

道路桥梁施工中混凝土裂缝成因分析与防治策略

杨昌昌

新疆金正建设工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 混凝土作为现代道路桥梁工程中最主要的结构材料之一,其性能直接关系到工程的整体质量、安全性和耐久性。然而,在实际施工和使用过程中,混凝土结构常出现不同程度的裂缝问题,不仅影响外观,更可能削弱结构承载能力,加速钢筋锈蚀,缩短桥梁使用寿命。本文系统分析了道路桥梁施工中混凝土裂缝的主要类型及其成因,从材料、设计、施工、环境等多个维度深入探讨裂缝产生的机理,并在此基础上提出针对性的防治策略。研究表明,通过优化配合比设计、加强施工过程控制、合理设置构造措施以及采用新型材料与技术,可有效减少或避免混凝土裂缝的产生,从而提升道路桥梁工程的整体质量与服役寿命。

关键词: 道路桥梁;混凝土裂缝;成因分析;防治策略;施工控制;耐久性

引言

随着我国基础设施建设的快速发展,道路桥梁工程在国家交通网络中的地位日益突出。混凝土因其良好的力学性能、可塑性强、成本低廉等优点,被广泛应用于各类桥梁结构中。然而,混凝土是一种典型的脆性复合材料,其抗拉强度远低于抗压强度,在复杂应力状态及环境作用下极易产生裂缝。尤其在道路桥梁这类长期承受动荷载、暴露于恶劣自然环境中的结构中,裂缝问题更为突出。混凝土裂缝按其成因可分为结构性裂缝与非结构性裂缝两大类。前者通常由荷载作用引起,直接影响结构安全;后者多由温度变化、收缩、徐变、地基不均匀沉降等因素导致,虽初期对承载力影响较小,但若处理不当,将演变为结构性损伤,甚至引发安全事故。因此,深入研究混凝土裂缝的成因并制定科学有效的防治措施,对于保障道路桥梁工程的质量、延长其使用寿命具有重要的理论意义和工程价值。本文旨在系统梳理道路桥梁施工阶段混凝土裂缝的主要类型与形成机理,并结合工程实践经验,提出一套涵盖材料选择、配合比优化、施工工艺改进及后期养护等全过程的综合防治策略,以期对相关工程技术人员提供参考。

1 混凝土裂缝的主要类型及特征

在道路桥梁施工过程中,混凝土裂缝形式多样,根据其成因、形态及发展规律,可将其分为以下几类:

1.1 塑性收缩裂缝

塑性收缩裂缝通常发生在混凝土浇筑后数小时内,此时混凝土尚处于塑性状态。由于表面水分蒸发速率大于内部泌水上升速率,导致表层迅速失水收缩,而内部尚未凝结,无法提供足够的约束力,从而在表面形成不规则、多呈龟裂状的浅表裂缝。此类裂缝多出现在高温、低

湿、大风天气条件下,常见于桥面铺装层、薄壁结构等大面积暴露部位。

1.2 干缩裂缝

干缩裂缝是混凝土硬化后因内部自由水和吸附水逐渐蒸发,体积收缩受约束而产生的裂缝。其发展较缓慢,一般在浇筑后数天至数月内出现。干缩裂缝多呈平行分布,间距较规则,深度可达数厘米,常见于梁体、墩柱、桥面板等构件。干缩程度与水泥用量、水灰比、骨料级配及养护条件密切相关。

1.3 温度裂缝

温度裂缝主要由混凝土内外温差或环境温度骤变引起。大体积混凝土(如承台、桥墩)在水化热作用下内部温度急剧升高,而表面散热较快,形成内外温差,导致内部膨胀、外部收缩,当拉应力超过混凝土抗拉强度时即产生裂缝^[1]。此外,季节性温差、日照温差也会在结构中引起温度应力,导致裂缝产生。温度裂缝多呈贯穿性或深层裂缝,对结构整体性影响较大。

1.4 沉降裂缝

沉降裂缝源于地基不均匀沉降或模板支撑系统下沉。当桥梁基础或支架发生不均匀位移时,结构内部产生附加应力,若超过混凝土的抗拉极限,则形成斜向或竖向裂缝。此类裂缝多出现在墩台、桥台与主梁连接处,具有明显的方向性和位置特征。

1.5 荷载裂缝

荷载裂缝由设计不合理、施工超载或意外冲击荷载引起,属于结构性裂缝。其形态与受力状态密切相关,如弯矩引起的垂直裂缝、剪力引起的斜裂缝等。此类裂缝通常较宽、较深,直接影响结构承载能力,需立即处理。

1.6 钢筋锈蚀裂缝

虽然多在使用阶段显现,但其根源常始于施工阶段。若混凝土保护层不足、密实度差或存在裂缝,水分和氯离子易侵入,导致钢筋锈蚀膨胀,进而撑裂混凝土保护层,形成沿钢筋走向的纵向裂缝。此类裂缝具有持续扩展性,严重威胁结构耐久性。

2 混凝土裂缝成因的多维度分析

混凝土裂缝的形成是多种因素耦合作用的结果,需从材料、设计、施工及环境四个维度进行系统分析。

2.1 材料因素

混凝土的原材料性能直接决定了其抗裂能力。水泥品种的选择至关重要,高早强硅酸盐水泥虽能加快施工进度,但其水化热高、收缩大,易诱发温度与干缩裂缝;相比之下,中热或低热水泥更适合大体积结构。水泥用量过高不仅增加成本,还会显著增大自身体积变形,加剧开裂风险。水灰比是影响混凝土收缩与渗透性的关键参数,过高的水灰比导致孔隙率增加,削弱界面过渡区强度,使混凝土更易受环境侵蚀^[2]。骨料的质量同样不可忽视,含泥量超标会降低骨料与浆体的粘结力,级配不良则影响拌合物的均匀性与密实度。此外,外加剂的使用若缺乏科学配伍,如减水剂掺量失控,可能引发离析泌水,破坏内部结构连续性,间接促成裂缝形成。

2.2 设计因素

结构设计的合理性是预防裂缝的第一道防线。若配筋率不足或钢筋布置未能有效抵抗收缩与温度应力,尤其在约束较强的区域(如墩梁固结处、桥面板边缘),极易出现早期裂缝。伸缩缝与后浇带的设置若未充分考虑结构长度、环境温差及混凝土收缩特性,将导致变形受阻,应力累积至开裂阈值。保护层厚度设计过小,不仅难以保证钢筋的钝化环境,还降低了混凝土对钢筋锈胀的抵抗能力。对于大体积混凝土构件,若设计阶段未纳入温控专项措施,如未预留冷却水管通道、未规定分层浇筑方案,则施工中难以有效控制水化热峰值,埋下温度裂缝隐患。

2.3 施工因素

施工过程是裂缝控制的关键环节,任何操作偏差都可能放大材料或设计的潜在缺陷。现场随意加水以改善工作性是常见但危害极大的做法,这直接破坏了实验室确定的配合比,导致水灰比失控、强度下降、收缩加剧。振捣作业若不到位,会造成蜂窝、孔洞等内部缺陷;而过度振捣则可能引起骨料下沉、浆体上浮,形成薄弱层。模板支撑系统若刚度不足或基础不稳,在混凝土自重或施工荷载作用下发生微小位移,即可引发沉降裂缝。拆模时间过早,尤其在混凝土强度尚未达到规范要求时,会

使结构过早承受自重或风载,导致弯曲或剪切裂缝。养护环节的疏忽尤为普遍,许多工程仅做形式化覆盖,未能维持足够湿度与温度,致使早期塑性收缩与干缩得不到有效抑制。

2.4 环境因素

外部环境对混凝土裂缝的形成具有不可忽视的催化作用。高温、低湿、大风天气会急剧加速混凝土表面水分蒸发,显著提高塑性收缩裂缝的发生概率。寒潮来袭时,若混凝土尚未具备足够抗冻能力,表面快速冷却而内部仍处于较高温度,将产生巨大温度梯度,诱发表面龟裂。长期干燥环境会持续驱动混凝土内部水分向外迁移,导致干缩持续发展。在沿海地区,空气中氯离子浓度高,若混凝土密实度不足,氯离子可快速渗透至钢筋表面,破坏钝化膜,启动电化学腐蚀过程;而在工业区,酸雨或二氧化硫等污染物会与水泥水化产物反应,降低混凝土碱度,同样促进钢筋锈蚀与裂缝扩展。

3 混凝土裂缝的防治策略

针对上述成因,应采取“预防为主、防治结合”的综合策略,从源头控制裂缝的产生。

3.1 优化混凝土配合比设计

配合比设计是裂缝控制的基础。应在满足工作性与强度要求的前提下,尽可能降低水灰比,一般建议控制在0.45以下,以减少毛细孔数量,提高密实度与抗渗性。合理掺加矿物掺合料如粉煤灰、矿渣粉或硅灰,不仅能部分替代水泥、降低水化热,还能通过火山灰反应细化孔隙结构,改善界面性能,从而提升抗裂与耐久性能。对于大体积混凝土,优先选用低热水泥或中热水泥,从源头上抑制温升。外加剂的选用应注重协同效应,高效减水剂可实现低水胶比下的高流动性,膨胀剂可在硬化初期产生适度膨胀以补偿收缩,而纤维材料(如聚丙烯纤维或钢纤维)则通过桥接作用阻止微裂缝扩展,显著提高混凝土的韧性与抗裂能力。

3.2 改进结构设计

结构设计应充分考虑混凝土的收缩与温度变形特性。在易裂区域如桥面板、墩顶、箱梁腹板等部位,应适当加密构造钢筋,形成三维抗裂钢筋网,有效分散约束应力。伸缩缝的间距应根据当地极端温差、混凝土收缩率及结构形式科学计算,避免因间距过大导致应力集中。后浇带的设置应结合施工分段与应力释放需求,通常在长结构中部或约束较强处预留,待主体收缩基本完成后再行封闭^[3]。截面设计应避免突变,采用圆角过渡或渐变段以减少应力集中。同时,必须严格保证钢筋保护层厚度,通常不应小于40毫米,并通过垫块或定位卡具确保

施工中不被挤占。

3.3 强化施工过程控制

施工控制是裂缝防治的核心执行环节。所有原材料进场前必须进行严格检验,杜绝不合格品用于工程。混凝土搅拌应采用自动计量系统,确保配合比精准执行,严禁现场随意加水。对于大体积构件,应采用分层分段浇筑工艺,每层厚度控制在30至50厘米之间,层间间隔时间应足以使下层混凝土初步散热但又未形成冷缝。振捣应均匀、适度,以混凝土表面泛浆、无气泡冒出为度,避免漏振或过振。模板支撑体系必须经过结构验算,确保其在施工全过程中稳定不变形。拆模时间应依据同条件养护试块强度确定,不得早于规范规定的最低强度要求,尤其在冬季或早龄期阶段更应谨慎。

3.4 加强养护管理

养护是保障混凝土性能发展的最后也是最关键的一步。混凝土终凝后12小时内必须开始保湿养护,可采用覆盖土工布、麻袋并定期洒水,或喷涂成膜养护剂,确保表面持续湿润。对于重要结构或干燥环境,养护时间不应少于14天。大体积混凝土必须实施温控养护,通过预埋温度传感器实时监测内部最高温度及内外温差,当温差接近25℃预警值时,应及时启动冷却系统(如通循环冷水)或加强表面保温(如覆盖保温棉被)^[4]。冬季施工时,应搭建暖棚、采用电热毯或掺加防冻剂,防止混凝土早期受冻;夏季则可通过使用地下水拌合、骨料遮阳、夜间浇筑等方式降低入模温度,减少初始热负荷。

3.5 应用新技术与新材料

随着科技发展,一系列新技术与新材料为裂缝控制提供了新路径。自密实混凝土(SCC)无需振捣即可填充复杂模板,大幅减少人为操作误差,提高均匀性。高性能混凝土(HPC)通过优化组分与微观结构,兼具高强度、低渗透性与优异体积稳定性,从根本上提升抗裂能力。智能监测技术如分布式光纤传感系统,可嵌入结构内部实时获取温度场、应变场数据,实现裂缝风险的动态预警与精准干预。此外,裂缝自修复材料如微胶囊修复剂或微生物诱导碳酸钙沉淀技术,能在裂缝萌生后自动触发修复反应,恢复部分力学与屏障功能,代表了未来裂缝防治的智能化方向。

4 工程案例分

以某特大桥主墩承台施工为例。该承台尺寸为20m×

20m×5m,属典型大体积混凝土结构。施工初期曾出现多条表面温度裂缝,最大宽度达0.3mm。经调查分析,问题根源在于采用了普通硅酸盐水泥且水化热高,施工时一次性连续浇筑未分层,未设置冷却水管进行内部降温,同时养护仅简单覆盖塑料薄膜,保温保湿效果极差,导致内外温差超过30℃,拉应力超过混凝土早期抗拉强度。针对上述问题,项目团队在后续施工中采取了系统性防治措施:首先将水泥更换为低热矿渣水泥,并掺加30%粉煤灰以进一步降低水化热;其次将承台划分为三层进行浇筑,每层间隔24小时以利于热量散发;同时在每层内部预埋φ25mm冷却水管,通入循环冷水主动控温;表面则采用双层土工布加塑料膜覆盖,实现保温与保湿双重效果,养护时间延长至14天;此外,布设多点温度传感器,建立温控预警机制。实施上述措施后,后续承台施工过程中内外温差始终控制在20℃以内,未再出现可见裂缝,结构实体质量经检测完全满足设计要求,验证了综合防治策略的有效性。

5 结语

混凝土裂缝是道路桥梁施工中的常见病害,其成因复杂,涉及材料、设计、施工及环境等多个方面。单纯依赖事后修补难以根治,必须坚持“全过程控制、多维度协同”的防治理念。通过优化配合比、改进结构设计、强化施工管理、完善养护制度,并积极引入新材料与智能技术,可显著降低裂缝发生率,提升混凝土结构的整体性能与耐久性。未来,随着绿色低碳建材和智能建造技术的发展,混凝土裂缝控制将迈向更高水平,为我国交通基础设施的高质量发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]田永军.道路桥梁工程施工中的混凝土裂缝成因与防治策略探讨[J].中华建设,2024,(08):124-126.
- [2]李剑柱.道路桥梁施工中混凝土裂缝成因以及应对措施[J].建设机械技术与管理,2025,38(05):82-84+87.
- [3]郑亚洲.道路桥梁施工中混凝土裂缝成因及应对措施研究[C]//江西省汽车工程学会,江西省工程师联合会.工程技术与新能源经济学术研讨会论文集(三).江苏旭方工程咨询有限公司,2025:913-915.
- [4]李智.道路桥梁施工中混凝土裂缝控制技术研究[J].科技视界,2025,15(19):67-70.