

水利工程中混凝土裂缝修补的实操工艺研究

吴国勇

郓城县双桥镇农业发展和公共文化服务中心，山东省菏泽市郓城县，274706；

摘要：水利工程中混凝土裂缝问题较为常见，裂缝的存在会影响结构的安全性与耐久性。本文聚焦水利工程混凝土裂缝修补的实操工艺，深入分析裂缝产生的原因，系统研究不同类型裂缝的修补方法与工艺要点，旨在为实际工程中的裂缝修补提供科学、可行的技术参考，以提高水利工程混凝土结构的质量和使用寿命。

关键词：水利工程；混凝土裂缝；修补工艺；实操研究

DOI：10.69979/3060-8767.25.09.036

引言

水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分，其混凝土结构的质量至关重要。然而，在实际工程中，混凝土裂缝是一个普遍存在的问题。这些裂缝不仅会降低混凝土结构的强度和耐久性，还可能引发渗漏等一系列问题，严重威胁水利工程的安全运行。因此，对水利工程中混凝土裂缝修补的实操工艺进行深入研究具有重要的现实意义。通过研究有效的裂缝修补工艺，能够及时修复裂缝，保障水利工程的正常使用和长期稳定运行。

1 水利工程混凝土裂缝产生的原因

1.1 温度变化因素

混凝土在水化过程中会释放大量的热量，导致内部温度升高。当混凝土表面散热较快，而内部热量不易散发时，就会形成较大的温度梯度，产生温度应力。当温度应力超过混凝土的抗拉强度时，就会引发裂缝。例如，在大体积混凝土浇筑过程中，由于混凝土内部水化热积聚，表面温度迅速下降，容易产生贯穿性裂缝。此外，在昼夜温差较大的地区，混凝土结构也会因温度的反复变化而产生裂缝^[1]。

1.2 收缩变形因素

混凝土在硬化过程中会发生收缩，主要包括塑性收缩、干燥收缩和自生收缩。塑性收缩发生在混凝土浇筑后的早期，此时混凝土还处于塑性状态，水分蒸发较快，表面失水收缩受到内部混凝土的约束，从而产生裂缝。干燥收缩是由于混凝土中的水分逐渐蒸发，体积减小而引起的。自生收缩则是混凝土在水泥水化过程中，由于化学作用导致的体积变化。这些收缩变形如果得不到有效控制，就会在混凝土结构中产生裂缝。

1.3 荷载作用因素

水利工程中的混凝土结构在使用过程中会承受各

种荷载，如自重、水压力、风荷载等。如果设计时对荷载估计不足，或者施工过程中未严格按照设计要求进行施工，导致混凝土结构的实际承载能力低于设计值，就会在荷载作用下产生裂缝。此外，在施工过程中，如过早拆除模板、施工机械的振动等，也可能导致混凝土结构产生裂缝^[2]。

1.4 施工质量因素

施工过程中的一些不当操作也会导致混凝土裂缝的产生。例如，混凝土配合比设计不合理，水灰比过大，会降低混凝土的强度和耐久性，增加裂缝产生的可能性。混凝土搅拌不均匀、浇筑不密实、振捣不到位等，会使混凝土内部存在缺陷，容易引发裂缝。另外，养护不当也是导致裂缝产生的重要原因之一，如养护时间不足、养护方法不正确等，会使混凝土表面水分蒸发过快，导致表面干裂。

2 水利工程混凝土裂缝的分类

2.1 按裂缝宽度分类

根据裂缝宽度的大小，可将混凝土裂缝分为微观裂缝和宏观裂缝。微观裂缝宽度一般小于0.05mm，肉眼难以察觉，通常是由于混凝土内部的微观结构变化引起的，对结构的影响较小。宏观裂缝宽度大于0.05mm，又可分为表面裂缝、深层裂缝和贯穿裂缝。表面裂缝一般较浅，只影响混凝土的外观质量；深层裂缝深度较大，会影响混凝土结构的耐久性；贯穿裂缝则贯穿整个混凝土结构，会严重影响结构的安全性。

2.2 按裂缝成因分类

按裂缝成因可分为温度裂缝、收缩裂缝、荷载裂缝、施工裂缝等。温度裂缝是由温度变化引起的；收缩裂缝是由于混凝土收缩变形产生的；荷载裂缝是在荷载作用下产生的；施工裂缝则是由于施工过程中的不当操作导致的。不同成因的裂缝具有不同的特点和分布规律，在

修补时需要采用不同的方法^[3]。

2.3 按裂缝所处位置分类

根据裂缝所处的位置,可分为表面裂缝、内部裂缝和边缘裂缝。表面裂缝位于混凝土结构的表面,容易发现和处理;内部裂缝隐藏在混凝土内部,检测和处理难度较大;边缘裂缝则出现在混凝土结构的边缘部位,通常是由于应力集中等原因引起的。

3 水利工程混凝土裂缝修补的实操工艺

3.1 表面修补法

3.1.1 适用范围

表面修补法是最基础的裂缝处理方式,主要适用于宽度较小(通常在 0.2mm 以下)的表层非结构性裂缝。这类裂缝多分布在混凝土构件表面,未深入结构内部,主要影响外观质量并可能成为水分侵入的通道。在水利工程中,常用于大坝迎水面浅层裂缝、渡槽侧墙表面裂纹及渠道衬砌表层龟裂纹等场景的处理,尤其适用于对结构整体性要求不高但需防止渗漏的部位。

3.1.2 工艺步骤

施工前需对裂缝区域进行全面勘察,用裂缝测宽仪记录裂缝分布范围与宽度变化。清理环节采用“三级处理法”:先用硬毛刷蘸清水刷洗裂缝表面,去除浮灰与松散颗粒;再用蘸有酒精的抹布擦拭,清除油污及有机杂质;最后用压缩空气吹干,确保裂缝表面干燥洁净,若遇潮湿环境需采用热风枪进行干燥处理。

材料选择需结合工程环境:干燥部位可选用普通水泥砂浆或聚合物水泥膏;潮湿环境则优先采用环氧胶泥或聚氨酯密封膏。调制修补材料时严格按照配比要求,水泥砂浆需采用筛除杂质的细砂,环氧材料需在常温下充分搅拌至无气泡产生。涂抹过程采用“分层递进法”:第一层薄涂(约 1mm)作为过渡层,确保与基层紧密粘结;待初凝后涂抹第二层(1-2mm),用抹子压实抹平,使材料充分嵌入裂缝内部。

3.2 压力灌浆法

3.2.1 适用范围

压力灌浆法是处理深层裂缝的核心技术,适用于宽度 0.2mm 以上的结构性裂缝,包括深层裂缝、贯穿裂缝及部分活动性裂缝。在水利工程中,常用于大坝坝体深层裂缝、水闸闸墩贯穿性裂缝及隧洞衬砌结构裂缝的修复,尤其适用于需要恢复结构整体性和抗渗性能的关键部位。该方法能通过压力将浆液注入裂缝深部,填充细微缝隙,形成连续的防渗体系。

3.2.2 工艺步骤

裂缝预处理是确保灌浆效果的关键:先用角磨机清

除裂缝两侧各 10cm 范围内的混凝土表层,露出坚实基层;再用钢钎剔除裂缝内的松动碎屑,用高压水枪冲洗至无浑浊物排出;对渗水裂缝需先采取引流措施,待干燥后再进行下一步施工。

钻孔作业采用专用灌浆钻机,孔位沿裂缝走向布置,呈梅花形排列,孔距根据裂缝宽度和深度灵活调整,确保钻孔与裂缝相交。钻孔完成后用清孔器清理孔内粉尘,放入膨胀止水栓塞,将灌浆嘴旋入栓塞并拧紧,确保与孔壁密封严密。

灌浆材料需根据裂缝特性定制:静止裂缝选用水泥基灌浆材料,添加微膨胀剂以补偿收缩;活动性裂缝则采用弹性环氧灌浆料,适应结构变形。灌浆施工遵循“由下而上、由稀到浓”的原则,启动灌浆泵后先通入清水检查管路通畅性,再注入稀释后的浆液,逐步提高浓度。

3.3 填充法

3.3.1 适用范围

填充法适用于宽度较大(通常在 5mm 以上)的开放性裂缝,尤其对贯穿性裂缝、沉降裂缝及因结构变形产生的宽缝修补效果显著。在水利工程中,常用于溢洪道边墙裂缝、船闸闸室侧墙裂缝及混凝土坝体分缝处的异常张开裂缝处理,通过填充刚性或半刚性材料恢复结构的整体性和抗渗能力^[4]。

3.3.2 工艺步骤

裂缝处理前需先确定裂缝的稳定状态,对仍在发展的裂缝需先采取临时支护措施。扩缝作业采用风镐或电锤进行,将裂缝凿成上口宽、下口窄的 V 形或 U 形槽,槽深根据裂缝宽度确定,一般为裂缝宽度的 1-2 倍,槽壁需凿毛处理,形成粗糙面以增强粘结力。

清理槽体时先用高压风清除碎屑,再用清水冲洗干净,待干燥后涂刷界面处理剂。界面剂选用与填充材料相匹配的类型,水泥基填充材料对应水泥基界面剂,树脂类填充材料则采用环氧界面剂,涂刷时需均匀覆盖整个槽壁,厚度控制在 0.5-1mm,待表干后立即进行填充作业。

填充材料分层填入,每层厚度不宜过大,以利于振捣密实。采用水泥砂浆填充时,需用小型振捣棒或捣固铲逐层振捣,直至表面泛浆;选用细石混凝土时,石子粒径不应大于槽宽的 1/3,振捣后需抹平表面。

3.4 结构加固法

3.4.1 适用范围

结构加固法用于因裂缝导致承载力下降的混凝土结构,适用于影响结构安全的深层裂缝、密集裂缝及因结构强度不足产生的结构性裂缝。在水利工程中,常用于大坝坝体补强、水闸闸底板加固、渡槽承重结构修

复等场景,通过增强结构的承载能力和稳定性,确保工程安全运行。

3.4.2 工艺步骤

增加配筋法施工前需进行结构检测,通过荷载试验和应力分析确定加固部位及新增钢筋的规格、数量。在混凝土表面放线定位后,用专用钻孔设备按设计间距钻孔,孔径比钢筋直径大4~6mm,孔深满足钢筋锚固长度要求。钻孔完成后用高压气吹净孔内粉尘,注入植筋胶,插入处理好的钢筋,确保钢筋与孔壁间隙均匀,胶层饱满,待植筋胶固化达到设计强度后,采用绑扎或焊接方式将新增钢筋与原有钢筋连接成整体。最后支设模板,浇筑微膨胀混凝土,振捣密实后按规范进行养护,使新增结构与原结构形成整体受力体系。

粘贴钢板或碳纤维布法则需对混凝土表面进行精细处理,先用角磨机打磨去除表层浮浆和碳化层,露出新鲜混凝土面,再用砂纸打磨平整,用吹风机清除粉尘。根据设计要求裁剪钢板或碳纤维布,钢板需进行除锈处理并涂刷防锈漆。调制结构胶时按比例混合甲乙组分,搅拌至颜色均匀,无气泡产生。

4 水利工程混凝土裂缝修补的质量控制

4.1 材料质量控制

修补材料的性能匹配度是决定裂缝修复效果的核心因素。应根据裂缝的宽度、深度、发展趋势及工程所处的水文环境(如是否长期浸泡、水质腐蚀性等)进行针对性选型:对于活动性裂缝,需选用具有微膨胀性和一定弹性的修补材料,以适应结构变形;对于水下或高湿度环境的裂缝,材料需具备较高的抗渗能力,并通过相应时长的静水压力测试无渗漏。

材料进场前必须执行“双检制”:一是核查生产厂家提供的出厂合格证、性能检测报告,重点验证抗压强度、粘结强度、抗冻等级等关键指标;二是会同监理单位进行抽样复检,在实验室模拟工程环境条件下测试其耐久性。严禁使用过期、受潮或指标不达标的修补材料,不合格材料应立即清退出场并做好记录。

4.2 施工过程控制

施工前需编制专项方案,对作业人员进行分层技术交底,明确裂缝处理的“三清三查”制度:清表面浮浆、清内部杂物、清裂缝周边松动混凝土;查裂缝尺寸测量精度、查清理工具适配性、查安全防护措施。

灌浆施工时采用“分级加压、梯度稳压”工艺:初始压力设定在合理范围,逐步缓慢升压,最高压力不超过设计值的限定比例,稳压阶段持续观察注浆嘴溢出情况,确保浆液饱满度达到较高标准。现场质检员需对每

道裂缝建立施工台账,详细记录材料配比、注浆时间、压力变化等参数,发现异常立即停工整改。

4.3 养护管理

修补完成后的养护是保障材料强度增长的关键环节,需根据材料特性制定差异化方案:水泥基材料采用“覆盖保湿+定时洒水”养护,覆盖物选用不透水薄膜或土工布,保持表面湿润状态达到足够时长;环氧类材料则需避免阳光直射,环境温度控制在适宜区间,养护期内禁止行人车辆碾压。

养护期间设置专人巡查,每日监测环境温湿度、修补体表面状态,发现起砂、开裂等问题及时采取补强措施。养护期满后抽样检测,通过钻芯取样检查粘结强度,采用水压试验验证抗渗性能,确保各项指标符合设计要求后方可转入下道工序。

5 结论与展望

5.1 结论

水利工程中混凝土裂缝的产生是由多种因素共同作用的结果,不同类型的裂缝需要采用不同的修补工艺。表面修补法、压力灌浆法、填充法和结构加固法等实操工艺在实际工程中都有广泛的应用,并且取得了较好的效果。在裂缝修补过程中,严格的质量控制是确保修补效果的关键,包括材料质量控制、施工过程控制和养护管理等方面。

5.2 展望

随着水利工程建设的不断发展,对混凝土裂缝修补技术的要求也越来越高。未来,应进一步加强对混凝土裂缝产生机理的研究,开发更加高效、环保的修补材料和工艺。同时,利用先进的检测技术,如无损检测技术,及时准确地检测出混凝土内部的裂缝,为裂缝修补提供更科学的依据。此外,建立完善的裂缝监测和预警系统,对水利工程混凝土结构的裂缝情况进行实时监测,以便及时采取措施进行处理,保障水利工程的安全运行。

参考文献

- [1]白体新.大体积混凝土工程施工裂缝控制技术研究[J].水泥,2025,(08):76-80.
- [2]杨棣.桥梁施工中预应力混凝土技术应用分析[J].汽车周刊,2025,(03):84-86.
- [3]苗华波.土建施工中混凝土现浇板裂缝的预防与控制措施[J].建材发展导向,2025,23(11):118-120.
- [4]吕鑫.水利工程中基础灌浆施工的应用[J].科技与企业,2015,(07):125.