

混凝土重力坝裂缝成因分析与防裂措施研究

卢紫娟

新疆生产建设兵团建筑工程科学技术研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘要】：混凝土重力坝在长期运行过程中易产生不同形式的裂缝，直接影响结构安全与耐久性性能。围绕裂缝成因与防裂控制这一核心问题，系统分析温度应力、干缩变形、地基不均匀沉降及施工质量等因素对坝体开裂的作用机理，阐明裂缝发展规律及其对整体稳定性的影响。在此基础上，从优化配合比设计、强化温控措施、完善施工工艺与运行期监测等方面提出针对性的防裂技术路径，以实现结构安全性与经济性的统一，为混凝土重力坝全寿命周期管理提供技术支撑。

【关键词】：混凝土重力坝；裂缝成因；温度应力；防裂措施；结构安全

DOI:10.12417/2811-0528.26.09.081

引言

混凝土重力坝作为水利水电工程中的重要挡水建筑物，其结构安全直接关系到下游地区的生命财产安全。坝体一旦出现裂缝，削弱整体抗渗与抗剪能力，还可能诱发渗流集中与应力重分布等连锁问题。裂缝的产生往往受材料性能、温度变化、施工工艺及地基条件等多重因素共同影响，具有复杂性和阶段性特征。围绕裂缝形成机理与控制途径展开系统分析，有助于从源头减少结构隐患，并为工程设计、施工与运行管理提供科学依据，从而提升混凝土重力坝的长期稳定性与耐久性性能。

1 混凝土重力坝裂缝类型及成因机理分析

混凝土重力坝在服役过程中常出现多种形式的裂缝，按形态与成因可划分为温度裂缝、干缩裂缝、沉降裂缝以及结构受力裂缝等类型。温度裂缝多发生于大体积混凝土浇筑阶段及运行初期，受水化热集中释放和内外温差梯度影响，坝体内部形成较大的拉应力，当其超过混凝土抗拉强度时即产生开裂。干缩裂缝则与水分蒸发和体积收缩有关，在约束条件较强的坝段或接缝部位尤为明显。沉降裂缝通常源于地基承载力差异或坝基处理不均，引起不均匀沉降与附加弯矩，导致局部拉应力集中。不同类型裂缝在空间分布与发展阶段上具有差异，但均与坝体应力重分布密切相关。

裂缝的形成机理与混凝土材料特性及结构受力状态密不可分。大体积混凝土内部温升可达较高水平，降温阶段受外界环境温度和坝体约束影响，内部温度场呈现明显非均匀性，诱发温度应力^[1]。若未合理设置分缝与冷却水管系统，温度应力将沿坝轴线或横缝方向扩展。混凝土弹性模量增长速度与强度增长不同步，在早龄期阶段抗拉能力较低，微裂隙易在骨料界面处萌生并逐步贯通，形成宏观裂缝。坝体受静水压力、自重及扬压力等荷载共同作用，结构截面内产生弯拉应力与剪应力耦合作用，若设计计算与实际受力存在偏差，局部区域可能出现拉应力峰值，成为裂缝敏感区。

工程实践表明，施工组织与运行环境对裂缝演化具有显著影响。分层分块浇筑若间歇时间控制不当，易在施工缝处形成薄弱带，降低整体性。养护措施不足会加剧表面失水与收缩变形，使表层产生网状裂缝。高寒或昼夜温差较大的地区，坝体表层与内部温差频繁变化，循环温度应力可能促使既有微裂缝扩展。长期运行阶段，渗流压力和碱骨料反应等耐久性问题也可能诱发次生裂缝，改变原有应力路径。对裂缝类型与成因机理进行系统分析，有助于明确控制重点，为后续防裂措施的制定提供可靠依据。

2 混凝土重力坝裂缝控制与防裂技术措施

混凝土重力坝裂缝控制的关键在于从材料设计阶段入手，降低内部拉应力的产生条件。配合比优化应兼顾强度、抗渗与温控要求，选用低水化热水泥、掺加粉煤灰或矿渣微粉等活性掺合料，减缓水化放热速率，降低峰值温升。合理控制水胶比与砂率，可改善混凝土工作性与密实度，减少孔隙率，从而提升抗拉强度与抗裂性能。对大体积坝段可掺入适量减水剂与缓凝剂，延长凝结时间，避免早龄期应力集中。骨料级配应连续且稳定，限制有害杂质含量，抑制碱骨料反应带来的膨胀破坏，为裂缝控制奠定材料基础。

施工阶段的温度控制与结构约束调节是防裂技术体系的重要环节。分层分块浇筑应结合坝体几何尺寸与温控计算结果确定合理分仓尺寸与间歇时间，减少约束条件下的温度拉应力。埋设冷却水管进行循环水降温，可有效调节内部温度场，降低内外温差梯度^[2]。对表面采取覆盖保温材料或喷雾养护措施，减缓降温速率与水分蒸发速率，避免表层拉应力骤增。施工缝与横缝位置需严格按照设计要求处理，保证界面清洁与粘结强度，防止形成结构薄弱面。通过全过程温度监测与应力监测，及时修正施工参数，可在萌芽阶段控制裂缝发展。

运行管理阶段的防裂措施同样不可忽视。蓄水初期应控制水位上升速率，避免水压力骤然增加引起应力突变。建立坝体

健康监测系统,对温度、位移、渗流及应变等指标进行长期跟踪,结合有限元反演分析评估结构受力状态,提前识别潜在开裂区域。对已出现的细微裂缝可采用环氧树脂灌浆或化学灌浆技术进行封闭处理,恢复整体性与抗渗性能。对可能发生碳化或化学侵蚀的部位,应加强表面防护与排水系统维护,降低环境因素对结构耐久性的影响。通过材料优化、施工控制与运行维护协同实施,可构建系统化的裂缝控制技术体系,提高混凝土重力坝的长期安全水平。

3 混凝土重力坝防裂体系的优化与工程应用效果评价

混凝土重力坝防裂体系的优化应建立在全寿命周期管理理念之上,将设计、施工与运行阶段的控制要素进行系统整合。在设计层面,通过温控仿真计算与有限元分析对坝体温度场和应力场进行预测,优化分缝布置与坝段尺寸,合理配置伸缩缝与止水结构,降低约束效应带来的拉应力集中。结合不同气候条件与地基特性,制定差异化温控指标与材料性能指标,实现参数化设计与动态调整。结构构造细节的改进同样关键,对廊道、孔口及转角部位进行应力集中分析,并采取圆弧过渡或局部加密钢筋等措施,提高局部抗裂能力,从源头完善防裂体系框架。

工程应用中,防裂体系的实施效果依赖于技术措施的协同程度与执行精度。布设自动化监测系统,对坝体内部温度、应变、位移及渗压等数据进行实时采集,形成数据驱动的评估模式。监测结果与设计预测值进行对比,可判断温控措施的实际

成效,并及时调整冷却水流量或保温方案^[3]。对不同坝段进行对比分析,可验证优化配合比与分仓方式在降低裂缝发生率方面的作用。现场实践显示,温差控制在设计允许范围内时,表面裂缝数量明显减少,贯通裂缝概率显著下降,坝体整体刚度与抗渗性能得到有效保持,结构安全储备得到提升。

防裂体系的评价应结合结构安全指标与经济技术指标进行综合分析。统计裂缝长度、宽度及分布密度,结合声波检测与钻芯取样结果,对内部完整性进行量化评估。长期监测资料可用于建立裂缝演化模型,分析应力释放与变形协调状况,判断防裂措施的持续有效性。在成本控制方面,优化后的温控与施工组织虽增加前期投入,但可显著减少后期修补与加固费用,延长坝体服役年限。工程实践表明,构建系统化、可量化、可追溯的防裂管理机制,有助于实现安全性、耐久性与经济性的协调统一,为混凝土重力坝稳定运行提供可靠保障。完善技术标准、强化过程控制与信息化监测手段,可对裂缝风险进行动态评估与及时干预,提升结构运行的可控性与预见性,进一步延长工程服役年限。

4 结语

本文围绕混凝土重力坝裂缝成因与防裂技术展开系统分析,从裂缝类型及机理入手,结合材料优化、温度控制、施工管理与运行监测等措施,构建了较为完整的防裂技术体系。通过工程实践与效果评价可见,科学的温控设计与全过程管理能够显著降低裂缝发生率,提高结构整体性与耐久性能,为混凝土重力坝安全稳定运行提供有力保障。

参考文献:

- [1] 肖洪.大体积混凝土施工中温控与裂缝控制一体化技术研究[J].水泥,2025,(12):83-85.
- [2] 卢常达.超高层建筑大体积混凝土裂缝智能监测技术应用分析[J].山西建筑,2025,51(23):103-107.
- [3] 王建宁,黄欢,高梓艺,等.大坝全过程仿真与裂缝扩展稳定性分析[J].陕西水利,2025,(10):1-4.