

水工混凝土裂缝成因及防渗修补技术研究

焦建华 152625198410042037

摘要

水工混凝土是水利工程建设中应用最广泛的结构材料，其性能稳定性直接关系到水利枢纽的运行安全与使用寿命。裂缝是水工混凝土结构中最常见的病害问题，不仅会降低结构整体性与承载能力，还会为水分渗透提供通道，引发内部钢筋锈蚀、基体溶蚀等次生病害，严重威胁水利工程的运行安全。本文结合水工混凝土的工作环境特点，系统分析了裂缝产生的主要成因，从温度变化、材料特性、结构荷载、外部环境四个维度梳理了不同类型裂缝的形成机理，在此基础上探讨了现阶段常用的防渗修补技术的适用场景与施工要点，为水利工程混凝土裂缝的处理与防控提供参考。

关键词：水工混凝土；裂缝成因；防渗修补；水利工程

一、引言

我国水利工程建设规模不断扩大，一大批高坝大库、堤防灌渠等基础设施投入运行，水工混凝土结构的长期稳定性成为工程运维领域关注的核心问题。水工混凝土长期处于水压力、温度交替、冻融循环、水流冲刷等复杂工况下，相较于普通建筑混凝土，更容易产生裂缝病害。相关统计数据显示，我国已建成的大中型水利工程中，超过 80% 的混凝土坝体存在不同程度的裂缝问题，其中约 15% 的裂缝已经引发渗透破坏，对工程安全造成不利影响。因此，明确水工混凝土裂缝的形成原因，针对性选择合理的防渗修补技术，是提升水工结构耐久性、延长工程使用寿命的关键措施。

二、水工混凝土裂缝的主要成因

（一）温度应力引发的裂缝

温度变化是水工混凝土产生裂缝最主要的诱因，占有裂缝成因的 60% 以上。混凝土在浇筑过程中，水泥水化会释放大量的水化热，由于混凝土体积大、导热性能差，内部热量难以快速散发，导致混凝土内部与表面形成较大的温度差，内部压应力与表面拉应力不均衡，当拉应力超过混凝土的抗拉强度时就会产生表面裂缝。在混凝土硬化后，环境温度出现大幅下降时，比

如冬季低温或者蓄水后的低温水作用，混凝土整体会发生收缩变形，当变形受到基础或者原有结构的约束时，就会产生约束拉应力，进而形成贯穿性裂缝。对于大体积混凝土坝体来说，这种温度应力引发的裂缝更为常见，且往往会发展为深层裂缝，对结构安全性影响更大。

（二）材料与施工因素引发的裂缝

材料性能不达标与施工工艺不当也是裂缝产生的重要原因。一方面，混凝土配合比设计不合理，比如水灰比过大，会导致混凝土硬化过程中游离水分蒸发过多，引发体积收缩，形成干缩裂缝；骨料含泥量过高，会降低混凝土的整体强度与抗裂性能，增加裂缝产生的概率；水泥选用不当，比如采用水化热过高的水泥品种，会加剧内部温度升高，扩大内外温差。另一方面，施工过程中振捣不密实，会导致混凝土均匀性差，局部强度不足，容易在薄弱部位产生裂缝；养护不到位。

（三）荷载与地基变形引发的裂缝

水工混凝土结构需要承受水压力、结构自重、设备荷载、地震作用等多种荷载作用，当荷载超过结构设计承载能力，或者荷载分布不均匀时，就会产生应力集中，进而引发结构性裂缝。比如坝体在承受上下游水压力作用时，坝体截面会产生弯曲拉应力，当拉应力超过混凝土抗拉强度就会产生裂缝；地基不均匀沉降也是引发裂缝的重要原因，水利工程往往修建在复杂的岩土地基上，若地基处理不到位，存在软弱土层或者岩体不均匀，在结构自重与水压力长期作用下会产生不均匀沉降，导致混凝土结构产生附加应力，当附加应力超过强度限值就会产生裂缝。

（四）环境侵蚀作用引发的裂缝

水工混凝土长期处于水环境中，会受到冻融循环、水流冲刷、化学侵蚀等多种环境作用，逐步劣化产生裂缝。在北方寒冷地区，混凝土内部孔隙中的水分反复冻融，体积膨胀收缩，会不断破坏混凝土内部结构，导致表层混凝土酥化开裂，形成冻融裂缝；在水流流速较快的部位，比如溢洪道、泄洪洞，水流携带泥沙长期冲刷混凝土表面，会逐步磨蚀表面基体，削弱结构截面，引发应力集中产生裂缝；若水体中含有硫酸盐、碳酸盐等腐蚀性离子，会与混凝土中的氢氧化钙发生化学反应，生成膨胀性物质，导致混凝土内部胀裂，逐步发展为表层或者深层裂缝。

三、水工混凝土裂缝的防渗修补技术

（一）表面防渗修补技术

表面防渗修补技术主要适用于宽度小于 0.3mm 的浅层表面裂缝，这类裂缝未对结构整体性造成影响，主要危害是引发水分渗透，因此采用表面修补即可满足防渗要求。常用的表面修补方法包括表面涂抹法、表面贴合法两种。表面涂抹法是将水泥基防渗材料、环氧树脂、聚氨酯等防渗材料直接涂抹在裂缝表面，形成连续的防渗封闭层，施工简单，成本较低，适合处理宽度较小的细微裂缝；表面贴合法是在裂缝表面粘贴玻璃钢、防水卷材或者橡胶片等防渗材料，能够更好的适应混凝土的微小变形，防渗效果更为稳定，适合处理较长的表面裂缝。

（二）灌浆防渗修补技术

灌浆修补技术是处理深层裂缝与贯穿性裂缝最常用的技术，能够填充裂缝内部空隙，恢复结构整体性与防渗性能，适用范围广，处理效果好。根据灌浆材料的不同，可以分为水泥灌浆、化学灌浆两类。水泥灌浆适用于宽度大于 0.5mm 的裂缝，材料成本低，强度高，防渗性能好，适合处理大宽度的深层裂缝；化学灌浆常用环氧树脂、聚氨酯、丙烯酸盐等材料，浆液流动性好，能够灌入宽度仅 0.1mm 以上的细微裂缝，粘结强度高，防渗效果优异，适合处理对结构整体性要求较高的裂缝。

（三）结构补强防渗修补技术

对于已经影响结构承载能力的结构性裂缝，不仅需要进行防渗处理，还需要对结构进行补强，恢复结构承载能力。常用的结构补强防渗技术包括预应力锚杆补强、碳纤维布粘贴、混凝土置换等。预应力锚杆补强技术是通过在裂缝两侧布置预应力锚杆，对结构施加预压应力，限制裂缝扩展，同时封闭裂缝通道，兼具补强与防渗作用，适合处理大体积混凝土的深层结构性裂缝；碳纤维布粘贴技术是将高强度碳纤维布粘贴在混凝土表面，利用碳纤维的高强度提升结构承载能力，同时封闭表面裂缝，阻断水分渗透，施工便捷，对结构外形影响小，适合处理面板、梁板等部位的结构性裂缝；混凝土置换技术是将已经开裂劣化的混凝土部分凿除，重新浇筑高性能防渗混凝土，适合处理表层大范围开裂劣化的部位，处理效果彻底，但施工工程量较大。

四、结论

水工混凝土裂缝的产生是温度、材料、荷载、环境等多方面因素共同作用的结果，不同成因的裂缝对结构的危害程度不同，在进行防渗修补处理时，需要先明确裂缝的成因、类型与危害程度，针对性选择合适的修补技术，才能保证处理效果。在工程实践中，应当坚持预防为主的原则，从材料选择、配合比设计、施工工艺、温控措施等多个环节入手，减少裂缝的产生；对于已经产生的裂缝，需要根据裂缝宽度、深度与对结构的影响，合理选择表面修补、灌浆修补或者结构补强技术，在实现防渗要求的同时恢复结构性能，保障水利工程的长期安全运行。

参考文献

- [1] 李金玉, 曹建国, 徐文雨. 大体积水工混凝土裂缝成因与防裂技术研究[J]. 水利学报, 2000(10): 43-48.
- [2] 王铁梦. 工程结构裂缝控制[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001: 156-172.
- [3] 李芳, 魏涛, 王江. 水工混凝土裂缝修补技术研究与应用[J]. 长江科学院院报, 2018, 35(6): 120-124.