

水利水电工程混凝土裂缝控制与修复技术分析

李洋

丽水市水利工程运行管理有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i10.6586

[摘要] 水利水电工程作为国家重要的基础设施,其混凝土结构的安全性与稳定性直接关系到工程的整体效益与使用寿命。混凝土裂缝是工程建设与运行过程中常见的质量问题,若不及时控制与修复,可能引发结构渗漏、承载能力下降等风险,甚至威胁工程安全。本文围绕水利水电工程混凝土裂缝展开研究,首先分析裂缝产生的主要原因,随后系统探讨裂缝控制的关键技术,进而阐述常用的裂缝修复方法,同时提出裂缝处理过程中的质量控制要点,最后对未来相关技术的发展趋势进行展望,旨在为提升水利水电工程混凝土结构的可靠性提供理论参考与技术支持。

[关键词] 水利水电工程; 混凝土裂缝; 裂缝控制; 修复技术; 质量控制

中图分类号: O213.1 文献标识码: A

Analysis of Concrete Crack Control and Repair Technology in Water Conservancy and Hydropower Engineering

Yang Li

Lishui Water Conservancy Engineering Operation Management Co., Ltd.

[Abstract] As an important national infrastructure, the safety and stability of concrete structures in water conservancy and hydropower projects are directly related to the overall efficiency and service life of the project. Concrete cracks are a common quality problem in engineering construction and operation processes. If not controlled and repaired in a timely manner, they may cause risks such as structural leakage, decreased bearing capacity, and even threaten engineering safety. This article focuses on the research of concrete cracks in water conservancy and hydropower engineering. Firstly, the main causes of cracks are analyzed. Then, the key technologies for crack control are systematically explored, and commonly used crack repair methods are elaborated. At the same time, quality control points in the crack treatment process are proposed. Finally, the development trend of related technologies in the future is forecasted, aiming to provide theoretical reference and technical support for improving the reliability of concrete structures in water conservancy and hydropower engineering.

[Key words] water conservancy and hydropower engineering; Concrete cracks; Crack control; Repair technology; quality control

引言

在混凝土施工与运营阶段,受材料特性、施工工艺、环境因素等多重影响,裂缝问题频繁出现。混凝土裂缝的存在不仅会破坏结构的整体性,还可能导致水分、侵蚀性介质渗入内部,加速钢筋锈蚀与混凝土劣化,缩短工程使用寿命,严重时可能引发安全事故。因此,深入研究混凝土裂缝的产生原因,制定科学有效的控制策略,采用合理的修复技术,对于保障水利水电工程的安全运行、降低维护成本具有重要的现实意义。

1 水利水电工程混凝土裂缝产生的原因

1.1 材料自身特性引发的裂缝

混凝土材料由水泥、骨料、水及外加剂等组分构成,其自身特性是导致裂缝产生的内在因素。水泥水化过程中会释放大量热量,若混凝土体积较大,内部热量难以快速散发,易形成内外温差,当温差产生的温度应力超过混凝土的抗拉强度时,就会引发温度裂缝。此外,混凝土在硬化过程中会发生体积收缩,若收缩受到约束(如模板限制、地基约束等),收缩应力超过混凝土抗拉强度,便会产生收缩裂缝;而骨料级配不合理、杂质含量过高,或水泥品种选择不当、安定性不合格等,也会降低混凝土的整体性能,增加裂缝产生的概率。

1.2 施工工艺不当导致的裂缝

施工环节的操作质量直接影响混凝土结构的完整性,施工工艺不当是裂缝产生的重要外在原因。在混凝土搅拌阶段,若搅拌时间不足、配料比例偏差,会导致混凝土匀质性差,出现局部强度不足的区域,为裂缝产生埋下隐患;浇筑过程中,若浇筑速度过快、布料不均,易在混凝土内部形成空隙或分层,后期在荷载作用下易发展为裂缝;振捣不密实会使混凝土内部存在气泡、蜂窝等缺陷,降低结构密实度与抗拉强度;而养护不及时或养护措施不到位,会导致混凝土表面水分快速蒸发,产生干缩裂缝,同时也会影水泥水化的充分性,降低混凝土强度。

1.3 外部环境与荷载作用造成的裂缝

水利水电工程大多处于复杂的自然环境中,且长期承受各类荷载作用,这也是裂缝产生的主要原因。在环境因素方面,温度变化是主要诱因,夏季高温时混凝土表面温度骤升,冬季低温时则快速降温,反复的温度波动会使混凝土产生热胀冷缩循环,长期作用下易引发温度疲劳裂缝;此外,工程所处环境中的湿度变化、冻融循环、侵蚀性介质(如氯离子、硫酸盐等)渗透,会逐渐破坏混凝土结构,导致裂缝出现。在荷载作用方面,混凝土结构在施工期会承受自重、施工荷载,运营期则会承受水压力、土压力、地震荷载等,若实际荷载超过结构设计承载能力,或荷载分布不均,会使混凝土内部产生过大应力,进而引发荷载裂缝。

2 水利水电工程混凝土裂缝控制技术

2.1 材料优化与配合比设计控制

通过优化混凝土材料选择与配合比设计,可从源头降低裂缝产生的可能性。在材料选择上,应优先选用低热或中热水泥,减少水泥水化热释放;合理选用骨料,优先选择级配良好、热膨胀系数小的骨料,降低混凝土的温度变形;同时,可掺入适量的矿物掺合料(如粉煤灰、矿渣粉等),替代部分水泥,不仅能减少水化热,还能改善混凝土的工作性与抗裂性能;此外,选择合适的外加剂(如缓凝剂、减水剂、膨胀剂等),可调节混凝土的凝结时间、降低水灰比、补偿收缩,进一步提升混凝土的抗裂能力。

2.2 施工过程中的裂缝预防措施

加强施工过程中的质量控制,是预防混凝土裂缝的关键环节。在搅拌环节,需严格按照配合比进行配料,控制搅拌时间与搅拌速度,确保混凝土搅拌均匀;浇筑前,应对模板、钢筋进行检查,清理模板内的杂物与积水,同时对基层进行湿润处理,避免基层吸水导致混凝土表面干缩;浇筑过程中,应控制浇筑速度与布料厚度,采用分层浇筑、分层振捣的方式,确保振捣密实,避免漏振、过振现象;振捣完成后,需及时进行抹面处理,消除表面气泡与塑性收缩裂缝。在养护环节,应根据混凝土类型与环境条件,制定科学的养护方案,浇筑完成后及时覆盖保湿材料(如土工布、塑料薄膜等),并定时洒水,保持混凝土表面湿润,延长养护时间,确保水泥充分水化,提升混凝土强度与抗裂性能。

2.3 结构设计与温度控制措施

合理的结构设计与温度控制,可有效减少混凝土裂缝的产生。在结构设计方面,应根据工程荷载与环境条件,优化结构形

式,避免结构断面突变,减少应力集中区域;设置合理的伸缩缝、沉降缝,释放混凝土因温度变化与沉降产生的应力;在易产生裂缝的部位(如梁端、板角等),可增设钢筋网或构造钢筋,提高局部抗拉强度。在温度控制方面,施工前需制定温度控制方案,通过计算确定混凝土的入模温度、内部最高温度及内外温差控制指标;在混凝土内部预埋温度传感器,实时监测温度变化,若发现温度超标,及时采取降温措施(如通水冷却、表面覆盖保温材料等);对于大体积混凝土,可采用分层分块浇筑的方式,降低浇筑块体的体积,减少水化热积聚,控制温度应力。

3 水利水电工程混凝土裂缝修复技术

3.1 表面修复技术

表面修复技术适用于裂缝宽度较小、深度较浅,且无渗漏风险的表面裂缝,主要目的是封闭裂缝表面,防止外界介质侵入,改善结构外观。常用的表面修复技术包括涂抹法、贴补法与表面凿槽嵌补法。涂抹法是将水泥基砂浆、环氧树脂砂浆等修复材料直接涂抹在裂缝表面,形成封闭层,操作简单、成本较低,但修复效果受材料与基层粘结性能影响较大;贴补法是在裂缝表面粘贴玻璃纤维布、碳纤维布等增强材料,再涂抹修复材料,可提高裂缝部位的抗拉强度,适用于裂缝有扩展趋势的情况;表面凿槽嵌补法是在裂缝表面凿出V型或U型槽,清理干净后填入防水密封材料(如聚氯乙烯胶泥、沥青砂浆等),封闭效果较好,适用于有轻微渗漏的表面裂缝。

3.2 灌浆修复技术

灌浆修复技术是通过压力将灌浆材料注入裂缝内部,填充裂缝空隙,恢复混凝土结构的整体性与密实性,适用于裂缝宽度较大、深度较深,或存在渗漏、承载力下降问题的裂缝。根据灌浆材料的不同,可分为水泥灌浆、化学灌浆与复合灌浆。水泥灌浆以水泥浆为主要材料,具有强度高、成本低、耐久性好等优点,适用于裂缝宽度大于0.2mm的裂缝,但流动性较差,对细裂缝的填充效果不佳;化学灌浆以环氧树脂、聚氨酯等化学材料为灌浆液,具有流动性好、粘结力强、可灌性高等特点,适用于细裂缝(宽度0.05~0.2mm)与复杂裂缝的修复,但成本较高,部分材料可能存在耐久性问题;复合灌浆是将水泥灌浆与化学灌浆结合使用,先采用水泥灌浆填充较宽裂缝,再采用化学灌浆填充细裂缝,兼顾了两种灌浆技术的优点,修复效果更为理想。

3.3 结构加固修复技术

当混凝土裂缝严重影响结构承载能力时,需采用结构加固修复技术,通过增加结构刚度与强度,恢复结构的承载性能。常用的结构加固修复技术包括粘贴加固法、外包加固法与增设支点加固法。粘贴加固法是将碳纤维布、玻璃纤维布或钢板等加固材料,通过粘结剂粘贴在裂缝所在的结构表面,利用加固材料的高强度分担结构荷载,提高结构承载能力,具有施工简便、工期短、对原结构影响小等优点;外包加固法是在混凝土结构外部包裹钢筋混凝土、型钢等材料,形成复合结构,增强结构的整体刚度与抗拉、抗压强度,适用于裂缝严重、结构损伤较大的情况。

4 水利水电工程混凝土裂缝处理的质量控制要点

4.1 修复前的质量检查与评估

在进行混凝土裂缝修复前，需对裂缝进行全面的质量检查与评估，为修复方案的制定提供依据。首先，应采用裂缝宽度仪、裂缝深度仪等专业设备，检测裂缝的宽度、深度、长度、走向及分布情况，记录详细数据；其次，分析裂缝产生的原因与发展趋势，判断裂缝是否处于稳定状态，评估裂缝对结构性能的影响程度（如是否影响承载力、是否存在渗漏风险等）；最后，根据检测结果与评估结论，制定针对性的修复方案，明确修复技术、材料选择、施工工艺及质量验收标准，确保修复方案科学合理、切实可行。

4.2 修复过程中的质量控制

修复过程中的质量控制直接决定修复效果，需从材料、施工工艺、现场管理等方面严格把控。在材料质量控制方面，需对修复所用的水泥、砂石、外加剂、灌浆材料、加固材料等进行进场检验，检查材料的质量证明文件，对关键性能指标（如强度、流动性、粘结力等）进行抽样检测，严禁使用不合格材料；在施工工艺控制方面，需严格按照修复方案与施工规范进行操作，控制施工参数（如灌浆压力、温度、养护时间等），对关键工序（如裂缝清理、灌浆作业、加固粘贴等）进行旁站监督，确保施工质量符合要求；在现场管理方面，需建立完善的质量管理制度，明确各岗位的质量职责，加强施工人员的技术培训与交底，及时记录施工过程中的质量数据与问题，确保修复工作有序开展。

4.3 修复后的质量验收与监测

修复完成后，需进行严格的质量验收与长期监测，确保修复效果满足工程要求。质量验收应按照相关规范与设计要求进行，采用外观检查、无损检测、荷载试验等方法，检查修复部位的外观质量、密实性、强度及整体性能，若发现修复缺陷，需及时进行返工处理；验收合格后，还需对修复部位进行长期监测，设置监测点，定期检测裂缝是否重新开展、修复材料是否老化、结构性能是否稳定等，建立监测档案，根据监测数据评估修复效果的耐久性，若发现异常情况，及时采取补充修复措施，确保混凝土结构长期安全运行。

5 水利水电工程混凝土裂缝控制与修复技术的发展趋势

5.1 智能化技术的应用

随着智能化技术的快速发展，其在水利水电工程混凝土裂缝控制与修复中的应用将成为重要趋势。在裂缝监测方面，可利用物联网、传感器技术，构建智能化监测系统，实时采集混凝土结构的温度、应力、裂缝宽度等数据，通过大数据分析与人工智能算法，预测裂缝的发展趋势，实现裂缝的早期预警；在施工控制方面，可采用智能化施工设备，结合BIM技术，对施工过程进行数字化模拟与精准控制，优化施工参数，减少人为操作误差，提升裂缝控制效果；在修复作业方面，可研发智能化修复机器人，实现复杂环境下裂缝的自动清理、灌浆与加固，提高修复效率与质量。

5.2 一体化技术体系的构建

未来，水利水电工程混凝土裂缝控制与修复将逐渐向“预防-监测-修复-维护”一体化技术体系发展。在工程建设初期，便将裂缝控制理念融入结构设计、材料选择与施工规划中，从源头降低裂缝产生风险；在施工与运营阶段，建立全过程监测系统，实时掌握混凝土结构状态，实现裂缝的早期发现与预警；在裂缝修复环节，根据裂缝特点与工程需求，选择合适的修复技术与材料，确保修复效果；修复完成后，通过长期监测与维护，及时处理潜在问题，形成闭环管理。一体化技术体系的构建，将实现裂缝控制与修复的系统性、连贯性，全面提升水利水电工程混凝土结构的安全性与耐久性。

6 结束语

水利水电工程混凝土裂缝控制与修复技术是保障工程安全运行的关键技术之一，其发展与创新对提升工程质量、延长工程使用寿命具有重要意义。在实际工程中，需结合工程的具体情况，综合考虑材料特性、施工条件、环境因素等，制定科学合理的裂缝控制与修复方案，同时加强技术研发与应用，推动智能化、环保化、一体化技术在工程中的实践，为水利水电工程的稳定运行与可持续发展提供有力支撑。

【参考文献】

- [1] 张志光.大体积混凝土温控技术及裂缝控制方法研究[J].水泥,2025,(10):104-106.
- [2] 常旭东,何鑫,孙西文.水利工程混凝土裂缝成因机理及控制措施[J].水泥,2025,(09):116-119.
- [3] 古润琴.混凝土面板堆石坝应力应变模拟及裂缝控制措施研究[J].江西建材,2025,(08):276-278+282.
- [4] 袁邦陆.水利工程施工中控制混凝土裂缝技术分析[J].价值工程,2025,44(25):81-84.
- [5] 陈效贺,晁玉芹.水利工程施工中混凝土裂缝控制研究[J].科技创新与应用,2025,15(21):145-148.

作者简介：

李洋(1988--),男,汉族,吉林长春市榆树市人,大学本科,职称:中级工程师,研究方向:水利工程项目管理、水利工程施工质量控制。