

道路桥梁施工管理中裂缝的处理分析

文 / 李乐刚 四川省交通建设集团有限责任公司市政建设工程分公司

摘要：道路桥梁施工中裂缝问题严重威胁其结构的安全及耐久性。裂缝成因涵盖荷载作用、混凝土收缩、温差变形及材料质量缺陷等多重因素，需采取系统性措施进行防治。本文提出强化材料进场管控、优化混凝土浇筑工艺、实施温度动态监控、规范荷载设计施工的综合治理方案，结合红外热成像、嵌入式传感器等智能技术实现精准温控。通过搭建全过程质量追溯体系及多维感知网络，可以有效抑制裂缝生成扩展，提高结构整体稳定性，为道路桥梁工程质量提供科学依据。

关键词：道路桥梁；施工管理；裂缝处理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.052

引言

道路桥梁是现代交通基础设施的核心载体，承载着区域经济发展的重要使命。混凝土结构裂缝的普遍性，导致其成为威胁桥梁全生命周期性能的关键缺陷。裂缝引发的碳化侵蚀、钢筋锈蚀现象，会加速材料性能劣化，诱发不可逆的结构失效，造成重大经济损失。现有研究多聚焦单一成因分析或局部修复技术，缺乏对施工管理全流程的协同防控策略。针对荷载传递模型偏差、温控措施滞后等现实问题，亟须搭建涵盖设计、施工的裂缝综合治理体系，以系统性思维提高桥梁工程抗裂性能。

一、道路桥梁裂缝的危害性

道路桥梁裂缝是施工质量缺陷的典型表现，其危害性贯穿于结构全生命周期。裂缝形成初期虽呈现细微形态，却成为水分及腐蚀介质侵入的通道，加速混凝土内部碳化进程，削弱材料抗压抗拉性能^[1]。长期渗透作用下裂缝逐渐扩展深化，加剧结构内部应力分布不均，致使局部区域承载能力下降甚至出现断裂隐患。钢筋在裂缝暴露后同外界环境直接接触，氧化反应导致截面面积缩减及力学性能退化，结构整体刚度及延展性随之衰减。频繁荷载作用或极端气候条件下，原有裂缝易演变成应力集中点，诱发更大范围开裂或突发性坍塌事故。混凝土碳化深度增加进一步降低保护层碱性环境，促使钢筋钝化膜失效，锈蚀产物体积膨胀加剧混凝土剥落风险。裂缝引发的连锁反应不仅缩短桥梁使用寿命，更威胁行车安全、公共财产，构成潜在社会风险。

二、道路桥梁施工管理中裂缝的成因

（一）荷载作用

在道路桥梁服役过程中，结构需长期承受自重及交通荷载的双重作用，若受力和荷载设计不合理，极易诱发结构性裂缝^[2]。荷载裂缝没有固定的分布形态，通常根据桥梁的受力特点和运行状态而异，表现形式多样。一般而言，裂缝多出现在桥梁的中心受压区、受拉区及振动频繁部位，具有一定的分布规律性。根据受力情况，荷载裂缝可细分为三种类型：一是中心受压裂缝，常见于桥墩等受压构件，裂缝沿主应力方向延展，通常呈平行短裂缝状，分布较密集，二是受弯裂缝，主要出现在弯矩较大的截面

处，如跨中位置，裂缝由受拉区表面向外扩展，同受拉方向垂直，三是受剪裂缝，典型出现在梁腹部区域，裂缝呈斜向分布，倾斜角通常大于45°。荷载引起的裂缝不仅影响结构的承载力和稳定性，还易进一步发展为更严重的结构破坏，需在设计施工阶段充分评估荷载效应，严格控制施工荷载及运营超载风险。

（二）混凝土收缩

混凝土是道路桥梁的主要建筑材料，具有一定的收缩性，这种内在属性是诱发裂缝的关键因素之一。在施工过程中，尤其是混凝土浇筑完毕后，水泥水化反应会释放大量热量，导致混凝土内部温度升高，同时表面水分迅速蒸发，从而引发收缩应力。如果此时未能及时进行保湿养护，如洒水、覆盖等措施不到位，混凝土表层会因干燥失水而收缩，形成细小裂缝。早期塑性收缩或干缩裂缝不仅削弱结构的整体性，也会为外界水分、氯离子等侵蚀物质提供渗透通道，加速结构的劣化。此外，不合理的混凝土配比，如水胶比偏高、外加剂使用不当等，也会加剧材料的收缩行为。为有效控制收缩裂缝的发生，施工过程中应严格控制混凝土原材料质量，优化配比设计，并加强早期养护管理，确保水泥水化过程平稳进行，最大限度减小因体积变化引发的开裂问题。

（三）温差变形

温度裂缝是桥梁混凝土结构常见的一类裂缝，主要由混凝土内部同外部温差变化产生的温度应力所致。施工中混凝土常处于高温状态，若外界气温偏低，温差效应会在混凝土结构内形成较大应力集中^[3]。当温度应力超过混凝土的极限抗拉强度时，结构便可能出现开裂现象。此类裂缝在初期往往呈不规则发展，扩展速度较快，极易影响结构的使用寿命。影响温度裂缝发生的因素较多，包括混凝土浇筑厚度、骨料类型、温控措施、降温速率等。其中，温度裂缝在大体积混凝土结构中尤为明显。为减缓这种温差应力的影响，施工单位需提前制定温控方案，如选用低水化热水泥、在浇筑后及时覆盖保温材料、延长养护周期、采取分层或分段浇筑等方法，控制混凝土内部温度梯度，降低温度裂缝发生的概率，确保桥梁结构整体稳定性和安全性。

(四) 材料质量问题

材料质量是影响道路桥梁结构性能的基础性因素，不合格的原材料或配比失衡，极易诱发混凝土结构裂缝。在实际施工中，如果水泥、骨料、掺合料、水等基本组分未按规定选用或配比不科学，混凝土性能将难以满足设计要求，进而在服役过程中表现出较强的脆性和裂缝敏感性。例如，水泥强度等级不足或安定性差，会影响混凝土的整体强度；骨料级配不均、含泥量超标等也会破坏混凝土的密实性和黏结性能；过高的水胶比容易产生泌水和收缩裂缝。此外，外加剂选择不当，掺量控制不精，也可能改变混凝土的凝结时间和力学性能，引起应力集中。在质量管理方面，施工单位应严格把控材料进场检验环节，加强对混凝土原材料的检测验收，确保其性能稳定可靠。配比设计应科学合理，符合施工实际需求，并在生产、运输和浇筑过程中持续监控质量，减少因材料缺陷引发的结构裂缝。

三、道路桥梁施工管理中裂缝的处理措施

(一) 强化材料进场质量控制

强化材料进场质量控制需从源头严密把关，保证各类建筑材料均符合设计规范及施工标准。混凝土原材料

中，水泥须具备良好安定性及足够强度等级，骨料必须粒径均匀、洁净干燥，含泥量不得超过1%，水必须为饮用水标准，掺合料及外加剂需经过试验验证性能稳定后方可使用。混凝土配合比设计必须依据工程所在地气候条件、结构受力特点、施工工艺要求等进行全面优化，确保配比精准可控。材料进场环节须设立专职检测人员，对每批次材料实施外观检查、抽样检测，未检材料不得投入使用。搅拌站生产过程应全程数据记录，重点监控水胶比、塌落度、出机温度等参数波动，波动幅度控制在标准允许范围之内。运输阶段应统一调度，搅拌车运输时间不得超过90分钟，卸料温度控制在25℃以内，防止因延误引发混凝土性能下降。现场接收混凝土需设立试验组，开展随拌检测，验证实际强度、保水性是否满足要求，发现问题立即调整拌合参数。钢筋进场后应立即检验其力学性能及化学成分，现场摆放分类整齐，防止锈蚀污染，焊接或机械连接部位须复检接头强度。全过程（见图1）形成闭环监督机制，实现从材料采购、进场检验、生产控制到施工使用的全流程质量追溯体系，保障结构使用安全。

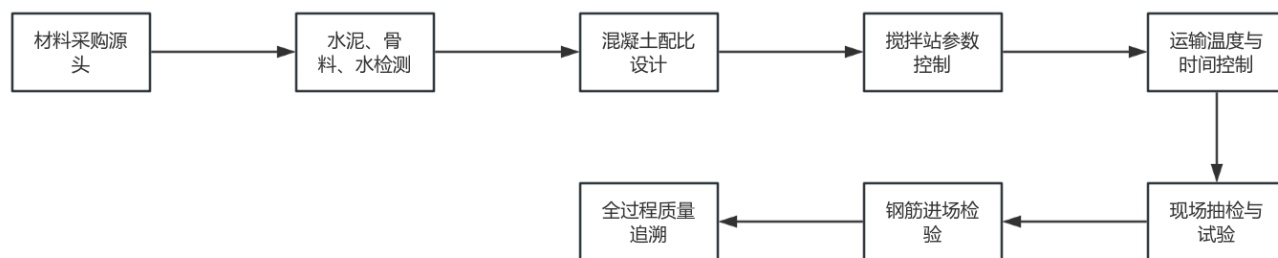


图1 材料进场质量控制流程图

(二) 混凝土浇筑工艺的优化

优化混凝土浇筑工艺流程（见图2）是确保道路桥梁施工质量、减少裂缝出现的重要手段。在混凝土浇筑过程中，工艺流程的合理性直接影响混凝土的密实性、强度及耐久性。关键步骤在于控制浇筑时间、浇筑方式以及浇筑过程中的温湿度控制。浇筑顺序需要根据施工现场的具体条件合理安排，避免过多的混凝土堆积在同一位置，防止因沉降不均导致的裂缝。混凝土配合比的合理设计是确保其施工性能的前提，应根据气温、湿度等外界环境因素进行适当调整，以确保混凝土的工作性、流动性。配合比调整后，浇筑过程中要严格控制材料的质量，确保砂石骨料、粉煤灰等物料的配比合理，避免因材料不合格造成的结构缺陷。在浇筑过程中，振捣是不可或缺的环节。振捣工艺应遵循适当的频率和强度，避免振捣不足导致混凝土内部出现空隙，或者振捣过度引发分离现象。合理的振捣不仅可以提高混凝土的密实性，还能有效避免由于过度振动导致的水泥浆分离或颗粒离析。温控措施在混凝土浇筑中尤为重要。由于环境温度的变化会直接影响水泥的水化过程，从而影响混凝土

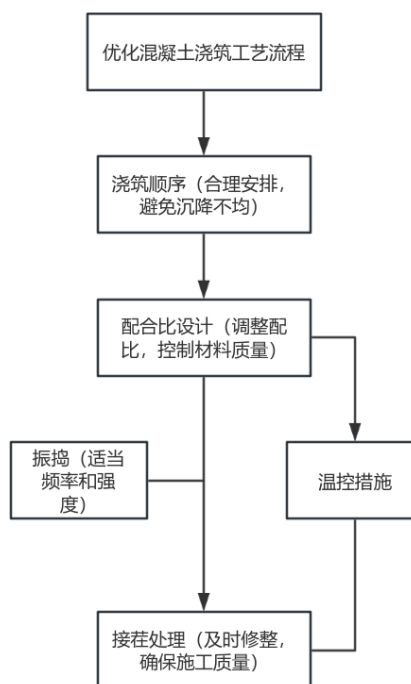


图2 混凝土浇筑工艺流程图

土的强度发展。在夏季施工中，混凝土温度应控制在一定范围内，防止因温度过高引发早期干缩裂缝。冬季施工时，应对混凝土进行适当保温，以保证其水化反应不受温度过低的影响。另外，浇筑过程中应注意接茬部位的处理。每次浇筑完成后，应及时进行表面修整，避免接茬不平整或接缝处产生裂缝。合理安排分段施工，确保每个浇筑段的施工质量，做到无缝衔接，避免因施工不连续造成局部应力集中，形成裂缝。优化混凝土浇筑工艺流程，从源头控制混凝土的质量，保证其各项性能达到设计要求，是解决道路桥梁施工过程中裂缝问题的有效手段^[4]。

(三) 结构温度动态实时监控

实施温度动态监控体系是道路桥梁裂缝治理中的关键环节，其核心在于精准掌握混凝土结构在施工及养护各阶段的温度变化，提前发现温差异常引发的结构内应力集中问题。监控体系需构建以红外热成像、嵌入式传感器及远程数据采集终端为基础的多维感知网络，实现对混凝土温度场的全周期感知。红外热像技术适用于大范围结构面温度分布分析，可快速识别局部过

热区域。嵌入式热敏电阻布设在结构关键节点，如腹板、翼缘、支座区，实时记录内部温度变化曲线，精度控制在±0.2℃以内，确保数据反映真实结构温度状态。数据采集单元需配置具备无线通信模块的微型控制器，实现远程同步上传及本地存储并行处理，提高数据完整性。系统运行过程中需设定温度报警阈值，根据材料性能及环境状况设定报警上限及下限，若内部温差超过25℃，系统触发报警并推送至项目管理平台，便于技术人员及时调整施工工艺或加设控温措施。温度数据还可用于反演分析热应力分布，通过有限元建模输入实时监测数据，构建动态热应力演化模型，判断是否存在潜在裂缝风险。此类温度监控体系配合实时曲线图及温度等值线图展示界面，让施工管理人员快速掌握关键温区及异常点分布，有效提高施工调度效率，控制结构早期裂缝形成概率。系统运行需在混凝土浇筑前完成传感器布设及平台调试，确保数据采集无盲区，连续监测周期应覆盖浇筑、养护及强度增长全过程，不少于28天。该体系（见表1）的实用智能化程度决定裂缝控制的精准化水平。

表1 道路桥梁施工温度动态监控体系关键控制参数表

关键要素	技术措施	控制标准	功能作用
温度感知方式	嵌入式传感器与红外热成像	精度 ±0.2℃	捕捉结构内部与表面温度动态
报警阈值设定	自动阈值判定与系统推送	温差超 25℃触发	预警异常热应力集中
数据采集与传输	无线通信微控单元远程上传	实时更新不延迟	提高响应效率与调度精度
监测周期与部署时机	浇筑前布设，连续监控至少 28 天	无死角覆盖，周期完整	全周期控制裂缝高发风险

(四) 荷载设计施工双重规范

规范荷载设计及施工管理对抑制道路桥梁裂缝的产生具有决定性意义，其关键在于精准匹配结构受力特性及实际荷载工况，避免局部超载引发混凝土开裂及钢筋锈蚀隐患^[5]。荷载设计阶段需以结构受力分析为基础，结合桥梁跨度、支座形式、施工阶段荷载传递路径等因素，精细划分恒载及可变荷载，保证设计荷载模型同实际受力状态高度一致。活载取值应依据交通等级、车辆轴载统计数据进行动态调整，避免采用经验估值导致设计偏差。结构配筋应根据最不利工况进行强度验算及开裂控制计算，合理布置负弯矩区钢筋数量及位置，设置纵向预应力筋以降低裂缝宽度增量，控制裂缝宽度不大于0.2mm。施工阶段应建立全过程荷载管理制度，严格控制施工车辆行驶路径及堆载位置，采用临时支撑体系缓解阶段性不平衡荷载，防止施工荷载集中作用于结构薄弱部位引发裂缝。混凝土浇筑顺序应结合荷载传递方向合理编排，避免因模板移除时间不当或张拉顺序错误造成结构内力突变。养护阶段需根据结构受力特性设定加固及限载措施，禁止超载车辆通行，设置自动识别装置限制车辆总质量不超过规定标准。监测系统应在主梁、墩顶及跨中关键部位设置应变计和荷载传感器，实时获取荷载响应数据，对出现峰值变化趋势的节点及时进行

预警处理。设计施工管理协同匹配是保证荷载稳定传递、避免结构性裂缝。

结语

道路桥梁裂缝治理需立足全周期管理视角，融合材料科学、结构力学及智能监测技术。裂缝控制需兼顾技术措施同管理机制的双重创新，在源头阻断缺陷诱因的同时，完善风险预警及应急响应制度。唯有搭建科学严谨的裂缝防治体系，方能保证桥梁结构的安全性满足现代交通建设的严苛需求。

参考文献

[1] 郑玉才. 浅析道路桥梁施工质量通病的预防及改进策略[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2022, (26): 112-114.
 [2] 申亚锋. 道路桥梁施工裂缝预防管理[J]. 中国物流与采购, 2022, (01): 103.
 [3] 马永嘉. 道路桥梁施工中常见的问题及解决策略[J]. 中国建筑装饰装修, 2021, (08): 182-183.
 [4] 赵延贤. 道路桥梁施工裂缝预防管理措施[J]. 大众标准化, 2021, (15): 233-235.
 [5] 李龙平. 城市道路桥梁施工养护及管理措施[J]. 住宅与房地产, 2021, (12): 218-219.

作者简介：李乐刚（1981.07-），男，汉，四川省彭州市，本科，工程师，研究方向：道路桥梁工程管理。