

Research on Material Selection and Construction Technology for Durability Improvement of Building Structures in Water Conservancy and Hydropower Projects

Guanglong Dai

River Embankment Maintenance Center, Xinjian District, Nanchang, Jiangxi, 330100, China

Abstract

Hydraulic and hydroelectric engineering structures are subjected to complex aquatic environments over extended periods, with durability challenges becoming increasingly critical to project safety. This study investigates durability enhancement strategies for such structures through dual approaches: material selection and construction techniques. Key findings include the impact of advanced materials (e.g., high-performance concrete and low water-to-binder ratio designs) and construction practices (e.g., stringent raw material control and optimized mix design) on structural integrity. By systematically optimizing material properties and strengthening construction quality control, this research demonstrates that these measures can significantly improve durability and extend service life, thereby providing technical references for safe operation of hydraulic and hydroelectric projects.

Keywords

Water conservancy and hydropower engineering; Building structure; Construction technology; Material selection

水利水电工程建筑结构耐久性提升的材料选择与施工工艺研究

戴广龙

南昌市新建区河道圩堤维护中心, 中国·江西 南昌 330100

摘要

水利水电工程建筑结构长期处在复杂水环境下, 耐久性问题日益突出, 已成为影响工程安全的重要因素, 本文围绕水利水电工程建筑结构耐久性提升展开研究, 从材料选择、施工工艺两个方面进行分析, 重点探讨高性能混凝土、低水胶比设计等材料措施, 以及严格原材控制、科学配合比等施工工艺对耐久性的影响, 通过系统优化材料性能, 加强施工过程控制, 可有效改善结构耐久性, 延长工程使用寿命, 为水利水电工程安全运行提供技术参考。

关键词

水利水电工程; 建筑结构; 施工工艺; 材料选择

1 引言

我国水利水电工程规模逐步扩大, 工程建筑结构长期面临高水压、强冲刷等复杂环境考验, 混凝土劣化、钢筋腐蚀问题越发凸显, 严重妨害工程安全, 探究水利水电工程建筑结构耐久性, 升级施工工艺, 摸索高性能耐久材料的合理采用, 能提升工程使用周期、降低维护经费, 维持水利水电工程安全稳定运转。

2 水利水电工程建筑结构耐久性的概述

水利水电工程建筑结构耐久性是指结构在设计使用年

限内, 在水压力、温度变化等多重环境下, 保持其安全性、适用性、整体功能稳定的能力, 由在水利水电工程多处在高湿、水流冲刷环境中, 混凝土开裂、渗漏等耐久性问题普遍存在, 且具有隐蔽性强、发展周期长、修复难度大的特点, 耐久性水平不仅直接影响工程结构的安全运行, 也关系到运行维护成本, 因此, 从材料性能、结构设计、施工工艺等方面系统认识问题, 是保障水利水电工程长期安全、稳定、高效运行的重要基础。

3 水利水电工程建筑结构耐久性提升的材料选择分析

3.1 高性能混凝土

高性能混凝土是强化水利水电工程建筑结构耐久性的核心材料之一, 优化原材料构成和配合比参数, 大幅提升传

【作者简介】戴广龙(1988-), 男, 中国江西南昌人, 在读本科生, 助理工程师, 从事水利研究。

统混凝土在强水环境、复杂工况中的服役性能，这类混凝土一般具备低水胶比、高密实度和优异的力学性能，可切实降低孔隙率和渗透系数，以此降低水分、有害离子及侵蚀介质侵入结构内部的概率，水利水电工程长期遭遇高水压、冲刷和干湿交替作用时，高性能混凝土抗渗、抗冻、抗磨及抗化学侵蚀表现突出，为结构安全、稳定运行筑牢可靠材料根基^[1]。高性能混凝土一般加入粉煤灰、矿渣粉、硅灰等矿物掺合料，完成水化反应优化实现微观结构进一步致密，且增强了混凝土耐久性能，还切实管控水化热与收缩变形，减少早期裂缝生成几率，这对大体积水利水电建筑结构意义尤其重大，有助拉长工程整体使用年限，按合理方案施工与养护的高性能混凝土，能大幅降低后续维修和加固需求，压缩全寿命周期开支，符合当前水利水电工程同步抓安全性、耐久性、可持续发展的建设规范。

3.2 低水胶比设计

低水胶比设计是增强水利水电工程建筑结构耐久性的关键材料技术，核心是降低单位胶凝材料的拌合水用量，大幅优化混凝土内部孔隙结构和整体密实性，水利水电工程长期面对高水压、强渗透及复杂化学环境考验，过高的水胶比会引发混凝土毛细孔生成、渗透通道增多，加速水分、有害离子和侵蚀介质的渗入，造成渗漏、钢筋锈蚀和结构劣化，用低水胶比方案，能有效减少混凝土孔隙率及连通孔占比，提高抗渗能力与结构整体稳定性，给工程耐久性筑牢材料根基^[2]。在实际工程应用阶段，低水胶比设计常要和高效减水剂及优质胶凝材料协同运用，保障混凝土用少量水时仍具备良好工作性能和施工性能，合理选对外加剂类型及掺量，不破坏拌合物流动性和可泵性的前提下，完成低水胶比要求，低水胶比可切实增强混凝土抗冻性、抗碳化能力和抗化学侵蚀性能，减少干缩和温度裂缝的生成几率，谈及大体积或重要部位的水利水电建筑结构，科学开展低水胶比设计，能帮结构拉长服役年限，压缩后期维护与修复成本，技术和经济价值显著。

3.3 优质骨料选择

水利水电工程建筑物多面对高水位、强冲刷和复杂地质环境，混凝土长期承受水流磨蚀、冻融循环及化学侵蚀等破坏，提升骨料强度、稳定性与耐久性要求，优质骨料得有较高抗压强度、良好颗粒形状与合理级配结构，维持混凝土内部骨架牢固、受力均匀，进而减弱应力集中诱发的微裂缝发展，骨料的洁净程度和表面属性同样关键，含泥量过高、杂质较多的骨料，易减弱水泥浆与骨料的界面黏结性能，调低混凝土密实度，进而降低结构抗渗性和耐久性^[3]。优质骨料应拥有良好的抗冻性能和抗磨蚀能力，防止因冻融循环、高速水流冲刷出现破碎、剥落等情况，必须严格管控骨料碱性，阻止碱-骨料反应造成混凝土内部膨胀开裂，水利水电工程中，这类耐久性问题十分常见且危害明显，开展实际工程应用，选天然优质骨料或经严格检测处理的人造骨料，

结合科学级配设计，能有效降低混凝土孔隙占比，增强整体密实性与体积稳定性，选用优质骨料是保障混凝土力学性能的基本前提，更是保障水利水电工程建筑结构长期安全性和耐久性的关键材料依托。

3.4 抗蚀水泥应用

水利水电工程长期接触含有硫酸盐、氯离子或其他侵蚀性介质的水体和土体环境，该条件下普通水泥易出现膨胀、开裂及强度衰减等问题，大幅危害结构安全，采用抗蚀水泥可优化矿物组成和水化产物结构，有效降低硫酸盐反应及有害离子侵入引发的化学破坏，提升混凝土抗化学侵蚀水平，为工程结构提供更稳固、耐久的材料支撑^[4]。在真实工程实施中，合理选用抗蚀水泥，要结合工程环境条件和结构特点做科学选型与设计，采用抗硫酸盐水泥、低铝水泥或复合型抗蚀水泥，配合低水胶比设计和矿物掺合料运用，能进一步提升混凝土的致密性和耐久性能，抗蚀水泥还可在降低水化热、减缓早期收缩、控制裂缝发展上发挥积极效果，可强化大体积水利水电建筑结构的整体稳固性，靠规范施工与养护管理，能充分发挥抗蚀水泥的性能优势，大幅拉长水利水电工程建筑结构的服役时长，降低维修加固频次，优化工程全生命周期安全水平与经济收益。

4 水利水电工程建筑结构耐久性提升的施工工艺分析

4.1 严格原材控制

把好原材料质量关，是增强水利水电工程建筑结构耐久性的首要施工措施，核心要点是从源头守住工程材料质量，防止因原材料性能不达标或波动幅度过大留下耐久性隐患，水利水电工程采用的水泥、骨料、外加剂和掺合料直接决定混凝土的强度、密实性及抗渗、抗蚀能力^[5]。推进施工阶段，需构建完备的原材料准入和检验制度，严格审核水泥的品种、强度等级和安定性，禁止不合格或不适用水泥进入现场，重点管控粗细骨料的级配、含泥量、针片状含量及坚固性，防止骨料质量缺陷引发混凝土孔隙率上升或界面强度降低，进而降低结构长期耐久性能。在实际落地阶段，原材严格管控要贯穿材料采购、运输、储存和使用的环节，施工单位须优先选定信誉良好、质量可靠的材料供应商，借助定期抽检、复检机制保障材料性能始终契合设计和规范标准，就外加剂和矿物掺合料，需重点把控它的适应性、掺量稳定性及与水泥的相容性，阻止配伍不当造成混凝土离析、泌水或强度波动，严管材料现场存储条件，避免水泥受潮结块、骨料掺进杂质或外加剂变质，从全流程到体系化的原材质量管控，能切实提升混凝土施工质量和结构整体耐久性，筑牢水利水电工程安全、稳定、长期运行的扎实根基。

4.2 科学配合比

采用科学配比，是强化水利水电工程建筑结构耐用性的关键施工措施之一，合理水平直接关系到混凝土的力学性

能、工作性能及长期服役表现,水利水电工程结构一般规模大、受力情况复杂、服役条件苛刻,配合比设计出现错误,易导致混凝土孔隙率偏大、抗渗性能不足或收缩裂缝增多,拉低结构耐久水平,施工前要依据工程环境条件、结构功能要求及设计使用年限,全面兼顾强度等级、抗渗等级、抗冻等级和抗侵蚀要求,合理敲定水胶比、胶凝材料用量及砂率等关键参数,让混凝土既满足施工性能,又拥有良好的耐久基础。在实际执行阶段,科学配合比得借助试验验证和动态调整保障,施工单位需在实验室环境下完成系统配合比试验,核心评估混凝土的工作性、强度发展、抗渗性能及体积稳定性,参照试验结果优化外加剂和矿物掺合料的掺量,现场施工期间,要结合气候变化、原材料波动及施工工艺条件,对配合比做小幅修正,防范环境因素造成混凝土性能偏离设计目标,强化拌和计量精度管控与过程质量把控,保证配合比在实际施工中如实、平稳落实,依托科学、严谨的配合比设计和实施,能切实减少结构裂缝及耐久性缺陷,大幅提升水利水电工程建筑结构的整体安全性延长其使用年限。

4.3 规范浇筑工艺

水利水电工程多属大体积结构,浇筑过程组织失当,易出现离析、泌水、冷缝和蜂窝麻面等质量缺陷,由此形成渗水通道和耐久性薄弱节点,推进施工期间必须严格依据设计要求和施工规范安排浇筑作业,科学划分浇筑分区及分层厚度,管控连续浇筑时长,保证新旧混凝土牢固结合,要结合结构特点选定适配的浇筑顺序和浇筑方式,防止自由下落高度过大或局部集中浇筑造成混凝土结构不均与内部缺陷。在具体施工管控部分,规范浇筑工艺需和振捣、运输、现场管理等环节同步落实,混凝土运输要控制时长、稳控坍落度,杜绝因运输耗时过久或二次加水破坏材料性能,浇筑时需均匀布料、分层推进,及时配合完成规范振捣,保证混凝土振捣到位且不过振,加大施工缝和后浇带部位管理力度,严格落实凿毛、清洗和界面处理规范,杜绝形成结构薄弱带,全程落实标准化浇筑工艺管控,可有效降低内部缺陷和渗漏风险,大幅提升水利水电工程建筑结构的整体耐久度与长期安全运行水准。

4.4 充分振捣密实

水利水电工程建筑结构一般体量庞大、钢筋分布密、截面形态杂,振捣操作未达标,极易产生蜂窝、麻面、孔洞

及夹渣等缺陷,还能拉低混凝土强度,还会明显降低抗渗、抗蚀和抗冻能力,导致耐久性劣化的首要缘由,施工阶段须根据结构形式、混凝土性能和浇筑条件,科学选用振捣设备和振捣方式,保障混凝土浇筑后及时均匀完成有效振捣,让内部充分密实。在开展具体执行工作,实现振捣充分密实,需遵循“适度、均匀、到位”原则,施工阶段应合理把控振捣时长和插点间距,落实快插慢拔,防止漏振或过振出现,针对钢筋密集区、预埋件周围及结构边角等关键部位,需实施重点振捣和辅助振捣操作,让混凝土充分填注并紧密包覆钢筋。要强化振捣人员的技术培训与现场管理,依规严抓施工操作,杜绝操作随意造成质量波动,借助合规、有效的振捣密实工艺,可有效提升混凝土结构的密实度和整体耐久程度,减少渗漏及劣化风险,筑牢水利水电工程建筑结构长期安全稳定运行的坚实后盾。

5 结语

水利水电工程建筑结构耐久性的提升是一项系统性的技术任务,既依赖在高性能材料的科学选择,也离不开规范、精细的施工工艺控制,通过优化材料性能、强化施工管理,可以有效减缓结构劣化进程,降低渗漏、开裂、腐蚀等耐久性病害的发生风险,将耐久性理念贯穿在设计、施工全过程,不仅有助在延长水利水电工程建筑结构的使用寿命,提高工程安全性,也能显著降低全寿命周期维护成本,未来,应在工程实践中不断总结经验,推动新材料、新工艺的应用与完善,为水利水电工程的安全、稳定和可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] 李梦娜.建筑工程中混凝土结构耐久性提升技术研究[J].城市建筑与发展, 2025(8).
- [2] 章智平.耐候钢在钢结构建筑中的施工工艺优化与耐久性分析[J].中国建筑装饰装修, 2025(11).
- [3] 张凯迪.土木工程建筑结构的安全性及耐久性研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2022(9):3.
- [4] 冯洪亮.水利水电工程混凝土结构耐久性提升技术研究[J].建筑与施工, 2025(4).
- [5] 罗晨,王萌,柏肖.土木工程建筑结构的安全性及耐久性研究[J].城市建筑与发展, 2025(14).