

# 水工建筑物混凝土耐久性提升策略研究

卢松

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i1.7597

**[摘要]** 本文旨在探讨水工建筑物混凝土耐久性的提升策略,通过深入分析影响混凝土耐久性的主要因素,提出针对性的改进措施。文章首先概述了水工建筑物混凝土耐久性的重要性及研究背景,接着从材料选择、设计优化和施工控制三个方面详细阐述了提升耐久性的具体策略。通过本文的研究,期望为水工建筑物的长期安全运行提供理论支持和实践指导。

**[关键词]** 水工建筑物;混凝土;耐久性;材料选择;设计优化;施工控制

## Research on concrete durability improvement strategy of hydraulic structures

Lu Song

Hebei Water Conservancy and Hydropower Survey, Design and Research Institute Group Co.

**[Abstract]** This paper aims to discuss the improvement strategy of the concrete durability of hydraulic structures, and to analyze the main factors affecting the durability of concrete. The paper first summarizes the importance and research background of concrete durability in hydraulic structures, and then expounds the specific strategies to improve the durability from three aspects of material selection, design optimization and construction control. Through the research of this paper, it is expected to provide theoretical support and practical guidance for the long-term safe operation of hydraulic structures.

**[Key words]** hydraulic structures; concrete; durability; material selection; design optimization; construction control

### 引言

水工建筑物作为水利工程的重要组成部分,其安全性、稳定性和耐久性对于保障人民生命财产安全、促进经济社会发展具有重大意义。混凝土作为水工建筑物的主要材料,其耐久性直接关系到建筑物的使用寿命和维修成本。然而,由于水工建筑物所处环境的特殊性,混凝土易受到水、盐、碱等多种因素的侵蚀,导致耐久性下降。因此,提升水工建筑物混凝土的耐久性成为当前研究的热点和难点。本文将从材料选择、设计优化和施工控制三个方面入手,深入探讨提升混凝土耐久性的有效策略。

### 一、材料选择策略

#### (一) 选用高性能混凝土材料

高性能混凝土(High-Performance Concrete, HPC)以其卓越的力学性能和耐久性,在水工建筑物中发挥着至关重要的作用。HPC不仅具有较高的抗压强度和抗拉强度,还表现出良好的抗渗性、抗冻性、抗化学侵蚀性和抗碳化能力。通过选用高强度、高抗渗、高耐久性的混凝土材料,可以从根本上提升水工建筑物的耐久性。具体而言,HPC中细骨料和粗骨料的选择应注重其物理性能和化学稳定性,确保骨料与水泥浆体之间的良好粘结,从而提高混凝土的整体性能。此外,通过优化水泥基材料的组成,如使用低水化热的水泥、掺入粉煤灰、矿渣等活性掺合料,可以有效降低混凝土的水化热,减少温度裂缝的产生,提高混凝土的抗裂性和抗渗性。在HPC的配制过程中,还应严格控制水灰比,合理选择减水剂,确保混凝土具有良好的和易性和密实度,以增强其抗渗性和抗冻融循环的能力。高性能混凝土的使用不仅能够延长水工建筑物的使用寿命,降低维护成本,还能够提高建筑物在极端环境条件下的安全性和可

靠性,为水工建筑物的长期稳定运行提供坚实保障。

#### (二) 添加外加剂改善混凝土性能

外加剂可以有效改善混凝土的工作性能和耐久性。例如,添加减水剂不仅能够显著降低混凝土的水灰比,减少用水量,从而提高混凝土的密实性和抗渗性,还能够改善混凝土的和易性,使混凝土在搅拌和浇筑过程中更加均匀,减少离析和泌水现象,进一步提升混凝土的整体性能。添加缓凝剂可以延长混凝土的凝结时间,为施工操作提供充足的时间,特别是在高温或大体积混凝土施工中,缓凝剂能够有效控制水化热的释放速率,减少温度裂缝的产生,提高混凝土的抗裂性。此外,添加防腐剂能够显著提高混凝土的抗硫酸盐侵蚀能力,延长混凝土在恶劣环境条件下的使用寿命。对于海工结构和处于高腐蚀性环境中的混凝土结构,防腐剂的作用尤为重要,它能够有效阻止或减缓腐蚀性介质对混凝土的侵蚀,保护钢筋免受锈蚀,确保结构的安全性和耐久性。同时,使用引气剂可以改善混凝土的抗冻性,通过在混凝土中形成大量微小、均匀分布的气泡,减少冰晶形成时对混凝土内部结构的破坏,提高混凝土在冻融循环中的稳定性。使用膨胀剂可以补偿混凝土在硬化过程中的体积收缩,减少收缩裂缝的产生,提高混凝土的抗裂性和整体性。综上所述,合理选用和科学配比外加剂,是提升混凝土性能和耐久性的重要手段。

#### (三) 使用纤维增强混凝土

使用纤维增强混凝土是提高水工建筑物耐久性和性能的有效手段之一。通过在混凝土中加入纤维材料,可以显著改善混凝土的力学性能和耐久性。纤维材料的加入能够有效提高混凝土的抗拉强度、韧性和抗裂性,从而增强水工建筑物在复杂应力环境下的耐久性和稳定性。纤维增强混凝土的抗拉强度较

普通混凝土有明显提高，这主要是由于纤维在混凝土中形成了一种内部增强网络，能够有效地分散和吸收外力，减少裂缝的产生和扩展。此外，纤维的加入还能改善混凝土的韧性和延展性，使混凝土在受到冲击或动态荷载作用时，具有更好的抗冲击性能和抗疲劳性能，这对于水工建筑物在水流冲击、波浪拍打等复杂工况下的长期稳定运行具有重要意义。

纤维增强混凝土在提高水工建筑物耐久性方面的作用还体现在其抗渗性和抗腐蚀性的增强。纤维的引入能够减少混凝土内部的孔隙率，提高混凝土的密实度，从而降低水和腐蚀性物质的渗透性，减少对内部钢筋的腐蚀，延长建筑物的使用寿命。对于处于海水、盐碱地等腐蚀性环境中的水工建筑物，使用纤维增强混凝土可以显著提高其抗腐蚀性能，减少维护成本，确保建筑物的安全性和可靠性。

纤维增强混凝土还具有良好的施工性能。纤维的加入可以改善混凝土的和易性，减少混凝土的离析和泌水现象，使混凝土在浇筑过程中更加均匀，提高施工效率。在水工建筑物施工中，纤维增强混凝土的这一特性有助于提高施工质量，确保混凝土结构的整体性和密实性，进一步提升建筑物的耐久性。

## 二、设计优化策略

### (一) 优化结构形式与构造措施

合理的结构形式和构造措施是提升水工建筑物耐久性的关键。通过优化结构设计，采用合理的截面形状和尺寸，减少应力集中和裂缝产生的可能性。例如，采用预应力混凝土结构可以有效控制裂缝的产生和扩展，提高结构的抗裂性和整体性。通过合理设置支撑点和连接节点，可以优化结构的受力状态，减少局部应力过大的问题，从而延长结构的使用寿命。

在构造措施方面，采取适当的构造措施，如设置伸缩缝、沉降缝、温度缝等，以适应建筑物在使用过程中的变形需求。伸缩缝可以有效缓解由于温度变化引起的混凝土收缩和膨胀，防止结构因温度应力而产生裂缝。沉降缝则可以适应地基不均匀沉降，避免由此产生的结构开裂。温度缝的设置可以减少因温度变化引起的内部应力，提高结构的稳定性。此外，合理的钢筋布置和混凝土保护层厚度也是确保结构耐久性的重要措施。通过增加钢筋的配筋率和优化钢筋的布置，可以提高结构的抗裂性和承载能力；而适当的混凝土保护层厚度则可以有效防止钢筋的腐蚀，延长结构的使用寿命。

### (二) 加强细部设计与节点处理

加强细部设计与节点处理对于保证水工建筑物的整体性和耐久性至关重要。应重点关注关键部位的细部设计，如锚固件、接缝等。锚固件的设计应充分考虑其受力状态和环境条件，选择合适的材料和形式，确保其具有足够的承载能力和抗腐蚀性能。接缝设计需综合考虑结构变形、温度变化等因素，采用适当的密封材料和技术，确保接缝处的防水和防渗性能。加强节点处的连接和防水处理，确保建筑物在长期使用过程中保持良好的整体性能。节点设计应考虑结构的力学特性和使用环境，采用合理的连接方式，如预应力连接、焊接等，确保节点的强度和稳定性。同时，对于水下或潮湿环境中的节点，应采取有效的防腐措施，如涂覆防腐涂料、使用不锈钢材料等，以提高节点的耐久性。节点处的防水处理也极为重要，应采用多层防水系统，确保防水层的完整性和连续性，防止水分渗透导致结构损伤。通过细致的细部设计和节点处理，可以有效提升水工建筑物的整体性和耐久性，确保其在长期使用过程中保持良好的性能。

### (三) 引入耐久性设计理念与方法

将耐久性设计理念贯穿于水工建筑物的设计全过程，是确保其长期性能稳定的关键。设计阶段需充分考虑建筑物在使用寿命内可能遇到的各种环境因素和作用机理，如水化学侵蚀、冻融循环、盐雾腐蚀、生物侵蚀等，以及施工、使用过程中的机械磨损、荷载变动等。通过综合分析这些因素，可以为材料选择、结构设计和施工工艺提供科学依据，从而有效提升建筑物的耐久性。

在设计方法上，应采用先进的耐久性设计理论和技术手段，如基于性能的设计方法、寿命预测模型、环境适应性评估等。基于性能的设计方法强调在设计阶段就明确建筑物预期达到的耐久性目标，通过量化分析确定各组成部分的耐久性要求，确保整体设计的合理性和经济性。寿命预测模型则通过模拟建筑物在不同环境条件下的老化过程，预测其长期性能变化，为设计优化提供数据支持。环境适应性评估则是针对特定使用环境，评估材料和结构的适应性，确保其在特定条件下仍能保持良好的性能。

耐久性设计还应考虑维护和修复的便利性，确保在使用过程中可以及时进行必要的维护和修复，以延长建筑物的使用寿命。设计时应预留足够的检查和维修空间，选择易于维护的材料和结构形式，同时考虑使用阶段的可检测性和可维修性，为建筑物的全生命周期管理提供便利。

## 三、施工控制策略

### (一) 严格控制混凝土配合比与浇筑质量

混凝土配合比和浇筑质量是影响混凝土耐久性的重要因素。在施工过程中，应严格按照设计要求进行混凝土配合比设计，确保水泥、水、粗细骨料以及外加剂等材料的比例科学合理，以满足强度、工作性、耐久性等多方面性能指标。还需根据工程特点和环境条件选择适宜的水泥品种和骨料类型，如在寒冷地区使用抗冻水泥，以提高混凝土的抗冻融性能；在海洋工程中采用抗硫酸盐侵蚀的水泥，增强混凝土的抗腐蚀能力。

在浇筑过程中，必须严格控制混凝土的坍落度，确保混凝土具有良好的流动性，便于充分填充模板，避免出现空洞、蜂窝、麻面等质量缺陷。同时，应采用合理的振捣工艺，保证混凝土密实度，提高混凝土的整体性能。浇筑时还应注意分层浇筑，每层浇筑厚度不宜过大，以确保混凝土浇筑均匀，减少内部应力，防止出现裂缝。浇筑完成后，应立即采取覆盖、洒水等养护措施，确保混凝土在规定时间内达到设计强度，促进水泥水化反应充分进行，提高混凝土的耐久性。对于大体积混凝土，还需特别关注温度控制，采取有效的温控措施，防止因温差引起的温度裂缝。通过上述措施，可以有效提升混凝土结构的耐久性和安全性，确保工程质量和使用寿命。

### (二) 加强混凝土养护与温度控制

养护和温度控制对于确保混凝土质量具有至关重要的作用。在施工过程中，应采取科学有效的养护措施，确保混凝土在规定的养护时间内达到设计要求的强度。具体而言，混凝土浇筑后，应及时覆盖保湿材料，如湿麻袋、塑料薄膜等，以防止水分过快蒸发，影响水泥水化反应的进行。同时，应根据环境条件采取适当的洒水养护或蒸汽养护措施，保持混凝土表面湿润，促进水化反应的充分进行，提高混凝土的密实度和强度。养护时间应根据混凝土的类型、环境温度、湿度等因素综合确定，通常情况下，普通混凝土的养护时间不应少于7天，对于高性能混凝土或有特殊要求的混凝土，养护时间可能需要延长至14天甚至更长。

加强温度控制,对于防止因温度变化引起的裂缝等问题尤为重要。特别是在大体积混凝土施工中,内部与外部温差可能导致温度应力的产生,进而引发裂缝。因此,应采取有效的温控措施,如使用低热水泥、掺加粉煤灰等矿物掺合料以降低水化热;采用分层浇筑、设置冷却水管等方法来控制混凝土内部温度;在夏季高温施工时,应选择早晚温度较低时进行浇筑,并采取遮阳、喷雾等降温措施;冬季低温施工时,则应采取保温措施,如搭建暖棚、使用加热设备等,确保混凝土浇筑后的温度不低于 5℃,避免因温度过低影响混凝土的正常凝结和硬化。通过上述措施,可以有效控制混凝土的温度变化,减少温度裂缝的发生,提高混凝土结构的整体性能和耐久性。

### (三) 实施定期检测与维修加固制度

为确保水工建筑物的长期安全运行,应建立系统化的定期检测与维修加固制度。该制度应涵盖从初步设计阶段到建筑物整个使用周期的全面监测与维护策略。首先,在设计阶段,应充分考虑建筑物的使用环境、材料特性以及预期的使用寿命,合理规划监测点位与检测频率,确保能够及时捕捉到结构状态的变化。其次,定期检测应采用先进的无损检测技术,如超声波检测、雷达检测、红外热成像等,结合人工目测、裂缝宽度测量、钢筋锈蚀程度检测等传统方法,全面评估建筑物的健康状况。对于检测中发现的微小裂缝、混凝土剥落、钢筋锈蚀等潜在安全隐患,应立即采取措施进行处理,避免问题恶化。再次,针对检测中发现的结构损伤或性能下降问题,应由具备相应资质的专业团队制定详细的维修加固方案。方案设计需综合

考虑结构安全、经济成本、施工可行性等因素,优先采用新材料、新技术、新工艺,如碳纤维加固、化学灌浆、预应力加固等,以提高建筑物的承载力和耐久性。最后,维修加固工作完成后,还需进行效果评估,确保结构性能得到有效恢复。同时,应建立完善的档案资料管理系统,记录每次检测与维修加固的具体情况,为后续为维护管理提供依据。通过上述措施,可以有效延长水工建筑物的使用寿命,保障其长期安全稳定运行。

### 结论与展望

本文从材料选择、设计优化和施工控制三个方面提出了水工建筑物混凝土耐久性的提升策略。这些策略的实施将有助于提高水工建筑物的安全性和稳定性,延长其使用寿命,降低维修成本。未来研究可进一步关注新型高性能混凝土材料的研发与应用、智能化施工技术的推广以及基于全生命周期理念的耐久性设计方法等方向。

### 参考文献

- [1]杨新科.新型表面防护材料提高水工混凝土耐久性的应用[J].四川水利,2023,44(02):33-35+76.
- [2]张全红,王涛,穆松,等.不同侵蚀环境下喷射混凝土耐久性提升技术及作用机理[J].硅酸盐通报,2024,43(04):1410-1419.
- [3]曾令佳,施礼德.钢筋混凝土结构耐久性提升技术研究进展[J].建筑工程技术与设计,2019(3):541.
- [4]于振兴,王礼信.影响水工建筑物耐久性的主要因素及预防对策[J].价值工程,2017,36(19):191-192.

上接第 114 页

## 4 现代建筑工程测量技术的未来发展趋势

### 4.1 多源数据融合

未来建筑工程测量将更加注重多源数据的融合。将卫星定位数据、激光扫描数据、摄影测量数据、智能传感器数据等进行融合,可以获取更全面、更准确的建筑工程信息。例如,在建筑物变形监测中,可以将激光扫描得到的三维变形数据与智能传感器监测到的位移、倾斜数据进行融合,更精确地分析建筑物的变形状态。

### 4.2 智能化与自动化

随着人工智能技术、机器人技术等的发展,建筑工程测量技术将朝着智能化、自动化方向发展。智能测量机器人将逐渐取代人工进行测量工作,它们可以根据预设的任务自主完成测量路线规划、数据采集、数据处理等工作。同时,智能化的测量数据分析系统可以自动识别测量数据中的异常情况,提供决策建议。

### 4.3 实时动态监测

在建筑工程的施工和运营维护阶段,实时动态监测将成为主流。通过在建筑物上安装大量的智能传感器,实现对建筑物状态的实时监测。并且,借助于 5G 等高速通信技术,可以将监测数据实时传输到控制中心,一旦发现异常情况,可以立即采取措施。例如,在高层建筑施工过程中,实时监测建筑物的振动、位移等情况,确保施工安全。

### 4.4 虚拟现实(VR)与增强现实(AR)技术的应用

VR 和 AR 技术将在建筑工程测量中得到广泛而深入的应用。在建筑工程的规划设计阶段,VR 技术发挥着独特的作用。设计师借助 VR 设备,仿佛置身于虚拟的建筑空间中,能够全方位地审视建筑的外观、内部布局等。业主也能提前感受建筑

建成后的实际效果,如空间的大小、采光情况等,这有助于及时发现设计中的不足并进行调整。在施工阶段,AR 技术的价值凸显。施工人员只需佩戴相关的 AR 设备,施工图纸、工程数据等信息就能精准地叠加到施工现场的实际场景里。

### 结束语

综上所述,现代建筑工程测量技术在建筑工程的各个阶段都发挥着至关重要的作用。随着技术的不断发展,测量技术从传统向现代、从单一向多元、从手动向自动智能化方向发展。未来,多源数据融合、智能化自动化、实时动态监测以及 VR 和 AR 技术的应用等将是建筑工程测量技术的发展趋势,这些发展将进一步提高建筑工程测量的精度、效率和服务质量,为建筑工程的高质量建设和安全运营提供更有力的保障。

### 参考文献

- [1]戴苏婕.现代建筑工程测量技术的发展与应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(22):165-167.
- [2]任连生.解析现代工程测量技术的发展与应用[J].中国住宅设施,2022,(10):79-81.
- [3]任海涛.解析现代工程测量技术的发展与应用[J].居舍,2022,(03):73-75.
- [4]田荣.测量技术在建筑工程中的应用分析[J].智能城市,2021,7(11):103-104.
- [5]樊秉鑫.基于建筑工程测量的数字测量技术应用分析及发展探究[J].居舍,2021,(11):161-162.
- [6]王秀春.现代建筑施工中工程测量技术的应用研究[J].科技创新导报,2019,16(33):40-41.
- [7]孟宏.现代工程测量技术的发展趋势及其应用[J].住宅与房地产,2019,(06):181+231.