公路桥梁混凝土裂缝成因分析与防控措施研究

俞　立　马焯涵　林智伟

宁波高等级公路养护有限公司　浙江　宁波　315000

摘　要：混凝土裂缝是影响公路桥梁结构安全与长期使用性能的常见病害，对工程质量与运营稳定性存在较大影响。本文主要对公路桥梁混凝土裂缝的常见类型及具体特征进行梳理，从材料、施工、养护、环境荷载四个维度分析裂缝形成的各类诱因，结合实际工程情况制定对应的防控方案，分别从原料质量管控、施工标准落实、养护制度完善、结构设计优化等方面提出治理办法，能够有效抑制裂缝发展，提升桥梁结构耐久性，可为同类路桥病害治理提供参考依据。

关键词：公路桥梁；混凝土裂缝；成因分析；防控措施；结构耐久性

引言：公路桥梁是道路交通网络里的重要基础设施，其运行状态会直接影响道路通行的稳定性与安全性。混凝土是桥梁施工的主要用材，在施工和长期服役的过程中，材料、环境、施工及荷载等多种因素，都会让结构产生裂缝病害，进而影响桥梁整体性能，留存安全隐患。本文结合路桥工程的实际工况，对混凝土裂缝的类别、形成原因展开分析，同时梳理对应的防控技术手段，能够为桥梁病害治理和工程质量提升提供有效参考。

1 公路桥梁混凝土裂缝主要类型及特征

1.1 收缩裂缝

收缩裂缝是公路桥梁混凝土结构中十分常见的非结构性病害，这类裂缝一般产生于混凝土浇筑后的早期养护阶段，主要成因是混凝土固化过程中产生体积收缩，收缩变形会受到结构自身以及基层的约束作用。依据成型机理的不同，施工领域一般将这类裂缝分为塑性收缩裂缝和干燥收缩裂缝两类。塑性收缩裂缝出现于混凝土初凝前的塑性阶段，构件表层水分蒸发速度更快，内部水分散失速度相对缓慢，结构内外的收缩变形差异会引发表层浅表开裂，整体多呈现不规则网状形态。干燥收缩裂缝形成于混凝土硬化后期，内部自由水分持续散失会带动骨料和砂浆收缩，约束作用会让结构产生横向或纵向贯通裂缝。这类裂缝会随桥梁使用时间不断发展，直接降低混凝土结构的抗渗性能。

1.2 温度裂缝

温度裂缝普遍发生在公路桥梁大体积混凝土构件中，这类病害的产生主要源于混凝土内外温差产生的温度应力超出材料自身抗拉强度。水泥发生水化反应时会释放大量热能，大体积混凝土内部热量难以快速散发，温度会持续升高，构件表层直接与外界空气接触，散热速度相对更快，结构内外因此形成明显温差。温差会让混凝土表层产生拉应力，内部产生压应力，当表层拉应力超出材料承受范围后，混凝土结构就会产生温度裂缝[1]。该类裂缝多在混凝土硬化早期形成，排列形态较为规则，裂缝深度偏大，能够持续向结构内部拓展，会削弱混凝土的抗冻性能与抗渗性能。桥梁在长期服役过程中，昼夜温差与季节温度的交替变化，会让混凝土结构不断产生伸缩变形，原有温度裂缝的发展速度也会因此加快。

1.3 荷载裂缝

荷载裂缝属于危害性较高的结构性裂缝，该类裂缝会直接影响公路桥梁的整体使用安全，其产生贯穿桥梁施工与后期运营全过程。混凝土结构在服役期间会承受多种外力作用，当结构承受的实际荷载超出设计标准，结构内部就会产生剪切应力与弯曲应力。局部位置积累的集中应力突破混凝土自身的抗拉、抗剪极限后，结构就会出现开裂问题。荷载裂缝的分布存在明显规律，裂缝多集中在主梁跨中、支座以及桥墩顶部等受力集中部位，形态以竖向和斜向为主，裂缝深度较大，大多具备贯通性特点。相较于常见的非结构性裂缝，荷载裂缝造成的结构损伤更加严重，该病害会持续削弱桥梁的承载能力与整体稳定性，长期发展下来会形成各类安全隐患，对公路桥梁的安全运营造成不利影响。

1.4 沉降裂缝

沉降裂缝属于危害性较为突出的结构性裂缝，这类裂缝的产生主要依托地基不均匀沉降这一核心条件。裂

缝的发生时段并不固定，既可出现在桥梁完工初期，也会随着桥梁长期运营、地基条件改变逐步产生。地基勘察与基础处理施工质量不达标，会造成地基土体承载力和密实度分布不均。桥梁投入使用后，地基会持续承受结构自重与车辆通行荷载，不均匀沉降问题会逐步显现，混凝土结构会产生拉伸与剪切形变。当结构变形量超过混凝土自身承受极限，构件表面就会生成沉降裂缝。这类裂缝多存在贯通特性，裂缝延伸方向贴合地基沉降走势，主要分布在桥台、桥墩和梁板的连接位置。地基沉降持续发展会不断扩大裂缝尺寸，造成桥梁结构错位变形，降低整体结构稳定性，影响公路桥梁日常通行的安全性。

2 公路桥梁混凝土裂缝核心成因分析

2.1 材料因素成因

混凝土原材料的质量缺陷与配比失误，是造成桥梁结构出现裂缝的基础原因，这类问题会直接影响混凝土的整体强度、结构稳定性和抗裂能力。水泥材料的选型和质量指标不符合标准时，混凝土结构就容易产生裂缝，高热型水泥会催生温度裂缝，安定性不达标的水泥会让混凝土固化后出现不均匀形变[2]。砂石骨料含杂量过高、粒径搭配不合理，会降低混凝土密实度与粘结性能，进而引发收缩开裂。拌合水质和外加剂的使用情况也会影响混凝土成型效果，外加剂使用不当会打乱混凝土固化节奏。除此之外，工程中水灰比、砂率、水泥用量等配比参数设置不合理，也会增加混凝土结构出现裂缝的概率。

2.2 施工工艺成因

施工操作不标准和过程管控不严，是造成公路桥梁混凝土裂缝的主要人为原因，相关问题会覆盖混凝土施工的各个工序。施工人员在拌合作业中，如果拌合时长不足、物料混合不均匀，或是随意添加清水，都会改变混凝土配比状态，降低结构整体强度与抗裂性能。浇筑和振捣作业的操作偏差也会引发裂缝，浇筑厚度、速度把控不当会留存内部气泡，振捣力度不足或过度都会造成混凝土结构密实度不达标。施工接缝处理不符合规范，会降低新旧混凝土的结合强度。另外，拆模时间把控不准、操作方式粗暴，都会让混凝土结构在强度不足的状态下出现变形和表层开裂的问题。

2.3 养护管理成因

混凝土养护工作是控制桥梁早期裂缝产生的关键环节，养护质量能够直接决定混凝土结构的成型效果与耐久水平。混凝土浇筑结束后，结构硬化需要依靠稳定的温湿度环境支撑水化反应正常进行。多数施工现场都会存在养护启动滞后、养护时长不足的问题，施工人员未及时对构件采取保湿封闭措施，就会造成表层水分快速蒸发，结构内部与外部形成湿度差值，从而产生塑性收缩裂缝。现场养护措施落实不到位的情况，会持续加重混凝土裂缝问题。温湿度管控不合理、洒水养护不及时以及防护覆盖不完整，都会让混凝土持续出现收缩和膨胀的反复形变，最终形成规律性裂缝，降低桥梁混凝土结构的整体使用性能。

2.4 环境与荷载成因

自然环境条件与长期荷载作用，都会间接造成公路桥梁混凝土出现裂缝，也会让既有裂缝持续发展。桥梁结构长期露天服役，温度变化、雨水侵蚀和冻融循环等外界条件，都会让混凝土产生反复的形变作用，结构内部会慢慢产生疲劳应力，最终形成细微裂缝[3]。腐蚀介质的持续作用还会损伤混凝土保护层，会诱发钢筋锈蚀问题并进一步撑开混凝土结构。在荷载层面，施工临时荷载布置不当会造成结构应力集中，后期运营阶段的车辆重载、反复动荷载作用，会超出混凝土自身的疲劳承受能力。结构长期积累的应力，会让混凝土微裂缝不断发育连通，最终形成危害性的结构性裂缝。

3 公路桥梁混凝土裂缝全方位防控措施

3.1 严控原材料质量

材料质量管控与配合比优化工作，是工程当中预防混凝土裂缝问题出现的基础手段，能够从源头提升混凝土整体抗裂水平。施工单位需要重视各类原材料的选用与检验工作，施工人员需要结合桥梁实际施工条件选择适配的水泥材料，大体积混凝土施工当中应当选用水化热较低、性能稳定的水泥品种，施工方需要对水泥各项基础性能指标进行检测，不符合标准的材料不得投入施工现场。砂石骨料的整体质量也需要得到严格把控，工作人员需要清理骨料内部夹杂的各类杂质，调整骨料粒径搭配，以此提升混凝土成型后的密实程度。施工所用拌合水体需要保持洁净，外加剂需要选用正规产品，工作人员要结合现场施工条件确定合理掺量。施工人员需要依托试验数据确定科学的混凝土配合比，合理调整水灰比、砂率以及水泥用量，在满足施工标准的前提下减少水泥消耗，工作人员也可以掺入适量矿物掺合料替换部分水泥，以此降低混凝土水化热，改善材料工作性能。所有进场施工材料都需要落实抽样检测流程，各项指标合格后方可投入使用，能够有效减少材料缺陷造成的混凝土裂缝病害。

3.2 规范施工工艺

施工现场的标准化作业与全流程质量管控，是减少施工阶段混凝土裂缝问题的关键举措。混凝土拌合作业需要遵循试验核定的配合比执行，工作人员要合理控制拌合时间，保证各类原料混合均匀，以此维持混凝土性能的稳定，施工过程中不可以随意加水改动混合料配比。混凝土运输作业需要提前制定规划方案，使用密闭设备完成运输工作，严格控制运输时长，能够有效规避混合料离析、提前凝固等问题，混凝土运送至现场后，工作人员需要及时检测各项性能，不合格的混合料需要直接废弃[4]。混凝土浇筑施工需采用分层分段的连续作业方式，施工人员要统一管控浇筑厚度与施工速度，振捣作业需要均匀适度，规避漏振、过振等违规操作，充分排出混凝土内部空气，保障结构密实度符合标准。大面积混凝土施工时，工作人员需要按标准预留施工缝与伸缩缝，对缝隙接触面做好清理、打磨和润湿处理，增强新旧混凝土的结合强度。拆模作业需要参照混凝土试块的强度数据开展，必须等待结构强度达标后再拆模，整体操作要规范轻柔，防止外力扰动导致混凝土结构出现开裂、破损等病害。

3.3 强化养护管理

混凝土养护工作在桥梁工程施工中有着重要作用，这项工作可以有效预防早期裂缝的产生，也能够持续提升混凝土结构的使用年限，施工单位需要建立常态化、差异化的养护管理模式。工作人员需要在混凝土初凝结束后及时开展初期养护作业，对成型的混凝土构件进行全覆盖包裹处理，以此锁住结构内部水分，避免构件表层水分快速流失而产生收缩裂缝。施工人员需要统一把控养护周期，常规混凝土构件的养护时间需要达标，添加外加剂以及大体积混凝土构件的养护周期需要适当延长，充分保障水泥水化反应可以正常完成。施工人员需要根据不同的外界环境调整养护方式，外界温度较高时，工作人员需要增加洒水养护次数，搭配遮阳措施缩小混凝土内外温差，以此规避温度裂缝的出现。气温较低的寒冷天气里，工作人员需要停止洒水作业，对构件做整体保温防护，避免混凝土受冻出现开裂问题。雨季施工需要做好遮挡防护，避免未硬化混凝土受到雨水浸泡和冲刷。施工现场还要设置专人负责日常养护巡查工作，定期检查构件防护状态，及时修复破损的覆盖材料，持续保障混凝土养护质量，减少养护不到位引发的各类裂缝病害。

3.4 优化结构设计

公路桥梁混凝土裂缝的防控工作需要结合结构设计、荷载管理和环境防护多个角度同步开展，以此抑制裂缝的生成和延伸。工作人员需要在桥梁设计阶段结合工程实际跨度、荷载标准和服役环境调整结构受力形式，合理设置各类变形缝，能够有效释放混凝土结构的变形应力，减少应力集中造成的开裂问题[5]。大体积混凝土构件需要调整截面结构形式，搭配适量构造钢筋，整体结构的抗裂性能可以得到提升，结构内部微裂缝的发展也能得到抑制。施工和运营阶段的荷载管控工作同样关键，相关部门需要建立桥梁通行管控机制，限制超载车辆通行，减少动态荷载对桥梁结构的反复作用，施工期间的临时荷载布置需要保持均匀，避免局部应力过大引发结构性裂缝。工程人员需要针对温度变化、冻融破坏和介质腐蚀等环境问题落实防护措施，在混凝土表面设置防护层，定期清理桥梁积水并疏通排水结构，降低环境因素对混凝土结构的破坏作用。相关单位可以建立常态化检测机制，持续跟踪混凝土裂缝发展情况，及时处理初期裂缝问题，保障桥梁结构可以长期稳定服役。

结束语

综上所述，公路桥梁混凝土裂缝问题会出现在施工以及日常运营的各个阶段，问题成因包含材料、施工、养护和外部荷载环境等多个方面。各类裂缝病害都会损伤混凝土结构，降低桥梁承载性能与运行稳定性。工程可以通过把控材料质量、规范施工流程、细化养护工作以及优化结构设计等方式，控制裂缝的出现和扩张。持续落实桥梁病害检查与防护工作，能够稳步提升路桥施工质量，保障桥梁长期安全运行，有效延长工程的实际使用年限。

参考文献

[1] 魏烈. 公路桥梁设计与施工中裂缝成因及预防措施 [J]. 科学发展与研究,2025,5(14):36-39.

[2] 郑涛. 桥梁施工中混凝土裂缝控制技术的研究 [J]. 时代汽车,2026(16):121-123.

[3] 代怀远. 高速公路施工中水泥混凝土裂缝成因分析及控制技术研究 [J]. 门窗,2026(7):190-192.

[4] 马奔. 道路桥梁工程中的混凝土施工及裂缝控制技术分析 [J]. 工程与建设,2026,40(4):877-879.

[5] 李琦. 高速公路桥梁施工混凝土裂缝成因及处理技术 [J]. 工程建设与设计,2025(18):221-223.