水利工程混凝土施工裂缝成因与防治措施探讨

亓孝国　孙昭煦
内蒙古辽河工程局股份有限公司　内蒙古　赤峰　024000

摘　要：水利工程混凝土施工中裂缝问题，始终是影响工程耐久性与结构安全性的关键制约因素。本文围绕结构性裂缝、非结构性裂缝、温度裂缝及收缩裂缝四种基本类型展开梳理，从材料配比、施工工艺、养护环境及结构设计四个维度剖析裂缝产生的深层诱因。在此基础上，提出涵盖原材料优选、全过程工艺管控、科学化养护及前期结构优化的前置防控方案，并针对不同深度裂缝给出相应的修补处理技术路径，为水工混凝土施工质量控制提供系统参考。

关键词：水利工程；混凝土施工；裂缝成因；防治措施；修补技术

引言：混凝土作为水利工程建设中用量最大的结构材料，其施工质量直接关系到坝体、闸室、挡墙等核心构筑物的运行安全与使用寿命。然而受水化热效应、干缩变形、外部荷载及施工操作等多重因素耦合作用，混凝土结构在浇筑成型后极易产生各类裂缝，进而削弱结构整体性能。深入分析裂缝的类型特征与形成机理，构建从源头预防到既有裂缝修补的全链条管控体系，已成为当前水利施工领域亟待解决的技术课题。

1 水利工程混凝土施工裂缝基本类型

1.1 结构性裂缝

结构性裂缝依托混凝土主体结构受力状态产生，多出现于水利工程承重构件与整体受力结构部位。这类裂缝的产生与结构自身承载状态、受力分布状态直接相关，大多起源于结构内部应力集中区域，会顺着构件受力方向逐步延展分布。混凝土结构在自身自重、外部荷载、地基形变的持续作用下，内部结构应力超出材料自身抗拉极限，便会产生持续性的结构开裂现象。裂缝形态多呈现规则性走势，深度能够贯穿混凝土表层，延伸至结构内部基体，破坏混凝土结构整体完整性与受力稳定性，常见于坝体、闸墩、水工挡墙等核心承重施工部位。

1.2 非结构性裂缝

非结构性裂缝不关联主体结构受力变化，仅由施工操作、材料特性、环境变化等外在因素引发，属于施工阶段常见的表层裂缝类型[1]。这类裂缝仅作用于混凝土表层区域，不会深入结构内部，对水工结构整体承载能力不会产生破坏作用。裂缝分布形态杂乱无固定规律，多表现为细微浅表纹路，宽度与深度数值较小。混凝土成型阶段表层材质变化、养护操作偏差、表层水分散失不均等，都会催生非结构性裂缝，普遍出现在水工混凝土外露板面、侧壁表层等施工区域。

1.3 温度作用诱发裂缝

温度裂缝产生于混凝土浇筑成型后的温度形变差异，大体积水工混凝土施工中出现频次较高。混凝土水化反应过程中会持续释放内部热量，造成结构内部温度升高，结构表层与外部环境接触，温度下降速度更快，内外区域形成明显温度差值。温度差值会引发混凝土内部与表层产生差异化的热胀冷缩形变，结构内部产生约束性温度应力。当应力累积至超出混凝土抗拉承受能力，结构表层及内部就会产生温度型裂缝。裂缝走势多贴合温度梯度分布特征，多集中出现在混凝土浇筑初期的固化阶段。

1.4 收缩作用诱发裂缝

收缩裂缝由混凝土固化过程中体积收缩形变引发，是水利混凝土施工中最普遍的裂缝类型。混凝土拌合成型后，内部自由水分持续散失，胶体材料逐步固化收缩，骨料骨架形成刚性约束，限制整体收缩形变。表层混凝土水分散失速度更快，收缩形变程度大于内部结构，内外收缩形变差异产生收缩应力。应力无法均匀释放时，混凝土表层就会产生开裂现象。这类裂缝多分布在混凝土大面积平整施工区域，纹路细密且分布范围较广，成型后期的干燥环境会持续加剧收缩形变，扩大裂缝分布范围与开裂程度。

2 水利工程混凝土施工裂缝主要成因

2.1 材料配比与原材料因素

混凝土原材料的自身性能与配比适配状态，直接影响浇筑成型后的结构稳定性。水泥材质的水化反应速率、自身收缩特性存在差异化表现，材质选用不符合水工施工适配要求时，会让混凝土固化形变处于不稳定状态。粗细骨料的颗粒质地、含泥状态、级配均匀度存在偏差，会降低混凝土整体密实度，让结构内部产生细小孔隙缺陷[2]。各类外加剂的选用品类、掺加比例适配性不

足，会改变混凝土正常水化节奏与固化特性。水胶比、砂率等核心配比参数失衡，会让混凝土固化过程中产生不均匀形变，为各类裂缝的产生提供基础条件。

2.2 现场施工工艺因素

施工现场的标准化操作程度，是诱发混凝土施工裂缝的关键人为因素。混凝土拌合时长不足会造成拌合料均匀性不足，各组分混合不均，成型后结构受力与形变特性存在区域差异。运输过程产生的拌合料离析、坍落度异常波动，会破坏混凝土原始配比状态。浇筑作业中分层厚度把控不当、浇筑间隔把控不规范，会造成新旧混凝土结合位置衔接不紧密。振捣作业出现漏振、过振、振捣不均等问题，会让结构局部密实度失衡，内部形成隐性缺陷，后期受力与形变过程中逐步开裂。模板拼装缝隙、支护刚度不足等施工细节问题，也会改变混凝土成型形态，引发局部开裂。

2.3 养护环境与工序因素

混凝土成型后的养护操作与环境条件，直接决定固化阶段的结构稳定性。养护作业启动时间过早或过晚，都会打乱混凝土正常的水化固化节奏。养护过程保湿、保温操作落实不到位，混凝土表层水分散失速度失控，产生不均匀干缩形变。施工场地露天环境下的空气湿度、风力状态，会加速表层水分蒸发，加大结构内外形变差异。养护覆盖范围不全面、养护作业间断等问题，会让混凝土不同区域固化进度不一致，局部应力集中堆积，逐步形成浅表性或区域性裂缝。

2.4 结构设计与外部环境因素

水工混凝土结构的设计布局与外部工况环境，会持续影响结构形变与应力分布。结构构件尺寸布局不合理、截面过渡不规整，会造成局部区域应力集中，超出混凝土自身抗拉承载上限。结构分段、伸缩缝、沉降缝布设不合理，无法适配混凝土固化形变需求，形变应力得不到合理释放。施工场地温度、湿度的阶段性波动，会让混凝土结构持续产生往复性形变。地基基础的形变状态、周边环境的外力扰动，会让成型后的混凝土结构承受持续性附加应力，逐步诱发结构性开裂问题。

3 水利工程混凝土施工裂缝前置防治工艺

3.1 原材料质量与配比优化防控

把控各类水工混凝土原材料的进场质量状态，从源头规避材质缺陷引发的裂缝隐患。筛选适配水利施工工况的水泥品种，依托水化特性适配施工环境，规避水泥自身收缩形变过大带来的结构隐患。严控粗细骨料的含泥量、杂质含量与颗粒级配，剔除质地松散、性能不达标的骨料，保障混凝土成型后的密实度与结构均匀性[3]。根据施工需求精准筛选外加剂类型，严格把控外加剂掺量比例，适配混凝土水化固化规律，稳定材料形变性能。结合施工现场温度、结构体量与施工工艺要求，微调水胶比、砂率等核心参数，优化混凝土拌合整体配比，弱化固化阶段的不均匀收缩形变，提升材料自身抗裂基础性能。

3.2 施工全过程工艺管控防控

规范混凝土施工全流程操作工艺，细化各工序管控细节，阻断施工操作偏差诱发的裂缝问题。设定标准拌合时长，保证混凝土各类组分充分融合，维持拌合料性能均匀统一。规范场内运输操作，平稳控制运输速度与转运方式，减少拌合料颠簸离析，维持坍落度稳定可控。把控浇筑施工节奏，合理设定分层浇筑厚度，规整浇筑间隔时长，保障新旧混凝土界面充分结合、一体成型。规范振捣操作手法，匀速把控振捣深度与振捣间距，杜绝漏振、过振、局部振捣不均等问题，让混凝土内部结构密实均匀。加固模板支护结构，封堵模板拼接缝隙，保障模板整体刚度与平整度，避免成型阶段结构形变错位。

3.3 科学化养护制度防控

建立适配水工混凝土施工的专项养护机制，精准把控养护时机与养护标准。结合混凝土水化固化进度确定养护启动时间，贴合结构成型规律开展养护作业。根据施工现场气候条件落实保湿养护措施，通过覆盖保湿、洒水润湿等方式，放缓混凝土表层水分散失速度，平衡结构内外干湿状态。低温、高温、大风等特殊施工环境下，针对性增设保温、防风、隔热防护措施，缩小结构内外温度与湿度差值。保持养护作业的连续性，全覆盖落实养护工序，平衡混凝土各区域固化进度，规避局部应力堆积引发的浅表裂缝与区域裂缝。

3.4 前期结构优化防控

依托水工结构受力与形变特性，提前优化施工结构布局，从设计层面规避应力集中开裂隐患。规整构件截面尺寸与结构过渡形式，弱化结构转折、拼接等特殊部位的应力聚集现象。科学布设伸缩缝、沉降缝与施工分段位置，贴合混凝土形变规律预留形变空间，让固化与受力产生的应力有序释放。优化基础施工处理工艺，规整基础平整度与承载状态，保障上部混凝土结构受力均匀稳定。结合施工场地环境特征调整结构布局，适配场地温度湿度波动、基础形变等客观条件，提升整体结构的抗形变与抗裂能力。

4 水利工程混凝土既有裂缝处理技术措施

4.1 浅表细微裂缝处理技术

浅表细微裂缝只发育于混凝土表层位置，开裂深度

极小，裂纹延展范围集中，不会深入破坏结构内部基体。施工前期对裂缝周边作业面进行精细化清理，铲除表层附着浮浆、堆积粉尘以及松散脱落的混凝土碎屑，对高低不平的基面进行整体打磨找平，保证施工基面干净平整。现场根据混凝土破损状态，选用环氧防护涂料、专用修补胶体、聚合物修补砂浆等适配材料开展修补作业。作业过程采用分层涂布的施工方式，在裂纹区域均匀涂刷修补材料，填充表层形成的细密裂纹纹路，封堵外界水体与腐蚀介质的渗入通道[4]。根据现场裂纹疏密差异调整每一遍涂布厚度，分层压实收光，填满表层所有开裂缝隙，保证修补作业的密实度。

4.2 中等深度裂缝处理技术

中等深度裂缝突破混凝土表层结构，延伸至构件中层部位，缝隙会在结构受力作用下产生开合位移。施工顺着裂缝自然走向开槽修整，规整槽体轮廓，彻底清除槽内松动混凝土块、残渣与各类杂质，对槽体内部做全面除尘与风干处理。施工选用粘结性能优良、收缩指标稳定的环氧填料与水工专用修补砂浆，分层填充开槽区域，逐层压实抹平，清除槽体内部残留空隙。具备开合位移特性的裂缝采用低压低速注浆工艺，放缓注浆速率，让浆液充分渗入裂缝内部细微孔隙。固化后的浆液可以粘结松散混凝土基体，填补结构内部缺损点位。施工过程精准调控注浆压力与浆液凝固速度，匹配混凝土自身形变特性，规避施工操作引发的结构二次损伤。

4.3 深层贯穿裂缝处理技术

深层贯穿裂缝穿透混凝土构件整体截面，打断结构整体连续性，改变构件原有受力分布状态。按照裂缝实际延伸轨迹布置注浆孔与排气孔，严格控制钻孔深度、孔径尺寸与孔位间距，覆盖全部裂缝发育区域。施工采用高强防渗注浆材料开展高压注浆作业，全程保持稳压施工，促使浆液渗透扩散至裂缝全部空间，填实结构内部贯通缝隙。等待浆液完全凝固固化后，对构件表面进行打磨找平，清除表层多余固化浆料与施工残渣。针对受损结构区域铺设整体补强面层，配套安装锚固加固构件，调整局部受力分布，弥补结构开裂造成的抗拉性能缺失。

4.4 裂缝修复后的稳定管控

裂缝修补施工结束后，针对修补区域落实常态化专项管控工作，控制裂缝再次发育扩张。微调作业区域环境温度与空气湿度，养护期间环境温度应保持在5~30℃之间，相对湿度不低于85%，维持稳定的固化环境，保障修补材料正常凝固成型。定期对修补表层、材料粘结界面、结构形变点位进行细致检查，及时发现新生细微开裂隐患[5]。合理排布后续施工工序，严格控制外部荷载施加幅度，降低结构受力波动对修补区域的影响。改造优化修补区域周边防渗结构，阻挡水体渗透、气温变化带来的结构扰动，维持修补部位施工状态稳定。

结束语

水工混凝土施工裂缝的产生是材料性能、施工操作、养护条件与结构设计等多重因素交织作用的结果。从前置防控角度出发，通过原材料优选、工艺规范化管控、科学化养护及结构布局优化，能够在较大程度上降低裂缝发生概率。对于既有裂缝，依据深度差异分别采用表面封闭、开槽填充与压力注浆等针对性修补手段，可有效恢复结构完整性与防渗性能。将预防与治理有机结合，形成贯穿施工全周期的裂缝管控体系，是保障水利工程混凝土结构长期安全运行的有效途径。

参考文献

[1]于志多,郭道迁.水利工程施工中混凝土裂缝的防治技术研究[J].科技资讯,2026,24(6):118-120.

[2]何红梅.农业水利工程施工中混凝土裂缝的防治技术研究[J].农业灾害研究,2025,15(10):149-151.

[3]米杰.水利工程施工中的混凝土裂缝的防治技术[J].水上安全,2024(6):163-165.

[4]何宇翔.水利建筑施工中大体积混凝土裂缝防治技术[J].建筑与装饰,2026,29(3):103-105.

[5]周妍.水利工程施工中混凝土裂缝的防治措施[J].科技创新导报,2022,19(14):99-101.