

# 水利工程施工中混凝土抗渗性提升技术研究

宋于磊

山东水总有限公司 山东 济南 250000

**摘要:** 水利工程中混凝土抗渗性影响工程安全与耐久性。本文分析原材料特性、配合比设计、施工工艺及环境因素对抗渗性的影响,提出原材料优化、配合比优化、施工工艺改进及混凝土改性等技术路径,并阐述施工质量控制要点。最后探讨绿色环保、智能化、高性能材料及全生命周期抗渗保障等发展趋势,为水利工程混凝土抗渗性提升提供参考。

**关键词:** 水利工程;混凝土抗渗性;原材料优化;施工工艺改进;发展趋势

引言:水利工程作为基础设施的重要组成部分,其安全性和耐久性至关重要。混凝土作为水利工程的主要建筑材料,其抗渗性能直接影响工程的使用寿命和安全性。提升混凝土抗渗性,可有效防止水的渗透,保护结构内部钢筋免受锈蚀,增强混凝土耐久性,减少后期维护成本,是水利工程施工中的关键技术难题。

## 1 水利工程混凝土抗渗性的影响因素

### 1.1 原材料特性影响

水泥品种与强度等级奠定混凝土抗渗基础,硅酸盐水泥水化反应彻底,形成的胶凝网络结构紧密,抗渗能力较强;抗硫酸盐水泥可抑制硫酸盐与水泥成分的有害反应,在含侵蚀离子的水利环境中,抗渗耐久性更突出<sup>[1]</sup>。骨料级配与粒径直接影响内部孔隙分布,连续级配的骨料能相互填充减少间隙,粗细骨料比例适配时,可大幅降低连通孔隙率;若级配间断或粒径搭配失衡,易形成贯穿性渗水通道。外加剂通过调节混凝土性能增强抗渗性,减水剂减少拌合用水,降低水胶比以提升密实度,引气剂引入微小封闭气泡阻断渗水路径,膨胀剂补偿收缩避免裂缝产生。掺和料优化混凝土微观结构,粉煤灰填充胶凝材料间隙改善界面过渡区,矿渣粉细化孔隙提升整体密实度,硅灰凭借高活性生成更多凝胶,进一步填充微小孔隙,共同增强抗渗效果。

### 1.2 配合比设计影响

水胶比是控制混凝土抗渗性的核心指标。水胶比过大时,混凝土硬化后残留大量毛细孔隙,易连通形成渗水通道,抗渗性显著下降;水胶比减小时,水泥水化更充分,胶凝结构更致密,抗渗能力随之提升。胶凝材料用量需匹配骨料间隙填充需求。足量胶凝材料能充分包裹骨料、填满颗粒间空隙,减少内部孔隙;用量不足时,骨料间隙无法填满,易形成残留孔隙,降低抗渗性。砂率选择需平衡和易性与抗渗性。砂率过低导致砂浆不足,难

裹骨料易离析,破坏结构连续性;砂率过高增加干缩风险,可能引发裂缝;合理设定砂率,可确保砂浆充足、和易性好,维持低孔隙率保障抗渗性。

### 1.3 施工工艺影响

搅拌质量决定混凝土匀质性,搅拌时间不足或转速过低,原材料混合不均易出现水泥团、骨料分布失衡,形成局部渗水薄弱区;搅拌时间过长或转速过高,可能破坏骨料结构影响性能。浇筑方式需合理规划,浇筑顺序混乱或分层过厚,易在层间形成施工缝,处理不当会成为渗水通道;控制分层厚度并按顺序浇筑,可减少施工缝与气泡残留。振捣需精准把控参数,时间不足或频率过低,内部气泡与空隙无法排出,残留孔隙增多;振捣过度则导致骨料离析破坏结构。养护条件影响混凝土强度与结构稳定,温度过低延缓水泥水化,湿度不足易使表面失水产生干缩裂缝,养护周期不足则水化不充分,均会削弱抗渗性。

### 1.4 环境因素影响

水体侵蚀逐步破坏抗渗结构,淡水长期渗透会溶解水泥水化产物,扩大内部孔隙;盐水或含腐蚀性离子的水体,离子与水泥成分反应生成膨胀物质,导致混凝土开裂并加速孔隙发展。温度变化易引发裂缝,水利工程中混凝土常面临昼夜与季节温差,温度波动产生的热胀冷缩应力超过抗拉强度时,会产生裂缝成为渗水通道。干湿循环加剧微观损伤,干燥时混凝土水分蒸发产生收缩,可能形成微裂缝,湿润时水分渗入裂缝,反复循环使微裂缝扩展连通,在水位变动区域这种影响更为明显,持续削弱抗渗性能。

## 2 水利工程混凝土抗渗性提升的核心技术路径

### 2.1 原材料优化技术

抗渗型外加剂应用需根据工程需求精准选型,减水剂可减少拌合用水量,降低水胶比以减少毛细孔隙,提

升混凝土密实度；引气剂能引入均匀分布的微小封闭气泡，阻断渗水通道的形成与延伸；膨胀剂可在混凝土硬化过程中产生适度膨胀，补偿收缩变形，避免收缩裂缝产生<sup>[2]</sup>。高性能掺和料掺配注重协同优化，粉煤灰可改善混凝土和易性，减少离析现象，同时填充胶凝材料间隙优化界面过渡区；硅灰凭借超细颗粒特性，能填充混凝土微观孔隙，增强胶凝结构致密性；矿渣粉可提升混凝土抗侵蚀能力，延缓外部有害物质渗透，三者合理搭配可显著增强抗渗效果。特种骨料选用聚焦结构优化，致密性骨料自身孔隙率低，能减少混凝土内部初始孔隙；轻质骨料表面多孔结构可与胶凝材料更好结合，提升界面粘结力，共同优化混凝土抗渗结构。

## 2.2 配合比优化设计技术

低水胶比配合比设计是控制抗渗性的关键，通过严格控制用水量与胶凝材料用量的比例，减少混凝土硬化后残留的毛细孔隙，降低孔隙连通性，从而提升抗渗能力。针对不同水利工程场景，如堤坝、水闸等，需结合工程所处水文环境调整水胶比，在保证施工和易性的前提下，实现抗渗性能与施工效率的平衡。胶凝材料复配方案需确定水泥与掺和料的最佳比例，根据工程环境与抗渗要求，调整二者用量，既能发挥水泥的强度优势，又能借助掺和料优化微观结构，在保证强度的同时增强抗渗性。骨料级配优化需调整粗细骨料比例，通过连续级配设计使骨料相互填充，减少颗粒间空隙，降低混凝土整体空隙率，为提升抗渗性奠定结构基础，尤其适用于对抗渗性要求较高的水下浇筑部位。

## 2.3 施工工艺改进技术

精细化搅拌工艺需精准控制搅拌参数，根据原材料特性设定适宜的搅拌时间与转速，确保水泥、骨料、外加剂等充分混合，避免出现水泥团或骨料分布不均，保障混凝土匀质性。分层振捣与密实控制需采用针对性振捣工艺，按浇筑厚度分层振捣，把控振捣时间与频率，避免漏振导致局部密实度不足，同时防止过振引发骨料离析，确保混凝土内部孔隙充分排出。专项养护技术需根据环境条件选择合适方式，覆膜养护可减少水分蒸发，维持混凝土湿润环境；洒水养护能及时补充水分，促进水泥充分水化；蒸汽养护可加速水化反应，提升早期强度与密实度，均能有效提升混凝土抗渗性。施工缝与变形缝防渗处理需强化界面防护，通过界面凿毛、涂刷界面剂等方式增强粘结力，合理设置止水带阻断渗水通道，避免缝隙成为渗漏薄弱点。

## 2.4 混凝土表面与内部改性技术

表面涂层防护技术需选用适配涂料，渗透型涂料可

深入混凝土表层填充孔隙，形成深层防护，适用于水位变动区等易受水侵蚀的部位；防水砂浆能在表面形成致密防护层，阻挡外部水分渗入，常用于混凝土结构表层的防渗加固。内部密实化改性需引入增强材料，纤维可分散应力、抑制裂缝扩展，提升混凝土抗裂性能，常见的纤维类型包括聚丙烯纤维、钢纤维等；纳米材料能细化水泥水化产物，优化微观结构，减少内部孔隙，共同提升混凝土内部密实度与抗渗性。裂缝预防与修复技术需注重全周期管控，通过早期裂缝监测及时发现微小裂缝，采用灌浆技术注入防渗浆液封闭裂缝，防止裂缝扩展影响抗渗性能，保障混凝土长期抗渗稳定，尤其适用于已投入使用的水利工程维护改造。

## 3 混凝土抗渗性提升的施工质量控制

### 3.1 原材料质量管控

原材料进场检验需覆盖关键性能指标，水泥需检测强度、凝结时间及安定性，确保水化反应稳定且无有害成分影响抗渗结构；骨料需检测颗粒级配、含泥量及密实度，避免杂质堵塞胶凝间隙或破坏整体结构；外加剂需验证减水率、引气效果或膨胀率，确保功能符合抗渗设计标准；掺和料需检测细度、活性指数，保障对混凝土微观孔隙的优化作用<sup>[3]</sup>。原材料存储与使用管理需注重环境防护，水泥与掺和料需存放于密闭防潮仓库，避免受潮结块导致活性下降；骨料需分类堆放并覆盖防护，防止不同粒径混杂或受油污、粉尘污染；外加剂需按特性控制存储温度，避免挥发或与其他物质发生反应，从源头保障原材料性能稳定，为抗渗性提升奠定基础。

### 3.2 施工过程质量控制

配合比动态调整需结合原材料实际性能，若骨料含水率变化需相应调整用水量，若掺和料活性波动需微调掺量，通过实时修正配合比参数，确保混凝土性能始终适配抗渗需求。搅拌、浇筑、振捣环节的参数监测需全程跟踪，搅拌阶段需记录搅拌时间与转速，确保水泥、骨料、外加剂充分混合均匀，避免出现水泥团或骨料分布失衡；浇筑阶段需监控浇筑速度与分层厚度，防止因浇筑过快导致气泡滞留或层间结合不良；振捣阶段需记录振捣位置、时间与频率，避免漏振导致局部密实度不足，或过振引发骨料离析破坏结构。养护过程的温湿度监控需持续开展，根据环境温度调整养护方式，低温时采取保温措施避免水化缓慢，高温时增加洒水频次防止表面失水开裂，同时记录养护湿度变化，确保混凝土在适宜温湿度环境中充分水化，逐步发展抗渗性能。

### 3.3 抗渗性提升效果的检测与优化

施工中阶段性检测需借助现场快速检测手段，表面

渗水性测试通过观察水分渗透速度判断表层密实度，回弹-取芯法可直观评估混凝土内部结构与强度，结合检测结果及时调整搅拌参数或振捣工艺，避免后续施工出现同类问题。实验室针对性测试需对施工留样混凝土开展系统分析，抗渗等级试验通过逐级加压确定混凝土抗渗能力，孔隙率分析可量化微观结构优化效果，验证原材料优化、配合比设计对提升抗渗性的实际作用。检测结果应用需聚焦技术方案迭代，若发现抗渗性能未达预期，可调整外加剂掺量或优化掺和料配比，若养护效果不佳则延长养护周期或改进养护方式，通过持续优化技术措施，确保抗渗性提升手段精准落地，保障混凝土长期抗渗稳定。

#### 4 水利工程混凝土抗渗性提升技术的发展趋势

##### 4.1 绿色环保抗渗技术

绿色环保抗渗技术以资源高效利用和低碳减排为核心方向，低碳胶凝材料的研发与应用不断推进，通过掺加大量工业固废替代传统水泥，在降低生产阶段碳排放的同时，借助固废颗粒的填充效应与火山灰活性，优化混凝土孔隙结构，维持甚至提升抗渗性能<sup>[4]</sup>。再生骨料的应用突破技术瓶颈，通过机械研磨、化学改性等工艺改善再生骨料表面性能，降低其孔隙率与吸水率，使其能稳定适配抗渗混凝土制备，不仅实现建筑废弃物资源化循环，还减少天然骨料开采对生态环境的破坏，契合水利工程可持续发展理念。

##### 4.2 智能化技术融合

智能化技术全面渗透抗渗混凝土从设计到施工的全流程，智能配合比设计系统整合海量工程数据与材料性能参数，通过算法模型实时分析原材料波动情况，自动生成适配不同工程环境的最优配合比方案，大幅减少人工计算误差，确保配合比精准匹配抗渗需求。施工过程中智能监测技术实现动态管控，在搅拌、振捣、养护等关键环节布设传感器，实时采集搅拌转速、振捣频率、养护温湿度等数据，数据传输至云端平台后经分析生成偏差预警，指导现场及时调整施工参数，有效避免因人为操作失误导致的抗渗性能波动。

##### 4.3 高性能抗渗材料研发

高性能抗渗材料向多功能化、高效化方向突破，新型外加剂呈现复合功能特性，将减水、引气、抗裂等功

能集成一体，既能通过高效减水作用降低水胶比，又能引入稳定封闭气泡阻断渗水通道，同时抑制混凝土收缩裂缝产生，全方位提升抗渗能力。改性掺和料技术取得创新进展，通过物理活化、化学包覆等手段增强掺和料活性与界面粘结力，部分改性掺和料还能在混凝土内部形成抗侵蚀屏障，赋予混凝土抗冻、抗硫酸盐侵蚀等附加性能，拓展抗渗混凝土在高寒、高腐蚀等复杂水利环境中的应用范围。

##### 4.4 全生命周期抗渗保障技术

全生命周期抗渗保障技术构建“设计-施工-运维”一体化体系，设计阶段结合工程所处水文地质条件与长期使用需求，采用数值模拟技术预判混凝土抗渗薄弱区域，制定针对性抗渗设计方案；施工阶段依托标准化工艺与智能管控，确保抗渗设计参数精准落地；运维阶段运用无损检测技术定期扫描混凝土结构，评估抗渗性能变化趋势，建立病害预警机制，一旦发现渗漏隐患及时采取灌浆、涂层修复等措施<sup>[5]</sup>。该技术打破各阶段信息壁垒，实现全程可控的抗渗管控，有效延长水利工程使用寿命，保障工程长期稳定运行。

##### 结束语

水利工程混凝土抗渗性提升技术研究，对保障工程安全与延长寿命意义重大。通过原材料优化、配合比设计、施工工艺改进及混凝土改性等技术路径，结合施工质量控制，可有效提升混凝土抗渗性。未来，绿色环保、智能化融合、高性能材料研发及全生命周期抗渗保障等趋势将推动该技术持续发展，为水利工程建设提供更可靠的技术支撑。

##### 参考文献

- [1]李鑫,赵西永.水利工程施工中混凝土抗渗性提升技术研究[J].石化技术,2025,32(5):411-412.
- [2]李静波.水利工程施工的混凝土防渗墙施工技术分析[J].中国水泥,2024(8):99-101.
- [3]蒋家斌.水利工程堤坝多维防渗施工技术研究[J].工程技术研究,2024,9(20):96-98.
- [4]冯展平.水利工程建设中塑性混凝土防渗墙的应用[J].工程建设与设计,2024(2):105-107.
- [5]罗静.水利工程施工中的混凝土衬砌渠道防渗漏措施分析[J].电脑应用文粹,2024(3):312-314.