80mm~1200mm 的桥梁，是目前应用最广泛的类型。梳齿板式伸缩缝采用齿形钢板相互啮合，适用于大位移量（可达 2000mm）且对平整度要求较高的场合。橡胶伸缩缝以天然橡胶或氯丁橡胶为主体，适用于小位移（ $\leq 50\text{mm}$ ）的人行桥或轻型桥梁。无缝式伸缩缝通过弹性体材料填充预留槽口，实现桥面连续化，适用于中小桥梁。

1.2 质量控制的基准指标

伸缩缝施工质量应满足以下量化基准：平面度偏差 $\leq 2\text{mm}/3\text{m}$ 直尺；与桥面铺装高差 $\leq 1\text{mm}$ ；伸缩间隙宽度偏差 $\pm 3\text{mm}$ （相对于设计温度下的理论值）；锚固区混凝土 28d 抗压强度 $\geq \text{C50}$ ，抗折强度 $\geq 5.0\text{MPa}$ ；橡胶密封带无损伤、无挤出，淋水试验无渗漏；动载冲击系数增量 ≤ 0.05 ；设计使用年限内（模数式 ≥ 15 年，梳齿板式 ≥ 20 年）无需大修。

2 伸缩缝施工质量缺陷的系统归因

2.1 典型缺陷模式识别

基于大量工程调研，伸缩缝施工缺陷可归纳为五种模式：一是几何位形缺陷（高差、错台、不平整）；二是锚固系统失效（混凝土破碎、锚筋拔出、螺栓松动）；三是密封系统破坏（橡胶带脱出、开裂、老化渗水）；四是运动功能丧失（伸缩间隙顶死或过度拉开、卡滞异响）；五是材料本体劣化（钢材锈蚀、焊缝开裂、填充料剥落）。

2.2 多因素耦合归因分析

上述问题的产生并非单一因素所致，而是设计、材料、施工、养护等多环节缺陷共同作用的结果。设计方面，伸缩缝选型与桥梁实际变形量不匹配，预留槽口尺寸不准确，锚固方式设计不合理，图纸深度不足导致施工偏差。材料方面，异型钢材质不达标，橡胶带耐老化性能差，锚固钢筋直径或间距不符合规范，混凝土配合比不当（如未掺加钢纤维、膨胀剂），养护剂或密封胶质量低劣。施工方面，开槽尺寸不符合设计要求，预埋钢筋位置偏差或数量不足，伸缩装置安装时未按实际温度调整间隙，焊接质量差，混凝土浇筑不

密实,养护不及时或时间不足^[1]。管理与环境方面,施工工序衔接不当,成品保护不到位,交通开放过早,环境温度超出设计安装温度范围,气候条件(雨天、低温)下违规施工。

3 施工全过程质量控制体系

3.1 准备阶段:基于风险预控的质量策划

施工前应完成三项核心工作。第一,技术交底的定量化。将伸缩缝安装精度要求转化为具体操作指令,例如“每米高差不超过1mm”转化为“每0.5m设置一个调节螺栓,使型钢顶面比两侧沥青面层高1.5mm(考虑压密沉降)”。第二,材料入场验证。除核查质保书外,应对异型钢进行直线度检测($\leq 1.5\text{mm/m}$),对橡胶带进行硬度(邵尔A60 ± 5)及压缩永久变形($\leq 25\%$)的快速检验,对钢筋进行拉拔强度抽检。第三,预留槽口及预埋件的全面体检。采用钢尺和钢筋探测仪逐点复核槽口宽度、深度,对预埋锚筋的数量、位置、外露长度进行100%检查,偏差超过 $\pm 10\text{mm}$ 者必须植筋补强。

3.2 开槽与基面处理:界面质量的严格控制

开槽采用“切一凿一清一干一涂”五步法。首先沿弹出墨线用混凝土切割机切缝,深度按设计值控制,切缝偏差 $\pm 3\text{mm}$ 。然后用风镐或液压破碎锤剔除槽内混凝土,严禁冲击梁端头。清除后采用高压水枪冲洗,再用压缩空气吹干槽内积水。槽底及侧壁涂刷环氧基界面剂,涂布量不少于 0.5kg/m^2 ^[2]。对槽底平整度超过5mm的部位,应用同标号细石混凝土找平,不得以砂浆替代。若发现梁端伸缩间隙内有杂物或断钢筋,必须清理干净并修复。

3.3 伸缩装置安装:温度补偿与精密定位

安装温度直接影响预留间隙的准确性。应实测槽口处梁体温度,按照公式 $\delta = \delta_d + \alpha \cdot L \cdot (T_a - T_d)$ 计算实际预留间隙,其中 δ_d 为设计基准温度下的理论间隙, α 为梁体线膨胀系数(混凝土取 $1.0 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$,钢梁取 $1.2 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$), L 为温度变化计算长度, T_a 为安装温度, T_d 为设计基准温度(通常取 20°C)。安装时采用三维可调支架:纵桥向调整间隙,竖桥向调整标高,横桥向调整平行度。标高以桥面铺装完成后实测标高的移动平均值作为基准,每2m设一个测点。定位后先进行对称点焊,每1m不少于2处,复测全部指标合格后方可进行连续焊接。焊接采用 CO_2 气体保护焊,焊脚高度不小于6mm,严禁在型钢上引弧。

3.4 混凝土浇筑:材料与工艺的双重优化

伸缩缝锚固区混凝土必须采用高性能补偿收缩钢纤维混凝土,钢纤维体积率1.0%~1.5%,长度25mm~35mm,长径比50~70。膨胀剂选用钙矾石类或氧化钙类,限制膨胀率(水中7d) $\geq 0.025\%$ 。水胶比 ≤ 0.42 ,坍落度50mm~70mm(采用坍落度筒测量)。浇筑前在槽内均匀喷洒水雾使界面处于饱和面干状态。分两层浇筑:第一层至锚固钢筋顶面以下20mm,采用直径30mm的插入式振捣棒,振捣点间距 $\leq 300\text{mm}$,每点振捣时间15s~20s;第二层浇筑至桥面标高,使用平板振捣器配合振动梁整平。收面实施四遍抹压:第一遍木抹子搓平(浇筑后30min),第二遍铁抹子压光(初凝前),第三遍压光(终凝前),第四遍覆盖薄膜前用刷子拉毛(防滑要求时)。抹压过程中严禁洒水。

3.5 养护与成品保护:强度增长与变形控制

混凝土浇筑后12h内必须覆盖保湿养护。采用“一布两膜”工艺:底层为土工布,中层为塑料薄膜,上层为黑色养护膜,持续洒水保持湿润。养护温度控制在 $5^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$,温差大时增设保温棉。养护期:普通混凝土不少于7d,掺膨胀剂混凝土不少于14d。在养护区域内设置明显禁行标志,并安装可移动式钢过桥供小型工具通行。混凝土强度达到设计值的80%前,绝对禁止任何车辆通行;达到100%后方可开放交通^[3]。对于交通无法长期中断的道路,应采用快硬硫铝酸盐水泥配制混凝土,并辅以蒸汽养护,6h~8h强度可达30MPa以上。

3.6 检测验收:多指标综合评判

施工完成后按照《公路桥梁伸缩装置通用技术条件》(JT/T327)及《公路工程质量检验评定标准》(JTGF80/1)进行验收。平整度用3m直尺每10m检测5处,取最大值。高差采用精密水准仪沿伸缩缝长度方向每2m测量一点。间隙宽度用游标卡尺在两端及中间各测3点,取平均值。锚固混凝土回弹检测每20m测10个测区,推定强度不低于设计值,同时选取2个点钻取芯样检验内部密实度。防水性能采用淋水试验:用软管在伸缩缝最高处持续淋水15min,观察下部有无渗漏。此外,还应进行动态检测:以20km/h车速通过时,用振动加速度传感器测试冲击响应,峰值加速度不应大于0.5g。所有检测数据形成数字化质量档案。

4 特殊施工条件下的质量控制对策

4.1 低温及负温施工

当环境温度低于 5°C 时,必须采取冬季施工专项方案。混凝土配合比中掺加无氯盐防冻剂(掺量经试验确定)和高效早强剂。拌合水加热至 $40^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$,骨料不

得带有冰霜。浇筑后立即搭设保温棚,内置电热风机或远红外加热器,保持棚内温度不低于 10°C 不少于48h。伸缩缝装置在低温下刚性增大,安装时应使用专用吊具,严禁强行敲打。焊接前用火焰预热至 $100^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$,焊后缓冷。

4.2 高温及大温差施工

高温($\geq 30^{\circ}\text{C}$)条件下,混凝土坍落度损失加快,水化热集中释放易致开裂。应采取以下措施:骨料搭棚遮阳,必要时用冰水拌合;掺加缓凝型减水剂,将初凝时间延长至4h以上;选择早晚或夜间施工;浇筑后立即覆盖白色反光膜,并增加二次抹压次数(不少于5次)。对于温差超过 15°C 的昼夜环境,应在终凝后持续保湿养护并覆盖保温层,避免因温度应力导致界面开裂。

4.3 曲面桥及纵坡较大桥梁

对于位于平曲线或竖曲线上的伸缩缝,安装时必须根据实际线形对伸缩装置进行预弯或分段调整。梳齿板式伸缩缝应保证齿板平面与桥面横坡一致,允许偏差 $\pm 0.3\%$ 。纵坡大于3%时,混凝土应从低端向高端浇筑,且需在模板下端设置挡浆板。同时,应在伸缩缝装置的低端增设排水孔,防止积水渗入。

5 质量控制体系的系统化构建

5.1 基于PDCA循环的全过程控制模式

伸缩缝施工质量控制应遵循PDCA循环(策划—实施—检查—处置)。策划阶段(P)制定施工方案、质量目标、验收标准及应急预案。实施阶段(D)严格执行工艺规程,记录过程参数(温度、时间、振捣方式等)。检查阶段(C)实行班组自检、工序交接检、专职质检员专检的三级检查制度,并引入第三方抽检。处置阶段(A)对不合格项进行分析、返工或修补,并将经验反馈至后续施工。

5.2 质量风险识别与评价矩阵

构建基于严重度与发生频率的质量风险矩阵。将高差超标、锚固区破碎、间隙错误定为高等级风险(严重度 ≥ 4 ,发生频率 ≥ 3),需设置关键控制点(CCP)并编制专项作业指导书。中等风险(如表面微裂纹、密封带轻微变形)实施一般控制。低风险纳入日常巡检^[4]。风险矩阵动态更新,每施工5道伸缩缝后重新评估一次。

5.3 数字化质量追踪与信息化监测

在伸缩缝锚固区预埋数字式应变计和温度传感器,

通过无线网关将数据传输至云端平台。平台自动绘制应力—温度曲线,预警异常应变。采用二维码或RFID标签附着于每道伸缩缝,扫描可获取材料批号、施工人员、检测数据、影像记录等全生命周期信息。对于特大桥梁,建议建立BIM模型,将伸缩缝安装坐标、间隙调整记录、养护历书集成到数字孪生系统中,实现运维期的智能诊断。

5.4 人员技能认证与绩效考核

伸缩缝安装工种应实行技能分级认证制度。焊工工须持有特种作业操作证并增加桥梁焊接专项考核;混凝土工须通过伸缩缝锚固区混凝土施工实操考试。建立质量绩效档案,将平整度合格率、返工率、养护达标率与班组奖金挂钩。对于连续三道伸缩缝验收合格率100%的班组给予质量专项奖励。

6 结语

道路桥梁伸缩缝虽为附属设施,但其施工质量直接决定了桥面的功能性与耐久性。本文基于对伸缩缝力学行为与施工工艺的系统分析,提出了一套涵盖准备、开槽、安装、浇筑、养护、验收全过程的质量控制体系,明确了各环节的关键参数与容忍阈值。研究表明,伸缩缝质量控制的核心在于“温度补偿的精确性、锚固的可靠性和养护的充分性”。实践中必须摒弃经验主义的粗放施工,引入数字化量测、信息化追踪和风险管理工具。同时,施工企业应建立伸缩缝质量数据库,积累不同气候区、不同交通荷载等级下的服役性能数据,用于优化设计参数和施工工艺。随着桥梁工程向长寿命、低维护方向的发展,伸缩缝的施工质量控制理念应从事后检测转向事前预控、从静态控制转向动态反馈、从单一技术转向系统集成。只有将质量控制贯穿于设计、材料、施工、运营全链条,才能真正实现伸缩缝与桥梁主体的同寿命设计目标,为交通安全和公共资产保值增值提供坚实保障。

参考文献

- [1] 唐婧. 道路桥梁伸缩缝施工的质量控制分析[J]. 中国品牌与防伪,2025,(5):191-193.
- [2] 李进肖. 道路桥梁工程伸缩缝施工质量技术控制策略分析[J]. 运输经理世界,2020,(17):80-81.
- [3] 谷志杰. 公路工程桥梁伸缩缝施工质量控制要点研究[J]. 汽车周刊,2026,(6):222-224.
- [4] 李洪伟. 桥梁伸缩缝施工质量控制关键环节研究[J]. 城市建设理论研究(电子版),2026,(7):169-171.