

水利工程施工中混凝土裂缝成因及控制措施

何利明

普洱市润普工程质量检测有限公司, 云南普洱, 665000;

摘要: 混凝土结构是水利工程的核心组成部分, 裂缝作为施工过程中最为常见的质量隐患, 直接威胁工程结构安全与长期耐久性。本文结合水利工程施工实际, 梳理混凝土裂缝的基本类型与特征, 重点分析材料、施工、设计、环境四大因素导致裂缝产生的具体机理, 针对性提出材料、施工、设计、环境层面的控制措施及裂缝后期处理方法, 为水利工程施工中混凝土裂缝的防控提供实践参考, 保障工程长期稳定运行。

关键词: 水利工程; 混凝土裂缝; 成因分析; 控制措施; 结构耐久性

DOI: 10.69979/3060-8767.26.05.047

引言

水利工程作为国民经济基础设施的重要组成部分, 承担着防洪、灌溉、供水、发电等多重核心职能, 其施工质量直接关系到人民群众生命财产安全与社会经济稳定发展。混凝土凭借强度高、可塑性强、耐久性好、成本可控等优势, 成为水利工程施工中应用最广泛的建筑材料, 广泛用于大坝、水闸、渡槽等关键结构。但混凝土固有的脆性特征与多孔结构, 使其在施工及后续服役过程中易受各类因素影响产生裂缝, 这类裂缝不仅破坏混凝土结构的完整性, 还会为水分、有害离子提供渗透通道, 加速钢筋锈蚀、混凝土碳化等劣化过程, 削弱结构承载力, 缩短工程使用寿命, 增加后期维修成本。因此, 深入分析水利工程施工中混凝土裂缝的成因, 制定科学合理的控制措施, 有效防控裂缝产生与扩展, 对提升水利工程施工质量、保障工程结构安全与耐久性具有重要的现实意义。

1 混凝土裂缝的基本类型与特征

1.1 混凝土裂缝的分类方法

混凝土裂缝的分类需结合水利工程施工特点与结构受力状态, 遵循维度清晰、特征明确、贴合工程实际的原则, 常见分类维度包括形成原因、形态特征、形成时间及危害程度。其中按形成原因分类是工程实践中应用最广泛的方式, 可直接关联裂缝形成的核心诱因, 便于施工人员精准排查问题、制定防控措施; 按形态特征分类能直观反映裂缝的外观表现, 为裂缝成因判断提供直观依据; 按形成时间分类可区分裂缝的发展阶段, 为后期处理方案的选择提供参考, 不同分类方法相互补充, 共同构成完整的裂缝分类体系。

1.2 常见裂缝类型及其形态特征

水利工程施工中常见的混凝土裂缝主要分为温度裂缝、收缩裂缝、荷载裂缝三类。温度裂缝多呈不规则线性分布, 部分可发展为贯通性裂缝, 宽度多在0.2-0.8mm之间, 深度随内外温差大小变化, 多出现于大体积混凝土浇筑部位, 走向多垂直于温度梯度方向。收缩裂缝分为塑性收缩裂缝与干燥收缩裂缝, 塑性收缩裂缝多为平行或放射状, 宽度0.1-0.3mm, 深度较浅, 多出现于混凝土浇筑表层; 干燥收缩裂缝多为表面网状或线性裂缝, 深度10-30mm, 宽度0.1-0.5mm, 走向多平行于构件表面。荷载裂缝多呈线性分布, 走向与受力方向一致, 部分为贯通性裂缝, 宽度随荷载大小波动, 多出现于结构受力集中部位。

1.3 裂缝对水利工程结构安全与耐久性的影响

裂缝对水利工程混凝土结构的危害具有渐进性与传导性, 首先会破坏混凝土结构的密实性与整体性, 削弱结构抗拉、抗剪能力, 当裂缝扩展至一定程度, 会改变结构受力分布, 加剧局部应力集中, 可能引发结构变形、位移, 严重时甚至导致结构失稳。同时, 裂缝会形成有害介质渗透通道, 水分、氯离子、硫酸盐离子等会通过裂缝渗入结构内部, 加速钢筋锈蚀, 钢筋锈蚀后体积膨胀, 会进一步撑裂周围混凝土, 形成恶性循环; 有害介质还会破坏水泥石结构, 加速混凝土碳化, 降低混凝土碱性环境, 削弱结构耐久性, 缩短工程使用寿命, 增加后期维修加固成本, 甚至影响水利工程防洪、输水等核心功能的正常发挥。

2 水利工程施工中混凝土裂缝成因分析

2.1 材料因素导致的裂缝成因

材料质量及配合比合理性是引发裂缝的核心内在因素, 直接决定混凝土抗裂性能。水泥品种选择不当, 若选用水化热过高的类型, 会使混凝土浇筑后内部温度

快速升高,与表面形成较大温差,引发温度应力进而产生裂缝;骨料级配不良、含泥量过高,会削弱与水泥浆体的粘结力,增加混凝土收缩量,同时降低整体强度;外加剂选型与水泥相容性差或掺量不当,会导致混凝土凝结异常、收缩量增大,诱发早期裂缝;配合比失衡,水泥用量过多、水灰比过大,会加剧水化热释放及收缩变形,进一步提升裂缝产生概率。

2.2 施工因素导致的裂缝成因

施工操作规范性是影响裂缝产生的最直接因素,多数裂缝均与施工不当相关。混凝土搅拌时配合比控制不严、搅拌不均匀,会导致和易性不佳,浇筑后密实度不均,形成局部薄弱环节;浇筑作业时分层过厚、顺序混乱,会造成内部散热不均,振捣不密实会留存空隙,过度振捣则导致骨料下沉、水泥浆上浮,均会削弱结构整体性;养护不到位是施工中最常见的问题,浇筑后未及时覆盖保湿,表面水分快速蒸发产生干缩裂缝,养护时间不足、方式不当,会导致混凝土强度增长缓慢,无法抵御温度及收缩应力;模板拆除过早,混凝土未达到规定强度,无法承受自身重量及施工荷载,易产生弯曲或剪切裂缝。

2.3 设计因素导致的裂缝成因

设计疏漏会为裂缝产生埋下先天隐患,脱离工程实际的设计难以适应施工及运行需求。结构断面设计不合理,存在断面突变、厚度不均的情况,会导致施工中应力集中,局部受力过大引发裂缝;钢筋配置不足、间距过大或保护层厚度不当,无法有效约束混凝土收缩、分散应力,易在钢筋周围形成裂缝;抗裂设计考虑不周,未结合工程环境特点应对温度、收缩应力,导致结构抗裂能力不足;设计方案过于理想化,未充分考虑施工可行性,被迫调整工艺后易诱发裂缝。

2.4 环境因素导致的裂缝成因

水利工程多处于露天环境,环境波动直接诱发裂缝且影响持续。温度变化是主要诱因,昼夜温差过大、夏季高温、冬季严寒,会使混凝土反复热胀冷缩,内外温差超过限值时,温度应力会突破混凝土抗拉强度产生裂缝;湿度骤升骤降会加速表面水分蒸发,引发干缩裂缝,长期高湿度环境会加速表面风化,降低抗裂性能;强风、暴雨等恶劣天气会直接影响施工质量,强风加速水分蒸发,暴雨冲刷未凝结混凝土表面,均会诱发裂缝。

3 水利工程施工中混凝土裂缝控制措施

3.1 材料层面的控制措施

材料层面的控制是预防混凝土裂缝的基础,需严格控制材料质量与配合比设计。选用水泥时,结合水利工程施工需求与环境条件,优先选用低热、安定性合格的水泥,避免选用标号过高、水化热过大的水泥,降低温度裂缝产生的风险;进场水泥需进行严格检验,不合格水泥严禁投入使用。优化骨料选择与级配,选用强度高、杂质少、级配连续合理的骨料,控制骨料粒径与含泥量,避免使用含有活性成分的骨料,提高混凝土密实度与抗拉强度,减少收缩裂缝;骨料进场后需进行清洗、筛分处理,确保质量达标。合理使用外加剂,根据混凝土性能需求选择适配的外加剂品种,严格控制外加剂掺量,避免掺量过高或过低影响混凝土性能;使用前需进行外加剂与水泥的适应性试验,确保二者适配,改善混凝土和易性与抗裂性能,减少裂缝产生。优化混凝土配合比,根据工程需求合理控制水胶比,减少用水量,降低混凝土干燥收缩量;适当增加骨料用量,减少水泥用量,降低水化热产生量,平衡混凝土强度与抗裂性能,确保配合比符合水利工程施工质量要求。

3.2 施工层面的控制措施

施工层面的控制是预防混凝土裂缝的关键,需规范各施工环节操作,强化施工过程管控。搅拌环节,严格按照配合比精准控制各原材料用量,规范投料顺序,延长搅拌时间,确保水泥、骨料、外加剂、水混合均匀,避免混凝土内部结构不均;控制搅拌速度,防止骨料破碎,保证混凝土和易性。运输环节,合理规划运输路线,缩短运输时间,避免混凝土长时间存放导致离析、泌水;运输车辆需采取保温、保湿措施,夏季防晒、冬季防冻,防止混凝土温度变化过大或表面失水过快;运输过程中避免剧烈颠簸,确保混凝土性能稳定。浇筑环节,控制浇筑速度与浇筑顺序,遵循分层浇筑、分层振捣的原则,浇筑高度控制在合理范围,避免混凝土离析;浇筑过程中及时排出内部气泡,确保混凝土密实度;相邻层浇筑间隔控制在混凝土初凝前,避免产生冷缝,冷缝处需按规范进行凿毛、清理处理,铺设水泥浆增强粘结力。振捣环节,选用合适型号的振捣棒,控制振捣强度与振捣时间,振捣至混凝土表面泛浆、无气泡冒出即可,避免振捣不密实或过度振捣;振捣棒插入深度与移动速度需规范,确保振捣均匀,无漏振、欠振、过振现象。养护环节,混凝土浇筑完成后及时覆盖保湿材料,夏季高温时增加洒水次数,冬季采取保温防冻措施,避免混凝土表面温度骤升骤降;延长养护时间,确保混凝土强度稳步发展,充分释放收缩应力,减少收缩裂缝与温度裂缝产生;根据环境湿度调整养护方式,保持混凝土表面持

续湿润，避免干湿交替。

3.3 设计层面的优化措施

优化设计方案可从源头减少裂缝隐患，需结合水利工程施工实际与服役环境，完善设计细节。优化结构断面设计，合理确定断面尺寸，避免断面过大或过小导致的应力集中与热量散发不均；对薄壁结构适当增加厚度，减少收缩约束，降低收缩裂缝产生风险。优化钢筋配置，根据结构受力情况合理确定钢筋数量、间距与布置位置，增强混凝土结构抗拉能力，有效抵抗收缩应力与温度应力；严格控制钢筋保护层厚度，防止钢筋锈蚀引发裂缝；合理规划钢筋绑扎密度，避免过密影响混凝土浇筑与振捣。完善抗裂设计，充分考虑施工过程中的温度变化、湿度波动等环境因素，合理设置伸缩缝、沉降缝，释放混凝土收缩与沉降应力，避免应力累积引发裂缝；结合工程服役环境，选择合适的混凝土强度等级与配合比，确保混凝土抗裂性能与工程需求匹配；对大体积混凝土结构，设计针对性的温控方案，提前规划降温措施，减少内外温差。

3.4 环境层面的调控措施

环境层面的调控需结合施工环境特点，采取针对性措施，减少环境因素对混凝土的不利影响。加强温度调控，露天施工时，夏季高温时段避免正午浇筑，采取遮阳措施降低混凝土浇筑温度；大体积混凝土浇筑后，采取覆盖保温材料、埋设冷却水管等措施，控制内部与表面温差，减少温度应力；昼夜温差较大时，及时覆盖保温材料，减缓混凝土表面降温速度，避免温差过大引发裂缝；季节交替气温骤变时，暂停露天浇筑作业，或采取针对性的保温、降温措施。控制湿度波动，施工过程中监测空气湿度，空气湿度过低时，采取洒水、喷雾等措施增加环境湿度，减缓混凝土表面水分蒸发速度；避免在暴雨、强风天气进行露天浇筑，暴雨天气需及时覆盖未初凝的混凝土，防止表面被冲刷，强风天气需采取防风措施，减少表面水分蒸发引发的风蚀开裂。对存在腐蚀性介质的施工区域，采取隔离、防护措施，防止腐蚀性介质渗透进入混凝土内部，避免化学反应引发裂缝。

3.5 裂缝的后期处理措施

裂缝产生后需及时进行处理，避免裂缝进一步扩展，根据裂缝宽度、深度与危害程度，选择合适的处理方法。对宽度较小、深度较浅的细微裂缝，可采用表面修补法，清理裂缝表面灰尘、杂物，涂抹修补砂浆、环氧砂浆等

材料，封闭裂缝表面，防止有害介质渗透，阻止裂缝扩展。对宽度较大、深度较深但未贯通的裂缝，采用灌浆封堵法，先通过检测确定裂缝深度、走向及分布范围，选用适配的灌浆材料，采用低压慢注方式，将灌浆材料注入裂缝内部，填满裂缝空隙，增强混凝土结构整体性与密实度，恢复结构抗渗、抗拉能力；水泥基灌浆材料适用于宽度大于0.2mm的裂缝，环氧类灌浆材料适用于细微裂缝封堵。对贯通性裂缝或危害较大的裂缝，采用加固处理法，在裂缝两侧增设钢筋、钢板等加固构件，增强混凝土结构承载力，限制裂缝进一步扩展，确保结构安全；处理完成后，需对处理部位进行养护，确保处理效果，定期监测裂缝变化情况，防止裂缝再次产生。

4 结论

水利工程施工中混凝土裂缝的产生是材料、施工、设计、环境多因素共同作用的结果，其中施工因素与材料因素是导致裂缝产生的主要原因，裂缝的存在会严重影响水利工程结构安全与耐久性，制约工程长期稳定运行。控制混凝土裂缝需坚持“预防为主、防治结合”的原则，从材料、施工、设计、环境四个层面采取针对性控制措施，严格控制材料质量，规范施工各环节操作，优化设计方案，调控施工环境，减少裂缝产生的诱因；对已产生的裂缝，需根据其具体情况选择合适的后期处理方法，及时封堵、加固，阻止裂缝扩展。通过多层次、全方位的防控措施，可有效降低混凝土裂缝的产生概率，提升水利工程施工质量，保障工程结构安全与耐久性，延长工程使用寿命，为水利工程长期稳定发挥核心职能提供有力保障。

参考文献

- [1]程叶嘉,黄志华.水利工程闸站重要结构物混凝土裂缝控制研究[J].中国设备工程,2026,(02):207-209.
- [2]李佳璇.水利建筑施工中大体积混凝土裂缝防治技术分析[J].住宅与房地产,2026,(02):122-124.
- [3]朱必飞.水利工程施工中混凝土温控与裂缝控制技术[J].中国科技论文在线精品论文,2025,18(04):219-221.
- [4]陆虎.水利工程混凝土裂缝防治处理策略[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(35):205-207.
- [5]娄军委,郑建花.水利工程混凝土施工裂缝成因分析与智能温控防裂技术[J].智慧中国,2025,(11):53-54.