

水利工程混凝土施工技术对防渗效果的影响

姚雪亮

天津市武清区水务运行调度中心（天津市武清区河长制事务中心）天津 武清 301700

【摘要】：水利工程混凝土施工技术直接影响防渗效果，其质量控制与工艺优化成为提高工程整体安全性的重要环节。施工过程中混凝土配合比、浇筑工艺、振捣密实度以及养护措施都会对防渗性能产生关键作用。若施工管理不当，容易导致孔隙率增加、裂缝扩展，进而降低防渗能力。通过合理选择原材料、严格控制施工工序以及采用先进技术手段，可有效提高混凝土密实度和耐久性，确保防渗效果稳定性。科学的施工技术不仅能够减少渗漏风险，还能延长工程服役寿命，为水利工程的可持续运行提供有力保障。

【关键词】：水利工程；混凝土施工；防渗性能；质量控制；耐久性

DOI:10.12417/2705-0998.25.16.003

引言

水利工程的建设目标不仅在于满足防洪、供水和发电等功能，还要求在长期运行中保持结构的安全与稳定。混凝土作为主要结构材料，其施工技术直接关系到工程防渗性能的发挥。渗漏问题往往源于施工环节中混凝土密实度不足、裂缝产生或养护不当，从而影响工程整体效能。近年来，随着水利工程规模不断扩大，对混凝土施工技术的要求也日益严格。如何在施工阶段实现材料与工艺的合理匹配，避免潜在渗水隐患，已成为工程技术人员关注的重点。通过对施工技术进行科学把控和优化，不仅可以有效提升防渗效果，还能进一步提高工程耐久性和经济效益。这种探索具有现实意义，也为未来水利工程建设质量保障提供了重要借鉴。

1 混凝土材料特性对水利工程防渗性能的影响

1.1 原材料选择对混凝土致密性的作用

水利工程混凝土的致密性与所选用的原材料直接相关。粗骨料的粒径级配合理与否，会影响混凝土内部空隙的多少，如果级配连续，能够减少孔隙率，从而提升结构的防渗能力；细骨料若含泥量过高，容易阻碍水泥浆体与骨料之间的结合，导致界面过渡区强度不足。水泥品种的选择同样关键，高标号水泥水化产物较多，孔隙填充更为充分，有利于形成致密结构，而低标号水泥在强度增长速度和最终致密度上存在不足。水质的洁净程度也不可忽视，含有有害杂质的拌合水会影响水泥水化反应并加剧混凝土的渗透性。综合来看，原材料的纯净度、规格及性能稳定性对混凝土的防渗效果起着决定性作用。

1.2 配合比优化对混凝土结构性能的影响

合理的配合比能够显著改善混凝土内部结构的密实程度。水胶比过高会导致自由水增加，在硬化过程中蒸发后留下毛细孔隙，从而降低防渗性能；水胶比过低则不利于水泥水化完全，影响整体强度。骨料与胶凝材料的比例若不协调，容易产生离析或泌水现象，造成混凝土局部结构松散，降低抗渗能力。适度引入粉煤灰、矿渣粉等掺合料，可以填充孔隙并优化浆体微

观结构，减少渗透通道的形成。通过试验确定最优配合比，能够在强度与防渗性之间取得平衡，使混凝土既具备良好的力学性能，又具备较强的抗渗能力。

1.3 外加剂应用对防渗能力提升的贡献

外加剂在水利工程混凝土防渗性能提升中具有重要作用。减水剂可以在不增加拌合水的情况下提高混凝土流动性，使浆体更加均匀分布，增强密实度；引气剂通过形成微小而均匀的气泡，有效阻断毛细孔道的连续性，降低渗透系数；膨胀剂在硬化过程中产生微膨胀效应，能够抵消部分收缩应力，减少裂缝风险，从而增强防渗效果。防水剂则通过在孔隙壁面形成疏水膜，进一步阻碍水分渗透。不同外加剂在应用中需结合材料特性与施工条件加以配合，才能最大限度提升混凝土的整体防渗性能，为工程结构提供更高的安全保障。

2 施工工艺控制在提升混凝土防渗性能中的关键作用

2.1 浇筑工艺不当引发混凝土防渗性能下降问题

在浇筑环节，工艺控制不当极易导致混凝土防渗性能下降。一次性浇筑量过大容易产生冷缝，使不同层次之间的结合力减弱，形成渗水通道；浇筑速度过快，造成混凝土离析或骨料集中堆积，浆体分布不均，影响密实度。若在高温或干燥环境下未采取保湿措施，混凝土表面收缩速度加快，也会出现裂缝，降低抗渗效果。浇筑过程中的接缝处理不严密，常见于大体积结构，容易在接缝处形成弱区。严格把控浇筑工艺，合理分段分层浇筑，才能避免这些潜在问题的发生。

2.2 振捣密实技术对减少孔隙率的有效措施

振捣环节在混凝土防渗性能形成中具有关键地位，其工艺水平直接影响到混凝土的密实度和整体均匀性。如果振捣不充分，内部残留的气泡和自由水会在硬化后形成贯通孔隙，进而成为渗水通道，导致防渗性能下降；反之，振捣过度会使粗骨料下沉、浆体上浮，造成材料分布不均，甚至出现分层现象，从而削弱整体结构的紧密性和耐久性。为保证效果，振捣操作

需严格控制时间与频率，使浆体与骨料能够充分结合。尤其在大体积混凝土浇筑过程中，还需要分区、分层进行，避免因局部处理不当而形成潜在渗漏隐患。采用科学的振捣方法，不仅能降低孔隙率，还能提升混凝土抗渗能力和结构稳定性，为水利工程提供可靠的防渗保障。

2.3 分层分段施工对结构整体性的保障作用

在大体量的水利工程施工中，分层分段施工是确保混凝土质量与施工效率的重要手段，但若处理不当极易成为渗漏隐患。施工缝位置往往是应力集中区，也是渗水最容易发生的薄弱环节。若施工缝表面未经过凿毛处理，旧混凝土表层的光滑界面会削弱新旧混凝土间的机械咬合力，造成结合不牢，从而形成微裂缝与渗水通道。通过凿毛、冲洗和保持施工缝湿润，可以提高新旧界面结合效果，同时配合使用界面剂进一步增强黏结强度。在分层施工中，每层厚度应根据振捣设备能力和浇筑工艺合理控制，层次过厚会导致下层振捣不密实，层次过薄则影响施工效率。对于大坝、隧道等对防渗性能要求极高的工程，还应结合温控措施，避免分段间因温度差异导致的应力裂缝扩展。科学合理地组织分层分段施工，不仅能维持结构整体性，还能显著改善混凝土的抗渗能力和长期耐久性。

3 养护环节管理对混凝土防渗效果的持久性影响

3.1 早期养护不足导致裂缝与渗水风险增加

混凝土硬化的初期阶段，内部水化反应尚未完全进行，结构骨架尚在形成，若养护不到位，水分的过快蒸发会造成表面干缩裂缝。这些裂缝纵使宽度细微，也会在后期因外部水压力的反复作用逐渐扩大，形成明显的渗水通道。在高温、干燥及多风条件下，若缺少覆盖、洒水或保湿膜措施，裂缝出现的几率会显著升高。对于大体积混凝土结构，表面收缩与内部温差应力叠加，还会进一步加剧裂缝的发展。裂缝一旦产生，渗水沿着裂缝路径进入，会降低混凝土整体的防渗能力，进而影响工程的耐久性和安全性。因此，早期养护是否充分，是决定混凝土能否形成致密结构和保持防渗性能的关键环节。

3.2 养护方式差异对混凝土微观结构的影响

不同养护方式会直接影响混凝土的水化反应程度与微观结构状态。水养护条件下，混凝土能持续获得充足的水分，使水泥水化反应更为充分，水化产物填充毛细孔隙，结构更加致密；薄膜覆盖养护虽然能够防止表面过快蒸发，但对深层结构的水化促进有限，若在较长周期中单独使用，易造成表面与内部结构差异；养护剂喷涂方式通过在混凝土表面形成保护层，减少水分损失，适用于条件复杂的现场环境。若养护方式不当，导致水化过程不均匀，孔隙率升高，抗渗性能显著下降。在工程中，根据环境条件和结构特点选择合理的养护方式，能够显著改善混凝土的微观结构，从而增强防渗效果。

3.3 长期养护管理对工程防渗耐久性的保障

混凝土的防渗性能并非仅依赖施工初期的养护，其长期表现与运行期的管理同样密切相关。运行中若缺乏维护，环境温差、冻融循环和水化热应力等因素会逐渐诱发微裂缝的发展，并通过水的侵入扩展为渗漏隐患。采取定期补水养护或表面封闭措施，能够延缓微裂缝扩展速度，保持结构的致密性。对于高水头作用下的重点水工建筑，应当建立长期养护和监测制度，根据不同环境湿度、气温和荷载变化，实施差异化的养护策略，以避免混凝土因长期暴露而性能衰退。长期养护不仅能延缓材料性能下降，还能有效防止渗水风险的累积与放大，从而保障防渗效果的持续性。

4 防渗性能检测与监控体系在施工过程中的应用价值

4.1 渗漏隐患排查对保障工程安全运行的必要性

水利工程施工阶段的渗漏隐患往往呈隐蔽性，肉眼难以察觉，但若未在早期发现和治理，便可能在运行期引发严重后果。渗水试验、压力渗透实验和渗流观测是常见的检测手段，能够帮助发现混凝土结构的薄弱环节。尤其在接缝、冷缝和施工缝部位，渗漏问题更易发生，需要重点排查。建立系统性的隐患排查机制，可以在混凝土强度尚未完全形成前采取修补或补强措施，减少后期治理难度与成本。隐患排查在工程施工质量管理中不仅具有预防作用，更直接关系到防渗效果能否在运行期保持稳定。

4.2 先进检测技术对混凝土施工质量评估的支持

现代化检测技术的应用使混凝土防渗性能的评估更加科学。超声波检测能够揭示内部孔隙、裂缝及密实度情况，帮助分析潜在的渗透风险；电通量法通过测定离子迁移能力，间接反映混凝土抗渗性能；红外热像技术可直观显示结构温度分布差异，揭示可能存在的渗漏区域。X射线断层扫描技术也逐渐应用于微观结构分析，能够获得更精准的孔隙分布信息。这些检测方法相互补充，能够为施工质量提供全面的评估数据，使得施工工艺可及时调整，确保混凝土的防渗性能达到设计要求。

4.3 全过程监控管理对防渗效果稳定性的提升

全过程监控体系的建立，能够将防渗性能的保障延伸到施工的每一个环节。原材料进场需严格检测水泥活性、骨料含泥量及外加剂性能；配合比控制阶段需进行试拌验证；浇筑与振捣环节需配合传感器和数字化监控系统，确保工艺参数在合理范围内；养护环节需通过监控温湿度数据来保证环境条件适宜。利用物联网和大数据平台，可以实时采集施工过程的关键指标，并在出现偏差时迅速进行调整。全过程监控不仅提高了施工质量控制的可操作性，还在很大程度上降低了渗漏风险，使混凝土的防渗性能更加稳定可靠。

5 混凝土施工技术优化提升水利工程防渗性能的实践路径

5.1 新型施工技术在提升防渗性能中的应用探索

随着施工技术的发展，多种新型方法被应用于水利工程混凝土施工中。真空脱水施工能够在硬化前抽除多余拌合水，减少毛细孔的形成，使结构更加致密；自密实混凝土以其优异的流动性在复杂结构中表现突出，不需额外振捣即可实现良好的密实度，降低因操作不均造成的防渗隐患；喷射混凝土施工适合隧洞、边坡及加固部位，能够快速成型并形成高密度覆盖层，有效阻断渗流通道。纤维混凝土技术的应用，通过在材料中掺入纤维提升裂缝控制能力，也对防渗性能有显著贡献。这些技术手段的结合，拓展了混凝土防渗施工的应用空间。

5.2 施工管理制度完善对防渗能力的支撑作用

在技术措施之外，科学的施工管理制度是保障防渗性能的核心支撑。制度的完善包括施工前的技术交底与工序设计，施工过程中的质量监督，以及施工后的系统验收与评估。原材料必须严格检验，确保符合标准；施工环节应建立质量追踪机制，实时记录关键数据；工程完成后，应设置专门的渗水试验与性能检测程序，确保防渗效果达到设计目标。管理制度的完善，使防渗性能的保障不仅依赖于单一环节，而是通过系统化控制实现全过程质量保证，为工程长期稳定运行提供制度基础。

5.3 综合措施协同作用提升混凝土防渗水平的效果

在复杂多变的水利工程环境中，单一措施难以全面解决混凝土的防渗问题。材料选择、施工工艺、养护方式与检测监控必须形成互补和协同关系，才能发挥综合效应。采用低水胶比设计和高性能外加剂，可以在材料层面提升抗渗性；在施工环节，结合自密实技术与真空脱水工艺，进一步降低孔隙率；运行阶段，辅以长期监测与差异化养护制度，能够保证防渗性能不因环境变化而削弱。这种多维度的协同配合，使混凝土在整个生命周期内都能保持良好的防渗性能，为水利工程的安全运行提供持续保障。

6 结语

本文围绕水利工程混凝土施工技术与防渗效果的关系展开论述，重点分析了材料特性、施工工艺、养护管理、检测监控以及技术优化等方面的具体影响。混凝土作为水利工程的重要材料，其防渗性能直接关系到工程的长期安全与稳定。通过科学选择原材料、优化配合比、合理控制施工工艺、加强养护措施和完善监控体系，能够显著提升混凝土的密实性与耐久性。新型施工技术与完善的管理制度相结合，为提高防渗效果提供了有效路径。系统性措施的综合运用是确保水利工程质量与运行效益的重要保障。

参考文献：

- [1] 陈立伟,周凯.混凝土施工技术在水利工程防渗中的应用研究[J].水利建筑工程,2023,21(4):58-63.
- [2] 刘洋,孙浩.水工混凝土养护方式对防渗性能的影响分析[J].水电能源科学,2022,40(6):112-117.
- [3] 黄志强,高峰.新型外加剂在水利工程混凝土中的防渗效果探讨[J].水利水电施工,2023,42(9):75-80.
- [4] 郑斌,吴晨.水利工程混凝土防渗性能检测与监控方法研究[J].水资源与水工程学报,2024,35(2):129-135.
- [5] 罗宁,许伟.大体积混凝土分层分段施工技术对防渗性能的影响[J].中国水利,2022,30(7):44-49.