

公路工程施工中混凝土裂缝成因与解决方法

邱振鹏

湖北交投智能检测股份有限公司 湖北 武汉 430050

【摘要】：公路工程混凝土裂缝直接影响路面平整度和结构耐久性，主要由材料性能波动、温度梯度、施工振捣不足及养护不当引发。裂缝易导致渗水、剥落及强度下降，增加后期维修成本。通过优化原材料检验、精确控制水灰比、规范分层浇筑振捣及实施温控保湿养护，可有效降低塑性裂缝、温度裂缝和收缩裂缝发生率。结合裂缝类型识别和施工全过程质量检查，形成材料、工艺、温控和养护闭环管理，提高混凝土密实度与抗裂能力，从而显著增强路面结构耐久性、行车安全性及养护经济性。

【关键词】：公路工程；混凝土裂缝；施工质量；温度控制；养护管理

DOI:10.12417/2705-0998.26.09.062

引言

公路工程质量关系交通运行安全和道路使用寿命，混凝土作为路面、桥涵和附属结构中的重要材料，施工质量容易受到温度、湿度、材料性能和操作工艺影响。实际施工中，裂缝并非单一因素造成，材料收缩、温差应力、基层约束、振捣不足和养护缺失都可能引发不同类型裂缝。裂缝一旦形成，雨水和有害介质会沿缝隙进入结构内部，导致钢筋锈蚀、强度降低和路面破损，增加后期维修成本。要减少裂缝问题，需要从成因识别入手，把材料控制、施工工艺、温度管理和养护措施贯穿全过程，使裂缝防治从事后修补转向过程控制。

1 公路工程混凝土裂缝产生机理分析

1.1 材料性能波动引发早期收缩裂缝

水泥品种、细度、凝结时间和水化热水平直接影响混凝土早期体积变化，若水泥稳定性不足，水化反应速度容易失衡，表层失水收缩速度快于内部结构变形速度，便会形成拉应力集中。骨料级配不连续、含泥量偏高或针片状颗粒过多，会削弱浆体和骨料之间的黏结能力，使混凝土内部微孔隙增多，抗拉强度发展滞后。外加剂掺量控制不准时，可能造成泌水、离析或凝结时间异常，进一步放大早期干缩风险。低碳施工和绿色建筑理念下，掺合料使用比例逐渐提高，但粉煤灰、矿粉等材料活性差异较大，若未结合温度、湿度和强度要求进行适配设计，早期强度增长不足，表面细微裂纹容易在荷载和环境作用下继续扩展。

1.2 温度变化造成结构内部应力集中

混凝土浇筑后水泥水化反应持续释放热量，内部温度上升较快，而表层直接接触外部空气，散热速度明显高于内部区域，内外温差增大后会产生不均匀变形。公路工程结构多处于露天环境，昼夜温差、风速变化和太阳辐射会加快表层温度波动，使表面收缩受到内部混凝土约束，拉应力超过早期抗拉强度时便会出现温度裂缝。大面积路面板、桥面铺装和厚层混凝土结构中，温度梯度更容易沿厚度方向形成应力差[1]。绿色施工要求降低能源消耗和返工损耗，因此温控不能只依赖事后修补，

而需关注拌合物入模温度、分层浇筑间隔、覆盖保温和降温速率。温度控制失衡时，裂缝通常由表层向内部延伸，后续雨水渗入会削弱结构耐久性。

1.3 施工操作偏差降低混凝土整体密实度

混凝土施工质量受拌合、运输、浇筑、振捣和收面等环节连续影响，任何环节控制不严都会改变结构密实状态。拌合时间不足会导致胶凝材料分散不均，运输距离过长或二次加水会破坏原有水灰比，使混凝土坍落度表面满足施工要求，但内部强度和抗渗性能下降。浇筑过程中若分层厚度过大，振捣棒难以有效作用到下层区域，容易出现空洞、蜂窝和夹层；振捣时间过短会使气泡无法排出，振捣过度又会造成离析和泌水。收面过早会封闭表层水分通道，形成塑性收缩裂缝；切缝时间过晚则会使收缩应力无序释放。精细化施工和数字化管控理念要求对坍落度、入模时间、振捣参数和养护节点进行全过程记录，减少经验化操作带来的裂缝隐患。

2 公路施工裂缝主要问题识别

2.1 配合比控制不准导致强度稳定性不足

配合比控制不准主要表现为水灰比偏大、砂率调整随意、外加剂掺量缺乏动态校核，导致混凝土拌合物工作性和硬化后强度之间失去平衡。施工现场为改善流动性而增加用水量，会削弱胶凝材料水化后的骨架强度，使孔隙率升高，抗渗性和抗拉能力同步下降。砂石含水率未及时检测时，实际用水量容易偏离设计值，造成同一施工段强度波动。绿色低碳材料应用增加后，掺合料活性、细度和需水量差异更加明显，若仍按固定经验配比施工，早期强度不足和后期收缩裂缝风险会持续增大。

2.2 浇筑振捣不规范造成蜂窝空隙隐患

浇筑振捣不规范会直接破坏混凝土内部密实结构，形成肉眼不易及时发现的空隙隐患。分层厚度控制过大时，下层混凝土难以获得充分振实，新旧浇筑层之间容易出现夹层和弱连接面[2]。振捣棒插入深度不足、移动间距过大或停留时间过短，会使气泡滞留在结构内部，形成蜂窝、麻面和局部孔洞；振捣

时间过长又会导致粗骨料下沉、浆体上浮，造成离析。智能化施工管理要求对浇筑速度、振捣点位和作业时长进行过程记录，缺少数据化约束时，现场操作差异会转化为裂缝扩展通道。

2.3 养护时间不足加快表层失水收缩

养护时间不足会使混凝土表层水分过早散失，水化反应无法在适宜湿度条件下持续进行，表面强度增长滞后于内部结构发展。公路施工多处于开放环境，风速、日照和温差会加快水分蒸发，若覆盖、洒水和保湿措施衔接不及时，表层容易产生塑性收缩变形。早期混凝土抗拉强度较低，收缩变形受到基层和内部结构约束后，细微裂缝会沿表面薄弱区域发展。节能环保施工强调减少返修和材料浪费，养护环节需要根据气温、湿度和混凝土类型调整持续时间，单纯按最低天数执行难以满足抗裂要求。

3 公路混凝土裂缝防治方法细化

3.1 优化原材料检验流程控制水灰比

原材料控制应前移到进场验收和拌合前复核环节，水泥需核查强度等级、安定性、凝结时间和水化热指标，骨料需检测级配、含泥量、针片状颗粒含量和实际含水率，外加剂需完成相容性和减水率试验，避免材料波动直接进入施工环节。水灰比控制不能只依赖设计配合比，应根据砂石含水率、气温、运输时间和坍落度损失进行动态修正，严禁通过现场随意加水改善和易性。掺合料使用时，应结合粉煤灰、矿粉活性指数和细度变化调整胶凝材料比例，使早期强度、后期耐久性和收缩控制保持平衡。数字化质量管理可将原材料批次、检测结果、配比调整记录和拌合参数同步归档，形成可追溯的质量链条。通过试拌验证、现场抽检和强度回溯联动控制，能够降低水灰比失控造成的孔隙增多、强度离散和干缩裂缝风险。

3.2 规范分层浇筑振捣提升结构密实度

分层浇筑应根据构件厚度、钢筋布置、混凝土坍落度和初凝时间确定单层厚度，避免一次摊铺过厚导致下部混凝土无法充分振实。浇筑过程需保持连续推进，控制卸料高度和摊铺速度，减少离析、泌水和冷缝形成。振捣作业应做到快插慢拔、均匀布点，振捣棒插入下层混凝土一定深度，使相邻浇筑层形成有效结合；点位间距需与振捣半径匹配，避免漏振区域残留气泡。振捣时间应以表面泛浆、不再明显下沉和无大量气泡溢出为判断依据，防止欠振造成蜂窝孔洞，也防止过振引发粗骨料沉降[3]。新型施工管理可引入振捣轨迹记录、时间监测和现场影像留存，减少单纯依靠经验判断带来的质量差异。浇筑完成后及时进行整平、收面和切缝控制，使结构内部密实度、层间黏结性和裂缝诱导位置保持稳定。

3.3 落实温控保湿养护减少收缩变形

温控保湿养护应从混凝土入模前开始控制，拌合用水、骨料温度和入模温度需结合季节条件进行调整，炎热环境下可采

取遮阳、错峰浇筑和降低材料温升等措施，低温条件下需加强保温覆盖，避免早期受冻和温差突变。浇筑后应及时覆盖土工布、塑料薄膜或保湿材料，减少风速和日照造成的表层快速蒸发，洒水养护需保持连续湿润状态，不能出现干湿交替过快现象。大面积路面和桥面铺装应合理设置切缝时间、切缝深度和间距，引导收缩应力按预定位置释放，防止无序开裂。养护周期应依据水泥品种、掺合料比例、环境湿度和结构厚度确定，不能机械套用固定天数。绿色建造理念要求减少返工修补和资源浪费，可通过温湿度传感器、养护记录二维码和裂缝早期巡查机制实现精细管控，使温度应力、干燥收缩和塑性裂缝得到同步控制。

4 裂缝治理成效提升路径

4.1 建立施工全过程质量检查机制

施工全过程质量检查机制应贯穿材料进场、试验检测、拌合生产、运输入模、浇筑振捣、收面切缝和养护管理等关键点，避免裂缝防治停留在完工后的表面检查。材料进场阶段需核查水泥批次、骨料级配、含泥量、外加剂性能和掺合料活性，检测结果与配合比调整记录同步归档；拌合阶段需检查计量精度、拌合时间、坍落度和出机温度，防止水灰比失控造成强度离散。浇筑阶段应对卸料高度、分层厚度、振捣点位、振捣时长和层间衔接进行记录，发现离析、泌水或漏振迹象时及时调整施工参数。养护阶段需核查覆盖时间、保湿频率、温湿度变化和切缝完成情况，使裂缝风险在早期得到控制。数字化建造理念可将检测数据、现场照片、温湿度记录和责任节点统一纳入质量管理平台，形成从问题发现到整改复核的闭环链条，减少漏检、迟检和经验化判断造成的质量偏差，使混凝土裂缝治理由结果验收转向过程控制。

4.2 强化裂缝类型识别提高处理精度

裂缝处理精度取决于类型识别是否准确，不能仅凭外观宽度采取统一修补方式。塑性收缩裂缝多出现在浇筑初期表面失水较快阶段，通常呈不规则分布，需要重点核查收面时机、保湿覆盖和环境风速；温度裂缝常与内外温差、厚度变化和约束条件有关，需结合浇筑时间、入模温度、养护记录和裂缝走向判断应力来源；干缩裂缝与长期水分散失、配合比用水量和养护不足关系密切，应关注裂缝发展速度和表层强度变化；结构性裂缝则可能涉及基层沉降、荷载传递不均或构造约束，需要通过钻芯、回弹、超声检测和荷载调查进一步确认[4]。精细化治理应根据裂缝宽度、深度、活动性和渗水情况选择封闭、灌浆、嵌缝、补强或局部返修等方法，避免轻微裂缝过度处理或深层裂缝表面化处理。新型检测技术可借助图像识别、无人机巡查和裂缝监测传感器获取变化数据，提高病害判断的连续性和准确性，为后续治理提供可靠依据。

4.3 完善后期养护反馈降低维修成本

后期养护反馈应建立在裂缝治理后的持续跟踪基础上,将修补效果、裂缝变化、路面平整度、渗水情况和车辆荷载影响纳入动态管理。裂缝修复完成后,应设置复查周期,对封闭材料粘结状态、灌浆饱满度、切缝边缘完整性和表层磨耗情况进行检查,发现二次开裂、脱粘或渗水迹象时及时采取局部补强措施,避免小范围病害扩大为结构性破坏。养护信息不应停留在单次维修记录中,应将裂缝位置、类型、处理材料、施工时间、环境条件和复查结果进行数据化留存,为同类路段施工参数优化提供依据。绿色养护理念强调降低资源消耗和全寿命周

期成本,可通过预防性养护、早期微裂缝封闭和排水系统维护减少大面积铣刨重铺。智能巡检设备、路面病害识别系统和养护管理平台能够提高裂缝发现效率,使维修决策从被动抢修转向分级处治,降低材料浪费、交通干扰和长期维护费用。

5 结语

公路工程混凝土裂缝治理需要把成因判断、施工控制和后期养护结合起来,材料配比、浇筑振捣、温湿度管理和裂缝识别均应形成闭环。裂缝防治重点在于前期预防和过程纠偏,减少结构内部缺陷和表层收缩变形,提高路面耐久性、行车安全性和养护经济性。

参考文献:

- [1] 吴建鹏,蒋庆双.公路工程混凝土裂缝成因与解决措施研究[J].运输经理世界,2025,(25):112-114.
- [2] 刘波.公路工程施工中混凝土裂缝影响因素及优化措施探究[J].中国水泥,2025,(2):120-122.
- [3] 常红梅.公路工程施工中混凝土裂缝的成因及对策研究[J].中国水泥,2024,(8):102-103+106.
- [4] 郭宝侠.公路工程施工中混凝土裂缝的成因及处治措施[J].工程技术研究,2024,9(12):223-225.