

水利工程混凝土抗渗性能施工技术研究

张森林, 项宇

江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223001

DOI:10.61369/ETQM.2026030042

摘 要 : 随着水利工程的快速发展, 混凝土作为重要的建设材料, 其抗渗性能对工程质量至关重要。通过分析影响混凝土抗渗性能的关键因素, 探讨了优化水泥配比、添加高性能外加剂以及改进施工工艺等多方面措施, 以提高混凝土的抗渗能力。实验研究结果表明, 合理的施工技术能够有效提高混凝土的密实性, 减少孔隙率, 从而提升其抗渗性, 确保水利工程的长期稳定性和安全性。该研究为水利工程施工提供了技术指导和实践参考。

关 键 词 : 水利工程; 混凝土; 抗渗性能; 施工技术; 高性能外加剂

Research on Construction Technology for the Impermeability of Concrete in Water Conservancy Projects

Zhang Senlin, Xiang Yu

Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223001

Abstract : With the rapid development of water conservancy projects, concrete, as a crucial construction material, has its impermeability performance playing a vital role in project quality. By analyzing the key factors influencing the impermeability of concrete, this study explores various measures to enhance its impermeability, including optimizing cement ratios, adding high-performance admixtures, and improving construction techniques. Experimental research results demonstrate that reasonable construction techniques can effectively enhance the compactness of concrete, reduce porosity, and thereby improve its impermeability, ensuring the long-term stability and safety of water conservancy projects. This research provides technical guidance and practical references for the construction of water conservancy projects.

Keywords : water conservancy project; concrete; impermeability performance; construction technique; high-performance admixture

引言

在水利工程中, 混凝土的抗渗性能直接关系到工程的安全性和耐久性, 尤其是在大坝、渠道等关键结构的建设中。随着施工要求的不断提高, 传统的混凝土抗渗技术已难以满足现代工程的严苛标准。因此, 探索新的施工技术和改进现有工艺成为提升混凝土抗渗性能的关键所在。近年来, 随着新型材料和技术的不断发展, 混凝土的抗渗能力得到了显著提升。通过优化材料配比、选择合适的外加剂及改进施工工艺, 不仅能够提高混凝土的密实性, 还能有效降低渗水风险, 延长结构的使用寿命。这一研究将深入探讨影响混凝土抗渗性的因素, 并提出行之有效的施工技术方案。

一、水利工程中混凝土抗渗性能的重要性

(一) 混凝土抗渗性能对水利工程质量的影响

在水利工程中, 混凝土的抗渗性能直接决定了水工结构的长期稳定性和安全性。水利工程通常涉及大量的水体压力和复杂的环境因素, 混凝土作为基础建设材料, 必须具有优异的抗渗性, 以防止水分渗透进结构内部, 从而引起材料的劣化和失效。若混凝土抗渗性能不足, 水分渗入将导致钢筋腐蚀、裂缝扩展, 甚至结构的整体破坏。因此, 保证混凝土的抗渗性, 是提高水利工程质量的基础。抗渗性能较强的混凝土能够有效抵抗水体的侵蚀,

延缓工程设施的老化, 确保工程长期运行中的稳定性和可靠性。

(二) 混凝土抗渗性与水利工程安全性的关系

水利工程的安全性要求极高, 特别是大坝、渠道等结构, 其抗渗性至关重要。如果混凝土抗渗性能不达标, 将严重威胁水利工程的安全性。例如, 坝体如果渗水严重, 不仅会导致基础受损, 还可能在极端条件下发生灾难性的事故。水利工程的安全性不仅依赖于设计和施工质量, 更在于混凝土本身的抗渗性。高抗渗性的混凝土能有效阻止水流进入结构内部, 保持结构的稳定性。反之, 若抗渗性能差, 水分渗透不仅影响工程质量, 还会加剧结构受力不均、加速老化, 增加维护成本。因此, 提升混凝土

抗渗性是确保水利工程安全的关键措施之一^[1]。

（三）混凝土抗渗性能提升的需求背景

随着水利工程建设规模的不断扩大，尤其是大型水库、大坝等关键性项目的增多，对混凝土抗渗性能的要求也愈发严格。传统的混凝土配方和施工工艺已经不能完全满足现代水利工程的需求。新型的施工技术和材料的不断发展，为提高混凝土抗渗性能提供了新的契机。当前，许多水利工程面临着水压力增大、环境污染以及气候变化等多重因素的挑战，要求混凝土具有更强的抗渗性。因此，研究并实施提升混凝土抗渗性能的技术成为亟待解决的课题。通过优化配比、使用高性能外加剂以及改进施工工艺等措施，可以有效提高混凝土的抗渗性，满足现代水利工程日益严格的质量要求。

二、影响混凝土抗渗性能的关键因素

（一）水泥配比对抗渗性能的影响

水泥的配比直接影响混凝土的强度和抗渗性能。在混凝土的配比设计中，水泥的用量、砂石比例以及水胶比的合理控制是提升抗渗性的重要因素。过高的水胶比会导致混凝土的孔隙率增加，降低其密实性，从而影响抗渗能力，水分容易渗透进结构内部。反之，水胶比过低则可能影响混凝土的流动性和可施工性，导致施工困难或施工后混凝土表面不均匀，影响整体质量。水泥的种类和质量也对混凝土的抗渗性有显著影响。高强度水泥具有较低的孔隙率和较强的耐水性，而掺有活性矿物质（如粉煤灰、矿渣等）的水泥能够改善混凝土的密实度，减少孔隙的形成，进而增强抗渗性能。根据不同的环境条件，如水利工程中的高水压、潮湿等特殊要求，合理选择不同类型的水泥，并调整配比，可以确保混凝土具备更优异的抗渗性，满足工程的耐久性需求^[2]。

（二）外加剂的作用与优化选择

外加剂的选择与使用对于提升混凝土抗渗性能起到了至关重要的作用。常见的外加剂包括减水剂、引气剂、膨胀剂和防水剂等，其中减水剂能够有效降低水胶比，增强混凝土的密实度，从而提高抗渗性；引气剂则通过引入微小气泡，提高混凝土的抗冻性能，间接提升其抗渗能力；防水剂通过增强混凝土内部的疏水性，防止水分渗透，直接提高其抗渗性。此外，膨胀剂的使用可以有效减少混凝土的收缩，防止因温差或湿度变化引起的裂缝，进一步提升其抗渗性能。优化外加剂的选择需要根据不同的工程需求和环境条件来决定。例如，在高水压环境下，选择合适的防水剂或膨胀剂能够有效提高混凝土的抗渗性，而在寒冷地区，使用引气剂能够防止混凝土的冻融破坏，确保混凝土在极端气候条件下的稳定性和耐久性。合理配比和优化外加剂的使用不仅能显著提升混凝土的抗渗能力，还能有效延长结构的使用寿命，降低后期维护成本^[3]。

（三）施工工艺对抗渗性能的影响

施工工艺对混凝土抗渗性能有着直接影响。施工过程中，混凝土的搅拌、运输、浇筑、振捣及养护等环节都会影响最终的抗渗性能。充分搅拌能够确保混凝土成分均匀，避免材料分离，提升混凝土的密实度和均匀性。特别是在大规模水利工程中，采用

高效的搅拌设备能够保证混凝土的均匀性和一致性，防止出现因配料不均而导致的抗渗性差异。浇筑过程中，要确保没有气泡和空隙的形成，避免结构中的微小孔隙成为渗水通道。振捣工艺要做到充分，避免混凝土出现蜂窝、麻面等缺陷，这些缺陷可能成为水分渗透的入口，降低抗渗性能。养护工艺同样至关重要，合理的养护可以有效防止混凝土在硬化过程中出现裂缝和收缩问题，保持其表面完整性。采用适宜的湿度和温度控制措施，有助于避免混凝土表面干裂，进一步提升其抗渗性。通过优化这些施工工艺，可以有效提高混凝土的密实性，减少其裂缝和空隙，提升抗渗性能，确保水利工程的长期稳定性和安全性^[4]。如图1所示。



图1 养护工艺

三、提升混凝土抗渗性能的技术措施

（一）优化水泥配比与改进材料选用

优化水泥配比和改进材料的选择是提升混凝土抗渗性能的基础。合理的水泥配比可以有效减少混凝土的孔隙率，提高其密实性，从而增强抗渗性。研究表明，降低水胶比是提高抗渗性能的关键因素。水胶比过高会导致混凝土结构松散，孔隙增多，水分容易渗透进入，降低混凝土的抗渗性。通常情况下，水胶比控制在0.4以下，可显著提高混凝土的抗渗能力。此外，改进材料的选择，尤其是选择高强度、低孔隙率的水泥和优质的骨料，可以进一步提高混凝土的致密性。例如，使用低热水泥、粉煤灰水泥或矿渣水泥等，可以改善混凝土的整体性能，减少裂缝的产生，增强抗渗能力。实验结果表明，采用优质水泥和骨料的混凝土，其抗渗性能比普通混凝土提高了约30%^[5]。

（二）高性能外加剂的应用与效果

高性能外加剂在提高混凝土抗渗性能方面发挥了重要作用。通过合理使用外加剂，可以改善混凝土的工作性、强度和耐久性，进一步提高抗渗性。减水剂是一种常用的外加剂，通过减少水胶比，增强混凝土的密实性，减少孔隙率，从而提升抗渗性能。研究表明，使用减水剂的混凝土抗渗性能比未使用减水剂的混凝土提高了20%以上。防水剂是另一类常见的外加剂，它通过

在混凝土中形成疏水性屏障，阻止水分的渗透，显著提高混凝土的抗渗性。使用防水剂后，混凝土的抗渗性能可提高35%左右。此外，膨胀剂的使用可以有效减少混凝土的收缩，减少裂缝的形成，从而间接提高抗渗性。

（三）先进施工技术对抗渗性能的提升作用

施工技术在混凝土抗渗性能提升中具有不可忽视的作用。优化施工工艺，保证混凝土的密实性和均匀性，是提高抗渗性能的关键。混凝土的振捣密实度直接影响其抗渗性，振捣不充分会导致混凝土内部出现空隙，成为水分渗透的通道。研究显示，采用高频振捣器振捣混凝土，其密实度比传统振捣方法提高了25%以上，从而显著增强了混凝土的抗渗性能。此外，合理的养护措施对于混凝土抗渗性至关重要，充分的养护可以避免早期裂缝的产生，提高混凝土的长期抗渗性能。实验表明，养护期延长7天的混凝土，其抗渗性能比养护期仅为3天的混凝土提高了15%。通过先进的施工技术，如采用自动化振捣、科学养护等手段，能够大幅提升混凝土的抗渗性能，为水利工程的长期安全运行提供保障^[6]。

四、混凝土抗渗性能施工技术的实践应用与前景

（一）施工技术的实施与实践案例

混凝土抗渗性能提升技术已在多项水利及市政工程中得到成功应用，并取得了显著成效。以某大型水库重力坝工程为例，该工程坝高约45 m，坝体长期处于高水头作用环境中，对混凝土抗渗性能要求较高，设计抗渗等级不低于P8。在施工过程中，项目团队针对传统混凝土易出现渗漏和裂缝的问题，系统采用了多项抗渗技术措施。

在材料与配合比方面，工程严格控制水胶比在0.38~0.40之间，并掺入20%粉煤灰与10%矿渣粉，以改善混凝土微观结构。同时，选用高效聚羧酸系减水剂，使混凝土在保持良好流动性的同时，显著降低孔隙率。在施工工艺上，坝体混凝土采用分层浇筑方式，每层厚度控制在30~40 cm，并使用高频插入式振捣器进行充分振捣，确保混凝土密实成型。

养护阶段采用“早期保湿+后期恒温养护”的组合方式，连续养护时间不少于14 d，有效减少了温度裂缝和干缩裂缝的产生。工程完工后，经现场抽检，混凝土抗渗等级达到P10，渗水高度较传统工艺降低约50%，坝体运行多年未出现明显渗漏现象，大幅提高了工程的安全性与耐久性。

（二）技术应用中的问题与挑战

尽管混凝土抗渗性能提升技术已取得了一定进展，但在实际

应用中仍面临一些挑战。首先，混凝土的抗渗性能受环境因素的影响较大，在不同气候条件下，施工技术的效果存在差异。尤其是在湿度较大或高温环境中，混凝土的凝结和硬化过程容易受到干扰，影响最终的抗渗效果。其次，高性能外加剂的使用需要精确配比，过量或不当使用可能导致混凝土的工作性和耐久性下降。例如，防水剂的选择不当可能引发混凝土表面出现气泡，导致抗渗效果反而下降。此外，施工人员的技术水平和施工工艺的标准化程度对抗渗性能的实现也至关重要。尽管现代化施工技术不断发展，但部分施工现场依然存在操作不规范、设备不充分等问题，影响了施工质量和混凝土的抗渗效果。为了有效解决这些问题，需要加强施工人员的培训，提高技术规范的执行力，确保每个环节都符合设计要求^[7]。

（三）未来发展方向与技术创新趋势

随着水利工程规模的不断扩大和对工程质量要求的提高，混凝土抗渗性能的提升将朝着更高效、更智能化的方向发展。未来，智能化施工技术将成为提升混凝土抗渗性能的重要发展趋势。通过采用自动化控制系统、传感器技术以及大数据分析，施工过程中将能够实时监控混凝土的状态，及时调整配比和施工工艺，从而确保混凝土抗渗性能的最优效果。此外，新型材料的应用也将推动混凝土抗渗技术的进步。高性能水泥、纳米材料以及自修复混凝土等新型材料的研究和应用，将提高混凝土的密实度和抗渗性提供更多可能性。随着绿色建筑和可持续发展的理念日益深入，环保型外加剂和低碳水泥的使用将成为未来发展的重点，既满足抗渗性能的要求，又降低了对环境的影响。在技术创新的推动下，混凝土抗渗性能的施工技术将在未来得到更广泛的应用，为水利工程的安全和可持续发展提供有力保障^[8]。

五、结语

混凝土的抗渗性能在水利工程中起着至关重要的作用，直接影响工程的安全性与耐久性。通过优化水泥配比、合理选用外加剂、改进施工工艺等技术手段，可以显著提升混凝土的抗渗能力，确保水利工程的长期稳定运行。实践表明，先进的施工技术和高性能材料的应用能够有效提高抗渗效果，但仍面临环境适应性、材料选择及施工规范等方面的挑战。未来，随着智能化技术的不断发展和新型材料的应用，混凝土抗渗性能的提升将迎来更多创新与突破，为水利工程提供更为坚实的保障，推动行业的可持续发展。

[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(05):411-412.

[2]朗正泽.水利工程施工中混凝土抗裂性能优化措施分析[J].工程技术研究,2025,10(09):109-111.

[3]刘永平.塑性混凝土防渗墙配合比设计及其在水利工程中的应用研究[J].江西建材,2024(07):354-357.

[4]阮传进.坝体加固技术在水利工程中的应用探索[J].河南水利与南水北调,2025,54(04):13-14.

[5]王彦硕,赵文娟,关启龙.玄武岩纤维增强机制砂混凝土力学性能和抗渗性能研究[J].水利科技与经济,2025,31(04):148-151.

[6]任兵.纳米复合材料水利抗渗性能与耐久性预测[J].河南水利与南水北调,2024,53(12):72-74.

[7]祁亚龙.固体废物在蓄水池混凝土中的抗渗性能研究[J].中国新技术新产品,2025(05):86-88.

[8]刘永平.塑性混凝土防渗墙配合比设计及其在水利工程中的应用研究[J].江西建材,2024(07):354-357.