

道路桥梁工程的主要病害分析与施工处理技术关键

王 雷

辽宁驰通工程管理有限公司 辽宁 沈阳 110000

摘要：道路桥梁工程病害施工处理技术对于道路工程建设尤为重要，因为涉及道路桥梁工程的使用寿命和使用性能。一般沥青路面使用年限大致是十年至十五年，在这期间为了尽可能避免道路桥梁工程病害，还要进行相应的预防、养护、小修、中修或大修处理。而水泥混凝土路面普遍比沥青路面使用寿命要长，但与沥青路面相比，水泥混凝土路面存在噪声大、难以修复等问题。道路工程的施工主要包括路基压实、配料、加热、搅拌、摊铺、碾压、养护等，每一个施工步骤的质量把控不到位，都可能产生相应的病害。所以，对于道路桥梁工程病害要引起重视，做好防治处理。

关键词：道路桥梁；病害；施工关键技术

裂缝处理需结合成因综合施策（如超载裂缝需同步限载）。复杂裂缝建议采用“封闭+注浆+加固”组合工艺。

1 道路桥梁主要病害类型

(1) 上部结构病害。裂缝，类型：梁体结构性裂缝、混凝土收缩裂缝、温度应力裂缝。表现：梁板底面纵向裂缝、腹板斜向裂缝、桥面网状裂缝等。成因：超载车辆导致应力超限、材料收缩或养护不足、温度梯度变化。混凝土缺陷，剥蚀与碳化：混凝土表层风化剥落、保护层脱落露筋，碱性降低加速钢筋锈蚀。氯离子侵蚀：混凝土泛白、破损，钢筋钝化膜破坏。蜂窝麻面：施工振捣不密实导致空洞。钢筋锈蚀，表现：混凝土胀裂、保护层成块脱落。诱因：裂缝渗水、碳化深度达钢筋表面、氯盐环境（如融雪剂）。

(2) 下部结构病害。不均匀沉降，表现：桥台下沉、桥头跳车、墩台倾斜。成因：地基承载力不足（如软基未处理）、台背回填不密实、地下水位变化。墩台病害，冲刷与掏空：水流侵蚀导致基础外露（尤其桩基与扩大基础）。墩柱裂缝：网状裂缝或水平裂缝，多因荷载不均或温度应力。

(3) 桥面系与附属设施病害。桥面铺装损坏，类型：沥青铺装车辙坑槽、水泥铺装碎裂脱皮。成因：重载反复作用、防水失效导致单板受力。伸缩缝与支座失效，伸缩缝：堵塞、型钢断裂、锚固区混凝土破损，丧失位移调节功能。支座：脱空、剪切变形、钢板锈蚀，引发梁体位移或附加内力。附属结构病害，护栏破损：碰撞导致露筋断裂。排水设施堵塞：加速结构侵蚀。

(4) 特殊环境病害。冻融循环：寒冷地区混凝土表层剥落。盐蚀与化学腐蚀：沿海或撒融雪剂区域钢筋锈蚀加速。病害成因常叠加作用（如裂缝加剧钢筋锈蚀，

沉降诱发伸缩缝损坏）。

2 道路桥梁病害产生原因

(1) 设计不合理。结构设计缺陷，伸缩缝选型简陋（如U形铝锌铁皮、TST伸缩缝），未考虑长期荷载冲击，易破损失效；铰缝强度不足（如双芯空心板忽略门形腰筋），削弱荷载横向传递能力，诱发桥面开裂；排水坡度不足（如引桥坡度仅4%），导致积水倒灌侵蚀承台。荷载与环境影响考虑不周，未预估超载车辆长期作用，梁体配筋不足引发裂缝；特殊环境（如盐蚀、冻融区）未针对性提升材料耐久性设计。

(2) 施工管控不足。工艺违规，钢筋骨架扎结间距超规范、弯钩角度不足，降低结构整体性；混凝土振捣不密实，形成蜂窝麻面或空洞。关键节点施工缺陷，伸缩缝预埋筋定位偏差 $> 3\text{mm}$ ，支座安装歪斜或漏涂防锈层；台背回填未分层夯实（每层超20cm），导致沉降跳车。材料与养护失控，偷换混凝土标号或使用含杂质骨料，加速碳化剥落；养护周期不足，混凝土早期开裂。

(3) 材料质量缺陷。原材料不合格，砂石含泥量高或掺贝壳碎屑，降低混凝土密实度；防护材料失效，黏合剂性能不达标，导致铺装层剥离；环氧涂层钢筋漏涂，加速锈蚀。

(4) 使用与维护缺失。超载与缺乏监测，重载车辆未强制绕行，长期超载引发梁体裂缝及支座变形；人工目测检测疏漏梁底孔洞、钢筋锈蚀等隐蔽病害。防护措施滞后，伸缩缝橡胶条老化未更换，雨水渗入腐蚀支座及墩台；融雪剂洒布区未及时修补密封层，氯离子侵入加速钢筋锈胀。

(5) 环境与荷载作用。自然侵蚀，冻融循环导致混凝土表层剥落；沿海或洒盐区氯离子渗透，破坏钢筋钝

化膜。极端事件,暴雨诱发地基软化或冲刷基础掏空(如贵州桥梁垮塌案例);温度骤变引起梁体伸缩受阻,挤压伸缩缝失效。

(6)地质与基础问题。地基处理不当,软基未彻底换填或注浆,运营期不均匀沉降;水文影响,地下水位变化或河道挖砂导致桩基外露、承载力下降。关键叠加机制:例如裂缝(设计/施工)→渗水(维护)→钢筋锈蚀(材料/环境)→混凝土崩落,形成恶性循环。需针对性实施“设计-施工-监测”全链条防控。

3 道路桥梁施工处理关键技术

(1)道路桥梁裂缝处理方法。根据裂缝宽度、深度及成因采取针对性措施:裂缝封闭技术(表面裂缝),表层封闭法,适用条件:宽度 $< 0.15\text{mm}$ 的浅表裂缝或网状龟裂。工艺:剔除表面浮尘→丙酮清洗油污→高压气清缝(气压 $> 0.2\text{MPa}$);涂刷低粘度环氧底胶(渗透填充微缝)→刮涂改性环氧胶泥(厚度 $\geq 2\text{mm}$)。喷涂法,适用条件:大面积表面剥落或冻融裂缝。工艺:凿毛基面→湿润处理→喷涂高实水泥砂浆(掺J-6胶乳,水胶比0.35)。裂缝灌注技术(深层结构性裂缝),压力灌浆法,适用条件:宽度 $\geq 0.15\text{mm}$ 的贯穿裂缝或活动裂缝。工艺:沿缝埋设注浆嘴(间距30-50cm,深度 $\geq 1/2$ 梁厚);封缝胶密封→试压检测气密性→低压注入环氧树脂(压力0.2-0.4MPa)。扩缝填充法,适用条件:宽度 $> 3\text{mm}$ 的宽裂缝或钢筋锈胀裂缝。工艺:凿U型槽(深 $\geq 2/3$ 板厚)→界面剂处理→填充环氧砂浆/快硬混凝土;钢筋锈蚀处除锈→涂阻锈剂→包裹碳纤维布补强。特殊环境裂缝处理,冻融裂缝,凿除松散层→热沥青灌缝→覆盖抗冻纤维布(-30℃适用)。碱骨料反应裂缝,注射锂基阻锈剂→表面氟碳涂层封闭。沉降裂缝,裂缝注浆+基础加固(旋喷桩/承台扩大)。质量控制要点,材料选择,环氧树脂固化收缩率 $< 1\%$;快硬混凝土4h强度 $\geq 20\text{MPa}$ 。工艺控制,灌浆饱和度检测(敲击法/超声波);环境温度 $> 5^\circ\text{C}$ 施工。

(2)道路桥梁不均匀沉降解决方案。结合设计预防、施工控制、地基处理及修复技术等关键环节:设计阶段预防措施,桥头搭板设计,搭板长度按跨径 $1/5 \sim 1/4$ 设置,末端增设枕梁分散荷载应力;搭板顶面与路面标高一致,减少行车颠簸。过渡段刚度渐变设计,采用级配砂砾回填桥台背,模量从路基柔性向桥台刚性过渡;设置过渡式路面(如半刚性基层+沥青层),缓解刚度突变。施工过程控制技术,台背回填工艺,分层填筑透水性材料(碎石或砂砾),每层厚度 $\leq 20\text{cm}$,压实度 $\geq 96\%$;台背与路基衔接处涂刷防水涂料,防止雨水渗

入导致沉降。软基处理,预压法:施工前堆载预压6个月以上,消除80%工后沉降;桩基混凝土平衡板:在桥台后方打入预制桩,增强地基承载力。沉降修复技术,注浆加固,针对局部沉降:钻孔注入水泥基浆液(水灰比0.6~0.8),压力0.4~0.6MPa;地下空洞填充:采用高分子聚合物注浆,24小时强度达30MPa。顶升纠偏,梁体整体顶升:千斤顶同步抬升(精度 $\pm 1\text{mm}$),间隙插入钢板调平;抬升后灌注环氧砂浆填充空隙。监测与维护,智能监测系统,布设倾角仪+沉降观测点,实时传输数据,沉降超限($> 10\text{mm}$)自动预警;三维激光扫描捕捉毫米级变形。养护措施,定期清理伸缩缝,更换老化橡胶止水带;融雪剂洒布区修补密封层,阻断氯离子侵蚀。综合治理逻辑:预防(搭板/过渡层)→控制(分层回填/预压)→修复(注浆/顶升)→监测(实时预警)。差异沉降 $> 2\%$ 时需立即干预,避免跳车风险。

(3)道路桥梁结构性病害维修策略。基础沉降病害维修,注浆加固,局部沉降:钻孔注入水泥基浆液(水灰比0.6~0.8),压力控制0.4~0.6MPa,填充地基空隙提升承载力;空洞修复:采用高分子聚合物注浆,24小时强度达30MPa,适用于地下冲刷空洞。顶升纠偏,同步顶升梁体(精度 $\pm 1\text{mm}$)→间隙插入钢板调平→灌注环氧砂浆填充;抬升后需同步加固基础(如扩大承台或增补桩基)。承载力不足裂缝,梁体应力裂缝:粘贴钢板法,垂直裂缝方向锚固钢板,膨胀螺栓间距 $\leq 30\text{cm}$;大跨径下挠裂缝:增设体外预应力钢绞线束,张拉抵消挠曲应力;墩台竖向裂缝:外包混凝土增大截面(加厚20cm),配合钎钉植筋(间距50cm)。附属设施修复,桥头跳车治理,沉降稳定后加铺沥青混凝土调平层,或凿除旧铺装重筑混凝土层;完善排水系统,防止水土流失加剧沉降。伸缩缝失效修复,清除旧缝杂物→预埋筋精确定位(误差 $\leq 3\text{mm}$)→浇筑C50钢纤维混凝土;型钢顶面需低于路面1~2mm以缓冲车轮冲击。特殊环境病害应对,冻融损伤,凿除松散层→热沥青灌缝→覆盖-30℃抗冻纤维布。化学侵蚀,碱骨料反应裂缝:注射锂基阻锈剂+氟碳涂层封闭;氯盐腐蚀:玻纤套筒包裹墩柱+水下环氧灌浆料密封。超载振动破坏,增设钢筋混凝土铺装层(加配筋参与受力);梁体横向增设预应力横隔板,提升整体刚度。智能维养体系,动态监测:布设倾角仪与沉降观测点,数据偏差超10mm自动预警;预防性养护:定期清理伸缩缝、更换止水带,融雪剂洒布区加强密封层修补;BIM技术应用:维修前三维模拟施工流程,优化资源配置。

4 新技术在道路桥梁施工中的应用

(1) 智能施工装备。无人驾驶压路机, 搭载北斗高精度定位与障碍物识别系统, 轨迹精度达2-3厘米, 避免漏压/过压, 1人可操控多台设备连续作业。配套智能压实系统实时监测压实参数, 实现施工质量全程追溯。氢能施工设备, 氢能检测车续航突破400公里, 碳排放降低70%, 应用于雄安新区等重大项目。

(2) 数字化设计与施工。BIM(建筑信息模型)技术, 三维协同设计: 模拟复杂结构冲突(如港珠澳大桥), 减少10%设计变更, 节省7%施工成本; 施工模拟: 优化预应力钢绞线张拉路径, 预演顶升纠偏流程, 精度误差 $\leq 3\text{mm}$ 。预制装配式技术, 工厂模块化生产桥梁构件(如墩柱、T梁), 现场拼装效率提升40%, 降低扬尘污染。

(3) 智能监测与运维。结构健康监测系统, 布设倾角仪+应变传感器, 实时预警沉降超限($> 10\text{mm}$)或应力异常; 雷视融合技术自动识别桥面异常事件(如裂缝扩展), 联动声光报警。AI病害识别, 基于深度学习的裂缝识别算法准确率达98%, 支持三维建模与损伤评估。智慧照明系统, 动态调光+单灯控制, 年节能30%, 具备故障自诊断功能。

(4) 绿色技术集成。再生材料应用, 再生骨料混凝土使用比例超50%, 减少天然石材开采; 能源融合结构, 光伏桥面、风能桥塔技术将桥梁转化为“能源载体”。应用成效: 新技术推动施工效率提升30%~50%, 全寿命周期维护成本降低25%。

5 道路桥梁病害预防与管理措施

(1) 预防性体系构建。设计阶段预防, 刚度过渡设计: 桥台背采用级配砂砾回填, 实现路基柔性至桥台刚度的渐变过渡; 桥头搭板优化: 搭板长度按跨径 $1/5 \sim 1/4$ 设置, 末端增设枕梁分散荷载应力。材料与工艺控

制, 台背分层填筑透水材料(每层 $\leq 20\text{cm}$, 压实度 $\geq 96\%$), 衔接处涂刷防水涂料防渗水; 推广高性能混凝土(抗压强度 $\geq 80\text{MPa}$), 提升结构抗氯离子渗透性。

(2) 病害分级干预。轻微病害(裂缝 $< 0.15\text{mm}$): 环氧树脂封闭表面, 阻断水分渗透; 中度病害(沉降 $10\text{-}30\text{mm}$): 注浆加固(水泥浆压力 $0.4\text{-}0.6\text{MPa}$); 重度病害(四、五类桥): 拆除重建或体外预应力加固。沉降快速修复, 局部沉降: 高分子聚合物注浆(24小时强度 30MPa)填充空洞; 桥头跳车: 凿除旧铺装层, 重筑钢纤维混凝土(强度C50)调平。

(3) 智能监测与维护。全周期健康监测, 布设北斗位移传感器+倾角仪, 实时预警沉降 $> 10\text{mm}$ 或应力异常; AI视觉识别裂缝(精度98%), 自动生成三维损伤模型。预防性养护措施, 每季度清理伸缩缝, 更换老化止水带; 融雪剂洒布区定期修补密封层, 阻断氯离子侵蚀。

(4) 农村桥梁专项管理。病害防控重点, 铰缝加固: 采用聚合物砂浆修复失效铰缝, 防止“单板受力”; 排水优化: 增设泄水孔, 修复锥护坡减少水土流失。信息化管理, 建立电子档案, 联网监控大中型桥梁运行状态; 限载管理: 设置警示牌限制超重车辆通行。

总之, 道路桥梁工程常见的病害主要有: 钢筋腐蚀病害、地基不均匀沉降病害、路面裂缝病害、边坡不稳定病害。这些病害轻则影响道路桥梁工程的使用性能, 重则会导致安全事故。因此, 对于道路桥梁工程病害要引起重视, 做好防治处理, 防患于未然。

参考文献

- [1] 张建培. 道路桥梁工程的常见病害与施工处理技术探析. 2022.
- [2] 王海洋. 道路桥梁工程的主要病害分析与施工处理技术关键研究. 2023.