

水利工程混凝土施工裂缝防控技术优化与耐久性提升研究

王坤

淮安市淮安区城区防洪排涝服务所，江苏淮安，223200；

摘要：水利工程混凝土长期承受水压力、温度变化等作用，施工裂缝易成为渗水通道，加剧结构损伤，降低工程耐久性与安全性。传统裂缝防控技术适配性有限，难以全面应对复杂工况。本文先分析混凝土施工裂缝的核心成因，再阐述防控技术优化方向，最后说明防控与耐久性提升的协同路径，为保障水利工程混凝土结构质量提供支撑。

关键词：水利工程；混凝土施工；裂缝防控；技术优化；耐久性提升

DOI：10.64216/3080-1508.26.01.093

引言

水利工程混凝土结构作为抵御水流冲击、承载工程荷载的核心受力构件，其结构完整性与力学性能直接决定工程整体运行效能。在混凝土施工阶段，若未能有效管控，极易产生各类裂缝。此类裂缝一旦形成，便会成为雨水、河水等水体渗透的主要通道，在长期水体浸泡与环境作用下，混凝土内部的钢筋会逐渐发生腐蚀，混凝土本体也会出现风化、剥落等损伤，进而逐步削弱结构整体强度与承载能力。而水利工程的施工环境通常兼具复杂性与特殊性，不仅面临多变的自然环境，还需应对结构受力复杂等挑战，传统单一环节的防控技术难以全面适配这些复杂条件，最终导致裂缝防控效果未能达到预期，无法为水利工程混凝土结构质量提供可靠保障。基于此，对水利工程混凝土施工裂缝防控技术进行系统性优化，同时将裂缝防控与混凝土结构耐久性提升措施进行同步联动，已成为保障水利工程建设质量、延长工程安全运行周期的核心路径。

1 水利工程混凝土施工裂缝的核心成因

1.1 材料与配合比因素

在混凝土施工所涉及的各类影响因素中，原材料性能与配合比设计的合理性，是决定混凝土自身抗裂能力的基础，相关环节存在的问题，会直接为裂缝产生埋下隐患。其一，混凝土原材料性能的稳定性不足，会导致混凝土在搅拌、硬化过程中，不同批次、不同组分的原材料收缩变形程度出现明显差异，这种变形差异会在混凝土内部形成应力集中，进而为裂缝萌发创造条件；其二，混凝土配合比设计缺乏科学性与适配性，例如胶凝材料用量过多或过少、骨料级配未能实现合理搭配等，

都会对混凝土硬化过程中的收缩特性产生不利影响。胶凝材料用量不当会加剧混凝土的干缩与自收缩，骨料级配失衡则会导致混凝土内部密实度不均，二者均会在混凝土内部产生额外的内部应力，当应力超过混凝土自身的抗拉强度时，便会引发内部裂缝；其三，混凝土外加剂的选用与掺量控制不符合工程实际需求，外加剂作为调节混凝土工作性、硬化性能的关键组分，若选用的外加剂类型与混凝土原材料特性不匹配，或是掺量过高、过低，都可能导致混凝土凝结速率出现异常波动，或是混凝土的流动性、保水性等工作性指标下降，这些问题不仅会影响混凝土施工质量，更会降低混凝土的整体抗裂性能，进一步增加裂缝产生的概率。

1.2 施工与工艺因素

施工操作的规范性与工艺参数的合理性，直接决定混凝土能否按照设计要求形成完整、密实的结构，施工环节的疏漏与工艺偏差，是诱发混凝土施工裂缝的直接因素。第一，混凝土浇筑环节存在操作无序问题，例如浇筑顺序混乱、分层浇筑厚度设定过大等，会导致后浇筑的混凝土与先浇筑的混凝土之间，无法实现充分的结合与水化反应，同时混凝土内部的气泡、水分难以有效排出，最终造成混凝土结构内部密实度分布不均，形成抗裂能力较弱的薄弱区域，这些区域在后续硬化或受力过程中，极易成为裂缝率先萌发的部位。第二，混凝土振捣操作不符合规范要求，振捣环节是保障混凝土密实度的关键，若振捣操作不充分，会导致混凝土内部残留大量孔隙与空洞，这些孔隙会削弱混凝土的整体强度与抗裂能力，同时也会成为水分渗透的通道；反之，若振捣过度，又会破坏混凝土中骨料与胶凝材料形成的稳定

体系，导致骨料沉降、浆体上浮，造成混凝土内部组分分布失衡，同样会降低混凝土的抗裂性能，两种不当振捣方式均会增加裂缝产生的风险。第三，混凝土浇筑完成后的养护工作存在滞后性与不规范性，养护的核心作用是维持混凝土硬化过程中所需的水分，减缓水分流失速率，若养护不及时，混凝土表面水分会快速蒸发，导致表面收缩速率远大于内部收缩速率，进而在混凝土表面形成拉应力，引发表面裂缝；若养护方式选择不当，例如养护覆盖不完整、洒水频率不足等，也会导致混凝土水分流失不均，加剧收缩变形差异，进一步扩大裂缝风险。第四，混凝土模板拆除时机选择不合理，模板的核心作用是为硬化初期的混凝土提供支撑，抵御混凝土自身重量与施工过程中的临时荷载，若模板拆除过早，此时混凝土强度尚未达到设计要求的标准强度，无法承受自身重量与外部荷载的作用，会在混凝土结构内部产生超出其抗拉强度的应力，最终引发结构裂缝，这类裂缝往往深度较大，对混凝土结构的损伤更为严重。

1.3 环境与受力因素

水利工程施工多在户外开展，易受自然环境变化影响，同时混凝土结构在施工阶段需承受各类临时受力，环境因素与受力因素的叠加，会进一步加剧裂缝产生的风险，成为诱发混凝土施工裂缝的重要外部条件。一方面，水利工程施工环境具有显著的复杂性，自然环境温度的骤升骤降是常见问题，当温度发生剧烈变化时，混凝土结构的表面与内部会形成明显的温差，表面温度变化速率远快于内部，导致表面与内部的收缩或膨胀程度出现差异，这种温差效应会在混凝土内部产生温度应力。当温度应力超过混凝土在该龄期的抗拉强度时，混凝土结构便会出现温度裂缝，这类裂缝多以表面裂缝为主，若未能及时处理，会随着环境温度的反复变化而逐渐向内部扩展；此外，在混凝土浇筑、养护期间，若遭遇雨水、大风等恶劣天气，且未采取有效的防护措施，雨水会直接冲刷未硬化的混凝土表面，破坏混凝土表面的浆体结构，同时稀释混凝土内部组分，影响混凝土的凝结硬化效果与强度发展；大风则会加速混凝土表面水分的蒸发，加剧混凝土的干缩变形，两种情况均会显著增加裂缝产生的可能性。另一方面，在水利工程混凝土结构施工完成后、正式投入运行前的过渡阶段，结构需承受各类临时受力，若临时受力分配不均，也会诱发混凝土早期裂缝。例如，在混凝土结构表面堆放的施工材料、

设备等堆载过高，超出了混凝土此时的承载能力；或是结构支撑体系设置不足、支撑点位布置不合理，导致结构受力集中，这些情况都会在混凝土内部产生局部应力过载，当应力超过混凝土早期抗拉强度时，便会导致混凝土出现早期受力裂缝，这类裂缝对结构的承载能力影响较大，若处理不当，会在工程运行后进一步扩展。

2 水利工程混凝土施工裂缝防控技术优化方向

2.1 材料与配合比优化

材料与配合比优化是提升混凝土自身抗裂能力的核心，需从原材料筛选、配合比设计、外加剂管控三个关键环节入手，为混凝土构建坚实的抗裂基础，从源头降低裂缝产生的可能性。首先，严格开展混凝土原材料的筛选与质量管控，优先选用性能稳定、质量达标且符合水利工程需求的原材料，对骨料、胶凝材料等核心原材料的关键指标进行严格检测，重点控制骨料中的杂质含量与含水率，避免杂质影响混凝土的强度与抗裂性能，同时通过精准管控含水率，确保混凝土配合比的实际执行与设计方案保持一致，避免因含水率波动导致混凝土性能偏差。其次，开展科学的混凝土配合比设计，以“提升抗裂性能、适配工程需求”为核心目标，对胶凝材料用量与骨料级配进行优化平衡。在胶凝材料用量设定上，需综合考量混凝土的强度需求与收缩特性，避免单纯追求强度而过量使用胶凝材料，同时也需防止用量不足导致强度不达标；在骨料级配设计上，需通过试验确定最优级配方案，确保骨料能够实现紧密堆积，提升混凝土内部密实度，进而减少混凝土硬化过程中的收缩变形，从根本上提升混凝土的抗裂能力。最后，针对水利工程的施工环境与具体工况，开展混凝土外加剂的精准选用与掺量管控。在外加剂类型选择上，需结合混凝土原材料特性、施工气候条件及工程对混凝土工作性的要求，筛选出适配性强的外加剂类型；在外加剂掺量控制上，需通过室内试验确定最优掺量范围，严格按照试验确定的掺量进行计量添加，避免掺量不当导致混凝土凝结速率异常、工作性下降等问题，确保外加剂能够充分发挥调节作用，进一步提升混凝土的工作性与抗裂性能，实现与水利工程施工需求的精准适配。

2.2 施工工艺与操作优化

施工工艺与操作优化是保障混凝土施工质量、防控裂缝产生的关键环节，需围绕混凝土浇筑、振捣、养护、

模板拆除四个核心施工步骤，制定规范的操作流程与工艺参数，通过强化过程管控，确保混凝土施工全流程符合质量要求，减少因操作不当诱发的裂缝。第一，明确混凝土浇筑环节的合理工艺顺序与参数，以“保障混凝土密实度、减少施工缝”为原则，制定清晰的浇筑顺序方案，避免因浇筑顺序混乱导致混凝土结合不良；采用分层浇筑、连续作业的施工方式，严格控制每一层混凝土的浇筑厚度，确保分层厚度与振捣设备的有效振捣深度相适配，既能够保证振捣操作充分覆盖，又能避免分层过厚导致混凝土内部密实度不均，为后续振捣环节奠定良好基础。第二，规范混凝土振捣操作流程，明确振捣设备的选型、振捣频率与振捣时间，确保振捣操作既充分又适度。根据混凝土的坍落度、骨料粒径等特性，选择适配的振捣设备类型；在振捣过程中，严格控制振捣点的布置间距与振捣时间，确保振捣设备能够覆盖混凝土浇筑区域的每一个部位，避免出现漏振区域；同时严格把控振捣时长，防止因振捣时间过短导致混凝土密实度不足，或是振捣时间过长引发骨料沉降、浆体上浮，通过规范振捣，保障混凝土内部密实、组分均匀，提升混凝土抗裂能力。第三，强化混凝土浇筑后的养护管理，建立“及时启动、按需调整”的养护机制，确保养护工作的时效性与适配性。混凝土浇筑完成并达到初凝状态后，及时启动养护工作，采用覆盖保湿材料、洒水养护等方式，为混凝土硬化过程提供稳定的水分环境，防止混凝土表面水分快速流失；同时根据施工现场的环境温度、湿度变化，动态调整养护时长与养护方式，例如在高温、大风天气，适当延长养护时长、增加洒水频率，在低温天气则采取保温养护措施，避免温度过低影响混凝土水化反应，通过科学养护，减缓混凝土收缩速率，减少表面裂缝与内部裂缝的产生。第四，严格把控混凝土模板拆除的时间节点，以混凝土实际强度检测结果为核心依据，杜绝过早拆除模板的行为。在模板拆除前，需按照规范要求抽取混凝土试块，通过标准养护与强度检测，确定混凝土实际达到的强度值；只有当混凝土实际强度达到设计要求的拆模强度标准，且满足相关规范规定的龄期要求时，方可启动模板拆除工作，避免因混凝土强度未达标，无法承受自身重量与外部荷载，进而引发结构裂缝，确保混凝土结构在初期受力阶段的稳定性与安全性。

2.3 环境与受力管控优化

施工前要判断环境发生的变化。遇到温度突然变化，要做保温或降温处理，缩小混凝土内外的温度差。遇到恶劣天气，要给浇筑好的混凝土盖好防护物，防止雨水冲走、大风把水分吹走等问题。要合理安排施工时的荷载，做好支撑。不要让混凝土在早期承受太大的力，减少因为受力产生的裂缝。

3 裂缝防控与混凝土耐久性提升协同路径

3.1 以裂缝防控筑牢耐久性基础

通过优化技术，减少施工时的裂缝。这样能挡住水渗进去的路，降低外面的水和有害物质进到混凝土里面的风险。通过技术优化减少施工裂缝，阻断渗水通道，从源头减少钢筋锈蚀、混凝土风化，降低有害介质侵入风险，为提升混凝土耐久性奠定良好基础。

3.2 联动耐久性措施强化防控效果

在做好裂缝防控的同时，还要一起采取提高耐久性的办法。比如在混凝土表面涂抗渗的防护层，增强防水能力；优化混凝土配合比，合理掺入抗冻、抗腐蚀功能组分，改善混凝土内部结构与界面性能，提升其在低温、侵蚀性水环境下的耐受能力，适配水利工程长期临水运行的工况需求；定期检查混凝土结构，定期开展混凝土结构裂缝专项检测，精准识别微小裂缝的位置、长度与深度，明确修补优先级与技术要求，选用适配的修补材料与工艺及时处置，有效抑制裂缝扩展，防止微小裂缝发展为深度大、危害严重的结构性裂缝。这些办法既能提高混凝土的耐久性，又能进一步不让裂缝扩大。

4 结语

水利工程混凝土施工裂缝防控与耐久性提升密不可分，需先明确裂缝核心成因，再从材料、施工、环境维度优化防控技术，最后通过二者协同，筑牢混凝土结构质量防线，保障水利工程长期安全、稳定运行。

参考文献

- [1] 高瑞. 基于高性能混凝土水利堤坝结构的耐久性分析[J]. 水泥, 2025, (02): 99-101.
- [2] 钱文勋, 陆岸典, 何调林, 等. 滨海复杂环境下深埋输水混凝土耐久性提升技术[M]. 南京东南大学出版社: 202301. 193.