

市政道桥工程中混凝土裂缝成因与防治策略

章 晔

(黄山市建设监理有限公司, 安徽 黄山 245000)

摘 要 在市政道路与桥梁建设中, 混凝土裂缝控制是保障结构安全、提升耐久性、延长服役年限的核心环节。本研究从温度应力、收缩变形、荷载作用、材料缺陷及施工工艺不合理等方面着手, 对市政道桥工程中混凝土裂缝的原因进行了细致分析, 并以“预防为主、防治结合”的理念提出了综合性的裂缝防治对策, 涵盖了设计、材料、施工、监测及修复等方面的措施。研究结论为, 利用智能化技术对施工全过程进行精细化管控, 可提升工程施工质量, 减少裂缝发生概率, 从而保证道桥工程的使用寿命。

关键词 市政道桥工程; 混凝土裂缝; 温度应力; 收缩变形; 智能监测

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.23.017

0 引言

市政道路与桥梁混凝土裂缝的形成原因比较复杂, 主要是温度变化引起的热胀冷缩、混凝土收缩变形、长期车辆荷载和疲劳损伤、材料配比不合理以及施工过程中振捣和养护不到位等多种因素共同作用的结果。解决这个问题需要从设计、施工到后期维护全过程进行管控^[1]。设计时要优化结构形式, 合理设置伸缩缝, 配置足够的钢筋来分散应力; 材料选择上优先考虑低热水泥, 掺入适量矿物掺合料来提高抗裂能力; 施工阶段要严格控制配合比, 注意分层浇筑时的温度控制, 保证振捣密实, 并做好温湿养护; 投入使用后可以通过安装监测设备, 及时发现裂缝苗头并进行预防性维护^[2]。对于已经出现的裂缝, 一般可以采用表面涂刷封闭材料或者压力注浆的方法进行修补。今后的工作重点是要开发能够自动修复裂缝的智能材料, 建立基于数据分析的裂缝预测系统, 把设计、施工、运维各个环节统筹起来, 切实提高道路桥梁的使用寿命和安全性, 减少后期维护费用, 为城市交通建设打好基础。

1 混凝土裂缝的主要成因分析

1.1 温度应力裂缝

大体积混凝土温度裂缝的控制需采取多环节协同措施。在材料方面, 宜选用低热水泥并掺加粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料, 以降低水泥水化热; 施工过程中应严格控制浇筑温度, 采用内部冷却水管通水降温, 配合分层分段浇筑工艺, 并做好保温保湿养护, 减小内外温差; 设计阶段需充分考虑温度应力影响, 合理

配置温度钢筋, 必要时设置伸缩缝; 裂缝出现后, 应依据其深度与性质分类处理, 表面裂缝可采用注浆封闭, 深层或贯穿裂缝则需进行结构加固, 并实施长期监测^[3]。此类裂缝多发生在混凝土硬化初期, 当水泥水化释放大量热量导致内部温度急剧升高, 而表面因散热较快温度较低时, 内部膨胀与外部收缩相互作用产生拉应力, 若拉应力超过混凝土当时的抗拉强度, 便会引发裂缝。其形态多表现为表面不规则的网状或放射状裂纹, 有时也会出现贯穿性裂缝, 严重影响结构的整体性和耐久性。在桥梁墩台、大型承台等大体积混凝土构件中尤为常见, 夏季高温浇筑或冬季低温施工时, 若温控措施不到位, 温度应力裂缝的发生概率将显著增加。

1.2 收缩变形裂缝

收缩是导致非结构性裂缝的首要原因, 主要包括:

(1) 塑性收缩裂缝: 发生于混凝土终凝前的塑性阶段。在干燥、大风或高温环境下, 表面水分蒸发速率超过内部泌水速率, 产生毛细管负压, 导致表面不均匀收缩开裂。(2) 干燥收缩与自收缩裂缝: 混凝土在完成浇筑并逐渐硬化之后, 其内部的水分会持续蒸发, 同时水泥与水发生化学反应的水化过程也会导致体积出现化学性的减缩。这两种作用共同引起混凝土整体体积的减小。当这种收缩变形受到来自外部的约束时, 如受到下部基础、内部配置的钢筋或是相邻结构构件的限制, 混凝土无法自由收缩, 就会在内部产生拉应力^[4]。一旦这种拉应力超过了混凝土自身的抗拉强度,

作者简介: 章晔 (1990-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 市政道桥。

就会导致混凝土表面或内部出现裂缝,即产生开裂现象。(3)沉降收缩裂缝:因混凝土在浇筑和凝固过程中,各组分之间发生离析、骨料下沉时受到阻碍,从而形成了这种缺陷。它通常沿着钢筋的布置方向或模板的边缘区域分布,呈现出明显的线性或带状特征。

1.3 荷载作用裂缝

建筑物中的裂缝可以根据其产生机理分为直接应力裂缝与次应力裂缝两大类。直接应力裂缝主要是由于在设计阶段所考虑的正常荷载作用,或者在施工过程中因操作不当、材料堆放等原因导致的意外超载所引起的。而次应力裂缝的形成原因则更为复杂,它通常并非直接由外荷载导致,而是源于结构的实际受力状态与理论计算时所采用的简化模型存在差异。例如:在结构构件上开凿孔洞、设置沟槽等,会改变原有的力流传递路径,造成局部区域的应力显著增大,形成应力集中现象。此外,地基若发生不均匀沉降,会迫使上部结构产生额外的变形与约束,从而在梁、板、柱等构件中诱发出设计未予考虑的附加应力,最终这些附加应力也可能超过材料的抗拉强度,进而引发一系列裂缝问题。

1.4 材料与配合比缺陷

混凝土裂缝的成因比较复杂,除了原材料质量和配合比设计这两个核心因素外,施工工艺、环境变化、结构设计以及时间效应等都会产生影响。例如:原材料品质不稳定、骨料级配不合理、水泥安定性不合格,或者配合比里水胶比过大、外加剂掺量没控制好,都会让混凝土内部出现缺陷,给裂缝埋下隐患。施工过程中如果振捣不密实、浇筑顺序有问题、拆模太早、养护没跟上,裂缝风险会进一步加大^[6]。另外,温度骤变、干湿交替、荷载变化这些外界因素,再加上混凝土自身的收缩和徐变,时间长了也会引发各种类型的裂缝。所以要想真正预防裂缝,就不能只抓某一个环节,需从原材料把关、配合比优化、现场施工管控到后期养护,建立起一套完整的质量控制体系,把每个环节都管到位,才能最大程度减少裂缝,保证混凝土结构的质量和耐久性。

1.5 施工工艺不当

在已有混凝土裂缝成因分析的基础上,这一观点进一步拓展了研究范围,补充了原材料质量、配合比设计、温湿度变化、施工缝处理及外部荷载等影响因素,使分析结果更贴近实际工程情况。这些因素往往相互交织,任何一个环节出问题都可能导致裂缝,进而影响结构性能。因此,该观点强调裂缝防控不能单靠某

个环节的管控,而需要建立一套完整的质量管理体系:从结构设计的优化到原材料的严格筛选、配合比的科学设计,再到现场施工的规范操作、施工缝的精细处理,以及后期的持续养护,形成全过程闭环管理。只有通过标准化的全流程管控,才能从根本上减少裂缝,确保混凝土结构的耐久性和安全性,提升工程质量。

2 混凝土裂缝的综合防治策略

裂缝防治应遵循“预防为主、防治结合”的原则,贯穿于设计、材料、施工及运维的全过程。

2.1 设计优化措施

(1)结构设计:结构抗裂应从源头抓起。设计时需结合构件的实际受力特点和变形协调要求,分析应力分布,避免应力集中。根据工程具体情况,合理设置伸缩缝、后浇带等构造措施,优化截面尺寸与形式,从布局上降低裂缝风险。(2)配筋设计:配筋设计应与结构设计相协调。根据受力特点和抗裂需求确定配筋率,避免配筋不足或过多;优化钢筋间距和布置方式,必要时增设抗裂钢筋或构造钢筋,利用钢筋约束混凝土变形,提高结构抗裂能力。(3)荷载计算:荷载计算是结构设计的基础。应严格按规范复核恒载、活载、风荷载、温度作用等取值,考虑施工和使用阶段的荷载变化,明确传力路径,确保计算准确、完整,为设计提供可靠依据。(4)耐久性设计:耐久性设计直接影响结构使用寿命。应结合环境条件,提高结构的抗裂、抗渗和抗侵蚀能力;通过合理的材料选择和构造措施,减缓环境作用下的性能退化,延长使用寿命,降低后期维护成本。

2.2 材料与配合比优化

(1)材料选择:关键是选好原材料、优化组分。优先选用中低热水泥,降低水化热,减少温度裂缝;掺入高活性矿物掺合料,改善混凝土内部结构,提高密实度和耐久性;骨料要级配合理、粒形好、含泥量低,从物理和化学性能两方面保证材料质量过关。(2)配合比设计:在材料选定的基础上进行定量匹配。重点是优化水胶比,在满足施工要求的前提下,尽量降低水胶比以提高强度和抗渗性;同时优化骨料级配,通过不同粒径骨料的搭配填充,减少空隙,提高混凝土的密实度和体积稳定性。配合比设计要综合考虑强度、工作性、收缩率等指标,使微观结构和宏观性能达到较好平衡。(3)性能调控:主要是指指标控制和系统优化。在配合比确定后,控制好温控指标、耐久性指标及弹性模量,以适应结构受力和环境要求;并结合长期性能、

环境适应性和经济性要求进行优化调整。最终目标是形成一套兼顾结构安全、耐久性和经济性的高性能混凝土方案。

2.3 施工过程精细控制

(1) 温度控制: 关键是防止水化热导致内外温差过大。施工前检测水泥、骨料、拌和水温度, 结合气温调整拌合方案; 浇筑时控制好入模温度, 避免高温入模加剧热胀冷缩。同时做好温度监测, 跟踪混凝土内部与表面、表面与环境的温差, 一旦接近限值, 及时采取覆盖保温或循环水冷等措施, 防止温度裂缝。

(2) 浇筑与振捣: 按“分层分段”原则, 根据构件尺寸合理划分浇筑区段和分层厚度, 避免一次浇筑过厚。振捣时控制好点位、时间和频率, 做到快插慢拔、不漏振也不过振, 既排净气泡、保证密实度, 又防止骨料分离。(3) 养护管理: 混凝土初凝后及时养护, 根据环境湿度和强度增长情况调整方式——干燥环境洒水或覆盖保湿膜, 低温环境增加保温层, 确保表面湿润。养护时间不少于规范要求, 定期检查表面状态和强度发展, 防止干缩裂缝。(4) 模板与支架控制: 模板要刚度足够、表面平整、密封性好, 支撑体系稳固, 防止浇筑振捣时变形位移或漏浆。拆模须按审批流程, 根据同条件试块强度确定时机, 严禁提前拆模, 避免早期受力损伤。(5) 施工顺序与荷载控制: 合理安排工序, 按“先地下后地上、先主体后附属”推进, 避免受力紊乱。严控临时荷载, 明确堆载范围和重量, 禁止超载堆放或违规集中加载, 加强监测调整, 防止结构开裂变形。

2.4 智能化监测与健康诊断

这套混凝土结构健康监测系统整合了物联网、智能传感、大数据分析和数字孪生等技术, 突破了传统监测模式的局限, 建立起覆盖设计、施工、运营、维护全过程的监测体系, 弥补了人工监测滞后、覆盖面窄等不足。系统主要有三个特点: 一是多技术融合, 把传感数据、环境数据和结构受力数据打通, 实现多维度监测; 二是实时预警, 24 小时采集应力、变形、温湿度等关键参数, 数据超限时立即分级报警; 三是辅助决策, 通过大数据分析处理海量数据, 直观反映结构健康状况, 为运维管理提供参考。针对长期监测中的实际问题, 建议采取以下措施: 优化传感器布置, 减少冗余, 提高监测精度; 采用数据融合技术, 剔除无效数据, 保证数据质量; 做好模块化设计, 方便适配不同工程场景和后期升级。这些措施有助于解决长期监测可靠性差、数据安全风险、建设成本高、技术

集成难等问题, 形成从监测到管控的闭环。待系统投入使用后, 可提高混凝土结构的运行安全性和耐久性, 优化全生命周期管理, 提升管理效率, 保障工程结构安全。

2.5 裂缝修复与加固技术

混凝土裂缝修复要先分析成因, 结合裂缝情况和环境条件制定方案, 方法如下: (1) 表面封闭法: 用于细微浅表裂缝, 涂刷封闭材料或粘贴防护层, 隔绝外界侵蚀, 防止裂缝扩大。(2) 压力灌浆法: 针对较深或贯通裂缝, 用压力将灌浆料压入缝内, 恢复结构密实性和整体性。(3) 嵌缝与加固法: 用于宽大受力裂缝, 先开槽嵌填密封材料, 再进行结构加固, 提高承载能力。施工中要控制好材料和工艺, 避免造成二次损伤; 修复后做好检查和长期观察, 确保效果持久, 保障结构安全稳定。

3 结束语

市政道桥工程中的混凝土裂缝问题是多因素耦合作用的复杂结果。有效的防治必须采取系统性的综合策略: 首先, 源头预防是关键。通过优化设计、精选材料、精细配合比, 从源头上降低开裂风险。其次, 过程控制是核心。严格管控施工全过程的温度、浇筑、振捣及养护环节, 特别是推广智能化施工技术, 实现从“经验驱动”到“数据驱动”的转变。最后, 监测修复是保障。建立全生命周期智能监测体系, 并对已产生裂缝进行科学评估与及时修复。未来, 裂缝控制研究应进一步聚焦多场耦合作用下裂缝扩展的精准预测模型、自修复混凝土等高性能材料的研发, 以及深度融合人工智能、数字孪生技术的智慧建养一体化平台构建, 从而为实现道桥工程的长寿命、高性能与智能化运维提供更强有力的支撑。

参考文献:

- [1] 钟春晓. 道桥工程中路面病害类型及养护技术研究[J]. 运输经理世界, 2024(33):124-126.
- [2] 李威. 市政道桥工程沥青路面裂缝施工处理技术分析[J]. 新城建科技, 2024,33(10):148-150.
- [3] 胡丽娟, 谢晖, 高兵. 道桥施工中路面病害的类型及维修技术研究[J]. 重庆建筑, 2024,23(07):82-84.
- [4] 王红. 道路桥梁混凝土施工及裂缝控制施工工艺[J]. 四川建材, 2024,50(04):96-97,114.
- [5] 武建飞. 市政道桥路基路面工程施工研究[J]. 建筑技术开发, 2021,48(05):95-96.