

桥梁工程混凝土裂缝控制分析

唐 超

山西晋城公路规划勘察设计有限公司 山西 晋城 048000

摘要: 桥梁工程混凝土裂缝危害大, 类型包括收缩、温度、荷载及耐久性裂缝。其产生源于设计、施工、材料与环境因素。控制上, 设计阶段要优化配合比、温控与构造、荷载截面设计; 施工阶段严格把控材料、规范工艺、强化养护、控制模板支架; 材料与技术上采用高性能、纤维增强混凝土, 应用智能温控、预应力技术。监测采用人工、自动化及无损检测, 修复依裂缝情况选技术, 修复后要严格检验材料、监督过程、跟踪监测并建立档案。

关键词: 桥梁工程; 混凝土裂缝; 控制措施

引言: 在桥梁工程中, 混凝土裂缝问题严重影响结构安全与耐久性。混凝土裂缝类型多样, 涵盖收缩、温度、荷载及耐久性裂缝等, 其危害具有渐进性与累积性, 从降低抗渗性、削弱承载能力, 到引发结构局部破坏, 威胁整体安全, 还增加养护成本、影响交通效率。究其成因, 设计不合理埋下源头隐患, 施工操作不当成为直接诱因, 材料与环境因素也加剧了裂缝产生。为有效应对, 需在设计、施工阶段采取针对性控制措施, 借助材料改进与技术创新提升抗裂性能, 同时做好裂缝监测与修复工作, 确保桥梁结构安全稳定运行。

1 桥梁工程混凝土裂缝的类型与危害

1.1 混凝土裂缝的主要类型

根据成因与特征, 桥梁混凝土裂缝可分为四类:

(1) 收缩裂缝, 由混凝土硬化过程中的体积收缩引发, 包括浇筑后数小时内出现的塑性收缩裂缝、硬化后水分流失导致的干燥收缩裂缝, 以及水泥水化消耗水分产生的自生收缩裂缝; (2) 温度裂缝, 由混凝土内外温差过大导致, 如大体积承台浇筑后内部水化热积聚, 或冬季低温时结构收缩受约束产生; (3) 荷载裂缝, 由外部荷载超出混凝土抗拉强度引发, 表现为与受力方向一致的裂缝, 如梁底受弯产生的垂直裂缝、支座附近受剪产生的斜裂缝; (4) 耐久性裂缝, 由环境因素长期作用导致, 如氯离子侵入引发钢筋锈蚀, 锈蚀膨胀力使混凝土表面产生顺筋裂缝, 或冻融循环导致混凝土表层剥落开裂^[1]。

1.2 裂缝对桥梁结构的危害

裂缝对桥梁结构造成的危害呈现出明显的渐进性与累积性特征。(1) 在短期阶段, 桥梁表面出现的细微裂缝虽看似不起眼, 却会显著降低混凝土的抗渗性能。这使得雨水、融雪剂等侵蚀性介质轻易渗入混凝土内部, 加速内部钢筋的锈蚀进程, 进而逐步削弱桥梁的承载能力。(2) 进入中期, 裂缝会不断扩展延伸, 导致桥梁结

构的刚度持续下降。此时, 桥梁会出现挠度明显增大、振动愈发加剧等一系列问题, 严重影响行车的舒适性与安全性, 给过往车辆和人员带来潜在风险。(3) 从长期来看, 一旦出现贯穿性裂缝, 极有可能引发桥梁结构的局部破坏。比如梁体裂缝持续扩展会导致截面断裂, 墩柱裂缝则会使承载力严重不足, 对桥梁整体安全构成极大威胁。而且, 裂缝修复往往需要中断交通, 并投入大量的人力、物力, 这不仅增加了养护成本, 还会对区域交通通行效率产生不利影响。

2 桥梁工程混凝土裂缝产生的主要原因

2.1 设计因素

设计不合理是裂缝产生的源头隐患:(1) 混凝土强度等级与截面设计不当, 如过度追求高强度等级导致混凝土脆性增大、收缩率提高, 或梁体截面过薄、抗拉刚度不足, 易产生荷载裂缝;(2) 温控措施设计缺失, 大体积混凝土未设置冷却水管、分层浇筑方案, 或未考虑环境温度变化对结构的影响, 导致温度应力超过混凝土抗拉强度;(3) 构造措施不完善, 如钢筋布置间距过大, 无法有效约束混凝土收缩, 或未设置伸缩缝、后浇带, 结构收缩受约束产生裂缝;(4) 荷载计算偏差, 未充分考虑车辆超载、支座不均匀沉降等附加荷载, 导致结构实际受力超出设计预期。

2.2 施工因素

施工过程中的操作不当是裂缝产生的直接原因:

(1) 混凝土配合比控制不严, 水泥用量过高会增加水化热与收缩量, 砂石含泥量超标会降低混凝土强度与抗裂性, 或外加剂掺量不当引发塑性收缩裂缝;(2) 浇筑与振捣工艺不规范, 浇筑速度过快导致混凝土离析, 或振捣不足使混凝土密实度不均, 内部产生蜂窝、孔洞, 成为裂缝萌发点;(3) 养护措施不到位, 浇筑后未及时覆盖保湿, 或养护时间不足, 导致混凝土水分过快流失,

产生干燥收缩裂缝；（4）模板与支架问题，模板拆除过早，或支架沉降、变形，导致混凝土结构受力不均。

2.3 材料与环境因素

材料性能缺陷与环境作用加剧裂缝产生：（1）水泥品种选择不当，如采用水化热高的普通硅酸盐水泥浇筑大体积混凝土，未选用低热水泥，导致内部温度过高；（2）骨料质量不合格，如骨料级配不良使混凝土和易性差，易产生收缩裂缝，或骨料中含有活性成分，与水泥碱反应产生膨胀导致开裂；（3）环境因素长期作用，桥梁处于海洋环境、盐碱地时，氯离子、硫酸盐等腐蚀性介质侵入混凝土，引发钢筋锈蚀与化学侵蚀；或严寒地区冻融循环频繁，混凝土内部水分结冰膨胀，导致表层剥落、裂缝扩展；（4）强烈日照、大风等环境会加速混凝土表面水分蒸发，加剧干燥收缩裂缝^[2]。

3 桥梁工程混凝土裂缝的控制措施

3.1 设计阶段的裂缝控制优化

在设计阶段，采取有效措施从源头上减少裂缝风险至关重要。（1）优化混凝土配合比设计。依据结构类型及所处环境精准选材。对于大体积混凝土，因其水化热释放大，易产生温度裂缝，故应选用低热水泥，并掺加粉煤灰、矿粉等活性掺合料，降低水化热，减少收缩率。而对于梁体、板体等薄壁结构，为避免因水泥用量过多导致收缩过大，应选用中低强度等级混凝土，严格控制水泥用量，同时掺加纤维增强材料，增强混凝土内部的连接与韧性，有效提升其抗裂性能。（2）完善温控与构造设计。针对大体积混凝土，设置循环冷却水管，通过水流带走热量，并采用分层浇筑方式，精确控制各层浇筑间隔时间，确保内外温差处于合理范围。合理设置伸缩缝、后浇带，为结构收缩提供空间，释放收缩应力。钢筋布置采用小直径、密间距的方式，增强对混凝土的约束，提高混凝土抗拉能力。（3）优化荷载与截面设计。充分考虑超载、支座沉降等附加荷载的影响，适当增大截面刚度，或采用预应力技术，提前在混凝土中建立压应力，抵消部分拉应力，从而有效减少荷载裂缝的产生。

3.2 施工阶段的裂缝控制管控

在施工阶段，必须借助精细化操作来有效控制裂缝的产生。（1）严格把控材料质量。水泥、骨料、外加剂等进场材料，均需经过严格检验，只有检验合格方可投入使用。尤其要精准控制砂石含泥量，因为含泥量过高会削弱骨料与水泥石的黏结力，进而影响混凝土强度。同时，确保骨料级配符合设计要求，以形成良好的骨架结构。在混凝土搅拌环节，要严格按照配合比进行精准

计量，保证各材料用量准确无误，并确保足够的搅拌时间，使混凝土和易性达到良好状态，为后续施工奠定基础。（2）规范浇筑与振捣工艺。大体积混凝土宜采用分层浇筑、斜面推进的方式，合理控制浇筑速度，防止混凝土集中堆积产生过大内应力。振捣时，选用插入式振捣器，操作人员需具备专业素养，确保振捣到位，杜绝漏振导致混凝土不密实，以及过振造成骨料下沉、水泥浆上浮等问题。（3）强化养护与温控管理。混凝土浇筑完成后，应及时覆盖保湿，大体积混凝土可采用蓄水或喷淋养护方式，保证足够的养护时间，使混凝土充分水化。同时，实时监测混凝土内外温度，若温差过大，立即采取覆盖保温或冷却措施，防止温度裂缝产生。（4）合理控制模板与支架。模板拆除必须满足强度要求，避免因过早拆模导致结构受损。支架搭设前要进行详细的承载力验算，浇筑过程中实时监测支架沉降，一旦发现异常，立即停工处理，确保施工安全与质量^[3]。

3.3 材料改进与技术创新

为有效提升混凝土的抗裂性能，可从材料改进与技术创新两方面着手。（1）在材料改进上，积极采用高性能混凝土。通过掺加活性掺合料，如粉煤灰、矿粉等，能够优化混凝土的微观结构，使水泥石与骨料之间的界面过渡区更加密实，从而提高混凝土的抗拉强度和抗渗性，增强其抵抗裂缝产生的能力。同时，大力推广纤维增强混凝土。在桥面铺装、薄壁构件等关键部位，掺加碳纤维或玄武岩纤维。这些纤维在混凝土中能够起到桥接作用，有效抑制裂缝的萌发与扩展，当混凝土出现微裂缝时，纤维可以跨越裂缝，阻止裂缝的进一步发展，提高混凝土的整体性和耐久性。（2）在技术创新方面，应用智能温控技术。在大体积混凝土中埋置温度传感器，结合自动温控系统，根据混凝土内部温度的变化，实时调节冷却水管的流量，精准控制混凝土的内外温差，避免因温度应力过大而导致裂缝的产生。此外，采用预应力技术，对梁体、墩柱等关键构件施加预应力，在构件使用前就建立预压应力，抵消使用阶段可能产生的拉应力，从根本上减少荷载裂缝与收缩裂缝的出现，保障结构的安全与稳定。

4 桥梁工程混凝土裂缝的监测与修复

4.1 裂缝监测技术与方法

裂缝监测作为及时发现并有效控制裂缝扩展的关键环节，具有至关重要的作用。（1）人工巡检监测是基础且常用的方法。需定期安排专业人员，运用裂缝宽度仪、刻度放大镜等精准工具，对桥梁表面裂缝展开细致测量。详细记录裂缝的具体位置、长度以及宽度等关键

信息。一旦发现裂缝宽度超出规定限值,立即将其标记为危险裂缝,并作为重点监测对象进行持续跟踪。(2)自动化监测则体现了现代科技的优势。在桥梁的关键部位,精心粘贴光纤传感器、应变片。这些设备能够实时采集裂缝开合度、应变变化等数据,并通过无线传输技术,将数据迅速、准确地传送至监控平台。当数据超过预设阈值时,系统会自动发出报警信号,以便及时采取应对措施。(3)无损检测技术能够深入混凝土内部。采用超声波检测仪、雷达探测仪等先进设备,对混凝土内部裂缝进行全面检测,精准判断裂缝的深度以及扩展情况。监测数据需建立完整档案,通过深入分析裂缝发展趋势,为后续的修复决策提供科学、可靠的依据。

4.2 裂缝修复的技术选择

在实际工程中,需依据裂缝的类型与严重程度,精准选择适配的修复技术。(1)表面封闭法主要针对宽度较小的表面裂缝。这类裂缝一般不会对结构整体安全性造成显著威胁,但可能影响结构的耐久性。修复时,可采用环氧树脂浆液、水泥基渗透结晶型涂料等优质材料。通过涂刷、刮抹等工艺,将这些材料均匀覆盖在裂缝表面,形成一层致密的封闭层,有效阻止水分、氯离子等有害介质侵入混凝土内部,从而保护结构免受进一步侵蚀。(2)压力注浆法适用于中等宽度的裂缝。借助高压注浆机,将精心配制的浆液注入裂缝内部。浆液在压力作用下,能够充分填充裂缝的各个角落,使原本分离的混凝土部分重新黏结在一起,恢复混凝土的整体性,增强结构的承载能力。(3)结构加固法则针对宽度较大的危险裂缝或贯穿性裂缝。可采用粘贴碳纤维布、外包钢板等方式,显著增强结构的抗拉强度;也可运用植筋技术,增加结构内部钢筋数量,形成更有效的约束,限制裂缝的进一步扩展,保障结构的安全与稳定^[4]。

4.3 修复后的质量管控

裂缝修复完成后,强化质量管控对于保障修复效果、确保结构长期安全稳定至关重要。(1)在修复材料质量检验方面,对于进场的环氧树脂、碳纤维布等关键材料,必须严格按照规范要求进行全面的性能检测。

涵盖材料的强度、粘结性、耐久性等关键指标,只有检测结果全部符合标准,才允许投入使用,从源头上保证修复质量。(2)修复过程质量监督不可或缺。注浆修复时,要仔细检查注浆压力是否稳定、浆液饱满度是否达标,确保裂缝内部被充分填充。加固修复时,需严格检查碳纤维布粘贴的平整度,避免出现褶皱、空鼓等问题,同时检查锚固的可靠性,保证加固效果。(3)修复后跟踪监测需持续进行。修复完成后,要定期复查裂缝宽度与结构变形情况,在一段时间内保持密切监测,确认裂缝没有重新扩展的趋势。(4)建立完善的修复档案,详细记录裂缝位置、修复方法、材料用量、检测数据等信息,为后续养护提供可靠参考,同时深入总结裂缝产生原因,为优化后续桥梁设计与施工方案提供有力依据。

结束语

桥梁工程混凝土裂缝问题贯穿设计、施工、材料选用及环境应对等各环节,其类型多样、危害深远,不仅影响结构安全与耐久性,还增加养护成本、降低通行效率。为此,需在设计阶段优化配合比、温控与构造设计;施工阶段严格把控材料、规范操作工艺、强化养护管理;材料与技术层面积极创新改进。同时,做好裂缝监测,依据类型与程度精准修复,并加强修复后质量管控。唯有全方位、精细化落实这些控制与修复措施,才能有效防控桥梁混凝土裂缝,保障桥梁结构长期安全稳定运行,为交通运输事业发展筑牢根基。

参考文献

- [1]丁川洋.浅析道路桥梁工程中大面积混凝土施工技术及其裂缝防治措施[J].价值工程,2024,43(30):141-144.
- [2]叶尔丰.桥梁工程施工中混凝土裂缝成因分析及应对措施[J].工程建设与设计,2020(7):242-244.
- [3]申鹏.桥梁工程施工中混凝土裂缝成因分析及应对措施[J].交通世界,2021(15):37-38.
- [4]王一凡.桥梁工程施工中的混凝土裂缝成因与防治措施研究[J].四川建材,2021(1):109-110.