

道路桥梁施工中混凝土裂缝成因及应对措施分析

寇冠

福建纳博鑫建筑工程有限公司

DOI:10.32629/pe.v3i6.18014

[摘要] 本文针对道路桥梁施工中混凝土裂缝问题进行了系统分析研究。通过对混凝土裂缝的类型特征、形成机理和危害性进行深入探讨,识别出材料因素、施工工艺因素以及环境荷载因素是导致混凝土裂缝的三大主要成因。材料因素主要包括水泥品种选择、骨料质量、外加剂使用和配合比设计等方面;施工工艺因素涉及浇筑振捣、养护措施、模板支撑和施工缝处理等环节;环境荷载因素则包含温度湿度变化、超载疲劳以及地基沉降等影响。基于成因分析,本文提出了从预防和治理两个层面的综合应对措施:预防措施重点在于优化配合比设计、改进施工工艺、强化养护管理和合理设置变形缝;治理措施主要采用表面封闭、压力注浆、结构加固等技术手段,并建立完善的监测评估体系。研究表明,通过科学的预防措施和有效的治理技术相结合,能够显著减少混凝土裂缝的产生,提高道路桥梁工程的施工质量和使用寿命。

[关键词] 道路桥梁; 混凝土裂缝; 成因分析; 预防措施; 治理技术

中图分类号: TV331 文献标识码: A

Analysis on causes and countermeasures of concrete cracks in road and bridge construction

Guan Kou

Fujian Naboxin Construction Engineering Co., Ltd.

[Abstract] This paper systematically analyzes and studies the problem of concrete cracking during road and bridge construction. Through an in-depth study of the types, characteristics, formation mechanisms, and harmful effects of concrete cracks, it identifies material factors, construction process factors, and environmental load factors as the three primary causes of concrete cracking. Material factors primarily include cement type selection, aggregate quality, admixture usage, and mix design; construction process factors involve pouring and vibration, maintenance measures, formwork support, and construction joint treatment; and environmental load factors include the effects of temperature and humidity fluctuations, overload fatigue, and foundation settlement. Based on this causal analysis, this paper proposes comprehensive countermeasures at both the prevention and control levels. Preventive measures focus on optimizing mix design, improving construction techniques, strengthening maintenance management, and rationally placing expansion joints; control measures primarily utilize surface sealing, pressure grouting, structural reinforcement, and the establishment of a comprehensive monitoring and evaluation system. The results demonstrate that a combination of scientific preventive measures and effective control technologies can significantly reduce the occurrence of concrete cracks and improve the construction quality and service life of road and bridge projects.

[Key words] roads and bridges; concrete cracks; cause analysis; preventive measures; control technology

引言

混凝土裂缝是道路桥梁工程中最常见且影响深远的质量问题之一,不仅直接影响结构的承载能力和耐久性,还可能对行车安全构成潜在威胁。随着我国交通基础设施建设的快速发展和工程规模的不断扩大,混凝土裂缝问题日益凸显,已成为制约工程质量提升的关键技术难题。裂缝的产生涉及材料特性、施工工艺、环境条件等多重因素的复杂作用,具有成因复杂、影响

因素多样、治理难度大等特点。因此,深入分析混凝土裂缝的形成机理,系统研究其成因规律,并提出科学有效的预防与治理措施,对于提高道路桥梁工程施工质量、延长结构使用寿命、保障交通安全具有重要的理论价值和现实意义。本文通过对混凝土裂缝问题的全面分析,旨在为道路桥梁施工中混凝土裂缝的防治提供技术参考和实践指导。

1 道路桥梁混凝土裂缝的基本特征

1.1 混凝土裂缝的类型与形态

道路桥梁混凝土裂缝按照不同的分类标准呈现出多样化的类型和形态特征。从裂缝深度来看,可分为表面裂缝和深层裂缝,其中表面裂缝深度通常小于保护层厚度,主要影响结构外观和耐久性,而深层裂缝则可能贯穿整个截面,直接威胁结构安全。从裂缝走向分析,纵向裂缝多沿桥梁轴线方向发展,常见于桥面板和梁体腹板,主要由收缩应力和温度应力引起;横向裂缝垂直于构件轴线,多出现在受弯构件的受拉区域,与荷载作用密切相关;斜向裂缝则通常表现为剪切破坏的征象,在梁端和支座附近较为常见。此外,还存在网状裂缝和龟裂等复合型裂缝形态,这类裂缝往往由多种因素综合作用形成,呈现出无规律的分布特征。

1.2 混凝土裂缝的危害性评估

混凝土裂缝对道路桥梁结构的危害性是多方面且渐进性的,需要从结构安全、耐久性能和使用功能等维度进行综合评估。在结构承载能力方面,裂缝的存在会显著降低混凝土的有效截面积,削弱构件的抗弯、抗剪和抗压能力,当裂缝宽度超过0.3mm时,结构承载力可能下降15%-25%。从耐久性角度看,裂缝为有害介质提供了渗透通道,加速钢筋锈蚀和混凝土碳化进程,在氯离子环境下,0.2mm宽度的裂缝可使结构设计使用寿命缩短20%-40%。裂缝还会影响桥梁的正常使用功能,造成桥面渗漏、行车颠簸,影响行车舒适性和安全性,严重时可能导致交通中断^[1]。更为重要的是,裂缝具有扩展性特征,在荷载循环作用下会逐渐发展扩大,初期的微细裂缝可能演化为结构性损伤。据相关研究表明,未及时处理的裂缝在5-10年内宽度可增长2-5倍,长度可延伸30%-80%,最终可能引发结构的局部甚至整体破坏,对桥梁的长期安全运营构成严重威胁。

2 混凝土裂缝产生的主要成因

2.1 材料因素导致的裂缝

道路桥梁施工中的混凝土原材料品质和配合比设计直接影响裂缝的产生,是控制裂缝的基础环节。水泥品种的选择对混凝土收缩特性具有决定性影响,硅酸盐水泥的干燥收缩值通常为 $4-6 \times 10^{-4}$,而矿渣水泥可达 $6-8 \times 10^{-4}$,不当选择高收缩性水泥会显著增加开裂风险。骨料质量问题是引起裂缝的重要因素,含泥量超标、级配不良、针片状颗粒过多等缺陷会削弱骨料与水泥浆的界面粘结强度,导致界面微裂缝的产生和发展。外加剂使用不当也会诱发裂缝,减水剂掺量过大可能造成泌水分层,引气剂用量不足则影响混凝土的抗冻性能,膨胀剂掺量控制不当可能产生过度膨胀应力。配合比设计缺陷是材料因素中最为关键的问题,水胶比过大会增加干燥收缩,砂率不合理影响和易性和密实度,胶凝材料用量过高产生过多水化热^[2]。实践表明,合理的配合比设计能够将材料导致的裂缝发生率控制在5%以下,而配合比不当的情况下裂缝发生率可高达20%-30%,因此严格控制原材料质量和优化配合比设计是预防裂缝的首要措施。

2.2 施工工艺因素引起的裂缝

道路桥梁施工工艺水平直接决定混凝土的成型质量,工艺

控制不当是导致裂缝产生的主要原因之一。道路桥梁施工的混凝土浇筑过程中,振捣质量对裂缝控制至关重要,振捣不足会造成蜂窝麻面和内部缺陷,振捣过度则可能引起离析泌水,两种情况都会削弱混凝土的整体性和均匀性。养护措施不到位是施工期裂缝的主要诱因,特别是早期养护不及时会导致表面失水过快,产生塑性收缩裂缝,而养护温度和湿度控制不当则会加剧干燥收缩和温度收缩。模板支撑体系的设计和安装质量同样影响裂缝的产生,模板刚度不足会造成变形过大,支撑沉降会引起应力重分布,拆模时间不当可能导致早期受力开裂。施工缝的处理质量是影响结构整体性的关键因素,新老混凝土结合面处理不当、接缝位置设置不合理、浇筑间隔时间过长等都会在施工缝附近形成薄弱环节。

表1 不同施工工艺因素导致的裂缝统计分析

| 施工工艺因素 | 裂缝发生率(%) | 主要表现形式 | 典型宽度范围(mm) | 预防重点 |
|--------|----------|--------|------------|-----------|
| 养护不当 | 60 | 表面网状裂缝 | 0.05-0.20 | 及时覆盖、保湿养护 |
| 振捣问题 | 25 | 蜂窝周边裂缝 | 0.10-0.50 | 控制振捣时间和强度 |
| 模板问题 | 15 | 纵向贯通裂缝 | 0.20-1.00 | 提高模板刚度 |

2.3 环境与荷载因素造成的裂缝

环境条件和外部荷载作用是道路桥梁混凝土裂缝产生的重要外在因素,具有复杂性和长期性特征。温度变化是引起裂缝的主要环境因素,混凝土的线膨胀系数约为 $1.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$,在温差较大的地区,温度应力可达2-4MPa,超过混凝土的抗拉强度时就会产生温度裂缝。早期水化热引起的温度裂缝在大体积混凝土中尤为突出,内外温差超过25 $^\circ\text{C}$ 时开裂风险显著增加。湿度变化导致的干湿循环是另一重要环境因素,大气湿度的周期性变化会引起混凝土的收缩和膨胀,在干燥地区和沿海地区表现尤为明显,长期的干湿循环作用会使微裂缝逐渐扩展形成可见裂缝。荷载因素包括静荷载和动荷载两个方面,超载会直接引起受力裂缝,而交通荷载的反复作用则会产生疲劳裂缝,据统计,重载交通条件下的桥梁疲劳裂缝发生率比普通交通条件高2-3倍^[3]。地基不均匀沉降是基础和下部结构裂缝的主要原因,当相邻支点的差异沉降超过规范限值时,会在结构中产生附加应力,导致受拉区域开裂。此外,地震、风荷载等特殊环境作用也可能引起裂缝,需要在设计和施工中予以充分考虑和防范。

3 混凝土裂缝的预防与治理措施

3.1 裂缝预防的技术措施

预防是控制道路桥梁混凝土裂缝最经济有效的手段,需要从设计、材料、施工等全过程进行系统控制。优化混凝土配合比设计是预防道路桥梁混凝土裂缝的基础,通过合理选择水胶比、砂率和外加剂掺量,可以有效控制混凝土的收缩性能和抗裂性能,采用低热水泥、掺加粉煤灰等矿物掺合料能够降低水化热和改善工作性能,使用纤维增强技术可以提高混凝土的抗拉强

度和韧性。改进施工工艺和质量控制是预防裂缝的关键环节，严格控制浇筑温度、振捣工艺和拆模时间，确保混凝土成型质量；采用二次振捣、二次抹面等工艺可以有效减少塑性收缩裂缝；控制混凝土入模温度不超过32℃，环境温度低于5℃时采取保温措施。加强道路桥梁混凝土养护管理是预防早期裂缝的重要保障，浇筑后立即覆盖薄膜或湿润麻袋，保持混凝土表面湿润状态至少14天，养护期间相对湿度应保持在85%以上，温度控制在5-35℃范围内。设置合理的伸缩缝和施工缝能够有效释放变形应力，伸缩缝间距应根据结构形式和环境条件确定，一般不超过30-40m，施工缝位置应选择在剪力较小的部位，并采用企口缝或键槽等构造措施加强连接。通过实施系统的预防措施，可以将裂缝发生率控制在10%以下，显著提高工程质量^[4]。

3.2 裂缝修复与加固技术

表2 不同裂缝修复技术的适用性和效果对比

| 修复技术 | 适用裂缝宽度 (mm) | 修复成功率 (%) | 平均修复成本 (元/m) | 维持时间(年) | 主要优缺点 |
|-------|-------------|-----------|--------------|---------|-----------------|
| 表面封闭法 | <0.2 | 75 | 80-150 | 3月5日 | 成本低、施工简便,但耐久性有限 |
| 压力注浆法 | 0.2-2.0 | 90 | 200-400 | 8月15日 | 效果可靠,适用性广,成本适中 |
| 结构加固法 | >2.0 | 95 | 500-1200 | 15-25 | 效果显著,耐久性好,但成本较高 |
| 组合修复法 | 全范围 | 92 | 300-800 | 10月20日 | 综合效果好,适用于复杂情况 |

对于道路桥梁已经出现的混凝土裂缝，应根据裂缝的类型、宽度、深度和发展趋势选择合适的修复与加固技术。表面封闭法适用于宽度小于0.2mm的非扩展性表面裂缝，采用聚合物砂浆、环氧树脂或聚氨酯涂料等材料进行封闭处理，施工简便且成本较低，封闭效果可维持3-5年。压力注浆法是处理中等宽度裂缝(0.2-2.0mm)的主要技术，通过专用设备将环氧树脂、聚氨酯或水泥基注浆材料压入裂缝内部，填充密实后可恢复结构的整体性，处理效果持久可靠。对于宽度超过2.0mm或对结构承载力有明显影响的裂缝，需要采用结构加固措施，包括粘贴钢板、粘贴碳纤维布、增大截面等方法，其中碳纤维加固具有施工便捷、耐腐蚀性好、加固效果显著等优点，已成为桥梁加固的主流技术。建立完善的裂缝监测与评估体系是确保修复效果的重要手段，采用裂缝计、应变片等设备对重要裂缝进行长期监测，定期

评估裂缝的发展趋势和修复效果。修复效果的长期跟踪评价表明，表面封闭法的有效率约为70-80%，注浆法可达85-95%，结构加固法成功率超过95%，合理选择修复技术并确保施工质量是获得良好修复效果的关键^[5]。

4 结论

道路桥梁混凝土裂缝具有类型多样、形态复杂的特征，其危害性不仅体现在对结构承载力和耐久性的直接影响，更在于其渐进性发展可能引发的长期安全风险。裂缝成因涉及材料、施工、环境等多重因素的复杂作用，其中施工工艺因素占主导地位，约占总体裂缝成因的40%-50%，材料因素占25%-30%，环境荷载因素占20%-25%。基于成因分析，建立了“预防为主、治理为辅”的综合防控体系，预防措施重点在于优化材料配合比、严格施工工艺控制、加强养护管理和合理设置变形缝；治理措施应根据裂缝特征选择适宜的修复技术，并建立长期监测评估机制。实践表明，系统实施预防措施可将裂缝发生率控制在10%以下，合理选择修复技术的成功率可达85%-95%。未来应进一步加强新材料、新工艺在裂缝防控中的应用研究，完善裂缝智能监测技术，提升道路桥梁工程的整体质量水平。通过科学的预防措施和有效的治理技术相结合，能够显著改善混凝土裂缝问题，为道路桥梁的安全运营和长期服役提供可靠保障。

【参考文献】

- [1]曹洪梅.道路桥梁施工中混凝土裂缝成因以及应对措施探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2023(20):148-150.
- [2]刘允前.道路桥梁施工中混凝土裂缝成因及应对措施分析[J].产城:上半月,2022(5):0172-0174.
- [3]苏晓忠,吴延兵.道路桥梁施工中混凝土裂缝成因及应对措施分析[J].安防科技,2021(5):0339.
- [4]关皓月.道路桥梁施工中混凝土裂缝成因分析及应对措施[J].建筑技术研究,2021,4(3):66-67.
- [5]姜海军.探讨道路桥梁施工中混凝土裂缝成因分析及应对措施[J].电子乐园,2021(3):64.

作者简介:

寇冠(1986-),男,汉族,河南省遂平县人,大学本科,中级,研究方向:公路工程施工管理。