

# 水利施工混凝土裂缝质量缺陷防治对策

姬跃起

河南省水利第一工程局集团有限公司 河南 郑州 450000

**【摘要】**：水利工程混凝土结构在服役过程中，其体积稳定性直接关系到工程的整体安全与耐久性能。混凝土材料因自身物理化学特性及环境作用，内部易产生拉应力。当此应力超过材料抗拉强度时，便形成宏观或微观裂缝，成为影响结构防水性、整体性与长期服役寿命的关键质量缺陷。

**【关键词】**：水利施工；混凝土裂缝缺陷；质量缺陷防治

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.073

## 引言

混凝土作为水利工程主要承重与防渗材料，其裂缝的产生是多因素耦合作用的结果。从原材料配比、拌和浇筑、温湿度养护，到结构承受的荷载与约束条件，任一环节控制不当均可能诱发裂缝。系统性地辨识裂缝成因并制定针对性防治措施，是保障水工建筑物达到设计功能与安全标准的核心技术环节。

## 1 水利施工混凝土裂缝质量缺陷

### 1.1 塑性收缩裂缝

塑性收缩裂缝通常出现在新浇筑的混凝土表面，此时混凝土仍处于塑性状态。其成因主要是混凝土表层水分的蒸发速率超过了内部泌水上升至表面的速率，导致表层体积收缩。这种收缩受到内部仍处于塑性状态的混凝土的约束，从而在混凝土表面产生拉应力，当此拉应力超过此时混凝土的极限抗拉强度时，便形成不规则、相互平行的短小裂缝。此类裂缝会破坏混凝土表层的致密性与完整性，为水分、侵蚀性离子（如氯离子、硫酸根离子）的侵入提供便捷通道，加速内部钢筋的锈蚀进程，并可能诱发其他形式的裂缝，从而降低结构的耐久性与抗渗性能，影响水利工程的长期安全运行。

### 1.2 干缩裂缝

干缩裂缝源于混凝土内部吸附水分的散失所引起的体积收缩。随着水泥水化反应的进行与外部环境湿度的变化，混凝土内部的自由水逐渐消耗，导致毛细孔内部形成弯液面并产生毛细管张力，进而引发整体体积的收缩变形。当这种收缩变形受到外部约束（如基础、相邻构件）或内部约束（如钢筋、大体积混凝土内外不均匀收缩）时，混凝土内部便会产生拉应力。当该应力超过其抗拉强度时，即形成干缩裂缝。这类裂缝通常为表面性的，宽度较细且走向纵横交错。其存在会显著削弱混凝土的防水抗渗能力，在冻融循环或化学侵蚀环境中，裂缝的扩展会加剧混凝土的剥蚀与劣化，损害结构的整体性并缩短其使用寿命。

### 1.3 温度裂缝

温度裂缝主要由混凝土内部温度变化引起的热胀冷缩变形受到约束所致。在大体积混凝土浇筑过程中，水泥水化反应释放大量热量，致使混凝土内部温度急剧升高，而外部散热较快，从而在结构内部形成显著的温度梯度。内部高温区混凝土的膨胀受到外部低温区混凝土或基础的约束，产生压应力；后期当混凝土整体冷却收缩时，又受到外部约束而产生拉应力。当这些温度应力超过混凝土当时的抗拉强度时，便会产生裂缝。此类裂缝多为深层或贯穿性裂缝，宽度较大，走向与约束方向有关。温度裂缝会严重破坏混凝土结构的整体性，大幅降低其承载能力与刚度，为压力水的渗透提供主要路径，严重影响水工建筑物的稳定性、安全性及挡水功能。

### 1.4 沉陷裂缝

沉陷裂缝是由于地基土质不均匀、松软，或回填土不密实、浸水后产生不均匀沉降，导致混凝土结构承受额外的变形应力而产生的。模板刚度不足、支撑间距过大、支撑底部沉陷或过早拆除模板，使得混凝土在获得足够强度前即承受不均匀荷载或变形，也会引发此类裂缝。裂缝形态多属深层或贯穿性，走向与沉陷方向有关，常呈现为斜向或竖向。沉陷裂缝直接反映了结构基础的不稳定状态，其产生会显著改变结构的受力状态，导致应力重分布，可能引发局部应力集中，从而降低结构的整体稳定性与安全性。对于挡水结构，沉陷裂缝将形成严重的渗漏通道，威胁工程运行安全，且修补处理极为困难。

## 2 水利施工混凝土裂缝质量缺陷检测方法

### 2.1 外观检查法

外观检查法是最直接、最基础的混凝土裂缝检测方法，主要依靠检测人员的目视观察与简单量测工具进行。该方法的核心是对混凝土结构表面进行系统性巡查，以发现并记录所有可见裂缝的分布情况。检测内容包括但不限于裂缝的宏观形态特征，例如裂缝所处的位置是在坝体、闸墩、底板还是其他构件表面，裂缝的延伸走向是水平、垂直、斜向还是网状分布。同时需要量测和记录裂缝的长度、宽度及其沿长度的变化情况，

通常使用裂缝对比卡、读数显微镜或塞尺进行宽度测量。还需观察裂缝的边缘是否整齐、有无剥落或析出物,以及裂缝的深度特征(如仅为表面龟裂还是疑似深层裂缝)。外观检查的结果是进行裂缝初步分类、成因分析与决定是否需要进一步采用无损或微损检测的基础,其记录应详细、客观,并辅以照片或示意图进行标注说明,形成完整的表面缺陷档案。

## 2.2 超声波检测法

超声波检测法是一种基于弹性波传播原理的无损检测技术,用于探查混凝土内部缺陷包括裂缝的深度、走向及内部连通性。该方法向混凝土发射高频超声波脉冲,当声波在传播路径中遇到裂缝等不连续界面时,会发生反射、折射、绕射和能量衰减等现象。通过分析接收到的超声波信号特征,如声时(波速)、波幅、频率及波形变化,可以推断裂缝的存在与性质。对于单面平测法,通常用于测量浅层裂缝深度,通过测量超声波绕过裂缝尖端传播的时间与直接无裂缝混凝土中传播的时间差进行计算。对于穿透法或对测法,则利用发射与接收换能器布置在构件两侧或不同表面,通过声波是否能够穿透以及穿透后的信号参数变化来判断内部是否存在裂缝及其大致范围。超声波检测法具有操作相对简便、对结构无损伤、可重复测试等优点,但其结果准确性受混凝土材料均匀性、钢筋分布、湿度以及检测人员经验的影响较大,通常需结合其他方法进行综合判断。

## 2.3 钻孔取芯法

钻孔取芯法是一种直观且可靠的微损检测方法,通过从混凝土结构上钻取圆柱形芯样,直接观察和测试芯样内部状况,从而获得裂缝深度、宽度、走向以及混凝土内部质量的确切信息。检测时,根据外观检查或无损检测初步确定的裂缝位置,使用金刚石钻机垂直于混凝土表面(或沿特定角度)进行钻孔取芯。取出的芯样可以清晰展示裂缝在截面上的真实形态,包括裂缝是否贯穿、在深度方向上的变化、裂缝内部的填充物(如析出物、水渍、锈迹)以及裂缝周边混凝土的密实度与骨料分布情况。芯样还可用于进行后续的实验室物理力学性能试验,如抗压强度、抗渗性等,以评估裂缝对混凝土性能的实际影响程度。钻孔取芯法提供的证据最为直接有力,常用于验证其他无损检测方法的准确性,或对重大、关键部位的裂缝进行详细诊断。但其缺点是对结构造成局部损伤,需后续进行修补,且取芯位置和数量有限,可能无法完全代表整体情况。

## 2.4 电位差法

电位差法,又称半电池电位法或电化学检测法,主要用于评估混凝土中钢筋的锈蚀活性,间接推断可能由裂缝渗入的侵蚀性介质所引发的钢筋锈蚀风险。该方法基于电化学原理,将混凝土表面视作电解质,将内置的钢筋作为电极之一。检测时,将一个参考电极(通常是硫酸铜电极)放置在混凝土表面,并

与高阻抗电压表连接,电压表的另一端连接到暴露的钢筋上或通过混凝土与钢筋形成电连接。通过系统性地混凝土表面网格点进行测量,可以获得各点的钢筋相对于参考电极的电位值。电位值的分布图可以揭示钢筋电化学活性的差异区域。通常,更负的电位值区域表明钢筋发生锈蚀的可能性更高。对于存在裂缝的区域,特别是潮湿或已渗水的裂缝,水分和氧气更容易到达钢筋表面,可能在该区域测得更负的电位,从而间接指示裂缝已对钢筋保护层造成破坏并可能引发了锈蚀。电位差法不直接检测裂缝本身,而是评估裂缝导致的次生危害风险,是耐久性评估中的重要辅助手段。

## 3 水利施工混凝土裂缝质量缺陷防治对策

### 3.1 设计优化对策

设计阶段的优化是预防混凝土裂缝的源头性措施,其核心在于通过合理的结构设计与构造措施来减少约束、适应变形、降低应力集中。在结构选型与布置上,应避免断面尺寸的突然变化,采用流线型或渐变过渡的几何形状,以减少应力集中区域。对于大体积混凝土结构,如大坝坝体、大型基础底板,可合理设置永久性伸缩缝或诱导缝,将整体结构分割为若干尺寸较小的独立块体,从而有效释放温度应力与收缩应力。在配筋设计方面,除满足承载力要求外,应重视构造配筋,特别是在应力集中部位、孔洞周围、断面突变处以及表面区域,合理配置温度钢筋或抗裂钢筋网,以增强混凝土抵抗非荷载应力(如温度应力、收缩应力)的能力,控制裂缝宽度。设计时应充分考虑地基条件,对软弱或不均匀地基采取必要的地基处理措施,并合理设计基础形式与埋深,以预防不均匀沉降引起的裂缝。设计说明中应明确对混凝土原材料、配合比性能指标(如抗裂性、水化热)、施工养护等方面的具体要求,为施工提供明确指导。

### 3.2 材料选择对策

材料选择是控制混凝土裂缝的基础,关键在于优选原材料并优化配合比,以配制出低收缩、低水化热、高抗裂性的混凝土。水泥方面,宜选用中热或低热硅酸盐水泥,或通过掺加混合材来降低水泥用量和水化热。骨料应选用级配良好、质地坚硬、洁净的粗骨料和细骨料,良好的级配有减少水泥浆体用量,从而降低收缩。掺合料的应用至关重要,粉煤灰、矿渣粉等活性矿物掺合料不仅可以等量或超量替代部分水泥,有效降低水化热和混凝土的早期收缩,还能改善混凝土的微观结构,提高后期密实度与耐久性。外加剂的选择应以改善混凝土抗裂性能为目标,高效减水剂可以在保证工作性的前提下显著降低水胶比,提高强度与密实性;缓凝剂可用于调节凝结时间,避免施工冷缝;膨胀剂在限制条件下可产生适度膨胀,补偿混凝土的部分收缩。配合比设计应通过试验确定最优方案,在满足强度、耐久性与工作性要求的前提下,力求降低胶凝材料用

量和水胶比,控制坍落度在适宜范围。

### 3.3 施工过程控制对策

施工过程的精细化控制是防止裂缝产生的关键环节,涉及混凝土的拌和、运输、浇筑、振捣及模板支护等多个工序。混凝土拌和必须均匀,确保各种材料充分分散,计量准确。运输过程中应防止离析和坍落度损失过大。浇筑时应合理分层分段,控制浇筑速度和层间间隔时间,避免出现冷缝。在下层混凝土初凝前完成上层混凝土的覆盖,确保层间结合良好。振捣作业必须充分且适度,采用合适的振捣设备与方式,确保混凝土密实均匀,避免过振导致离析或漏振形成空洞。对于大体积混凝土,需特别重视温度控制,可采用预冷骨料、加冰拌和、通水冷却管等措施降低入仓温度;在浇筑过程中埋设温度监测元件,实时监控内部温度场变化。模板工程应保证足够的刚度、强度和稳定性,支撑体系必须牢固,地基或支撑面应坚实平整,防止浇筑过程中模板变形或下沉。拆模时间应严格根据混凝土强度发展、结构特点及环境温度确定,避免过早拆模导致混凝土承受不当荷载或急剧温湿度变化。

### 3.4 后期养护对策

后期养护是保证混凝土正常水化硬化、发展强度、减少收

缩应力的决定性措施。养护的核心在于为混凝土提供适宜的温度和湿度条件。保湿养护应立即在混凝土终凝后开始,可采用覆盖湿麻袋、草帘、土工布并持续洒水,或覆盖塑料薄膜、喷涂养护剂等方式,防止混凝土表面水分过快蒸发。对于竖向结构,可采用延长模板留置时间、定时喷水或挂设湿覆盖物等方法保湿。养护持续时间应足够,对于重要水工结构或掺用矿物掺合料的混凝土,应适当延长养护期。保温养护对于大体积混凝土和气温变化较大的季节尤为重要,目的是减小混凝土内外温差,降低温度梯度,防止温度裂缝。可通过在混凝土表面覆盖保温材料(如泡沫塑料板、棉被)来实现。养护期间还应防止结构受到冲击、振动或过早加载。建立系统性的养护制度并严格执行,确保护养措施到位、时间充分,是有效抑制塑性收缩、干缩和温度裂缝,保障混凝土最终质量不可或缺的一环。

## 4 结束语

综上所述,水利工程混凝土裂缝的防治是一项贯穿设计、施工与管理的系统性工作。通过优化配合比设计、精细化施工工艺、实施严格的温控与养护,并建立全过程的监测反馈机制,能够有效降低裂缝发生概率与危害程度,从而切实提升水工混凝土结构的工程质量和长期服役可靠性。

## 参考文献:

- [1] 马秀敏,陈波,赵聪.混凝土裂缝防治技术在水利建筑施工中的应用[J].科学技术创新,2026,(06):181-184.
- [2] 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(06):118-120.
- [3] 俞晓东,张旭,曹正.探析水利施工中混凝土裂缝产生的原因及防治措施[J].价值工程,2026,45(09):15-18.
- [4] 张万林.水利水电工程中混凝土裂缝成因及预防修补技术研究[J].水上安全,2026,(05):182-184.
- [5] 胡翼.水利工程混凝土结构防裂缝施工技术的应用研究[J].水上安全,2026,(04):172-174.
- [6] 沈凯,马飞燕,李军军,等.混凝土裂缝控制施工技术在水利工程中的应用研究[J].水上安全,2026,(01):169-171.
- [7] 朱必飞.水利工程施工中混凝土温控与裂缝控制技术研究[J].中国科技论文在线精品论文,2025,18(04):219-221.