

# 水利水电工程中的混凝土结构耐久性研究

张虎林

新疆科新工程管理咨询有限公司 新疆 库尔勒 841000

**摘要:** 水利水电工程是国家基础设施建设的重要组成部分,而混凝土结构的耐久性则是这些工程长期安全运行的基石。本文将从环境、荷载和材料等多个角度,深入探讨影响混凝土结构耐久性的各种因素,同时,将详细介绍当前用于提高混凝土结构耐久性的关键技术和方法,以期对相关领域提供有价值的理论支撑和实践指导。

**关键词:** 水利水电工程;混凝土结构;耐久性;环境侵蚀;荷载作用

## 引言

水利水电工程在国民经济和社会发展中扮演着举足轻重的角色。然而,这些工程中的混凝土结构在长期的运行过程中,不可避免地会受到各种环境因素的侵蚀和荷载的长期作用,从而导致性能退化甚至失效。因此,对混凝土结构的耐久性进行深入研究,不仅有助于保障工程的安全运行,还能为未来的工程设计、施工和维护提供宝贵的经验。

## 1 混凝土结构耐久性影响因素的深度分析

### 1.1 环境侵蚀

水利水电工程中的混凝土结构,由于其特殊的工程环境和长期暴露于自然条件下,经常遭受到各种环境因素的侵蚀。在这些侵蚀因素中,水的作用尤为关键。水可以通过多种途径侵入混凝土内部。在混凝土施工过程中,如果振捣不实或养护不当,都可能形成微小的裂缝或孔隙,为水的渗透提供了通道。一旦水进入混凝土内部,它会与其中的氢氧化钙等成分发生化学反应,导致混凝土体积膨胀,进而产生更大的内部应力,使裂缝扩大,甚至引发结构性的破坏。除了水,空气中的二氧化碳也是一个不可忽视的侵蚀因素。二氧化碳与混凝土中的水分和氢氧化钙反应,生成碳酸钙和水,这个过程中会降低混凝土的碱性,从而减弱其对钢筋的保护作用。在海洋环境中,这种侵蚀作用更为明显,因为海水含有的氯离子会加速钢筋的锈蚀过程。气温变化也是一个重要的环境因素。随着季节的更替,混凝土结构会经历热胀冷缩的过程。长期的温度应力会导致混凝土出现疲劳裂缝,这些裂缝不仅影响结构的美观性,更重要的是它们为水和其他有害物质提供了侵入的途径<sup>[1]</sup>。化学腐蚀是另一个值得关注的侵蚀因素。在某些地区,地下水或土壤中可能含有硫酸盐等化学物质。这些物质与混凝土中的成分发生反应,生成新的化合物,导致混凝土膨胀、开裂。此外,工业排放的废气、废液等也可能对混

凝土结构造成化学腐蚀。

### 1.2 荷载的长期作用

在水利水电工程中,混凝土结构所承受的荷载是多种多样的,这些荷载的长期作用对结构的耐久性产生深远影响。首先,我们来看静荷载,它是工程中最常见且持续的荷载类型。静荷载主要来自于工程结构自身的重量以及其上部的建筑或设备。随着时间的推移,静荷载的持续作用会使得混凝土结构产生徐变,即材料在持续荷载作用下产生的随时间发展的变形,这会影响结构的整体性能和耐久性。与静荷载相对应的是动荷载,它在水利水电工程中同样不可忽视。动荷载主要来源于风、地震、水流等自然因素,以及机器运转、人员活动等人为因素。动荷载的特点是作用时间短暂但强度较大,容易在混凝土结构中产生应力集中和疲劳裂缝,进而降低结构的耐久性。此外,温度变化也会引起混凝土结构中的温度荷载。由于混凝土的热胀冷缩性质,温度变化会导致结构内部产生温度应力。特别是在昼夜温差大或季节交替时,温度荷载的作用尤为明显。长期的温度荷载会使得混凝土结构出现裂缝,影响耐久性。在水利水电工程中,水流冲击引起的动态荷载是一个特殊的考虑因素。特别是在高水位、大流量的工程中,水流的冲刷和冲击力对混凝土结构的耐久性构成了极大的威胁。水流中的泥沙和石块等杂质会对混凝土结构造成磨损和撞击,长期下来会导致结构表面磨损、剥落,甚至引发内部裂缝。荷载的长期作用对水利水电工程中混凝土结构的耐久性具有重要影响。不同类型的荷载通过不同的方式影响结构的性能和耐久性,因此在工程设计和施工中必须充分考虑这些荷载因素,确保结构的安全性和耐久性。

### 1.3 材料性能的影响

在水利水电工程中,混凝土结构的耐久性深受材料性能的影响。混凝土,作为一种复合材料,由水、骨

料、水泥和各种添加剂混合而成，其各组分的质量和比例都直接关系到混凝土的整体性能和耐久性。首先，水泥作为混凝土中的粘结剂，其质量对混凝土的性能有着至关重要的影响。劣质水泥可能导致混凝土的强度不足、硬化速度过快或过慢，甚至产生过多的热量导致混凝土开裂。这些问题都会直接影响到混凝土的耐久性。骨料是混凝土中的主体部分，占据了混凝土体积的大部分。骨料的质量、粒径分布和清洁度等都会对混凝土的性能产生影响。例如，使用含有过多泥土或杂质的骨料，会降低混凝土的强度和耐久性。同时，骨料的粒径过大或过小，都会影响到混凝土的密实性和工作性能。添加剂在混凝土中扮演着重要的角色，它们可以改善混凝土的工作性能、提高强度、增加耐久性等。但是，添加剂的使用也需要严格控制，过量或不当的使用都可能对混凝土的性能产生负面影响。此外，钢筋作为混凝土结构中的重要组成部分，其材质和保护层厚度也直接影响到结构的耐久性。劣质的钢筋可能含有过多的杂质和不良元素，导致钢筋的力学性能下降，易于锈蚀。而保护层的厚度则关系到钢筋与混凝土的粘结力和耐腐蚀性。如果保护层过薄，那么环境中的有害物质和水分很容易侵蚀到钢筋，导致其锈蚀和性能下降<sup>[2]</sup>。材料性能对水利水电工程中混凝土结构的耐久性有着深远的影响。为了确保结构的耐久性和安全性，必须从源头上控制混凝土原材料的质量、优化配合比以及合理使用添加剂。

## 2 提高混凝土结构耐久性的关键技术和方法

### 2.1 高性能混凝土的应用

高性能混凝土（HPC）是现代建筑材料科技的重要成果，其出色的性能和广泛的适用性使其在水利水电工程中得到了广泛应用。通过精心设计的配合比，以及掺入特定的矿物掺合料和高效减水剂，高性能混凝土得以实现其卓越的物理和机械性能。在优化混凝土配合比设计方面，科研人员 and 工程师们通过精确计算和调整水、骨料、水泥以及各种添加剂的比例，以达到最佳的工程性能。这种优化不仅提高了混凝土的流动性，还有助于减少混凝土硬化过程中的温度应力，从而降低开裂的风险。矿物掺合料，如粉煤灰、硅灰等，是高性能混凝土中的重要组成部分。这些掺合料不仅可以提高混凝土的耐久性，还能增强其抗化学侵蚀的能力。它们通过与水泥水化产物发生反应，形成更为致密的混凝土结构，从而减少水分和有害离子的渗透。高效减水剂的使用也是制备高性能混凝土的关键技术之一。这类减水剂能够显著降低混凝土拌合物的水灰比，提高混凝土的流动性和工作性，使得混凝土更易于施工和振捣。同时，减水剂

还能优化混凝土的孔结构，提高其密实性和耐久性。高性能混凝土的抗渗性、抗裂性和耐久性是其最为突出的优点。这些性能使得高性能混凝土能够在恶劣的环境下保持结构的完整性和稳定性。无论是在水流冲刷、气温骤变，还是在化学腐蚀等不利条件下，高性能混凝土都能表现出良好的耐久性<sup>[3]</sup>。此外，高性能混凝土还具有较好的工作性能和可泵性，这使得它在实际施工中更易于操作和控制。无论是在大型水利水电工程，还是在复杂的建筑结构中，高性能混凝土都能发挥出其独特的优势，为工程的长期安全运行提供坚实的保障。

### 2.2 钢筋的防腐保护

在水利水电工程中，钢筋是混凝土结构中不可或缺的组成部分，承担着重要的承载作用。然而，钢筋易受环境侵蚀而锈蚀，进而影响整体结构的耐久性。因此，采取有效的防腐保护措施至关重要。增加钢筋的保护层厚度是防止钢筋锈蚀的基石。保护层作为钢筋与外界环境之间的屏障，其厚度的增加能够更有效地隔绝水分、氧气以及其他有害物质的侵蚀。通过合理设计保护层厚度，可以显著延长钢筋的使用寿命，从而提高整体结构的耐久性。除了增加保护层厚度，对钢筋进行表面处理也是防腐保护的重要环节。采用防腐涂料或防锈剂对钢筋进行涂覆，能够形成一层致密的保护膜，进一步隔绝钢筋与有害物质的直接接触。这种处理方法不仅能够减缓钢筋的锈蚀速度，还能在一定程度上修复已经产生的微小损伤。此外，优化钢筋的连接方式和锚固长度对于提高钢筋与混凝土的粘结性能至关重要。合理的连接方式能够确保钢筋之间的传力均匀、连续，避免因应力集中而导致的锈蚀和断裂。同时，适当的锚固长度能够确保钢筋与混凝土之间的粘结牢固，从而增强整体结构的稳定性和耐久性。在实施钢筋的防腐保护时，还需综合考虑工程环境、使用条件以及材料的成本效益等因素。例如，在海洋环境或高湿度地区，应采取更为严格的防腐措施，如使用不锈钢钢筋或增加特殊的防腐涂层等。通过增加保护层厚度、表面处理以及优化连接方式和锚固长度等措施，可以有效地提高钢筋的防腐性能，进而增强整体混凝土结构的耐久性。这些措施在水利水电工程中具有重要的应用价值，对于确保工程的安全性和长期稳定运行具有重要意义。

### 2.3 耐久性增强技术的应用

在提升混凝土结构耐久性的众多技术中，表面涂层保护和电化学保护是两种重要的技术手段。表面涂层保护技术是通过在混凝土结构表面涂刷特殊的防水或防腐涂料，以形成一层紧密的保护屏障。这种涂层不仅能有

效隔绝外部水分、氧气及有害化学物质的侵蚀，还能减缓混凝土碳化和钢筋锈蚀的速度。在选择涂料时，需考虑其耐候性、耐腐蚀性以及与混凝土基材的附着力。专业施工人员会先对混凝土表面进行清洁和预处理，确保涂层能与基材紧密结合，从而达到最佳保护效果。电化学保护技术则是利用电化学原理，通过施加电流或电位差来保护钢筋免受锈蚀的侵害。这一技术主要分为阴极保护和阳极保护两种。阴极保护是通过外部电源向钢筋施加负电位，使其成为电化学电池的阴极，从而防止钢筋锈蚀。阳极保护则是在钢筋表面形成一层氧化膜，通过调整电位差来控制钢筋的锈蚀速率。在实际应用中，电化学保护技术需要综合考虑工程环境、钢筋材质、电流密度和电位差等因素，以确保保护效果的最佳化。这两种技术各有优势，表面涂层保护简单易行，成本较低，适用于各种混凝土结构；而电化学保护则更为精准和高效，特别适用于对耐久性要求极高的工程。在实际工程中，这两种技术也可以结合使用，以达到更好的保护效果。表面涂层保护和电化学保护是两种有效的耐久性增强技术，它们能够显著提高混凝土结构的耐久性，延长工程的使用寿命。随着科技的不断发展，我们相信未来会有更多创新的技术和方法涌现，为混凝土结构的耐久性提供更加坚实的保障。

#### 2.4 定期检测与维护策略的制定

水利水电工程中混凝土结构的耐久性不仅关乎工程安全，更直接影响工程的使用寿命和经济效益。因此，定期的检测与维护工作成为了不可或缺的环节。定期检测是确保混凝土结构耐久性的第一道防线。借助现代无损检测技术，如超声波检测和红外热像检测，我们能够不破坏结构的前提下，深入探测混凝土内部的微小裂缝、孔洞以及其他潜在缺陷。这些技术通过捕捉声波或热信号的反射和传播特性，能够精准地定位问题区域，为后续的维护工作提供有力的数据支持。超声波检测技术主要利用声波在不同介质中传播速度的差异来识别混凝土内部的异常情况。当声波遇到裂缝或空洞时，其传播路径和速度会发生变化，从而被检测设备捕捉并转化

为可视化的图像，帮助工程师准确判断结构的健康状况。红外热像检测则是通过捕捉混凝土结构表面的温度分布差异来识别潜在的缺陷。例如，当混凝土内部存在裂缝或水分渗透时，这些区域的热传导性能会发生变化，导致表面温度分布不均。红外热像仪能够捕捉这些微妙的温度变化，从而揭示出结构内部的问题。在定期检测的基础上，制定合理的维护计划是确保混凝土结构耐久性的关键。一旦发现受损部位，如裂缝、剥落等，应立即采取修复和加固措施。注浆加固是一种常用的方法，通过向裂缝或孔洞注入专用的修补材料，能够有效恢复结构的整体性和强度<sup>[4]</sup>。此外，粘贴碳纤维布也是一种高效的加固方法，碳纤维布的高强度和耐腐蚀性能能够显著提升混凝土结构的承载能力。定期检测与维护策略的制定是确保水利水电工程中混凝土结构耐久性的重要措施。通过采用先进的无损检测技术和合理的维护计划，我们能够及时发现并处理潜在的结构问题，从而确保工程的安全性和长期稳定运行。

#### 结语

水利水电工程中混凝土结构的耐久性是确保工程安全、稳定运行的关键因素之一。通过深入分析影响耐久性的主要因素并针对性地提出提高耐久性的关键技术和方法可以为相关领域提供有价值的理论支撑和实践指导。未来随着新材料、新技术的不断涌现以及人们对耐久性问题不断深入认识我们有理由相信水利水电工程中混凝土结构的耐久性将得到进一步提升从而为国民经济和社会的发展提供更加坚实可靠的基础设施保障。

#### 参考文献

- [1]唐付磊.基于水利工程高性能混凝土的耐久性试验研究[J].黑龙江水利科技,2022,50(01):20-22.
- [2]孟庆巍.基于水利枢纽工程水工混凝土结构耐久性评价[J].黑龙江水利科技,2019,47(08):153-157.
- [3]王明.混凝土结构的耐久性研究[J].结构工程,2022,38(1):12-18.
- [4]吕婷婷,吕靖.水利工程中混凝土结构的优化设计[J].四川水泥,2022(03):124-125.