

水利工程中混凝土裂缝防治技术分析

梁泽坤

新疆北方建设集团有限公司 新疆 胡杨河 834034

【摘要】：水利工程中混凝土裂缝多由温度梯度、收缩变形及外荷载叠加引起，既削弱结构整体性，又影响耐久性能。为提升工程安全性，裂缝防治需在材料、施工与结构设计多维度协同控制。通过分析水化热控制、骨料级配优化与外加剂调配规律，可降低早期温度应力；结合分层浇筑、保温保湿及合理振捣，可减少收缩开裂风险；配合应力释放缝设置与刚度过渡设计，可减轻约束应力集中。综合运用这些措施，可显著提升混凝土抗裂性能，为水利工程长期稳定运行提供可靠保障。

【关键词】：混凝土裂缝；水利工程；温控措施；收缩控制；结构抗裂

DOI:10.12417/2811-0536.26.02.027

引言

水利工程对结构完整性的依赖极高，而混凝土裂缝往往在早期即以隐蔽形式出现，并在运行过程中不断扩展，最终影响安全储水、行洪及调节能力。裂缝的形成受材料特性、环境温度变化与施工节奏共同驱动，使其呈现突发性与累积性并存的特点。为在工程初期即降低风险，需要从裂缝产生的关键机理着手，通过材料调控、施工节律优化与结构细部设计的综合介入，实现对裂缝的主动抑制。对这些技术路径的系统分析，有助于形成具有针对性的防治体系，为后续工程实践奠定坚实基础。

1 水利工程中混凝土裂缝形成的关键影响因素分析

水利工程中混凝土裂缝的形成往往源于多种因素的共同驱动，其中温度效应在大体积结构中尤为突出。水化热集中释放使内部温度迅速上升，而外部散热条件受浇筑环境、结构尺寸与保温措施影响，导致内部与表层之间出现明显温差。当温度梯度引起的拉应力超过早期混凝土的抗拉能力时，裂缝便易在弱界面或应力集中区出现。若施工期间昼夜温差较大或气象条件突变，温度循环加剧结构收缩与膨胀的不均匀性，使裂缝风险进一步累积。此外，大坝、闸墩等具有约束强度高、散热慢的特点，在未进行合理温控时，裂缝往往呈现隐蔽性强、延伸路径复杂等特征。

材料性能的不稳定也是裂缝形成的重要驱动力。水泥矿物成分决定水化放热速率，而用量偏高会增强收缩敏感性；骨料级配不合理会增加浆体用量，使体积变化更加显著；外加剂掺量若控制不当，会在硬化过程中产生附加变形。结合水利工程通常存在大体积、

长龄期服役与暴露环境复杂等特点，混凝土在干湿交替、冻融影响或氯盐侵蚀条件下会产生累积性损伤。内部微裂纹在长期荷载、温度循环及渗流压力作用下逐渐扩展，使早期未显现的隐性缺陷最终发展为可见裂缝，削弱结构整体性与耐久性能。

施工组织方式与结构受力条件的综合影响不可忽视。浇筑节奏与层间间隔决定了材料的衔接状态，若前层已初凝而后层入仓，界面处易形成弱结合带并成为裂缝萌生点。振捣不足会在内部保留气穴，导致应力路径紊乱；养护措施不足会使表层迅速失水而产生塑性收缩裂缝。结构设计方面，刚度突变部位、约束边界强烈的区域或受力集中区常成为裂缝最易出现的部位。水工结构中典型的闸墙连接部、消力池底板转折处，以及高坝坝踵和坝趾位置，若未设置合理的伸缩缝或诱导缝，内部拉应力无法释放，出现裂缝的概率显著提升。综合来看，温度、材料、施工和结构共同构成了裂缝生成的关键链条。

2 综合材料与施工技术协同作用的混凝土裂缝防治路径

材料与施工过程的协同控制在混凝土裂缝防治中扮演核心角色，尤其在水利工程大体积结构中更显关键。材料层面需要通过矿物掺合料的优化减少水化放热峰值，使内部温升更加平缓；低水胶比与连续级配骨料的搭配能够降低浆体收缩变形，从源头减少体积不稳定性。外加剂体系的选择需兼顾流动性、凝结时间与早期强度增长速率，使混凝土在施工阶段具备良好的可操作性，又能在硬化初期形成足够抗拉能力。针对水利工程暴露在水流冲刷、温湿波动频繁等环境

特征,耐磨性与抗渗性强的材料配制方式可增强结构表层的抗裂能力,使外界应力难以在微观缺陷周围产生扩展条件。

施工阶段的控制措施对裂缝防治具有直接影响。混凝土浇筑时保持稳定的供料节奏与层厚,可使温度场与应力场更均匀;合理设置传热间隔与浇筑顺序,能够避免局部温升过大导致的拉应力集中。振捣工艺需要保持均匀、适度,以排除气穴并确保骨料嵌挤密实,提升整体结构的抗裂能力。入仓温度控制也是关键,通过降低拌合物温度并加强浇筑现场的环境调节,可有效减弱温度梯度带来的不利影响。在硬化过程中加强保湿覆盖与持续供水,可使表层失水速度可控,避免塑性收缩裂缝的出现。对于处于干湿循环影响明显的部位,适当延长养护周期有助于提高表层密实度,使裂缝萌生条件被进一步抑制。

结构细部处理与施工工艺的融合能够在局部区域形成必要的应力释放通道。诱导缝、伸缩缝与分缝带的设置使混凝土在温度变形和收缩阶段具备合理的变形空间,减少约束应力集中的可能。大坝、闸墩和防渗墙等结构常出现刚度突变或受力复杂部位,在这些区域应用钢筋构造优化、局部增强层或纤维混凝土可有效提升抗裂能力。对浇筑块段实施差异化温控措施,例如在侧墙区域布置冷却水管或采用分区保温策略,有助于进一步控制热量积聚。此外,通过建立基于监测数据的温度与应力反馈机制,可在施工过程中及时调整工艺参数,使材料性能与施工措施形成动态匹配,从而构建更具韧性的裂缝防治体系。

3 基于结构安全性的混凝土裂缝防治策略体系构建

基于结构安全性的裂缝防治体系需从受力特征、变形协调与耐久性能等方面进行统筹,以保证混凝土在长期服役状态下维持稳定的力学性能。水利工程结构通常承担水压力、渗流压力与温度荷载的共同作用,在不同运行工况中呈现复杂的应力分布。通过建立准确的结构受力模型,可识别容易产生拉应力集中的区域,并在设计阶段采取刚度过渡、界面缓冲与受力路

径优化等措施,使结构在变形过程中具备更高的应力调节能力。对于跨度较大或荷载突变位置,采用增强带、局部配筋加密或高韧性材料,可提高弱部位的抗拉储备,从而减少裂缝萌生风险。

在结构构造层面,通过合理设置变形缝、沉降缝与诱导缝,使混凝土在温度变化及收缩阶段获得必要的释放空间,避免约束导致的拉应力集中。对于大坝、消能设施、闸室等构件,常在关键部位配置止水结构与柔性连接构造,以减弱界面附加力的影响。对大体积混凝土则可结合内部冷却系统与分区调控策略,使温度梯度保持在安全范围内。结构外部的防护层体系同样重要,通过表面涂层、抗蚀外包层或复合防水体系,可减少侵蚀介质对裂缝扩展的推动作用,使裂缝在萌生阶段受到抑制。

在施工与运行阶段,通过监测技术构建动态化的安全控制体系,可使裂缝防治措施具备持续有效性。基于温度、湿度、应变与渗流数据的监测网络能够实时反映结构内部应力与变形状况,为工况调整提供依据。在测得不利趋势时,通过改变浇筑节奏、调整保温方式或优化冷却参数,可使结构始终处于受控状态。运行期的监测重点在于裂缝宽度变化、渗流路径与应力场演化,通过数据分析可识别潜在扩展风险。将这些信息与材料性能、施工工艺及结构构造措施相结合,可形成完整的裂缝防治策略体系,使水利工程在复杂环境中保持稳定的结构安全性。

4 结语

水利工程中混凝土裂缝的防治需要材料、施工与结构多维度的协同控制。裂缝的形成具有阶段性与累积性,不仅受温度效应驱动,也受到材料性能、施工节奏和受力条件的共同影响。构建以结构安全性为核心的防治体系,可使裂缝在萌生与扩展阶段得到有效约束。依托科学的温控设计、合理的构造措施和实时监测手段,工程结构能够在复杂环境作用下保持稳定性能,为水利工程的长期运行提供可靠保障。

参考文献:

- [1] 王建中.大体积混凝土温度控制与裂缝防治研究[J].水利水电技术,2020,51(4):112-118.
- [2] 赵志成.水工混凝土结构裂缝形成机理及控制措施[J].水利工程学报,2022,50(2):85-92.
- [3] 陈国林.水利工程混凝土耐久性影响因素与防护技术[J].水资源与水工程学报,2021,32(3):97-104.