

水利工程建设中混凝土材料的性能提升与耐久性研究

岳吉川

(安徽省蚌埠闸工程管理处, 安徽 蚌埠 233000)

摘要 混凝土作为水利工程的核心材料, 其性能与耐久性直接关系到工程的安全、稳定与使用寿命。本文旨在探讨水利工程建设中混凝土材料的性能提升策略及其耐久性研究, 通过理论分析、实验验证及工程实践相结合的方式, 系统阐述了混凝土材料在强度、抗渗性、抗冻融性、抗裂性等方面的性能优化方法, 并深入分析了影响混凝土耐久性的关键因素及改善措施。研究结果表明, 通过科学合理的配合比设计、添加剂的合理使用、施工工艺的改进以及后期维护管理的加强, 可以显著提升混凝土材料的综合性能与耐久性, 为水利工程的长期安全运行提供有力保障。

关键词 水利工程; 混凝土材料; 性能提升; 耐久性; 配合比设计

中图分类号: TU528

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)11-0124-03

水利工程建设作为国家基础设施建设的重要组成部分, 对于促进经济发展、保障民生具有重要意义。混凝土作为水利工程中的主要建筑材料, 其性能与耐久性直接关系到工程的安全与使用寿命。因此, 研究混凝土材料的性能提升与耐久性, 对于优化水利工程设计、提高工程质量、延长工程使用寿命具有重要意义。

1 研究背景

水利工程建设在全球水资源管理中扮演着不可或缺的角色, 不仅承担着防洪、灌溉、供水、发电等基础功能, 而且在应对气候变化、水资源可持续利用和生态环境保护方面发挥着关键作用。混凝土作为水利工程中的核心建筑材料, 其性能直接影响工程的结构稳定性和使用寿命。当前, 水利工程混凝土面临着多重挑战, 如因环境侵蚀导致的抗裂性下降、渗水问题、抗冻融循环能力不足, 这些问题对工程安全和经济效益构成严重威胁。因此, 深入研究混凝土性能提升与耐久性增强策略, 对于保障水利工程的长期稳定运行具有深远的现实意义和战略价值。

近年来, 国内外学者和工程技术人员在混凝土材料性能提升与耐久性增强领域进行了大量研究。在新型材料研发方面, 高强、高性能混凝土的研究取得显著进展, 如使用纳米材料、聚合物改性混凝土等, 显著提高了混凝土的力学性能和耐久性。配合比优化技术通过精细化设计, 实现了混凝土性能全面提升, 包括早期强度、耐久性和工作性。外加剂技术的发展,

如高性能减水剂、复合引气剂等, 有效改善了混凝土的流变性能和抗冻融性能。施工工艺创新, 如采用湿喷技术、预应力混凝土等, 进一步提升了混凝土结构的质量。然而, 如何在实际工程中有效集成这些技术, 实现混凝土性能与耐久性的最佳平衡, 仍是当前研究的热点和难点^[1]。

本研究深入探究水利工程建设中混凝土性能提升与耐久性增强的实用方法, 旨在为工程实践提供科学依据和指导。研究内容包括: 一是原材料选择与优化, 通过对比分析不同来源和品质的水泥、骨料、掺合料, 寻求最佳性能组合; 二是配合比设计的精细化和智能化, 利用计算机模拟和试验验证, 优化混凝土的配合比以达到最佳性能; 三是外加剂的科学应用, 评估各种外加剂对混凝土性能的影响, 确定最佳添加量和使用条件; 四是施工工艺改进, 探索新的施工技术和工艺, 减少混凝土施工过程中的质量损失; 五是后期维护策略的制定, 研究混凝土结构的健康监测和修复技术, 以延长其使用寿命。这些研究内容将为提升水利工程混凝土的综合性能提供全面的技术支持。

2 混凝土材料性能提升策略

2.1 科学合理的配合比设计与精细化参数调控

配合比设计是决定混凝土性能和耐久性的核心环节。在水利工程中, 需根据结构设计要求, 水工构筑物的特殊环境, 以及预期的受力条件, 精确计算水灰比、水泥用量和骨料级配。降低水灰比至适当水平, 可以

有效地减少内部孔隙,增强混凝土的致密度,提升抗压和抗拉强度,同时减少由于水分蒸发导致的体积收缩。骨料级配的选择需兼顾粒径分布和级配类型,以保证混凝土拌合物的可塑性,适应泵送和自密实混凝土的施工要求。矿物掺合料,如粉煤灰和矿渣粉,是配合比设计中的重要因素,它们能补充水泥活性,减少早期水化热的释放,进而改善混凝土的体积稳定性,减少温差裂缝,提高耐久性,以适应水利工程中长期水化和侵蚀环境的挑战^[2]。

2.2 添加剂的精准应用

添加剂在优化混凝土性能中扮演着关键角色。通过精确计量和调配减水剂、引气剂、缓凝剂等,可精细化调控混凝土的流变特性、工作性及凝结时间,确保其在复杂施工条件下的优良性能,同时提高工程效率和结构质量。此外,特殊功能的添加剂对于混凝土耐久性的提升至关重要。

抗渗剂的运用能显著降低混凝土的渗透系数,增强其密实性,有效阻挡水分和腐蚀性离子的渗透,从而防止内部钢筋锈蚀,增强结构稳定性。抗冻剂的加入则通过改变混凝土的孔隙结构,提高其在低温环境下的抗冻融循环能力,减少冻融损伤,保证水利工程在严寒气候中的正常运行。

防腐剂的使用是另一项重要措施,它能抑制混凝土内部的碱骨料反应,延缓混凝土的老化过程,尤其在含有侵蚀性介质的环境中,能显著提高混凝土的耐腐蚀性,增强其长期服役能力。此外,膨胀剂的加入可补偿混凝土硬化过程中的收缩,减少因体积变化产生的裂缝,提高整体结构的耐久性。

高性能混凝土的发展离不开高效添加剂的配合。比如,早强剂能加速混凝土早期强度的增长,有利于快速施工和早期承重;而缓释型减水剂则可实现混凝土工作性和强度的平衡发展,确保长期性能的稳定。

2.3 施工工艺的精细化与创新

施工工艺的精细化管理对混凝土性能的提升至关重要。搅拌工艺的优化涉及配料比例的精确控制与搅拌时间的合理设定,以确保各组分充分混合,降低离析现象。例如,采用连续式搅拌机可实现连续、均匀的混合,提高混凝土的工作性能。在浇筑过程中,应遵循分层浇筑、连续作业的原则,避免产生施工冷缝,影响整体结构的连续性。采用泵送浇筑可减少转运过程中的混凝土损伤,保证浇筑质量。

振捣工艺是消除混凝土内部气泡和提高密实度的关键步骤,利用高频振捣器的精确振动频率,可有效

驱除内部气泡,同时避免过度振捣导致的骨料分离。此外,采用振动台或内部振捣棒也能达到类似效果,但需根据混凝土类型和工程需求灵活选择。

养护环节是混凝土强度发展和耐久性形成的关键。合理的养护温度和湿度控制,如采用蒸汽养护或保湿覆盖,能有效控制混凝土的硬化速率,减少早期开裂。对于大体积混凝土,应采取分层冷却措施,降低内外温差,防止因温度应力导致的裂缝。

施工工艺的创新还包括采用预应力技术,通过预张拉钢筋或预应力混凝土,平衡混凝土在硬化过程中的收缩应力,提高结构的抗裂性。此外,采用 3D 打印或自动化施工技术,可以精确控制混凝土的分布和形状,减少人为误差,提高施工效率和工程质量。

3 混凝土材料耐久性研究

3.1 耐久性影响因素分析

混凝土材料的耐久性是一个多因素相互作用的结果,其中包括复杂的环境条件、材料特性和施工过程的精细控制。环境因素中,持续的湿度和温度变化,尤其是海洋性气候或工业污染等侵蚀性介质,都可能加速混凝土内部的化学反应,如碳化反应和硫酸盐结晶,从而降低混凝土的碱度,影响钢筋的防腐性能。例如,高氯环境可能导致钢筋锈蚀,进一步引发体积膨胀,对混凝土结构造成内部压力,加剧裂缝的形成和扩展。至于温度,剧烈的冻融循环在极端低温和高温环境中,会促使混凝土内部应力变化,产生并扩展微裂缝,降低材料的整体强度和稳定性^[3]。

材料因素同样至关重要。不同品种的水泥,如硅酸盐水泥、矿渣水泥等,其化学组成和活性对耐久性有显著影响。优质骨料的选择能改善混凝土的物理性能,如粒径分布均匀、级配良好的骨料能减少孔隙率,增强抗渗性和耐久性。添加剂如减水剂、早强剂、缓凝剂等,虽能提升混凝土的施工性能,但过度依赖或错误选择可能导致相反效果,如增加孔隙和微裂隙,降低耐久性。

施工工艺的精细化管理不容忽视。搅拌过程中,确保水灰比的精准控制,防止混合物不均匀或过渡水,是保证混凝土质量的前提。浇筑过程中的振动密实度和浇筑速度对混凝土的耐久性有直接影响,而后期的养护方法,如蒸汽养护、塑料薄膜覆盖等,可防止快速失水和温差引起的应力裂缝。

3.2 耐久性改善措施

针对上述影响因素,混凝土耐久性的提升可采取

一系列综合策略:

1. 优化材料选择: 高性能水泥, 如 PII、P III 系列, 具有低水化热和高早期强度, 可有效降低孔隙率, 减少内部裂缝的生成。骨料应选择级配优良、吸水率低的天然砂石, 确保混凝土的密实度和抗渗透性能。对于特殊环境, 如海洋工程, 应选用抗氯离子渗透的水泥, 如矿渣水泥或粉煤灰水泥, 以抵抗氯离子侵蚀。

2. 表面防护强化: 采用高性能的防水涂料, 如硅烷浸渍剂, 形成持久的憎水层, 防止水分渗透和氯离子侵入。防腐剂的选择应依据工程环境, 如酸碱环境下的防腐剂应具备抗酸碱侵蚀的能力。同时, 考虑使用表面密封剂, 增强混凝土的抗碳化性能, 延长结构寿命。

3. 引入复合技术: 纤维增强混凝土是提高耐久性的一种有效途径, 钢纤维、聚丙烯纤维等在混凝土内部形成三维网络, 显著增强抗裂性和韧性。纳米材料的引入, 如纳米二氧化硅、纳米碳酸钙等, 通过填充孔隙、改善混凝土的微观结构, 增强其耐冻融性、抗化学侵蚀性和抗磨损性。此外, 使用自我修复混凝土, 通过在混凝土中掺入能响应环境变化的微胶囊, 当裂缝产生时, 胶囊破裂释放修复剂, 自动封闭裂缝, 进一步提高耐久性^[4]。

4. 预应力技术的应用: 通过预应力处理, 可减少混凝土在使用过程中的应力应变, 从而降低开裂风险。预应力混凝土结构的耐久性优于普通混凝土, 尤其在大跨径桥梁和高层建筑中, 预应力技术的应用更为普遍。

5. 施工工艺的优化: 精确控制混凝土的搅拌时间、水灰比和浇筑速度, 确保混凝土的均匀性和密实度。采用湿法养护, 特别是在寒冷或干燥环境中, 以减缓混凝土的硬化速度, 降低干缩裂缝的产生。同时, 合理安排施工工序, 避免温度应力对混凝土的不利影响。

4 工程实践案例分析

本文选取的大型水利工程位于复杂地质条件下的高侵蚀性环境中, 这对混凝土的性能与耐久性提出了严峻挑战。项目团队在混凝土材料性能提升与耐久性改善方面采取了创新性策略。首先, 他们通过深入研究和试验, 制定了科学的配合比设计, 确保了混凝土的高工作性、高强度和良好的体积稳定性。他们引入了高效减水剂以优化混凝土的流动性和减少用水量, 同时, 使用了多种矿物掺合料以提升混凝土的耐久性。此外, 项目团队还采用预拌混凝土, 通过精确控制搅拌和运输过程, 减少了现场搅拌中的误差, 保证了混凝土的质量一致性。

为了增强混凝土的耐久性, 工程团队在混凝土表面实施了多层防护涂层处理, 包括防水和防冻剂, 以抵御水分渗透和冻融循环对混凝土的损害。同时, 他们还引入了纤维增强混凝土和高密度聚乙烯纤维, 以提高结构的抗裂性能。此外, 工程团队还利用了混凝土自修复技术, 通过在混凝土中预埋微胶囊, 胶囊中封装了能自愈混凝土裂缝的化学物质。这些创新性技术的应用, 显著提升了混凝土的耐久性。

长期的运行监测数据显示, 该水利工程的混凝土结构表现出卓越的性能稳定性。结构的强度和耐久性均达到预期效果, 未出现明显的性能退化现象。混凝土的抗压强度、抗渗性和抗冻融性均满足或超过了设计要求。在经过多年的运营后, 混凝土结构的防护涂层依然保持完好, 有效地阻止了环境侵蚀。同时, 尽管经历了多次冻融循环, 结构的微裂缝得到了有效控制, 未出现由于温度变化或环境因素导致的扩展。这充分证明了工程团队在混凝土性能提升与耐久性改善方面的措施取得了显著成效^[5]。

5 结束语

本文围绕水利工程建设中混凝土材料的性能提升与耐久性研究展开论述, 从配合比设计、添加剂使用、施工工艺改进以及耐久性影响因素分析等方面进行了深入探讨。研究结果表明, 通过科学合理的配合比设计、添加剂的合理使用以及施工工艺的改进等措施, 可以显著提升混凝土材料的综合性能与耐久性; 同时, 加强混凝土表面的防护处理和采用复合技术等手段也是提高混凝土耐久性的有效途径。未来, 随着科技的不断进步和工程实践的深入发展, 混凝土材料的性能提升与耐久性研究将不断取得新的突破和进展, 为水利工程的长期安全运行提供更加坚实的保障。

参考文献:

- [1] 李明, 张强. 针对水利工程的高性能混凝土耐久性研究进展 [J]. 水利与建筑工程学报, 2021(02):54-62.
- [2] 周杰, 王涛. 水利工程用特种混凝土的性能优化研究 [J]. 建筑材料学报, 2022(03):209-217.
- [3] 赵磊, 陈晓. 水利工程混凝土材料的耐久性能与改进方法 [J]. 中国水利, 2020(07):76-83.
- [4] 孙宇, 刘波. 基于微观结构的水利工程混凝土耐久性分析 [J]. 水科学与工程技术, 2021(04):45-52.
- [5] 李刚, 张伟. 水利工程中混凝土材料性能提升的研究 [J]. 水利科技与经济, 2022(01):99-107.