

高性能混凝土在公路桥梁施工中的早期裂缝防控技术研究

贾成伟

江苏宿迁交通工程建设有限公司, 江苏 宿迁 223800

摘要: 本文聚焦高性能混凝土在公路桥梁施工中的早期裂缝防控问题。随着交通基础设施建设质量要求的不断提升, 高性能混凝土因其优异的力学性能和耐久性在公路桥梁工程中得到广泛应用。然而, 其在早期养护阶段易出现干缩、温差、约束等多因素引发的裂缝问题, 严重影响结构整体性与耐久性。本文研究旨在为公路桥梁施工中高性能混凝土早期裂缝的有效防控提供理论依据与实践参考, 保障公路桥梁建设质量与长期服役性能, 为今后同类工程提供借鉴与指导。

关键词: 高性能混凝土; 公路桥梁施工; 早期裂缝; 防控技术

在我国交通基础设施建设迅猛发展的当下, 公路桥梁作为关键交通枢纽, 其建设质量备受关注。高性能混凝土凭借高强度、高耐久性及良好的工作性等优势, 在公路桥梁施工中得到广泛应用。然而, 高性能混凝土早期裂缝问题日益凸显, 成为影响桥梁结构安全与使用寿命的关键因素。早期裂缝不仅削弱了结构的承载能力, 还为水分、有害物质侵入提供通道, 加速结构劣化。因此, 深入研究高性能混凝土在公路桥梁施工中的早期裂缝防控技术, 对于提升桥梁建设质量、保障交通安全、降低后期维护成本具有重大现实意义^[1]。

1 高性能混凝土早期裂缝产生的原因分析

1.1 原材料性能波动

原材料质量与性能的波动是高性能混凝土早期裂缝产生的重要诱因。水泥作为混凝土的关键胶凝材料, 其细度、矿物组成及安定性等指标若不符合要求, 会显著影响混凝土性能^[2]。细度过大的水泥水化速度加快, 水化热集中释放, 导致混凝土内外温差增大, 易引发温度裂缝^[3]。骨料的级配、粒径、含泥量等也会对混凝土抗裂性能产生影响。级配不良的骨料

会使混凝土内部孔隙率增加, 降低混凝土的密实性和强度; 含泥量过高则会削弱骨料与水泥浆体的粘结力, 影响混凝土的抗裂性能。外加剂的种类和掺量选择不当, 可能导致混凝土工作性不稳定, 如出现离析、泌水等现象, 增加裂缝产生的风险^[4]。

1.2 配合比设计缺陷

配合比设计不合理是高性能混凝土早期裂缝产生的常见原因。水胶比是影响混凝土性能的关键参数, 水胶比过大时, 混凝土硬化过程中多余水分蒸发会导致体积收缩, 产生干缩裂缝。砂率的选择也至关重要, 砂率过大, 混凝土需水量增加, 水胶比相对增大, 降低混凝土强度和抗裂性; 砂率过小, 混凝土和易性变差, 易出现离析、泌水等问题, 同样不利于裂缝防控。此外, 矿物掺合料的掺量若控制不当, 可能无法充分发挥其改善混凝土微观结构、提高抗裂性能的作用, 甚至可能对混凝土性能产生负面影响^[5]。

1.3 施工工艺不当

施工工艺的不规范是引发高性能混凝土早期裂缝的重要因素。混凝土浇筑过程中, 振捣不密实会使混凝土内部存在空洞和蜂窝等

缺陷,降低混凝土的强度和抗裂性能。浇筑顺序不合理,如分层浇筑时层间间隔时间过长,会导致新老混凝土之间形成薄弱面,增加裂缝产生的可能性。养护措施不到位也是常见问题,在混凝土浇筑完成后,若没有及时进行养护或养护方法不当,如养护时间不足、养护环境湿度不够等,会使混凝土表面水分蒸发过快,产生干缩裂缝。此外,施工过程中的温度变化,如冬季施工时混凝土受冻,内部结构遭到破坏,会产生冻胀裂缝。

2 高性能混凝土早期裂缝防控的技术措施

2.1 原材料选择与质量控制

优质原材料是高性能混凝土早期裂缝防控的基础。水泥应选用低热水泥,这种水泥水化热低,能有效降低混凝土内部的温度应力,减少温度裂缝的产生。同时,要严格控制水泥的细度和安定性,确保水泥质量符合标准要求。骨料的选择要严格把关,粗骨料应选用级配良好、质地坚硬、针片状含量低的石子,以减少混凝土内部的应力集中。细骨料应采用中砂,含泥量应控制在规定的范围内,以保证混凝土的密实性和强度。外加剂的使用要根据混凝土的性能要求和施工条件进行合理选择,通过试验确定最佳掺量,以改善混凝土的工作性能和抗裂性能。例如,添加适量的减水剂可以降低水胶比,提高混凝土的强度和抗裂性;添加膨胀剂可以补偿混凝土的收缩,减少裂缝的产生。

2.2 配合比设计与优化

合理的配合比设计是提高高性能混凝土抗裂性能的关键。在满足混凝土强度和工作性的前提下,应尽量降低水胶比。通过添加高效减水剂,可以在不增加用水量的情况下提高混凝土的流动性,从而降低水胶比。优化砂率,根据骨料的级配和混凝土的工作性要求,通过试验确定最佳的砂率,使混凝土具有良好的密

实性和抗裂性。可以掺入适量的矿物掺合料,如粉煤灰、矿渣粉等,这些矿物掺合料可以填充混凝土内部的孔隙,改善混凝土的微观结构,提高混凝土的抗裂性能。同时,矿物掺合料还可以与水泥水化产物发生二次反应,进一步增强混凝土的强度和耐久性。在配合比设计过程中,还应充分考虑施工环境和施工工艺的要求,确保混凝土在运输、浇筑和养护过程中具有良好的工作性能。

2.3 施工工艺改进与规范

规范的施工工艺是防控高性能混凝土早期裂缝的重要保障。在混凝土浇筑前,要对模板进行清理和湿润,确保模板表面干净、无杂物,以提高混凝土与模板之间的粘结力。浇筑过程中,要采用合理的浇筑方法,确保混凝土浇筑均匀、密实。对于大体积混凝土,可以采用分层分段浇筑的方法,减少混凝土内部的温度梯度。振捣要严格按照操作规程进行,振捣时间、振捣间距要控制得当,避免漏振和过振。漏振会使混凝土内部存在空洞和蜂窝等缺陷,降低混凝土的强度和抗裂性能;过振则会导致混凝土离析、泌水,同样不利于裂缝防控。浇筑完成后,要及时进行养护。养护方法应根据施工环境和混凝土的性能要求选择,如采用覆盖保湿养护、喷水养护等。在高温季节施工时,要采取降温措施,如对骨料进行遮阳、洒水降温,在混凝土中埋设冷却水管等;在冬季施工时,要采取保温措施,如对混凝土表面进行覆盖保温,防止混凝土受冻。

2.4 温度控制与监测

温度变化是导致高性能混凝土早期裂缝产生的重要因素之一,因此需要采取有效的温度控制措施。在混凝土配合比设计时,可以通过调整原材料的种类和掺量来降低混凝土的水化热。例如,增加粉煤灰等矿物掺合料的掺量,可以减少水泥的用量,从而降低水化热。在施工过程中,要合理安排施工时间,避免在

高温时段进行混凝土浇筑。如果必须在高温时段施工，要采取降温措施，如对模板进行洒水降温，降低混凝土的入模温度。在混凝土内部埋设温度传感器，实时监测混凝土内部的温度变化，当温度变化超过规定范围时，及时采取相应的措施进行调整。

3 高性能混凝土早期裂缝防控技术的工程应用

3.1 工程概况

本大型跨江公路桥梁工程作为地区交通网络的关键枢纽，承担着重要的交通流量运输任务。桥梁全线横跨宽阔江面，全长规模可观，其主桥采用连续刚构结构形式，这种结构具有跨越能力大、行车舒适性好等优点，但同时也对施工技术与材料性能提出了极高要求。桥墩作为支撑桥梁上部结构的重要构件，高度惊人，在施工过程中面临着巨大的技术挑战。

该工程所处地区气候条件极为复杂，夏季高温炎热，太阳辐射强烈，最高气温屡创新高。高温环境会加速混凝土中水分的蒸发，导致混凝土表面迅速失水，产生干缩应力，增加裂缝产生的风险。同时，高温还会使混凝土内部水化热积聚，造成内外温差过大，引发温度裂缝。冬季则寒冷干燥，最低气温极低，且昼夜温差较大。这种剧烈的温度变化会使混凝土经历反复的热胀冷缩，产生温度应力，对混凝土的抗裂性能构成严峻考验。鉴于桥梁结构规模宏大、混凝土强度等级高以及复杂的气候条件，对高性能混凝土的抗裂性能要求极为严格，任何细微的裂缝都可能影响桥梁的整体性能和使用寿命，因此必须采取有效的裂缝防控技术措施。

3.2 防控技术应用实践

在原材料选择环节，项目团队经过严格筛选和试验，选用了低热水泥。低热水泥具有水化热低的特性，能够有效降低混凝土在硬化过程中因水化热积聚而产生的温度应力，从源头

上减少温度裂缝的产生几率。同时，对水泥的细度进行了严格控制，确保水泥颗粒分布均匀，水化反应充分，提高混凝土的密实性和强度。骨料方面，选用了质地坚硬、级配良好的优质骨料，严格控制了骨料的含泥量。优质骨料能够为混凝土提供良好的骨架作用，增强混凝土的抗压和抗裂性能，而低含泥量则避免了杂质对混凝土性能的不利影响。

根据工程的具体要求和原材料的实际性能，对混凝土配合比进行了精心优化设计。通过降低水胶比，减少了混凝土内部的孔隙率，提高了混凝土的密实性和强度，从而增强了其抗裂能力。优化砂率，使混凝土具有更好的工作性和和易性，避免了因砂率不当而导致的离析、泌水等问题。此外，还掺入了适量的粉煤灰和矿渣粉等矿物掺合料。这些矿物掺合料不仅能够填充混凝土内部的微小孔隙，改善混凝土的微观结构，还能与水泥水化产物发生二次反应，进一步提高混凝土的强度和耐久性，同时对混凝土的抗裂性能也有显著的改善作用。

在施工工艺方面，采用了分层分段浇筑的方法。这种方法能够有效地控制混凝土的浇筑厚度和浇筑速度，减少混凝土内部的温度梯度，避免因一次性浇筑过厚而产生的温度裂缝。在振捣过程中，施工人员严格按照操作规程进行，严格控制振捣时间和振捣间距，确保混凝土振捣密实，无空洞和蜂窝等缺陷。浇筑完成后，及时对混凝土进行了覆盖保湿养护。在高温时段，采取洒水降温措施，保持混凝土表面的湿润，降低混凝土表面的温度，减少水分蒸发，防止干缩裂缝的产生。

3.3 应用效果评估

通过对该工程高性能混凝土早期裂缝的全面监测发现，采用上述一系列防控技术措施后，桥梁结构的早期裂缝数量呈现出明显减少的趋势。在施工过程中的定期检查以及桥梁建成后的长期监测中，均未发现大量明显的早期裂缝，这与未采用防控技术的类似工程形成了

鲜明对比。在未采用防控技术的工程中，往往在施工初期就会出现较多的裂缝，严重影响桥梁的美观和结构性能。而本工程中，裂缝宽度也得到了有效控制，即使出现少量微小裂缝，其宽度也在允许范围内，不会对桥梁的整体结构安全造成威胁。

与未采用防控技术的类似工程相比，该工程的混凝土抗裂性能有了显著提高。在类似的施工条件和气候环境下，未采用防控技术的工程在建成后不久就出现了因早期裂缝扩展而导致的结构安全隐患，如混凝土剥落、钢筋锈蚀等问题，严重影响了桥梁的使用寿命和安全性。而本工程在桥梁建成后的长期使用过程中，经过多次结构检测和评估，均未出现因早期裂缝导致的结构安全问题。桥梁的各项性能指标均符合设计要求，能够正常、安全地承担交通流量运输任务。

3.4 经验总结与推广价值

本工程在高性能混凝土早期裂缝防控方面的成功实践，积累了丰富的经验。在原材料选择上，要严格把控质量，根据工程需求选择合适的原材料，如低热水泥和优质骨料等，并对其性能指标进行严格控制。在配合比设计方面，要充分考虑各种因素，通过优化水胶比、砂率以及掺入适量的矿物掺合料等措施，提高混凝土的抗裂性能。施工工艺的规范执行至关

重要，分层分段浇筑、合理的振捣以及及时的养护等措施能够有效减少裂缝的产生。

这些经验对于其他公路桥梁工程具有重要的推广价值。在类似的跨江、跨海等大型桥梁工程中，往往面临着复杂的气候条件和较高的结构性能要求，高性能混凝土早期裂缝防控技术能够有效解决裂缝问题，提高桥梁的质量和耐久性。在城市桥梁建设中，由于施工环境复杂、交通流量大，对桥梁的外观和使用性能要求较高，采用本工程的防控技术可以减少裂缝对桥梁美观和使用功能的影响。

4 结束语

高性能混凝土在公路桥梁施工中的早期裂缝防控是一项系统而复杂的工作，需要从原材料选择、配合比设计、施工工艺改进以及温度控制等多个方面入手，采取综合防控措施。通过实际工程案例的应用验证，本文所提出的防控技术能够有效减少高性能混凝土的早期裂缝产生，提高公路桥梁工程的质量和耐久性。然而，随着桥梁建设技术的不断发展和新材料、新工艺的应用，高性能混凝土早期裂缝防控技术仍需不断探索和创新。未来，应进一步加强高性能混凝土性能的研究，优化防控措施，为公路桥梁建设提供更加可靠的技术支持，推动我国交通基础设施建设的可持续发展。

参考文献

- [1]刘文昌. 道路桥梁施工中混凝土裂缝成因及应对举措[J]. 运输经理世界, 2024, (32): 119-121.
- [2]赵新. 道路桥梁施工混凝土裂缝成因及应对措施[J]. 汽车画刊, 2024, (09): 236-238.
- [3]郑彩竹. 道路桥梁施工中混凝土裂缝成因及应对措施[J]. 汽车周刊, 2024, (10): 94-96.
- [4]冯强. 高性能混凝土在高速公路桥梁建设中的应用研究[J]. 中国战略新兴产业(理论版), 2019 (18): 171.
- [5]王艳. 高性能混凝土在道路桥梁施工中的应用分析[J]. 中国战略新兴产业:理论版, 2019(23): 224.