

水利工程混凝土裂缝成因及防治措施研究

项宇, 张森林

江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223001

DOI:10.61369/ME.2026010002

摘 要 : 水利工程中混凝土裂缝的形成是一个复杂的过程, 通常与环境因素、施工质量、材料选择及结构设计等多方面因素密切相关。裂缝不仅影响工程的安全性和使用寿命, 还可能导致水土流失等不良后果。针对混凝土裂缝的成因, 结合实际工程案例, 探讨了裂缝产生的主要因素, 如温度变化、湿度变化、收缩应力等。为有效防治混凝土裂缝的产生, 提出了相应的防治措施, 包括合理选择材料、优化施工工艺、加强养护管理等方面的改进。通过这些措施可显著提高水利工程的质量与稳定性, 延长工程寿命。

关 键 词 : 水利工程; 混凝土裂缝; 成因分析; 防治措施; 施工工艺

Research on the Causes and Preventive Measures of Concrete Cracks in Hydraulic Engineering

Xiang Yu, Zhang Senlin

Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223001

Abstract : The formation of concrete cracks in hydraulic engineering is a complex process, often closely related to various factors such as environmental conditions, construction quality, material selection, and structural design. Cracks not only affect the safety and service life of the project but may also lead to adverse consequences such as soil erosion. Focusing on the causes of concrete cracks and incorporating practical engineering cases, this paper explores the primary factors contributing to crack formation, including temperature variations, humidity changes, and shrinkage stress. To effectively prevent and control the occurrence of concrete cracks, corresponding preventive measures are proposed, encompassing improvements in material selection, optimization of construction techniques, and enhanced maintenance management. These measures can significantly enhance the quality and stability of hydraulic engineering projects and extend their service life.

Keywords : hydraulic engineering; concrete cracks; cause analysis; preventive measures; construction techniques

引言

混凝土作为水利工程中最常用的建筑材料, 其结构的稳定性直接关系到工程的安全性和使用寿命。然而, 混凝土裂缝的出现却成为了困扰水利工程领域的一大难题。裂缝不仅影响结构强度, 还可能引发一系列的后续问题, 如渗水、腐蚀等, 严重时甚至会导致工程功能的丧失。通过分析混凝土裂缝的成因及防治措施, 可以有效提高工程的质量与安全性。随着技术的进步和材料科学的发展, 防治裂缝的方法不断完善, 这对水利工程的建设与维护具有重要的指导意义。探索混凝土裂缝的根源与防治对策, 不仅有助于提升水利工程的质量, 还能为相关领域的研究提供宝贵的经验和参考。

一、混凝土裂缝的成因分析

(一) 环境因素对混凝土裂缝的影响

环境因素对混凝土裂缝的形成有着直接而深远的影响, 尤其是温度、湿度和风速的变化。在温度较高的环境下, 混凝土中的水分容易蒸发, 水泥水化反应产生的水分蒸发速率加快, 从而导致水泥发生收缩, 进而产生裂缝。特别是在水利工程中, 由于水体的温度波动, 混凝土与水体接触的界面常常会受到显著的温差影响, 温度

应力会导致混凝土表面产生温度裂缝。此外, 湿度变化也是裂缝产生的重要因素。湿度过低时, 混凝土在硬化过程中可能发生干缩现象, 导致表面裂缝; 而湿度过高时, 混凝土内部水分滞留未能有效蒸发, 会导致裂缝的扩展。风速过大时也会加剧水分蒸发, 加速裂缝的形成。因此, 环境的长期变化不仅对混凝土的表面产生影响, 也可能引发深层裂缝, 对混凝土结构的长期稳定性构成威胁。特别是在极端气候条件下施工和使用的水利工程中, 裂缝问题尤为突出, 需特别重视环境因素的调控和监测^[1]。

（二）施工质量与裂缝产生的关系

施工质量是影响混凝土裂缝形成的关键因素之一，任何环节的疏忽都可能导致裂缝的产生。在混凝土浇筑过程中，若操作不当或工艺不规范，常常会导致裂缝的形成。比如，混凝土振捣不均匀，可能会造成混凝土内部出现气泡或空隙，这些空隙随着时间的推移成为裂缝的根源。此外，混凝土浇筑后的养护不当，特别是在早期阶段缺乏足够的湿养护，或养护时间过短，也会导致混凝土强度不足，内部水分蒸发过快，进而引发裂缝。温度控制是施工中不可忽视的一环，特别是在大体积混凝土施工中，温差过大容易在混凝土内部产生温度应力，导致裂缝的发生。为了有效防止裂缝的产生，施工过程中每一环节都必须严格按照规范执行，从原材料的选择到浇筑、振捣和养护，都应精细控制，确保混凝土的密实性、强度和稳定性，降低裂缝发生的风险。

（三）材料选择与混凝土裂缝的关联

材料的选择对混凝土的性能和裂缝的产生起着至关重要的作用。水泥、骨料、外加剂等材料的质量直接影响混凝土的强度和耐久性。例如，使用质量较差的水泥或骨料容易导致混凝土在后期出现裂缝。此外，掺加不当的外加剂也可能使混凝土的收缩性和膨胀性发生变化，从而引发裂缝。在水利工程中，尤其是在水泥与水的比例、骨料的粒径选择等方面都需要特别考虑，合理的材料搭配可以有效地减少裂缝的风险。另外，随着新型建材的出现，改良混凝土的材料特性、增强其抗裂性能已成为一种趋势，通过优化材料的配比和选择，能够在一定程度上防止裂缝的产生^[2]。

二、水利工程混凝土裂缝的常见类型

（一）收缩裂缝

收缩裂缝是混凝土在硬化过程中由于水分蒸发或水泥水化反应引起体积收缩而产生的裂缝。这类裂缝多发生在混凝土浇筑后的1~14 d内，尤其是在环境温度 $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $\leq 60\%$ 的条件下，收缩现象更为明显。从参数角度看，普通混凝土的干燥收缩率一般为 $(2\sim 6)\times 10^{-4}$ ，而当约束条件较强时，收缩应力可达到0.3~1.0 MPa。若该应力超过混凝土早期抗拉强度（通常为1.0~2.5 MPa），则容易产生裂缝。在大型水利工程中，大体积混凝土（单次浇筑厚度 $\geq 1.0\text{ m}$ ）由于内部散热困难，更易出现收缩裂缝，常见裂缝宽度为0.1~0.3 mm，多呈不规则网状分布。为有效控制收缩裂缝的发生，施工中应合理控制水胶比（一般 ≤ 0.45 ），减少水泥用量，采用缓凝或低收缩水泥，并通过不少于14 d的湿润养护，使混凝土表面保持充分湿度，降低收缩速率。

（二）温度应力裂缝

温度应力裂缝是由于混凝土内部温度变化引起热胀冷缩而产生的裂缝。混凝土浇筑后，水泥水化反应持续释放热量，大体积混凝土内部最高温度可达到60~75 $^{\circ}\text{C}$ ，而表面温度受环境影响较大，内外温差往往可超过20~25 $^{\circ}\text{C}$ 。当混凝土内部温度梯度过大时，所产生的温度应力一般可达1.5~3.0 MPa，若超过混凝土的抗拉强度，便会形成温度裂缝。此类裂缝多呈贯穿性或沿结构长度方向分布，裂缝宽度通常在0.2~0.5 mm之间，对坝体、

闸墩等水工建筑物的整体性和防渗性能影响较大。为减缓温度应力裂缝的出现，工程中应严格控制混凝土入仓温度（一般 $\leq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），采用分层、分块浇筑方式，合理设置冷却水管或表面保温措施，并优先选用低热水泥或粉煤灰掺量为20%~40%的混凝土配合比，以降低水化热峰值，减少温度应力集中^[3]。

（三）渗水裂缝

渗水裂缝通常出现在水库、坝体、输水隧洞和压力管道等与水长期接触的结构中，其产生主要与混凝土裂缝宽度、孔隙结构及施工质量有关。研究表明，当混凝土裂缝宽度超过0.2 mm时，防渗性能将明显下降，渗透系数可由原来的 $10^{-9}\sim 10^{-10}\text{ m/s}$ 上升至 $10^{-6}\sim 10^{-7}\text{ m/s}$ 。在长期水压力作用下，渗水裂缝易发生扩展，可能引起钢筋锈蚀、混凝土碳化加速，严重时威胁工程安全与稳定运行。渗水裂缝的形成通常与混凝土密实度不足（振捣不充分）、施工缝处理不当以及养护时间不足（少于7 d）等因素密切相关。为防止渗水裂缝的发生，施工过程中应严格控制混凝土的坍落度（一般为120~180 mm）和振捣质量，确保结构密实；同时可在关键部位设置止水带、采用渗透结晶型防水材料，并通过定期检测裂缝宽度与渗流量，及时采取灌浆或封闭修复措施，以保证水利工程的安全与长期稳定运行。

三、混凝土裂缝的检测与评估方法

（一）目视检查与现场评估

目视检查是混凝土裂缝检测中最基本、最常用的方法之一，通过对裂缝外观的观察，初步了解裂缝的形态、分布和大小等特征。现场评估通常结合目视检查，通过人工巡视、测量裂缝的长度、宽度、深度等，快速判断裂缝的严重程度。目视检查的优势在于操作简便、经济且不需要专门的设备，因此广泛应用于工程项目的初期阶段或简单的裂缝排查。然而，目视检查也存在一定局限性，例如对于细小或隐蔽的裂缝难以察觉，无法准确量化裂缝的具体数据。因此，目视检查常常作为其他检测方法的补充，提供初步的信息并帮助确定是否需要更深入的检测。现场评估的效果高度依赖于检查人员的经验和专业性，因此在进行现场评估时，往往需要多次巡查与详细记录，确保裂缝的全面检测^[4]。如图1所示



图1 裂缝排查

（二）裂缝监测技术的发展

随着科技的进步，裂缝监测技术逐步发展并得到广泛应用。裂缝监测技术通常采用各种先进的仪器设备，如应变计、位移传感器、激光测量仪等，这些设备能够对裂缝的变化进行实时监控和精确测量。应变计和位移传感器通过感知混凝土的微小位移和变形，可以及时检测到裂缝的扩展情况，提供裂缝发展的动态数据。激光测量仪则能通过高精度的扫描技术，对裂缝的三维形态进行详细记录。近年来，无损检测技术的引入使得裂缝监测更加高效和准确，无需破坏结构表面即可获取裂缝的精确数据，避免了传统方法可能带来的误差和施工干扰。裂缝监测系统不仅能够对混凝土裂缝的防治提供数据支持，还能够实现对工程结构健康状况的持续监控，确保工程的安全运行^[5]。

（三）裂缝深度与宽度的量化评估

裂缝的深度和宽度是评估混凝土裂缝严重性的重要指标。裂缝的宽度通常通过裂缝宽度计进行测量，该工具通过直接接触裂缝的两侧，精确测量裂缝的开口宽度。裂缝宽度的增大通常意味着裂缝在进一步扩展，可能对混凝土结构的强度和耐久性产生影响。裂缝的深度评估则相对复杂，通常需要通过钻芯取样、超声波检测或 X 射线成像等技术手段进行量化。超声波检测技术通过测量声波传播的时间差，能够判断裂缝的深度及其分布情况，而 X 射线成像则能提供更为精确的内部裂缝信息。通过这些量化评估手段，可以全面了解裂缝的扩展情况及对结构的影响，为后续的修复和加固提供科学依据。量化评估方法不仅能够准确诊断裂缝的情况，还能帮助预测裂缝的发展趋势，为工程的维护和修复提供有效的决策支持^[6]。

四、混凝土裂缝的防治措施

（一）材料优化与改良

材料的选择和优化是防治混凝土裂缝的关键因素。采用优质的水泥、骨料和外加剂能够显著提高混凝土的抗裂性能。水泥的种类直接影响混凝土的强度和收缩性，低热水泥可以有效减少水泥水化反应中的热量释放，从而降低温差引起的裂缝风险。骨料的粒径和质量也对混凝土的密实度和强度有重要影响，合理选择骨料的类型和颗粒组成能够提升混凝土的抗裂能力。外加剂如膨胀剂、减水剂等的使用，可以优化混凝土的性能，减少收缩应力，提高其耐久性。例如，膨胀剂能在混凝土硬化过程中产生微小的膨胀作用，抵消部分收缩应力，从而有效防止裂缝的发生。随着新型材料的不断研发，智能材料、超高性能混凝土（UHPC）

等的应用也为裂缝防治提供了更多的选择。通过材料优化与改良，能够在源头上降低混凝土裂缝的发生几率^[7]。

（二）施工工艺的改进

施工工艺的合理设计和严格执行是控制混凝土裂缝的关键因素。浇筑过程中的每一个环节都需要精确控制，确保施工质量。在浇筑大体积混凝土时，由于温差较大，容易产生温度应力，导致裂缝的发生。为此，采用分层浇筑和分段施工的方式，可以有效地分散温度应力，使温度梯度得到缓解。此外，合理控制浇筑速度、振捣强度和振捣均匀性，能够确保混凝土的密实性，减少因气泡或空隙形成的裂缝。在混凝土的养护过程中，尤其是在早期阶段，必须保持充足的湿度，以防止水分过早蒸发导致干缩裂缝。温差较大的环境下，施工现场需要采取有效的温控措施，如覆盖保温层、使用喷雾降温等，避免温度应力过大引发裂缝。施工工艺中的细节决定了混凝土的质量和抗裂能力，因此，提升施工质量和执行严格的工艺标准，是确保工程质量的核心措施^[8]。

（三）加强养护与维护管理

混凝土的养护和维护管理是延长其使用寿命、预防裂缝发展的重要措施。混凝土的养护主要是在浇筑后提供足够的湿度和适宜的温度，以保证水泥水化反应的顺利进行。在混凝土硬化过程中，水分的过度蒸发会导致干缩裂缝，因此，在混凝土浇筑后的早期阶段，必须采取适当的养护措施，如覆盖湿草帘、洒水保湿、使用养护膜等，以确保混凝土充分水化和强度提升。对于已经发生裂缝的混凝土结构，应及时进行检查与修复。裂缝的修补不仅仅是填补表面的裂缝，更要深入分析裂缝形成的原因，采用科学的加固方法。定期的维护检查也是非常必要的，尤其是在水利工程中，长期暴露在水和湿润环境下，裂缝可能随时间推移逐渐扩展，定期的监测和维护可以及时发现并修复潜在的隐患，确保结构的长期稳定性和安全性。

五、结语

混凝土裂缝问题在水利工程中具有广泛的影响，直接关系到工程的安全性和使用寿命。通过分析裂缝的成因，可以发现环境因素、施工质量和材料选择是裂缝产生的主要原因。有效的裂缝防治需要从源头入手，采用优化的材料、改进的施工工艺以及科学的养护管理。裂缝检测技术的发展为裂缝的早期发现和精确评估提供了可靠保障，同时，量化评估裂缝深度和宽度的精确性，为后续的修复提供了重要数据支持。

参考文献

- [1] 贺关清. 水利工程中混凝土裂缝产生原因及防治措施研究 [J]. 现代工程科技, 2025, 4(13): 157-160.
- [2] 李来明. 水利工程中混凝土裂缝成因及防治措施 [J]. 农村科学实验, 2025(11): 105-107.
- [3] 闫娜娜. 水利工程中混凝土裂缝产生的原因及防治措施 [J]. 中国水泥, 2025(05): 76-78.
- [4] 桑利雄. 水利施工中混凝土裂缝的防治施工技术探讨 [J]. 中国住宅设施, 2025(04): 190-192.
- [5] 侯荣丽. 水利工程混凝土裂缝产生原因及防治措施研究 [J]. 水上安全, 2025(03): 22-24.
- [6] 王立群. 水利工程施工中混凝土裂缝的防治措施 [J]. 水上安全, 2024(14): 196-198.
- [7] 牛欣伟. 农业水利工程施工中混凝土裂缝出现的原因及防治措施 [J]. 农村科学实验, 2024(09): 97-99.
- [8] 房广云. 水利工程施工混凝土裂缝的产生原因及防治措施 [J]. 水上安全, 2023(13): 188-190.