

道路桥梁施工中裂缝的成因与预防对策分析

潘张昀

余姚交通规划设计研究院, 浙江 宁波 315400

摘要: 道路桥梁施工中出现的裂缝是影响结构耐久性与行车安全的关键问题, 对其成因予以深入理解并采取有效的预防措施, 有着极为重要的意义。本文针对桥梁常见裂缝类型及其特征展开了系统梳理工作, 对混凝土材料特性和裂缝形成之间的内在关联进行了剖析, 着重从材料选择与配比、施工工艺规范性、环境因素影响以及结构设计合理性等多个维度, 对裂缝产生的根本原因展开深入探究。在此基础上提出具有针对性的预防策略, 着重强调对混凝土性能加以优化、对施工过程进行严格管控、实施温控与收缩补偿技术以及完善设计细节等方面, 为提升桥梁工程质量、保障其能够长期安全服役提供具有实用性的参考依据。

关键词: 道路桥梁; 施工裂缝; 裂缝成因; 预防对策

DOI: 10.63887/fet.2025.1.3.21

1 引言

道路桥梁是交通网络的骨干, 公共安全以及基础设施寿命均与道路桥梁的施工质量有着直接关联, 而施工过程中产生的裂缝如同结构体上的伤痕, 其不单单影响了美观, 还潜藏着对桥梁承载能力与耐久性的严重威胁。针对这一在工程领域所面临的挑战, 本文将关注点放在了桥梁施工阶段上, 聚焦各类裂缝形成的机理以及防控的方法, 旨在揭示材料性能、施工操作、环境条件以及设计理念等因素如何共同作用从而诱发裂缝, 并在此基础上进一步梳理出预防性的技术以及管理措施, 要确保这些措施既科学又有效, 以此为工程实践清晰地指明理论方向并提供具体的操作路径, 进而助力打造出更为安全、更具耐久性的桥梁工程。

2 道路桥梁施工裂缝的理论基础

2.1 道路桥梁常见裂缝类型与特征

道桥工程是支撑陆上交通系统的基础设施建设领域, 涵盖道路、桥梁、隧道等工程的设计与施工环节。专业教育体系以道路勘测设计、路基路面工程等核心课程构建技术人才培养框架, 配套道路勘测课程设计等实践环节强化工程能力。道路桥梁常见裂缝表现形式各异, 收缩裂缝通常显现为混凝土硬化阶段因水分过快散失诱发的表面龟裂现象 (如图 1 所示), 这类

不连贯的细微裂纹构成网状分布且深度有限, 虽然不直接危及结构核心却持续影响表层耐久性。温度裂缝则由结构体内外显著温差或昼夜季节性气候波动形成的热胀冷缩受阻所致, 其走向多平行或垂直于构件轴线且宽度易随环境温度反复变化, 尤其夏季高温时段与冬季低温收缩期差异最为明显。沉降裂缝根源在于基础支撑体系局部软弱引致不均匀的下沉过程, 这类贯穿性开裂多纵向或斜向延伸并随时间推移逐步显现形态变异, 桥墩台帽与墩身连接区域、填挖方交界地带尤为值得注意其演化趋势。荷载裂缝直接指向车辆反复碾压、超限承载或非预期外力引发的局部强度不足问题, 这类特征鲜明的断裂面常在结构受力薄弱环节突然展开或沿主筋位置定向发展, 需依据裂缝走向与应力分布的相关性进行专业辨析^[1]。



图 1 收缩裂缝示例图

2.2 混凝土材料特性与裂缝形成机理

混凝土这种由水泥、骨料、水和外加剂构成的复合材料，其固有的物理化学性质深刻影响着裂缝产生的可能性。水泥和水相遇后发生的水化反应是一个释放大量的过程，由此产生的内部温度升高与外部环境温差导致混凝土体积膨胀或收缩不一致，在结构内部形成复杂的温度应力场，当这种拉应力超出混凝土早期脆弱的抗拉能力极限时，微裂缝便悄然萌生。而且混凝土在硬化过程中水分的持续散失引发干燥收缩现象，其收缩变形受到钢筋、相邻结构或基础约束的限制，同样会诱发显著的收缩拉应力。

2.3 裂缝对桥梁耐久性与安全性的危害

道路桥梁结构表面或内部延伸开来的细微缝隙实际上充当了外界侵蚀介质持续侵入的关键通道，尤其那些贯穿深度较为显著的裂缝容许环境中的水汽乃至含盐离子成分沿着裂隙网络悄然渗入构造物深层区域。湿气与空气长期渗透的直接结果往往诱发混凝土内部碱性平衡逐渐丧失而碳化进程加速，同时隐蔽包裹的钢筋系统极易因接触氧气与氯离子的持续共同作用开始激活锈蚀机制，这些物质层面的缓慢劣化无形中大幅削弱着构件的原始承载潜力与延展韧性。裂缝形态与分布模式的真实状态能够映射出构造物当前力学状态同原始设计功能之间的偏移距离，这种偏移距离实质上表征着桥梁整体安全储备正在承受持续性的客观消解过程，工程师必须细致捕捉每一条裂缝纹理所承载的数据意义，如此才能真正把握构造材料耐久退化的路径走向。

3 道路桥梁施工中裂缝形成的关键成因分析

3.1 材料因素

当水泥与水混合的比例，即水灰比设定偏高时，多余水分蒸发后会在硬化浆体中留下过多的孔隙通道，削弱了混凝土自身的致密性和抵抗拉伸变形的能力。骨料作为混凝土骨架的核心组成部分，其颗粒级配的连续性若存在缺陷，或者表面包裹着过量的泥土杂质，都会严重干扰骨料与水泥浆体之间形成强有力粘结的界面过渡区。外加剂在改善混凝土工作性能方面扮演着重要角色，然而其种类选择与实际掺量若未精确匹

配特定工程环境与材料体系，则可能意外干扰水泥颗粒正常的水化反应历程，打乱混凝土早期强度发展的稳定节奏，甚至诱发内部应力分布不均^[2]。

3.2 施工工艺因素

在混凝土浇筑过程中，若振捣工艺执行不到位将导致混凝土内部气泡未能有效驱离而滞留为细微孔洞，这类隐蔽空隙在后续干燥阶段成为浆体收缩应力的天然薄弱点。养护环节时间窗口的延误或覆盖保湿措施的草率直接造成浆液水化进程失去温湿度平衡，表层与芯部脱水速率差异引发拉应力集中使得表面蛛网裂纹自发形成。模板接缝处拼合精度的缺失与支架体系刚度分布不均使新浇混凝土承受预设外的扭曲荷载，尤其在转角位置或变截面区域脱模后立即呈现应力释放型裂缝。

3.3 环境因素

剧烈的昼夜或季节性温度变化驱动混凝土结构发生热胀冷缩，当其变形受到相邻构件或基础的有效约束时，温度梯度引发的体积变化差异便在材料内部累积起显著的拉应力。混凝土浇筑后表面水分的持续蒸发导致其内部湿度分布不均，由此产生的干燥收缩效应若受到内部钢筋或外部模板的刚性限制，同样会在硬化中的混凝土里埋下收缩应力的隐患。桥梁墩台下方地基土层承载性能的差异或后期固结沉降的不均匀性，使得支撑点之间产生相对位移差，这种微小的差异运动最终传递到上部结构，在梁体或桥面板中诱发出超乎预期的附加弯曲或扭曲应力。

3.4 设计因素

结构构件实际承受的活载类型若超出原设计预估范围可能引发应力重分布过度的情况发生，这种非对称受力状态在截面突变处尤为容易诱发初始微裂缝的萌生。配筋方案未能合理预判构造边界约束效应或是特定受力位置抵抗拉应力的不足往往加速裂缝发育进程，尤其梁端负弯矩区域布置密度失衡与钢筋有效高度偏差将直接削弱结构对塑性变形的补偿能力^[3]。构件连接节点的构造细节设计在缺乏对材料变形协调充分考虑的背景下极易形成薄弱环节，诸如牛腿位置锐角过渡或预应力锚固区应力流不连贯的隐患都潜伏着早

期开裂风险。

3.5 荷载与外部作用

地基下方土层由于水文地质条件变化或荷载长期作用可能发生缓慢的塑性变形或固结沉降,这种下沉趋势迫使桥梁墩台产生相对位移,从而在上部梁板结构中悄然引入额外的弯曲或扭曲内力。混凝土在浇筑后早期尚未完全形成设计强度时,若遭遇施工机械临时堆放超重或通行车辆荷载超出预期,其脆弱的内部骨架便可能因难以承担突增的应力而产生损伤。突发性的剧烈碰撞事件,例如重型车辆失控撞击或大型漂浮物冲击桥墩,其瞬间施加的强大动能远超结构常规设计考虑的范围,在接触点附近诱发高度集中的局部应力,极易突破材料强度极限。

4 道路桥梁施工裂缝预防的关键对策

4.1 优化混凝土材料选择与配合比设计

在原材料选择阶段严格把控水泥热反应性能与骨料潜在活性成分构成可有效降低温度应力引发的非预期变形,采用碱活性较低的集料并增加适量粉煤灰替换部分水泥比例能够抑制胶凝体系放热峰值的剧烈程度。配合比设计需精细权衡浆体稠度对施工密实度的支持能力与水化反应收缩应力的关联平衡,适当引气处理改善拌合物流动性同时降低泌水通道形成概率,而对于关键薄壁结构可考虑添加补偿收缩组分主动抵消硬化初期的自生应变差值。工程团队依据施工现场温湿度变化特征及运输距离动态调整减水剂类型与掺量,尤其注重坍落度经时损失问题以规避因可塑性急剧下降被迫补偿拌合水用量引发的脆弱孔隙结构。拌合过程投料时序控制与搅拌设备机械参数匹配保障各组分散均匀分散形成连贯致密的微观骨架支撑结构,那些添加补偿收缩剂的项目尤其需要延长匀质化搅拌时间窗口来激活物质活性反应的稳定轨迹。

4.2 加强施工过程质量控制

混凝土浇筑环节要求作业人员严格遵循分层、连续、均匀的布料原则,避免形成冷缝或骨料过度集中导致的局部不均匀性,同时精确控制每层混凝土的入模厚度与相邻区域的高差,防止因塑性状态下的自重差异引发沉降裂缝。振捣操作的核心在于选择适宜功

率的振动设备并将其插入点按合理间距布设,使振捣棒能有效贯穿新拌混凝土的整个深度范围并触及模板边缘附近区域,充分排除内部包裹的空气与多余水分,促使水泥浆体紧密包裹骨料并均匀填充所有空隙,最终在混凝土初凝前获得内部结构致密且表面均匀泛浆的理想状态。养护阶段的关键在于为硬化中的混凝土持续提供稳定的温湿度环境,需要施工人员在新浇筑结构物表面及时覆盖保水材料或采用自动喷淋系统保持其湿润状态,并在环境温度变化显著时辅以保温或降温措施,保障水泥水化反应在适宜条件下充分、稳定地进行,避免因早期水分急剧散失或内外温差过大而产生收缩与温度裂缝^[4]。具体流程如图2所示:

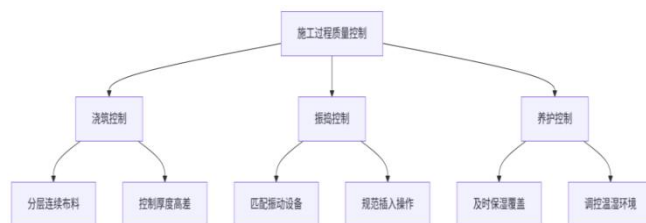


图2 道路桥梁施工核心工艺质量控制流程图

4.3 完善温度与收缩裂缝控制措施

施工团队利用预埋温度传感器网络持续监测大体积构件芯部温升轨迹对表层散热速率的滞后量差异,据此动态调度冷却水循环系统运转参数来抑制内外温差梯度超越混凝土容许抗裂阈值。降低拌合水初始温度并控制骨料堆场遮阳通风环境作为源头削减入模温度的关键手段,对于关键箱梁结构在钢筋骨架内部科学布设多层冷却水管网可显著缓解高温水化反应导致的体积膨胀传递速度差异。现场技术执行人员在温度敏感区域划分临时施工缝或设置预留后浇带释放早期收缩约束,后浇带位置的选择需要依据结构计算模型确定变形集中敏感区并保持相邻单元间隔距离在有效释放变形范围内。后浇带两侧混凝土充分经历自然收缩阶段后再行封闭连接能切实规避非协调变形累积,接口面处理工艺确保毛糙度达标且采用微膨胀混凝土补偿接缝结合间隙成为控制结合面质量的核心环节。补偿收缩混凝土掺合料类型的选择需依据结构约束度特征匹配适度膨胀参数使其压应力值介于足以抵消干缩拉应力又不至于诱发自应力的狭窄平衡区间。补偿材料膨胀时间窗口必须与养护保湿期高度吻合才能稳

定发展材料设计预期的体积微膨胀效应，浇筑温度过高的补偿混凝土会过早激发生成速率难以掌控使实际补偿效率偏离设计目标。

4.4 确保模板与支撑体系的设计合理性与施工稳固性

模板支撑体系的设计工作必须由专业工程师依据桥梁结构的具体形式、混凝土浇筑时的各项静动态荷载以及预期的施工环境条件进行严谨计算，核心在于为结构提供精确的几何轮廓塑造能力与浇筑全过程所需的足够刚度强度保障。设计人员需要准确预估混凝土侧压力、施工人员设备重量、浇筑冲击力等综合作用效应，据此选择具有适当承载能力的支撑材料并确定其间距排布方案，同时充分考虑模板面板本身的抗弯刚度与接缝密封性能，避免因局部变形过大或漏浆导致混凝土表面出现不平整或诱发内部应力集中。模板支撑体系的构造细节设计同样不容忽视，特别是转角部位、变截面区域以及预埋件周边的模板加固方式与支撑点布置，必须提供连续均匀的约束力以防止这些应力敏感位置在混凝土塑性阶段发生非预期变形^[5]。施工团队在安装模板支撑系统时需要严格遵循设计图纸的定位要求，从基础处理环节开始保障支撑点下方地基土层具备均匀稳定的承载能力，逐层拼装过程中使用专业仪器实时监控模板的标高、轴线位置及垂直度偏差，确保最终成型结构符合设计几何尺寸。所有连接节点必须按照规范要求选用合适的紧固件并施加足够的锁紧力矩，杜绝因连接松动在浇筑振动荷载作用下产生渐进式位移积累。

4.5 强化结构设计细节与构造措施

设计部门在结构薄弱区域调整钢筋直径与保护层厚度组合可显著优化裂缝分布模式，重点加强截面突

变处交叉区域的加密配筋使局部应力流线趋向平滑过渡能有效降低裂缝萌生几率。结构工程师在悬臂梁端部及相邻支承区域适当增加纵向抗裂筋比例应对拉应力集中现象，锚固端超出理论计算长度充足配置避免应力传递路径突然中断形成薄弱节点，板面角隅部位双向放射钢筋布置方案明显改善了复杂受力状态下的变形协调性能。构造筋合理设置对限制裂缝无序扩展具备积极效果，诸如梁腹两侧布置足够间距的横向联系钢筋抵抗非均布荷载扭曲效应，或在大面积混凝土表面铺设防裂构造网抑制随机收缩裂缝贯穿结构厚度的可能性。施工团队在连续结构分段距离的科学设定建立在对当地环境参数深入把握基础上，结构分段距离依据温差幅度与混凝土特性综合判定可规避收缩应力积累超限，相邻变形缝间隔距离满足主体结构最大预期变形量才能发挥缓冲效能。变形缝装置的选择关注填缝材料压缩回弹特性与接缝位移幅度的匹配关系，高品质橡胶止水带与弹性密封膏的组合应用为结构热胀冷缩提供持续容纳空间。检验团队在竣工验收阶段核查变形缝周边混凝土密实度及界面处理质量保证密封材料长期服役状态下的动态补偿能力。

结语

材料特性、工艺控制、环境影响及设计细节综合作用导致了道路桥梁施工裂缝的形成，而实施有效预防的前提是对其成因进行精准剖析。若能科学优化混凝土材料配比、严格执行浇筑振捣与养护工艺、积极采取温控与收缩裂缝抑制技术、确保模板支撑稳固以及强化结构设计合理性，裂缝发生风险可显著降低。未来桥梁建设应把更多注意力放在全过程精细化管理以及新技术应用上，比如智能监测以及高性能材料运用这类方面，以此持续推动裂缝防控水平的提升。

参考文献

- [1] 李少华. 道路桥梁施工中的裂缝成因及预防对策[J]. 安装, 2024, (S2): 196-198.
- [2] 梁伟波. 道路桥梁施工中裂缝成因及预防措施[J]. 汽车画刊, 2024, (11): 137-139.
- [3] 郑祥壮. 道路桥梁施工裂缝的成因及预防对策探讨[J]. 中华建设, 2024, (09): 169-171.
- [4] 高松. 道路桥梁施工中的裂缝成因及预防对策[J]. 运输经理世界, 2024, (17): 117-119.
- [5] 南国宁. 道路桥梁施工中的裂缝成因及预防措施研究[J]. 运输经理世界, 2024, (10): 133-135.

作者简介：潘张昀（1996-9-19）男 汉族 浙江省余姚市 本科 初级工程师 道路与桥梁