

公路现浇梁施工裂缝控制技术研究

王 志

四川省交通建设集团有限责任公司 四川 成都 610041

摘 要：随着公路交通建设快速发展，现浇梁因适应性强广泛应用，但施工中易出现裂缝，尤其温度应力与收缩裂缝对结构安全影响显著。本文围绕公路现浇梁施工裂缝展开研究，分析裂缝特征与危害，从材料、施工、环境、设计多维度剖析成因，重点探究材料优化、工艺改进、预应力控制及监测预警等关键控制技术，结合工程案例验证技术有效性。研究旨在为减少现浇梁施工裂缝提供可行方案，提升结构耐久性与安全性，为公路桥梁工程建设提供技术参考。

关键词：公路现浇梁；施工裂缝；温度应力；收缩裂缝；控制技术

引言：公路桥梁是交通基础设施重要组成，现浇梁作为核心承重结构，其质量直接关乎行车安全与工程寿命。当前，现浇梁施工中裂缝问题频发，温度应力引发的内外温差裂缝、混凝土收缩产生的干缩与塑性收缩裂缝尤为常见，不仅降低结构承载能力，还加速钢筋锈蚀，缩短使用寿命。传统控制手段针对性不足，难以有效应对复杂施工环境下的裂缝问题。因此，深入研究现浇梁施工裂缝控制技术，剖析成因并提出科学解决方案，对保障公路桥梁工程质量、降低运维成本具有重要意义。

1 公路现浇梁施工裂缝相关基础理论

1.1 公路现浇梁结构特点

公路现浇梁多采用连续梁、简支梁等结构形式，具有跨度大、承载能力强的特点，能适应不同地形与交通需求。其施工需现场浇筑，整体整体性好，但施工周期长，受外界环境影响大。结构设计中，需考虑车辆荷载、温度变化、地基沉降等因素，梁体截面常设计为T形、箱形，以平衡受力与自重，不过复杂截面形式也增加了施工中裂缝控制难度，尤其在截面突变处易产生应力集中。

1.2 现浇梁施工裂缝特征

现浇梁施工裂缝按成因可分为温度裂缝与收缩裂缝等。温度裂缝多呈不规则状，常见于梁体表面或截面温差较大部位，如腹板、顶板，低温季节或昼夜温差大时易出现，裂缝宽度随温度变化略有波动；收缩裂缝多为纵向或横向直线状，干缩裂缝多分布在表面，塑性收缩裂缝常出现在混凝土初凝阶段，表现为短而细的网状裂纹，两类裂缝若不及时控制，可能发展为深层裂缝^[1]。

1.3 裂缝对现浇梁结构的危害机制

裂缝对现浇梁结构的危害呈渐进式发展，首先削弱

结构抗渗性：裂缝形成后，雨水、腐蚀性介质易渗入内部，接触钢筋后引发锈蚀，钢筋锈蚀体积膨胀会进一步扩大裂缝，形成“裂缝-锈蚀-裂缝扩大”恶性循环。其次降低结构承载能力：裂缝使混凝土截面有效受力面积减小，应力集中现象加剧，当裂缝贯通截面时，梁体抗弯、抗剪性能显著下降，可能引发结构过度变形甚至坍塌。再者缩短服役寿命：在冻融循环环境下，裂缝内水分结冰膨胀，加速混凝土剥落，使结构表层逐渐破损；同时，裂缝会破坏混凝土的整体性，导致结构刚度降低，影响行车舒适性与安全性。此外，裂缝修复需投入大量人力物力，不仅增加工程成本，还可能影响交通正常通行，造成间接经济损失。

2 公路现浇梁裂缝成因分析

2.1 材料性能因素

混凝土原材料性能直接影响裂缝产生。水泥品种选择不当，如采用水化热高的硅酸盐水泥，易因水化热释放集中导致梁体内外温差过大，引发温度裂缝；骨料级配不合理，如细骨料过多或粗骨料粒径不当，会降低混凝土密实度，增加收缩率，加剧收缩裂缝；外加剂适配性差，如缓凝剂用量不足，会缩短混凝土初凝时间，易产生塑性收缩裂缝；此外，混凝土强度等级与设计要求不匹配，或材料质量波动大，也会降低结构抗裂性能，为裂缝产生埋下隐患。

2.2 施工工艺因素

施工工艺不规范是裂缝产生的重要原因。混凝土拌制时，原材料计量偏差大、搅拌时间不足，会导致混凝土均匀性差，局部抗裂能力薄弱；浇筑过程中，分层厚度过大、振捣不密实，易形成蜂窝、麻面，降低结构整体性，且振捣过振会破坏骨料级配，增加收缩风险；养护不及时或养护方式不当，如浇筑后未及时覆盖保湿，

会加速水分蒸发,引发干缩裂缝;模板拆除过早,混凝土强度未达设计要求,无法承受自身重量与施工荷载,易产生受力裂缝。

2.3 环境与荷载因素

环境与荷载条件对裂缝产生影响显著。温度变化方面,夏季高温使混凝土表面水分蒸发过快,易产生塑性收缩裂缝,冬季低温或昼夜温差大,会导致梁体内外温度梯度大,产生温度应力,引发温度裂缝;湿度较低时,混凝土干缩速度加快,收缩裂缝易发育^[2]。荷载因素上,施工期堆载过高或堆载不均匀,会使梁体局部受力超过设计值,产生荷载裂缝;施工机械频繁碾压梁体,或运输车辆碰撞支架,会造成结构振动,加剧裂缝发展。

2.4 设计因素

设计不合理会增加裂缝产生概率。结构设计中,梁体截面尺寸设计不当,如腹板过薄,易产生应力集中,引发裂缝;配筋率不足或钢筋布置不合理,如受拉区钢筋间距过大,会降低结构抗裂能力,无法有效抵抗温度应力与收缩应力;抗裂验算不到位,未充分考虑温度、收缩等因素对结构的影响,设计参数与实际施工环境不匹配;此外,支架基础设计未结合地质条件,承载力不足易导致基础沉降,使梁体产生附加应力,引发沉降裂缝。

3 现浇梁施工裂缝控制关键技术

3.1 材料优化与配合比设计

材料优化与配合比设计是从源头控制裂缝的核心技术。水泥选用上,优先采用低热矿渣硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥,其水化热峰值比普通硅酸盐水泥低20%-30%,可有效降低温度裂缝风险;若需加快施工进度,可掺加适量缓凝剂,延长水化热释放时间。骨料优化方面,选用连续级配骨料(5-31.5mm),减少细骨料用量,砂率控制在35%-40%,提高混凝土密实度;骨料含泥量严格控制在3%以内,泥块含量不超过1%,避免削弱骨料与水泥石粘结力。外加剂选择上,采用高性能聚羧酸系减水剂,减水率不低于25%,可降低用水量,将水灰比控制在0.45以内;掺加引气剂,引入3%-5%的微小气泡,提高混凝土抗冻性与抗裂性。配合比设计上,胶凝材料用量控制在350-400kg/m³,其中掺加30%-40%的Ⅰ级粉煤灰或矿粉,替代部分水泥,降低水化热;通过试配调整,使混凝土7天抗压强度达设计值的60%以上,28天强度满足设计要求,同时保证坍落度在120-160mm,兼顾工作性与抗裂性。

3.2 施工工艺改进

施工工艺改进是控制裂缝的关键环节,需从浇筑、养护、模板支架管理多维度发力。浇筑工艺上,采用

“分段分层、对称浇筑”方案,连续梁按跨分段,每段长度不超过10m,分层厚度控制在30-40cm,相邻两层浇筑间隔不超过混凝土初凝时间(通常2-3小时);振捣采用高频插入式振捣器,振捣时间以混凝土表面泛浆、无气泡逸出为准,避免漏振、过振,振捣点间距控制在30cm以内,腹板与翼缘板衔接处需加强振捣。养护工艺改进方面,采用“覆盖+洒水+保温”综合养护方式:混凝土浇筑完成后1-2小时内,覆盖土工布与塑料薄膜,减少水分蒸发;夏季高温时,在薄膜上覆盖遮阳网,降低表面温度;冬季低温时,覆盖保温棉被,必要时采用蒸汽养护,确保混凝土内部温度不低于5℃;养护时长不少于14天,前7天保持表面湿润,后期根据强度发展调整养护频率^[3]。模板与支架改进上,模板采用钢模,确保表面平整、拼接严密,避免漏浆;支架采用碗扣式脚手架,搭设后进行1.2倍设计荷载预压,预压时间不少于7天,消除非弹性变形;模板拆除依据同条件试块强度,梁侧模在混凝土强度达2.5MPa后拆除,底模在强度达设计值100%后拆除(跨度大于8m时)。

3.3 预应力控制技术

预应力控制技术通过主动施加应力,抵消混凝土收缩与温度应力,有效抑制裂缝产生,适用于连续梁、大跨度现浇梁。预应力筋选用方面,优先采用低松弛高强度钢绞线(如1860MPa级),其弹性模量高、应力损失小,可长期保持有效预应力。张拉时机控制是关键,先张法施工中,混凝土强度需达设计值80%以上方可张拉;后张法施工中,梁体混凝土强度达设计值75%后,进行预应力筋张拉,避免过早张拉导致混凝土被压裂。张拉控制上,采用“双控法”,即控制张拉应力与伸长值,张拉应力按设计要求确定,伸长值偏差控制在±6%以内;张拉顺序遵循“对称张拉、分批张拉”原则,连续梁从跨中向两端对称张拉,避免梁体产生侧弯;张拉过程中,实时监测梁体变形,若出现异常(如伸长值突变),立即停止张拉,排查原因。张拉后养护方面,预应力筋张拉完成后24小时内完成孔道压浆,采用水泥浆(水灰比0.4-0.45),掺加阻锈剂,压浆压力控制在0.5-0.7MPa,确保孔道内水泥浆饱满,防止预应力筋锈蚀;压浆完成后覆盖养护,养护时长不少于7天,保障水泥浆强度发展。

3.4 监测与预警技术

监测与预警技术通过实时跟踪梁体状态,及时发现裂缝隐患,为控制措施调整提供依据。温度监测方面,在梁体关键部位(如腹板中部、顶板跨中)预埋温度传感器,混凝土浇筑后每2小时采集一次温度数据,监测周期不少于7天,当内外温差超过25℃时,启动预警,采取

覆盖保温或内部通水降温措施，控制温差在20℃以内。应力监测方面，在梁体受拉区、支座附近粘贴应变计，实时监测混凝土应力变化，施工阶段每4小时采集一次数据，当应力接近混凝土抗拉强度80%时，发出预警，调整施工荷载或养护方式。裂缝监测方面，采用裂缝宽度仪，在浇筑后3天内每天监测一次，3-14天每2天监测一次，重点关注梁体表面裂缝，当裂缝宽度超过0.2mm时，启动修复措施（如压力注浆）；同时采用无人机航拍，对梁体侧面与底面进行全面巡检，避免遗漏隐蔽裂缝^[4]。监测数据管理上，建立数字化监测平台，将温度、应力、裂缝数据实时上传，通过数据分析模型预测裂缝发展趋势，实现主动预警与精准控制。

4 工程案例验证与效果分析

4.1 工程概况

某高速公路跨线桥采用现浇连续梁结构，共3跨，单跨跨度30m，梁体为箱形截面，施工环境处于亚热带季风气候区，夏季高温多雨，冬季温和，施工周期为6-10月。该工程施工前，同类桥梁因温度应力与收缩应力，常出现表面裂缝，影响结构质量。本工程地质条件为粉质黏土，地基承载力满足要求，但需重点控制混凝土浇筑与养护阶段的裂缝问题，确保梁体施工质量达标。

4.2 裂缝控制技术应用方案

基于工程特点，采用材料优化、工艺改进、预应力控制与监测预警相结合的综合控制方案。材料上选用P.O42.5矿渣水泥，掺加20%粉煤灰，选用高效减水剂，配合比确定水灰比0.45；施工中采用分层浇筑，分层厚度25cm，振捣时间控制在20-30s，养护采用覆膜+土工布保湿，养护期20d；预应力张拉在混凝土强度达85%后进行，采用智能张拉设备，张拉应力控制在设计值1.05倍；监测方面，布设12个温度监测点、8个裂缝监测点，实时监测温度与裂缝变化。

4.3 应用效果分析

工程施工完成后，通过现场检测，梁体表面仅出现2条宽度小于0.1mm的细微收缩裂缝，无温度裂缝与荷载裂缝，裂缝发生率较同类工程降低85%以上。混凝土强度检测结果均满足设计要求，弹性模量达标；预应力张拉过程中，梁体变形均匀，无异常侧弯；监测数据显示，混凝土内外温差最大为22℃，未超过预警值，裂缝监测未出现超阈值情况^[5]。后期跟踪观察6个月，裂缝无扩展迹象，结构运行稳定，验证了所采用裂缝控制技术的有效性，为类似工程提供了实践参考。

结束语

本文围绕公路现浇梁施工裂缝控制技术展开研究，通过分析裂缝基础理论、成因，提出材料优化、工艺改进、预应力控制及监测预警等关键技术，并结合工程案例验证了技术可行性。研究表明，多维度、全过程的裂缝控制措施能有效减少温度应力与收缩裂缝产生，提升现浇梁结构质量。未来，可进一步结合智能化技术，如BIM与AI融合，实现裂缝控制的精准化与自动化，同时加强新型抗裂材料研发，为公路现浇梁施工裂缝控制提供更高效的解决方案，助力公路交通基础设施高质量发展。

参考文献

- [1]李东良,宋国栋.影响现浇梁板结构裂缝的因素分析[J].建筑技术开发,2024,51(11):132-134.
- [2]邓鑫宇.大跨度现浇混凝土箱梁裂缝控制技术研究[J].交通世界,2023(22):168-170.
- [3]刘进臻,成定林.公路桥梁施工中现浇箱梁的施工技术探讨[J].工程技术研究,2020,5(02):75-76.
- [4]丁天.公路桥梁项目现浇箱梁施工技术研究[J].产业创新研究,2024,(04):126-128.
- [5]贾凡翼.公路桥梁施工中现浇箱梁施工技术分析[J].运输经理世界,2024,(03):88-90.