

道路桥梁施工中的裂缝处理对策分析

李正滨, 何铭科*

(四川省交通建设集团有限责任公司, 四川 成都 610041)

摘要 裂缝是道路桥梁施工中最常见的质量病害之一, 破坏道路桥梁结构完整性的同时, 还会为水分、氯离子等侵蚀介质提供渗透通道, 加速钢筋锈蚀, 严重影响道路桥梁工程的安全性能, 同时增加后期养护成本及运营风险。本文结合道路桥梁施工实际, 在梳理混凝土配比不合理、材料质量不达标等裂缝主要成因的基础上, 提出优化配比设计、严控材料质量等针对性处理对策, 旨在为道路桥梁施工中裂缝处理提供有益参考。

关键词 道路桥梁; 裂缝处理; 混凝土配合比; 结构组件; 环境温度

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.22.012

0 引言

道路桥梁结构长期暴露在自然环境中, 承受着车辆荷载、温度变化等多重作用, 施工过程中极易出现各类质量病害, 其中裂缝问题最为普遍且影响最为深远。裂缝的产生并非偶然, 而是多方面因素共同作用的结果, 其形成过程具有隐蔽性及渐进性的特点, 若未及时采取处理措施就会逐步发展为贯穿性裂缝, 最终威胁道桥结构的安全稳定, 甚至引发安全事故。

1 裂缝问题对道路桥梁施工产生的危害

裂缝一旦在道路桥梁结构中形成, 就会直接破坏结构连续性, 这种破坏并不是停留于表面, 而是从力学层面实质性削弱了构件的承载面积。当裂缝发展到一定宽度或深度时, 原本由混凝土整体承担的内力将发生重分布, 局部区域可能承受超出设计预期的应力集中, 在长期交通荷载及环境作用的叠加下, 这些薄弱部位极易成为破坏的起点, 威胁结构整体的安全^[1]。从耐久性角度看, 裂缝为外界侵蚀介质提供了进入结构内部的便捷通道, 水分、硫酸盐等有害物质可经过裂缝渗入混凝土内部, 加速钢筋钝化膜的破坏及电化学腐蚀进程。钢筋一旦锈蚀, 其体积膨胀将进一步加剧混凝土的开裂, 形成“裂缝—锈蚀—更严重开裂”的恶性循环, 这种损伤过程在结构外部难以察觉, 却持续削弱结构的剩余寿命。

2 道路桥梁施工中的裂缝成因

2.1 混凝土配合比设计不合理

混凝土配合比设计直接决定了材料内部的孔隙结构、应力分布及体积稳定性, 其合理性是控制裂缝产

生的第一道关口。当水泥用量超出实际需求时, 水化热总量会显著攀升, 在大体积或厚壁构件中, 核心温度可比表面高出 30℃至 50℃, 由此产生的内表温差极易诱发温度裂缝。水胶比的选择同样关键, 每增加 0.05 的水胶比, 混凝土的干燥收缩值大约会上升 8%至 12%, 增大的收缩应力直接提高了开裂风险。在浇筑后数小时至数天内即显现这类因配比不当引发的裂缝, 且具有分布广泛以及形态不规则的特征, 反映出材料本征性能同结构约束条件之间的冲突。

2.2 混凝土材料质量问题

原材料的品质波动是裂缝产生的隐蔽性根源, 其影响贯穿于混凝土拌和、运输、浇筑乃至硬化全周期, 水泥的矿物组成及细度直接关联着水化速率, 当水泥中铝酸三钙含量超过 8% 时, 早期水化热释放会异常集中增加热裂风险。细骨料的含泥量若突破 3%, 黏土颗粒会吸附大量自由水及减水剂, 造成实际水胶比升高, 同时削弱骨料同浆体的界面黏结强度^[2]。粗骨料的级配不良或针片状颗粒含量超标, 会形成局部空隙率过大区域, 在受力时成为应力集中点诱发微裂纹, 而外加剂的缓凝组分若与水泥适应性不佳, 可能导致凝结时间异常。这些由材料质量引发的内部缺陷, 为后期裂缝的扩展提供了初始通道(见表 1)。

2.3 结构组件受力不均匀

结构组件受力状态偏离设计预期, 会在混凝土内部形成超出其抗拉强度的局部拉应力, 这是裂缝产生的力学本质。在桥梁结构中, 支架基础的不均匀沉降即使仅有 5 mm 至 8 mm, 也足以使上部现浇梁体产生显著的附加弯矩, 导致跨中或支点区域出现横向裂缝。

作者简介: 李正滨(1983-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 道路桥梁施工。

*通信作者: 何铭科(1992-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 道路桥梁施工。E-mail: 263714905@qq.com

表 1 关键材料指标偏离对混凝土性能的影响

材料类别	关键指标	偏离情况	对混凝土性能的影响
水泥	铝酸三钙含量	高于 8%	水化热释放过于集中，内部温升加剧，温度裂缝出现概率增大
细骨料	含泥量	超过 3%	自由水与外加剂被大量吸附，实际用水量增加，界面黏结能力降低
粗骨料	级配与粒形	级配不连续或针片状颗粒偏多	骨架结构疏松，局部孔隙率偏高，受力时易形成应力集中
外加剂	水泥适应性	匹配性差	凝结进程出现异常，初终凝间隔拉长，塑性阶段收缩开裂风险上升

预应力的张拉顺序若未遵循对称、分级原则，就会造成构件截面应力分布不均，某些部位可能过早承受过大压应力而出现纵向劈裂裂缝。道路基层与面层之间若模量差异悬殊，在车辆荷载的反复作用下，会显著集中面层底部的弯拉应力，形成疲劳裂缝并向上反射。混凝土收缩与温度变形在遇到结构约束时，同样会产生不容忽视的约束应力，如长墙结构或箱梁腹板，其约束度较高区域的最大拉应力值可达混凝土抗拉强度的 1.2 倍至 1.5 倍，一旦超过材料承受极限，裂缝便会沿约束方向迅速展开。这种因受力失衡导致的裂缝，其位置、走向与分布往往具有明显的规律性，与结构受力特征高度相关。

2.4 施工细节控制不到位

施工过程中的操作精度及工艺执行力度直接决定了混凝土结构能否形成均匀致密的受力整体，细节失控是裂缝从潜在风险转化为显性病害的直接推手。混凝土浇筑时，若振捣棒插入间距超过其作用半径的 1.5 倍，或单点振捣时间不足 15 秒，容易造成粗骨料堆积及浆体分离，形成蜂窝或局部软弱区，这些区域的抗拉能力仅为设计值的 60% 至 70%。分层浇筑的间隔若超过混凝土初凝时间，上下层间无法结合会形成冷缝，冷缝处的黏结强度不足完整浇筑体的 50%。钢筋保护层厚度控制偏差超过 ±5 mm 时，影响结构耐久性的同时还会改变钢筋与混凝土的协同受力模式，在保护层过薄处易产生顺筋裂缝。

2.5 环境温度原因

环境温度的变化影响混凝土的水化进程、体积变形及内外温差，成为裂缝产生的重要外部驱动力。大体积混凝土浇筑后，内部水化温升可达 40℃至 60℃，而表面散热迅速，内表温差超过 25℃时，表面产生的拉应力极易突破混凝土同龄期的抗拉强度，形成深度不等的温度裂缝。在夏季高温条件下，环境温度超过 35℃时，混凝土表面水分蒸发速率可达 2.0 kg/(m²·h) 至 3.0 kg/(m²·h)，若蒸发速率超过泌水速率，塑性收缩会迅速发生，数小时内即可出现密集的龟裂纹^[3]。

冬季低温施工时若未采取保温措施，混凝土表面温度降至 0℃以下，内部水化反应基本停滞，早期强度无法正常增长，一旦遭受冻胀内部结构将遭受永久性损伤。气温骤降带来的冷击效应，会使已硬化的混凝土产生温差收缩，若结构受到边界约束，这种收缩转化为拉应力，导致贯穿性或深层裂缝的形成。环境温度的影响具有突发性和难以完全预测的特点，对裂缝控制提出了动态应对的要求。

3 道路桥梁施工中裂缝处理对策

3.1 优化配比设计，夯实抗裂基础

配合比设计是混凝土抗裂性能的源头所在。合理的配合比能够从材料层面主动抑制裂缝的生成，这种源头控制的思路远比事后修补更为有效，精确设定水泥用量、水胶比以及掺合料比例时，混凝土内部的收缩应力便可被控制在安全范围之内。科学配比提升抗裂性能，本质上是在混凝土硬化之前就为其建立起一道内在的防线，使得后续施工过程中的各种外部扰动不至于轻易突破这道防线，从而将裂缝发生的概率降至最低。

实施配合比优化的第一步是建立基于抗裂性能的设计指标，应依据结构部位、施工季节、浇筑方式等具体条件明确抗裂等级要求，将收缩率、绝热温升、早期抗拉强度等指标纳入设计控制参数。采用低热硅酸盐水泥或中热水泥替代普通硅酸盐水泥，其水化热峰值可降低 20% 至 30%，缓解大体积混凝土的内外温差应力。矿物掺合料的复配方案需要经过系统试验确定，粉煤灰与矿渣粉按适当比例复合使用时，二者颗粒形貌与活性的互补效应能够显著改善浆体流动性，同时降低早期水化热。对于超长结构或约束较强的部位，可引入膨胀剂补偿收缩，但膨胀剂的选择及掺量必须依据结构约束条件和环境温度进行精确计算，避免过度膨胀造成内部微结构损伤。添加减缩剂能从化学层面降低毛细孔水的表面张力，减少干燥收缩量，其效果在低水胶比混凝土中尤为明显。确定配合比后，需进行足尺模型试验或仿真模拟验证，采用有限元软件模拟浇筑过程中的温度场与应力场分布，识别潜在开

裂风险区域,据此对配合比进行微调。整个设计过程应形成完整的抗裂配合比报告,明确各项原材料的技术指标、允许波动范围以及施工控制要点,为后续材料采购与现场施工提供清晰依据。

3.2 严控材料质量,保障施工性能

原材料的质量稳定性直接决定了混凝土在施工过程中能否保持设计预期的性能状态,水泥的矿物组成及细度直接影响水化速率,若其波动过大,便无法准确预判混凝土的凝结时间及强度发展。骨料的含泥量、级配稳定性以及有害物质含量,每一处细微的偏差都可能在混凝土硬化后表现为肉眼可见的裂缝。当骨料表面附着过多泥土时,水泥浆与骨料的黏结力会显著下降,这种黏结薄弱区恰恰是微裂缝最先萌生的位置^[4]。每一种原材料都在可控范围内本质上是在为后续的浇筑、振捣、养护等一系列工序创造稳定的施工条件。

材料质量控制的核心在于建立全过程可追溯的动态监控制度,在原材料进场环节除常规的批次检测外,应采用快速检测设备对关键指标进行现场验证。针对砂石骨料,配置在线含水率监测仪及含泥量快速测定装置,每车次进料时自动采集数据,超标材料直接退回,避免进入料仓造成污染。需要严格控制水泥的进场温度,高温水泥直接入罐会导致混凝土初始温度偏高、坍落度损失加快,应在散装水泥车卸料前测温,夏季超过65℃时必须采取降温措施或静置降温后再使用。外加剂的进场检验应重点关注其与工程所用水泥的适应性,采用实际工程材料进行净浆流动度和凝结时间试验,确认适应性良好后方可批量使用。料场管理环节需要引入数字化手段,为每一种原材料建立电子档案,记录供应商、生产批次等信息,并使用二维码或射频识别标签全程追溯材料使用情况。而砂石料仓应配备自动喷雾降尘系统,保持骨料表面湿润但不积水,避免因含水率大幅波动影响配合比精度。

3.3 强化过程管控,提升成型质量

施工过程的精细化管理是连接材料性能及结构最终品质的关键桥梁,混凝土从搅拌机卸出到浇筑入模、振捣密实的每一个环节,都在塑造着结构的内在质量。振捣作业的均匀性直接关系到混凝土的密实程度,振捣不足时气泡无法排出,形成蜂窝麻面,过振则可能导致骨料下沉、浆体上浮,造成分层离析,这两种情况都会在结构内部形成应力集中点,成为裂缝的潜在源头^[5]。模板及支架体系的稳定性决定了结构成型后的受力状态,若支架在混凝土尚未达到足够强度时发生不均匀沉降,结构内部便会生成超出设计预期的附加应力。将过程管控贯穿于每一道工序,实质上是在用操作层面的确定性去对冲施工环境中的各种不确定

性,保证材料性能能够完整地转化为结构品质。

浇筑前应分级验收模板及支架系统,采用三维激光扫描技术复核模板安装的平整度及线形,偏差超出规范要求时及时调整。对于大体积混凝土或高墩柱等特殊结构,应在模板关键部位布设应变计与温度传感器,实时监测模板变形与混凝土温度变化,数据无线传输至中央监控平台。混凝土运输环节应配置车载监控终端,记录每辆搅拌车的运输路线、行驶时间、罐体转速以及到达现场时的拌合物状态,超时或异常状态的车辆不得入模。在浇筑过程中,采用可调式串筒或溜槽控制自由倾落高度,避免混凝土离析。振捣作业推行分区责任制,将浇筑区域划分为若干振捣单元,每个单元指定专人负责,振捣棒的操作采用标准化手法,快插慢拔、插点均匀,振捣时间以混凝土表面不再明显下沉、不再冒出气泡为宜。对于钢筋密集区域或预应力管道周围,应配备小直径高频振捣棒或附着式振捣器,确保复杂部位的密实性。浇筑层厚与间隔时间的控制需要结合环境温度动态调整,夏季施工时可在模板外侧设置喷雾系统,降低模板温度并保持界面湿润,避免冷缝形成。浇筑完成后,混凝土表面应及时进行二次抹压处理,采用机械抹光机配合人工收面,在混凝土初凝前完成抹压,封闭表面收缩裂缝。整个过程管控数据应实时录入施工管理平台形成电子化浇筑记录,清晰追溯工序对应的操作者、实施时间及质量指标。

4 结束语

随着智能化监测技术、数字化管理平台以及新型功能材料在工程建设领域的推广应用,裂缝防治正迎来从经验判断转变为数据驱动转型的新机遇。未来,应进一步推动抗裂设计指标体系的标准化建设,完善原材料质量动态追溯机制,推广应用智能振捣、自动化养护等先进施工技术,同时加强施工人员技术培训,将裂缝综合防控技术切实转化为工程实践中的操作规范,从根本上提升道路及桥梁工程的施工品质。

参考文献:

- [1] 李松明.桥梁施工中大体积混凝土裂缝成因及处理对策分析[J].运输经理世界,2024(12):136-138.
- [2] 宋海超.道路桥梁施工中混凝土裂缝的原因及对策分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024(06):159-161.
- [3] 于海洋.关于大体积混凝土裂缝控制及处理对策分析[J].大众标准化,2024(02):31-33.
- [4] 贾俊喜,郝培林.道路桥梁施工中裂缝成因分析及对策[J].江苏建材,2023(03):123-125.
- [5] 宁建安.道路桥梁设计和施工中裂缝成因与处理对策[J].大陆桥视野,2023(04):125-127.