

# 水利工程中新型混凝土材料的耐久性研究

文 / 侯淇文 青岛安坤建筑工程有限公司

高建辉 青岛安坤建筑工程有限公司

**摘要:** 作为国民经济重要基础设施之一的水利水电工程,其耐久性问题日益引起人们的重视。随着工业化进程的不断推进,环境日益恶化,混凝土结构面临着酸雨、海水冲蚀等复杂环境问题,严重影响水利工程的安全与服役寿命。文章针对水利水电工程建设中混凝土材料耐久性存在的突出问题,开展新型混凝土材料性能及工程应用研究,旨在通过科学研究与技术创新,提出有效的解决方案,提高水利水电工程的耐久性,保证水利工程安全高效运行。

**关键词:** 水利工程; 新型混凝土材料; 耐久性

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.07.081

## 引言

在全球气候变化与环境恶化的背景下,水利水电工程的耐久性问题日益突出。本文对水利水电工程中新型混凝土材料的应用及其耐久性进行了探讨。通过对环境、设计和施工、材料等因素的综合分析,从原材料选择、外加剂添加、施工质量控制、养护维修等方面进行深入研究,以期提升水利工程的耐久性,保障水利水电工程长期稳定运行。

### 一、水利工程中混凝土耐久性的影响因素

#### (一) 环境因素

温度变化、湿度变化及紫外辐射等因素均可使混凝土材料发生物理化学作用,引起其性能劣化。例如,任何水分对混凝土都有影响。当温度变化或结构遭受压力时,混凝土会开裂,从而让水分渗透进混凝土中。水分进入混凝土中,会导致混凝土的强度下降,从而影响水利工程的使用寿命和安全性。温度的极端变化会引起混凝土内应力的增大,进而引起裂缝的产生;氧气也是影响混凝土耐久性的因素之一。氧气可以促进混凝土中的钢筋锈蚀,从而影响混凝土的力学性能和物理性能。钢筋锈蚀会使得混凝土结构变得脆弱,导致混凝土出现开裂破裂等现象,进而威胁水利工程的安全。混凝土结构受微生物、根系生长和动物行为等因素的影响。如硫酸盐还原菌在无氧条件下生成的硫酸盐可与混凝土中的钙化物反应生成膨胀产物,从而引起混凝土结构的破坏。二氧化碳的存在也会对混凝土的耐久性产生负面影响。二氧化碳会促进混凝土结构中的钙化反应,加速混凝土的老化速度。

#### (二) 设计与施工因素

合理的混凝土配合比能保证材料的密实度、均匀性,降低空隙率,从而提高混凝土的抗渗性和耐化学性。同时,为了降低因结构应力集中而导致的结构耐久性下降,在结构设计中应兼顾应力分布与裂缝控制。施工时振捣不足或过度振捣均会引起混凝土内部结构的不均匀性,加大了开裂的危险。另外,模板稳定性及施工缝处理也是影响混凝土耐久性的重要因素,如处理不当,易造成

水、气渗入,影响混凝土耐久性。为了保证水泥充分水化,提高混凝土的强度及耐久性,必须对其进行适当的湿润养护。如果养护不当,混凝土表面会出现裂缝,从而降低混凝土的抗渗性、抗冻性。

#### (三) 材料因素

水泥是混凝土中重要的胶凝材料,如果选用不合理或质量不好,将导致混凝土强度不足和抗渗性能下降,从而影响混凝土的耐久性。例如,在硫酸盐侵蚀环境中,使用耐硫酸盐性能较差的水泥将加速混凝土的劣化。骨料种类、粒度分布、形状及表面特征等对混凝土的密实度及强度有一定的影响。高质量骨料可以改善混凝土的抗冻融、抗化学侵蚀能力,但质量差的骨料会导致结构疏松、耐久性下降。粉煤灰、矿渣等外加剂可改善混凝土工作性能和耐久性,适量添加减水剂、防冻剂等可改善混凝土工作性能及耐久性。但是,如果不恰当地使用或者过量使用,则会影响到混凝土的耐久性。

## 二、新型混凝土材料介绍

### (一) 硅粉混凝土

掺入超细硅粉可显著提高混凝土抗压、抗弯强度,其主要原因是超细硅微粉填充混凝土微观孔隙,提高材料密实度。这种增强的力学性能使硅粉混凝土能够承受较大的水压力和结构荷载,具有较高的稳定性和可靠性。硅粉可有效降低混凝土孔隙,形成致密的保护层,有效阻隔水、有害化学物质的入侵,从而提高混凝土的抗渗性和耐化学性。硅粉混凝土因其对极端高温、严酷环境具有较好的稳定性,在寒区或受化学腐蚀严重的水利工程中具有显著优势。同时,硅石混凝土的抗冻融能力也有所提高,这对防止冻融对混凝土结构的破坏具有重要意义。

### (二) 铁钢砂抗冲耐磨高强混凝土

钢砂混凝土的最大特点是具有高冲击、高耐磨性,由于加入了钢砂颗粒,使其硬度、耐磨性得到明显提高,在高速水流冲刷及固体颗粒磨蚀等恶劣环境中具有优异的性能。这一特性对水电站泄洪道闸等水工建筑物的耐磨性能要求特别高,可以有效地延长建筑物的使用寿命。

水工建筑物中，钢砂不仅可以提高混凝土的抗压强度，而且可以提高混凝土的抗拉和抗折强度。钢砂混凝土的高强度特性使其被广泛地应用于大坝和堤坝等重要的水利设施。钢砂的加入可提高混凝土的抗渗性、抗化学侵蚀性，降低水及有害化学物质的渗入，减少钢筋锈蚀的危险。这种耐久性是水利水电工程结构抵御环境腐蚀的关键，也是延长其使用寿命的关键。

### （三）HF 抗冲耐磨混凝土

通过配方优化及特殊抗冲击材料的加入，可显著提高混凝土的抗冲击韧性及抗裂性。因此，HF 抗冲耐磨混凝土可有效抵御水流冲击、浮冰冲击等外部荷载，保证结构安全稳定，特别是在水电站、水闸等重大工程中应用。独特的配方设计，使混凝土表面形成致密的保护层，能有效抵抗磨蚀。这种抗磨损性能使其在水利工程中表现优异，特别是在流速较快、固体颗粒较多的环境下，可延长结构寿命，降低维修费用。HF 抗冲耐磨混凝土的环境适应性进行了研究。HF 抗冲耐磨混凝土在极端的温湿环境中仍能保持优异的性能，避免因温度变化而产生的裂缝及强度下降。另外，HF 抗冲耐磨混凝土的抗化学腐蚀能力大大提高，能有效地抵抗水中盐分及其他腐蚀性物质对混凝土的侵蚀作用，确保其在严酷的环境下长期服役。

## 三、新型混凝土材料的耐久性研究

### （一）抗碳化性能研究

碳化引起混凝土内部碱化度下降，削弱了对钢筋的防护作用，从而增加了钢筋锈蚀的风险。因此，对混凝土抗碳化性能进行研究，目的是从材料配比、施工技术等方面改善其抗碳化性能，延长其服役寿命。通过降低混凝土孔隙率、优化孔隙结构，减缓  $\text{CO}_2$  渗透速率，延缓碳化进程。在此基础上，探索外加剂、外加剂及养护条件等因素对混凝土孔隙结构的影响，探索提高混凝土抗碳化能力的有效方法。从混凝土的抗碳化特性出发，探讨混凝土表面的防护措施。如采用保护层或采用表面封闭等技术，在混凝土内部形成一道屏障，阻止二氧化碳进入混凝土内部，提高混凝土的抗碳化能力，有助于发展新型防护技术，为水利工程中混凝土结构的耐久性提供新的保障。

### （二）抗冻性能研究

冻融作用下，混凝土内部水分发生冻结膨胀，导致内部应力增大，从而诱发微裂纹的产生与扩展。因此，通过对混凝土配合比的优化，如选择适宜的骨料、调整水胶比、使用抗冻性能优良的水泥等，提高混凝土的抗冻融性能，降低冻融损伤。对混凝土的抗冻性能进行研究，包括混凝土的微结构、孔隙率等。混凝土内部孔结构是影响冻融破坏的重要因素，小孔有利于降低水的冻结膨胀，大孔有利于冰晶生长。因此，通过对混凝土密实度及孔结构的调控，可有效改善混凝土抗冻性能。合理的养护是保证早期硬化阶段混凝土强度和抗冻融能力的重要

保证。在此基础上，研究不同养护技术（如覆盖保湿、蒸养）对混凝土抗冻性能的影响，确定最优养护方案。从材料特性、微结构及养护方法三个方面深入研究，提出更为有效的抗冻融措施，为极端天气条件下水利工程的稳定与安全提供理论依据。

### （三）抗渗性能研究

水及有害化学物质的渗入会造成钢筋锈蚀、混凝土膨胀及强度降低，从而影响混凝土的耐久性与结构安全性。从混凝土配合比设计、掺加防水剂、膨胀剂等方面入手，以降低混凝土渗透率，提高混凝土耐久性。通过对混凝土配合比及施工技术的优化，减小孔隙率、控制孔径，可有效减少水分子及有害离子在混凝土中的传输路径，提高混凝土的抗渗性能。这一微结构优化是提升水下、高湿度环境下混凝土使用性能的关键。最后，采用防水涂料或表面密封等方法，可在混凝土表面形成一层阻隔层，进一步减少水、有害物质的渗入。

### （四）抗化学侵蚀性能研究

当混凝土与酸、碱介质接触时，会发生化学反应，造成混凝土结构损伤，性能降低。以混凝土材料为研究对象，重点研究不同化学介质对混凝土侵蚀的影响机制，发展耐腐蚀的混凝土材料及防护技术。通过降低水胶比、增加外加剂用量等方法，提高混凝土密实度，改善孔结构，降低化学物质对混凝土的侵蚀。这一微结构优化是改善化学腐蚀环境下混凝土耐久性的关键。将评价不同表面涂料、密封胶及其他保护材料在改善混凝土抗化学腐蚀性能方面的作用。这些防护措施能起到延缓或阻止化学物质直接接触混凝土的作用。从材料特性、微结构及表面防护等方面进行深入研究，为混凝土结构抗化学腐蚀提供有效的保护手段，保障其长期稳定运行。

## 四、提高新型混凝土材料耐久性的方法

### （一）优选原材料

不同水泥品种的水泥，其强度、耐久性能及抗化学腐蚀性能均有较大差别。通过对比试验与性能评价，优选出适用于特殊环境的水泥品种。如在高湿、高酸环境下，采用耐硫酸盐浆或高强水泥，可有效改善混凝土耐久性能。在实验室内，通过抗压强度、抗渗性等标准化试验，对不同水泥基材料的适应性进行检验，从而筛选出最佳水泥基材料。优质骨料不仅可以提高混凝土强度，而且可以提高混凝土的抗冻性、抗渗性和耐化学性。骨料的选择要考虑骨料的大小、形状、表面特征和清洁度等。通过筛选、清洗集料，除去其中的杂质及细小颗粒，保证骨料的均匀性与质量。另外，利用再生骨料或特殊骨料（如轻集料、高强骨料等）对混凝土的综合性能也有一定的改善作用。在试验过程中，可对不同骨料的混凝土试样进行比较，评价其对混凝土力学性能的影响，从而筛选出最佳的骨料组合。掺入粉煤灰、矿渣、硅灰等可提高混凝土工作性能，减少水泥用量，降低对环境的影响。在此基础上，结合室内试验，评价不同掺合料

对混凝土强度、抗渗性及抗化学侵蚀性能的影响,确定最优掺量。同时,掺加减水剂、引气剂、防冻剂等外加剂对混凝土性能的提高具有重要意义。通过不同外加剂的配比、掺量试验,找出符合工程要求的最优配合比。

### (二) 添加外加剂

减水剂能在不降低流动度的前提下,减少混凝土拌合物的用水量,从而降低水胶比,改善混凝土强度及耐久性能。优化后的模型在室内进行了流变试验,并进行了强度试验,得到了最优减水剂用量。在寒区施工中,防冻剂可使混凝土中的水凝固点降低,防止凝结时的冻裂,对混凝土结构起到保护作用。本文拟在混凝土中掺入适量防冻剂,对混凝土试件进行冻融循环试验,评价其抗冻性能。防渗剂能有效地降低混凝土孔隙,形成致密的保护层,有效阻隔湿气及有害物质的渗入。本文以微膨胀防渗材料为研究对象,采用渗透试验、氯离子渗透试验等方法,评价其抗渗性能。

### (三) 控制施工质量

首先,严格执行施工操作规程,使混凝土浇筑质量达到最高,包括保证浇筑时混凝土均匀分布,防止离析。采用合适的振捣设备及技术,如插入式振动器、平板振动器等,可有效地排除混凝土中的气泡,提高混凝土的密实度。这一优化形式要求施工人员经过专业培训,并在现场实时监测,确保施工作业符合规范要求。模板的稳定与精度,直接关系到成型后的成型质量及尺寸精度。采用优质模板材料,合理设计模板,可有效降低混凝土表面缺陷。同时,对施工缝进行适当的处理,可有效防止水渗入,防止混凝土产生不均匀收缩。这一优化形式要求在施工前对模板进行详细的设计、施工缝的规划以及施工过程中的质量检验。混凝土养护是混凝土早期强度发展及耐久性的关键。采用补水材料、采用养护液或蒸养等方法,可使混凝土表面保持湿润状态,加快水泥水化反应,降低开裂率。这一最优结构形式应根据环境条件及混凝土自身特点,制定合理的养护方案,并在养护过程中定期检查,以保证养护效果。如图1所示:



图1 混凝土施工

### (四) 加强维护与修复

建立完善的维修保养计划,并定期检查评估混凝土结构,可及时发现混凝土结构的损伤与退化。比如,对混凝土表面的裂缝,剥落,碳化等进行定期的检查,这样就可以在问题扩大之前采取行动。采用应变计、超声等监测技术,实现对混凝土结构健康状态的实时监测,保证养护工作科学有效。根据不同损伤类型,选用适当的修复材料及修复方法是十分必要的。例如,表面裂纹的修补可采用高分子修复剂的灌注修补;对于结构损伤较大的构件,可考虑采用碳纤维复合材料进行加固。这一优化模式要求在修补前对结构进行详细的损坏评价,并针对具体情况选择最优的修补方案,以保证修补效果的持续性与可靠性。通过组织定期的培训与技术交流,提高维修人员的专业技能,提高维修人员的认识,确保他们能够按照最好的工作理念方法进行操作。如对混凝土损伤的识别、修补材料的选择和施工技术的培训等。通过员工专业素养的提升,可有效降低维修时的错误,提升整体工程品质。强化养护维修对策:建立定期维修体系,采用先进的维修材料与技术,提高维修人员的专业技术水平,可有效提升混凝土结构的耐久性与安全性,不仅可以延长水利工程的服役年限,而且可以为工程的长期稳定运行奠定基础。

### 结语

随着科学技术的进步及环境效应的深入认识,水利水电工程的耐久性研究迎来了新的契机。应对全球气候变暖的挑战,未来水利水电工程将更多地关注于混凝土材料的创新与优化,通过对环境适应性、材料性能、施工技术等方面的深入研究,可以开发出性能优异、耐久性好的新型混凝土材料,可以为我国水利事业的可持续发展,保障人类社会用水安全,促进环境协调发展。

### 参考文献

- [1] 谢继云. 新型混凝土材料在水利工程建设中的应用[J]. 中国科技投资, 2021, (05): 155+166.
- [2] 石磊. 水利工程泄水建筑物抗冲耐磨混凝土耐久性研究[J]. 江西建材, 2017, (18): 117-118.
- [3] 石磊. 水利工程泄水建筑物抗冲耐磨混凝土耐久性研究[J]. 四川水泥, 2017, (09): 291.
- [4] 于宪. 注重新型混凝土材料的运用提升水利施工水平[J]. 科技与创新, 2017, (09): 78+81.
- [5] 高宏恩. 论水利工程中新型混凝土的应用[J]. 建材与装饰, 2015, (47): 256-257.

作者简介: 侯淇文, 1989.09.01, 男, 汉, 山东省青岛市莱西市, 本科, 中级工程师, 研究方向: 水利工程。高建辉, 1988.05.04, 男, 汉, 山东省青岛市莱西市, 本科, 中级工程师, 研究方向: 水利工程。