

桥梁大体积混凝土施工期温度裂缝控制技术研究

王晓丽

中铁建安工程设计院有限公司 河北 石家庄 050043

【摘要】：桥梁大体积混凝土施工中，温度裂缝是影响结构安全性与耐久性的关键问题。此类裂缝源于水泥水化热引发的内外温差及约束作用，受材料性能、施工工艺、环境条件等多因素影响。通过分析温度场分布规律与裂缝发展机理，可构建涵盖材料优化、温控措施、养护工艺的综合控制体系。实践表明，采用低水化热水泥、分层浇筑、实时温控监测等技术，能有效降低裂缝发生率，提升桥梁结构的长期稳定性，为同类工程提供可靠技术参考。

【关键词】：桥梁工程；大体积混凝土；温度裂缝；施工控制；温控技术

DOI:10.12417/2811-0536.26.01.008

引言

在桥梁建设中，大体积混凝土因其承载优势成为核心结构材料，然而施工期的温度裂缝却存在威胁，悄然侵蚀着工程质量。这些细微裂缝不仅可能降低结构承载力，还会加速钢筋锈蚀，缩短桥梁使用寿命，给交通安全埋下隐患。如何精准捕捉温度变化规律，破解裂缝难题，成为工程建设者关注的焦点。以下将深入探究温度裂缝的产生根源，探寻科学有效的控制技术，为桥梁工程的安全施工保驾护航。

1 桥梁大体积混凝土施工期温度裂缝的基本特征与危害

1.1 桥梁大体积混凝土施工期温度裂缝的基本特征

温度裂缝按力学特性可分为表面、深层与贯穿裂缝。表面裂缝呈不规则网状或条形，分布于表层，因表层温降过快或水分急蒸，收缩受内部约束产生拉应力超限所致，深度较浅。深层裂缝沿结构截面一定深度延伸，走向规律，多出现于温度梯度大的区域。因内部水化热积聚，升温膨胀受表层约束形成高应力，突破材料抗拉极限引发，深度达截面一定比例。贯穿裂缝贯穿全截面，破坏整体性，因内外温差剧烈且约束强，温度应力全面超限，走向与主应力方向一致。分布上，结构边角、截面突变处及钢筋密集区裂缝集中，这些部位散热差异大、易应力集中，施工衔接或养护不当会加剧聚集。发展具有时间关联性，浇筑初期水化热集中，是裂缝高发期；后期水化减缓，裂缝发展趋缓，但环境温变可能导致其扩展或新生。

1.2 桥梁大体积混凝土施工期温度裂缝的危害

温度裂缝直接威胁结构安全。表面裂缝降低有效受力面积，荷载作用下易应力集中引发扩展，削弱局部承载；深层裂缝破坏内部整体性，改变应力传递，导致刚度下降、变形过量；贯穿裂缝分割结构，大幅

降低整体承载，甚者引发失稳。耐久性方面，裂缝为有害物质侵入提供通道，加速混凝土碳化与钢筋锈蚀，锈蚀产物膨胀进一步加剧裂缝，形成恶性循环，削弱材料性能，缩短寿命。经济上，施工期修补耗费材料工时、延误工期；运营期因耐久性损伤需频繁维护，增加全生命周期成本，结构破坏的重建或大修损失更大。功能上，桥面裂缝导致雨水渗透破坏铺装层，影响行车安全舒适；构件裂缝影响防水、隔音等功能，降低使用品质。

2 桥梁大体积混凝土施工期温度裂缝的产生原因与关键影响因素

2.1 混凝土材料自身特性引发的温度裂缝成因

水泥水化反应是温度裂缝产生的核心内在因素。水泥与水混合后发生水化反应，释放大量水化热，大体积混凝土结构厚实，热量难以快速散发，导致内部温度持续升高。当内部温度与表层温度形成较大差值时，混凝土内部因升温产生膨胀趋势，而表层受环境影响温度较低，收缩变形受到内部约束，从而产生拉应力。若拉应力超过混凝土此时的抗拉强度，便会引发裂缝。混凝土的收缩特性也与温度裂缝密切相关。硬化过程中，混凝土会因水分蒸发产生体积收缩，而温度变化会加剧这种收缩效应。当收缩受到基础、模板或钢筋等外部约束时，收缩变形受阻产生拉应力，若应力积累至超过材料极限抗拉值，裂缝便会产生。此外，不同水泥品种的水化热释放速率与总量存在差异，矿物掺合料的种类与掺量也会影响水化反应进程，进而改变温度场分布，间接影响裂缝的形成。

2.2 施工工艺环节的关键影响因素

浇筑工艺不当易诱发温度裂缝。浇筑过程中，若混凝土入模温度控制不佳，与环境温度或已浇筑层温度差异过大，会形成局部温度梯度。分层浇筑时，若

上下层浇筑间隔时间过长，新浇筑混凝土与下层已硬化混凝土之间易产生温度应力，且结合面处理不善会降低整体约束能力，增加裂缝风险。振捣密实度不足也是重要因素。振捣不充分会导致混凝土内部存在蜂窝、麻面等缺陷，这些部位密实度低，承载能力弱，在温度应力作用下易成为裂缝的起始点。而过度振捣则可能使混凝土离析，改变材料均匀性，导致局部收缩不一致，引发裂缝。养护措施不到位会加剧温度裂缝的产生和扩展。养护不及时或养护方式不合理，会使混凝土表面水分快速蒸发，表层温度骤降，增大内外温差。覆盖不严密、洒水不规律等情况会导致混凝土表面湿度与温度波动剧烈，加速表层收缩，进而产生裂缝。

2.3 外部环境条件的作用机制

环境温度变化对温度裂缝的形成影响显著。昼夜温差较大时，混凝土表层温度随环境温度快速变化，而内部温度变化相对缓慢，形成周期性温度应力，反复作用易使表层出现疲劳裂缝。极端天气如骤降暴雨、寒潮侵袭，会导致混凝土表面温度急剧下降，产生较大温度梯度，引发表面或深层裂缝。大气湿度也是不可忽视的因素。低湿度环境会加速混凝土表面水分蒸发，导致表层干缩加剧，当干缩受到内部约束时，易产生表面裂缝。此外，风力较大的环境会增强表面水分蒸发速率，进一步放大干缩效应，增加裂缝产生的可能性。基础约束条件对温度裂缝的分布与发展有重要影响。桥梁基础与混凝土结构之间的约束越强，当混凝土因温度变化产生体积变形时，受到的阻力越大，产生的温度应力也越高。若基础表面不平整、存在杂物或处理不当，会导致约束分布不均，局部应力集中，引发裂缝。

3 桥梁大体积混凝土施工期温度裂缝的具体控制技术与实施方法

3.1 材料优化与配合比设计技术

通过材料性能调控降低水化热效应是控制温度裂缝的基础手段。选用低水化热水泥品种，如矿渣硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥，可减少水泥水化过程中释放的热量总量，从源头降低内部温升幅度。同时，合理掺加矿物掺合料是关键技术路径，粉煤灰、矿渣粉等掺合料不仅能替代部分水泥减少水化热，还可改善混凝土和易性，降低单位用水量，进而减少收缩变形。掺合料的掺量需通过试验确定，控制在适宜比例范围内，以保证混凝土强度与耐久性不受显著影响。骨料级配优化对温度裂缝控制同样重要。采用连续级

配的粗骨料，减少空隙率，可降低水泥浆用量，从而减少水化热。细骨料宜选用中砂，避免使用细砂，以降低混凝土的干缩性。此外，在混凝土中掺入适量聚丙烯纤维或钢纤维，能增强混凝土的抗拉强度和抗裂性能，抑制裂缝的产生与扩展。纤维的长度、直径及掺量需根据工程实际情况进行适配性选择，确保其在混凝土中均匀分布。配合比设计中需严格控制水胶比，在满足施工和易性的前提下，尽量降低水胶比，提高混凝土的密实度和强度，减少收缩变形。同时，通过试配确定合理的坍落度，避免因坍落度过大导致混凝土离析、泌水，影响结构均匀性。

3.2 施工过程温控技术与措施

混凝土浇筑温度控制是施工期温控的关键环节。在高温季节施工时，可对骨料进行预冷却处理，如采用遮阳棚覆盖、洒水降温或风冷等方式，降低骨料初始温度。水泥应储存在阴凉干燥的仓库中，避免阳光直射导致温度升高。拌合水可采用冰水或深井水，必要时在拌合水中加入冰块，以降低混凝土出机温度。混凝土运输过程中需采取隔热措施，如覆盖保温套，减少运输过程中的温度回升。分层浇筑与振捣工艺对温控效果影响显著。大体积混凝土应采用分层连续浇筑方式，每层浇筑厚度根据振捣设备性能和混凝土初凝时间确定。分层浇筑可缩短散热路径，便于热量散发，减少内外温差。振捣过程中应保证振捣密实，避免漏振、过振，确保混凝土密实度均匀，减少内部孔隙，提高抗裂性能。振捣棒插入下层混凝土，使上下层混凝土紧密结合，避免出现冷缝。养护阶段的温度与湿度控制是防止表面裂缝的重要措施。混凝土浇筑完成后，应及时覆盖塑料薄膜和保温棉被，保持混凝土表面湿润，防止水分快速蒸发导致表面干缩裂缝的产生。养护期间应控制混凝土内外温差不超过规定限值，当内外温差过大时，可采取加热保温措施，如在保温层内设置加热装置，或采用蒸汽养护，提高表面温度，减少温差。同时，根据环境温度变化调整养护措施，在低温季节适当延长养护时间，确保混凝土强度稳步增长。

3.3 温度监测与预警技术

温度监测系统的布设应覆盖整个大体积混凝土结构，监测点应布置在温度变化较大、容易产生裂缝的部位。监测点深度根据结构厚度确定，在表层、中层和底层分别设置监测点，以全面反映混凝土内部温度场分布。采用温度传感器进行实时监测，传感器应具有较高的精度和稳定性，且在混凝土浇筑前进行标定。监测频率应根据混凝土龄期进行调整，在浇筑后的前

期,由于水化热释放较快,温度变化剧烈,监测频率应适当提高,之后可逐渐降低监测频率。通过实时监测获取温度数据,绘制温度变化曲线,分析温度发展趋势,及时掌握混凝土内外温差和降温速率。当监测数据显示内外温差接近或超过规定限值时,应及时发出预警信号,采取相应的温控措施,如调整保温层厚度、增加养护湿度等,防止温度裂缝产生。

3.4 裂缝修补技术与方法

对于施工过程中已出现的表面裂缝,应及时进行修补处理,防止裂缝进一步扩展。表面裂缝可采用表面封闭法,如涂刷环氧树脂胶泥、聚合物水泥砂浆等材料,封闭裂缝表面,阻止水分和有害物质侵入。对于较深的裂缝,可采用压力注浆法,将水泥浆、环氧树脂浆液等注入裂缝内部,填充裂缝,恢复结构整体性。注浆压力应根据裂缝深度和宽度确定,确保浆液能够充分填充裂缝。修补施工前应清理裂缝表面,去除浮渣、灰尘和杂物,必要时采用高压水冲洗或喷砂处理,提高修补材料与混凝土表面的粘结强度。修补完成后,应采取养护措施,保证修补材料强度正常增长,确保修补效果。同时,对修补后的裂缝进行跟踪监测,观察裂缝是否再次扩展,评估修补效果,必要时采取进一步处理措施。

4 桥梁大体积混凝土施工期温度裂缝控制技术的工程应用效果

4.1 不同桥梁结构类型的应用效果

在桥梁承台施工中,采用材料优化与温控监测相结合的技术体系,可显著降低裂缝发生率。通过选用低水化热水泥与合理掺加矿物掺合料,配合分层浇筑与实时温度监测,能有效控制承台内部最高温升,缩小内外温差。实际工程中,经该技术处理的承台表面裂缝数量大幅减少,深层裂缝基本得到遏制,结构完整性得到保障,满足设计对承台耐久性的要求。桥梁

墩柱施工中,应用养护阶段温湿度精准控制技术,可改善混凝土表面状态。采用覆盖保温与定时洒水相结合的养护方式,配合温度预警机制,能避免墩柱因表面温度骤降产生收缩裂缝。工程实践表明,经过技术干预的墩柱表面平整度提升,裂缝宽度与长度均控制在规范允许范围内,结构外观质量与力学性能稳定性显著增强。对于桥梁梁体等薄壁大体积混凝土结构,结合振捣工艺优化与纤维增强技术,可提升抗裂性能。通过控制振捣密实度减少内部孔隙,掺入纤维抑制裂缝扩展,梁体在水化热高峰期及后期环境温度波动中,裂缝出现概率明显降低。监测数据显示,梁体截面温度梯度分布更均匀,应力集中现象得到缓解,结构承载能力的长期稳定性得到验证。

4.2 技术应用的综合效益体现

温度裂缝控制技术的应用可直接提升工程质量合格率。在多个桥梁项目中,采用全套控制技术后,大体积混凝土结构的裂缝修补率大幅下降,返工成本显著减少,施工进度得以保障。结构验收时,混凝土强度、抗渗性等指标达标率提高,满足设计使用年限内的性能要求,为桥梁安全运营奠定基础。从长期效益来看,该技术体系能延长桥梁结构使用寿命。通过抑制裂缝产生,减少有害物质侵入路径,混凝土碳化速度减缓,钢筋锈蚀程度减轻。对运营多年的桥梁监测发现,采用控制技术的结构耐久性指标优于未采用该技术的同类结构,结构维修加固周期延长,全生命周期成本降低。

5 结语

桥梁大体积混凝土施工期温度裂缝控制是保障工程质量的核心环节。通过对裂缝成因的深入剖析,结合实际工程提出的综合控制技术,在实践中展现出良好的应用效果,有效减少了温度裂缝的产生。未来研究可进一步优化技术细节,提升其适用性与经济性,为桥梁工程的高质量建设提供更有利的技术支撑。

参考文献:

- [1] 刘鑫,陈强,赵宇.大体积混凝土温度裂缝控制技术在桥梁工程中的应用实践[J].桥梁建设,2023,53(4):112-117.
- [2] 王宁,张峰,李华.严寒地区桥梁大体积混凝土冬季施工温控技术要点与案例分析[J].低温建筑技术,2024,46(5):108-111.
- [3] 陈晨,周伟,赵刚.桥梁大体积混凝土施工期温度裂缝成因分析及控制措施优化[J].四川水泥,2025,32(6):145-148.
- [4] 孙明,吴昊,钱进.基于数值模拟的桥梁大体积混凝土温控方案优化与验证[J].公路交通科技(应用技术版),2023,19(8):205-208.
- [5] 李阳,郑凯,陈杰.大体积混凝土桥梁承台温控防裂施工技术实践与效果评估[J].建筑技术开发,2024,51(15):90-93.