

分析水工结构工程的耐久性设计

姬建美 王明涛

开封黄河工程开发有限公司 河南 开封 475000

摘要: 水工结构工程在复杂环境条件下长期运行,必须具备良好的耐久性以抵御各种侵蚀作用。本文探讨了水工结构工程耐久性设计的关键因素,包括环境条件的影响、材料选择与要求、施工工艺与质量控制等,并提出了具体的耐久性设计方法和优化策略,可以有效提高水工结构工程的耐久性,延长其使用寿命。

关键词: 水工结构工程;耐久性设计;环境条件;材料选择;施工工艺

引言:水工结构工程是水利工程的重要组成部分,其耐久性的好坏直接关系到工程的安全性、稳定性和使用寿命。随着环境条件的不断变化和工程技术的不断进步,对水工结构工程的耐久性设计提出了更高的要求。本文深入分析了水工结构工程耐久性设计的关键因素,并提出有效的设计方法和优化策略。

1 水工结构工程耐久性设计的关键因素

1.1 环境条件的影响

环境条件是水工结构工程耐久性设计中最不可忽视的因素之一。不同的环境条件对结构产生的侵蚀作用各不相同,在进行耐久性设计时,必须首先明确工程所处的具体环境条件,并据此采取相应的防护措施。(1) 侵蚀环境条件的分类:侵蚀环境条件可以根据多种因素进行分类,如水质、气温、湿度、风速、日照强度、冻融循环次数等。按照侵蚀性质的不同,可以将环境条件大致分为化学侵蚀、物理侵蚀和生物侵蚀三大类。化学侵蚀主要包括酸碱侵蚀、盐渍侵蚀等,这些侵蚀作用会改变材料的化学组成,从而降低其力学性能。物理侵蚀则包括水流冲刷、风蚀、冻融破坏等,这些作用主要导致结构表面材料的剥落和内部裂纹的产生。生物侵蚀则是由微生物、植物或动物活动引起的,如藻类附着、贝类生长等,这些生物活动会加速结构的腐蚀过程。(2) 不同环境条件对结构耐久性的影响:不同的环境条件对结构耐久性的影响程度各不相同。例如,在盐碱地区,盐渍侵蚀会加速混凝土的碳化过程,导致钢筋锈蚀加速,从而缩短结构的使用寿命。而在寒冷地区,冻融循环是导致结构破坏的主要原因之一,反复的冻融作用会使混凝土内部产生微裂缝,进而引发宏观裂缝和剥落现象。水流冲刷作用对河堤、桥梁等水工结构也构成了严重威胁,尤其是在洪水期间,高强度的水流冲刷可能导致结构失稳。

1.2 材料选择与要求

材料的选择对于提高水工结构工程的耐久性至关重要。合理的材料选择不仅可以提高结构的力学性能,还能有效抵抗各种环境侵蚀作用。(1) 混凝土原材料的选用:混凝土是水工结构工程中最常用的材料之一。在选择混凝土原材料时,应优先考虑其耐久性。高质量的水泥、骨料和外加剂是提高混凝土耐久性的关键。水泥应选用强度等级高、水化热低、抗渗性能好的品种;骨料应具有良好的级配、低吸水率和足够的强度;外加剂则应具有改善混凝土工作性能、提高抗裂性能和耐久性的作用。(2) 钢筋的选用与防腐处理:钢筋是混凝土结构中不可或缺的组成部分^[1]。在选择钢筋时,应优先考虑其屈服强度、延伸率和抗腐蚀性。对于处于恶劣环境条件下的结构,如海洋环境或盐碱地区,应选用不锈钢钢筋或进行特殊的防腐处理,如热浸镀锌、环氧涂层等,以延长钢筋的使用寿命。(3) 特殊材料的应用:在某些特殊情况下,需要采用特殊材料来提高结构的耐久性。例如,在抗渗要求较高的结构中,可以采用高性能防水混凝土或防水涂料;在需要承受高温或低温作用的结构中,可以采用耐高温或耐低温的特殊材料;在需要抵抗化学侵蚀的环境中,可以采用耐腐蚀合金或复合材料等。

1.3 施工工艺与质量控制

施工工艺和质量控制是影响水工结构工程耐久性的另一个重要因素。良好的施工工艺和严格的质量控制可以确保结构在施工过程中不产生缺陷,从而提高其耐久性。(1) 混凝土浇筑与振捣技术:混凝土浇筑和振捣是混凝土施工中的关键环节。在浇筑过程中,应严格控制混凝土的坍落度和浇筑速度,避免产生分层和离析现象。振捣则应充分均匀,以确保混凝土内部密实无气泡。还应采取适当的养护措施,如覆盖保湿、喷水养护等,以促进混凝土的早期强度发展和减少干缩裂缝的产生。(2) 施工缝与变形缝的处理:施工缝和变形缝是水工结构中的薄弱环节,也是容易发生渗漏和破坏的部

位。在处理这些缝时,应严格按照设计要求进行施工。对于施工缝,应采用适当的接浆措施,如涂刷界面剂、设置止水带等,以提高接缝的密实性和耐久性。对于变形缝,则应选用具有良好弹性和耐久性的止水材料,并合理设置变形缝的宽度和间距,以适应结构的变形需求。(3)质量检测与验收标准:质量检测与验收是确保水工结构工程质量的重要环节。在施工过程中,应定期对原材料、半成品和成品进行质量检测,如混凝土强度试验、钢筋力学性能试验等。还应按照设计要求和相关标准进行验收,确保结构满足耐久性要求。对于发现的质量问题,应及时进行处理和整改,避免留下安全隐患。

2 水工结构工程耐久性设计的具体方法

2.1 混凝土保护层厚度的设计

(1)保护层厚度的确定原则:在设定混凝土保护层厚度时,需综合考量钢筋的直径与类型、混凝土的强度等级,这些基本属性直接决定了保护层所需的厚度。必须深入考虑结构所处的具体环境条件,包括湿度、温度以及可能存在的化学侵蚀等,这些环境因素对保护层的耐久性有着显著影响。还需兼顾结构的受力状态和耐久性需求,确保保护层在承受各种外力作用时不会过早出现剥落或开裂现象,从而维持其长期有效的保护作用。

(2)环境条件对混凝土保护层厚度需求的影响:在不同的环境条件下,混凝土保护层的厚度需求是不同的。例如,在干燥、无侵蚀性的环境中,保护层厚度可以适当减小;而在潮湿、有化学侵蚀的环境中,则需要增加保护层厚度。对于海洋环境或盐碱地区,由于盐渍侵蚀和氯离子的渗透作用,保护层厚度需要特别加大,以延长钢筋的使用寿命。

(3)保护层厚度对耐久性的影响:保护层厚度的增加可以显著提高结构的耐久性。一方面,较厚的保护层可以更好地抵御外界环境的侵蚀作用,保护钢筋免受腐蚀;另一方面,较厚的保护层还可以提高混凝土的抗裂性能,减少因裂缝而产生的耐久性隐患。过厚的保护层也会增加结构的自重和造价,在设计时需要综合考虑各种因素,以达到经济性和耐久性的最佳平衡。(4)保护层厚度与施工质量的协同控制:保护层厚度的设计不仅需要在理论计算上达到要求,还需在施工实践中得到有效落实。施工过程中,应严格控制混凝土浇筑质量,确保保护层厚度均匀一致,避免局部过薄或过厚。施工团队需接受专业培训,熟悉保护层厚度控制的技术要点,如模板安装精度、混凝土浇筑技巧等。通过现场监测和检测手段,如超声波检测、雷达扫描等,可以实时监测保护层厚度,及时发现并纠正施工偏差,确保保护层厚度满足设计要求,从而提升结构的整体耐

久性。

2.2 结构构造措施

(1)防冰冻、防腐蚀措施的应用:在寒冷地区,防冰冻措施是确保结构在冬季正常运行的关键。常见的防冰冻措施包括设置排水设施、采用抗冻混凝土等。这些措施可以有效地防止水分在结构内部积聚并结冰,从而避免由此产生的冻胀破坏。在化学侵蚀严重的环境中,应采取防腐蚀措施,如使用耐腐蚀材料、涂刷防腐涂料等,以延长结构的使用寿命。(2)裂缝控制与结构构造缝的处理:裂缝是水工结构工程中常见的耐久性隐患。为了控制裂缝的产生和发展,需要在设计阶段采取一系列措施,如合理布置钢筋、优化混凝土配合比等。对于已经产生的裂缝,应采取有效的修补措施,如注浆、粘贴碳纤维布等,以恢复结构的整体性和耐久性。结构构造缝的处理也是提高耐久性的重要环节^[2]。通过设置合理的变形缝、沉降缝等,可以有效地释放结构内部的应力,避免由此产生的裂缝和破坏。(3)预应力混凝土结构的耐久性设计:预应力混凝土结构具有高强度、高刚度和良好的耐久性等优点。在进行耐久性设计时,应充分考虑预应力筋的防腐问题。由于预应力筋通常处于高应力状态,一旦受到腐蚀,将迅速导致结构失效。需要采用特殊的防腐措施,如预应力筋的镀锌处理、涂覆防腐涂料等,以确保其长期稳定运行。

2.3 数值模拟与试验方法

(1)数值模拟方法的应用与优势:数值模拟方法可以通过计算机模拟结构在受力、变形和侵蚀作用下的行为,从而预测结构的耐久性。这种方法具有高效、准确、低成本等优点,可以大大缩短设计周期和降低设计成本。常见的数值模拟方法包括有限元分析、有限差分法等。通过这些方法,可以模拟不同环境条件、不同受力状态下的结构响应,为耐久性设计提供科学依据。

(2)试验室或实验场的物理模型试验:试验室或实验场的物理模型试验,是验证数值模拟结果和评估结构耐久性的重要手段。通过制作与实际结构相似的物理模型,并在模拟的环境条件下进行试验,可以直观地观察结构的受力、变形和破坏过程。这种试验方法具有直观、可靠、易于复现等优点,可以为耐久性设计提供有力的支持。(3)试验结果对设计的指导意义:试验结果对于耐久性设计具有重要的指导意义。一方面,试验结果可以验证数值模拟结果的准确性和可靠性;另一方面,试验结果还可以揭示一些数值模拟无法预测的现象和规律,为设计提供新的思路和方法。在进行耐久性设计时,应充分利用试验结果,不断优化设计方案,提高结构的耐

久性。

3 水工结构工程耐久性设计的优化策略

3.1 结构优化方法的应用

(1) 不同结构方案的受力情况和经济性分析：在进行结构优化时，首先需要针对具体的水工结构工程，提出多种可能的结构方案。这些方案在受力特性、材料使用、施工难度等方面可能存在显著差异。为了评估这些方案的优劣，需要进行详细的受力分析。这包括计算结构在静力、动力荷载作用下的应力分布、变形情况，以及可能发生的破坏模式等。还需要考虑结构的整体稳定性、抗倾覆能力和抗滑移能力等关键指标。经济性分析是结构优化中不可或缺的一环。涉及对材料成本、施工费用、维护成本以及结构使用寿命等多个方面的综合考量。通过对比不同方案的总成本，可以初步筛选出在经济上具有竞争力的候选方案。(2) 最优设计方案的选择与确定：在综合考虑受力情况和经济性分析结果的基础上，需要进一步筛选出最优的设计方案。这一步骤通常涉及对候选方案进行详细的评估，包括对其进行敏感性分析、可靠性评估和风险评估等。敏感性分析可以揭示哪些参数对结构性能和经济性有重大影响，从而指导设计方案的进一步优化^[1]。可靠性评估则旨在验证结构在预期使用期限内满足安全要求的能力。风险评估则关注结构在极端荷载或不利条件下的表现，以及可能引发的后果。在确定最优设计方案时，还需要考虑其他非技术性因素，如施工条件、环境影响、政策法规等。这些因素可能对设计方案的实施产生重要影响，在决策过程中需要给予充分关注。

3.2 维修与更换策略的制定

(1) 不同结构或构件的合理使用年限：在制定维修与更换策略时，首先需要明确不同结构或构件的合理使用年限。这通常基于结构材料、使用环境、受力状况以及历史维修记录等多个因素的综合考量。通过评估结构的当前状态和预测其未来的性能变化，可以初步确定结构或构件的剩余使用寿命。合理使用年限的确定对于维修与更换计划的制定具有重要意义。可以帮助决策者明

确维修和更换的优先级，确保关键结构或构件在关键时刻得到及时修复或更换。(2) 维修与更换计划的制定与实施：基于合理使用年限的评估结果，可以进一步制定详细的维修与更换计划。这一计划应明确维修或更换的具体时间、地点、方式和所需资源等关键信息。在制定计划时，需要充分考虑结构的实际使用情况、维护成本以及可能的维修效果等因素。维修与更换计划的实施是确保结构耐久性的关键步骤。在实施过程中，需要严格按照计划要求进行维修或更换工作，确保维修质量达到设计要求。还需要对维修过程进行监督和评估，以确保维修效果符合预期。(3) 维修对耐久性的影响：维修工作不仅是为了恢复结构的当前性能，更是为了延长其使用寿命和提高耐久性。通过合理的维修措施，可以消除结构中的潜在隐患，防止其进一步恶化。维修还可以提高结构的整体性能，如增强其抗渗性、抗裂性和抗腐蚀性等。维修工作也可能对结构的耐久性产生一定影响。例如，不当的维修方法或材料选择可能导致结构性能下降或加速老化。在进行维修工作时，需要充分考虑其对耐久性的影响，并采取适当的措施来降低这种影响。

结束语：水工结构工程的耐久性设计是一项复杂而重要的任务，需要综合考虑环境条件、材料选择、施工工艺与质量控制等多个因素。通过合理的耐久性设计方法和优化策略，可以提高水工结构工程的耐久性，延长其使用寿命，确保工程的安全性、稳定性和可靠性。未来的研究应进一步探索新的材料和技术，以及更加精确的设计方法和评估标准，以应对不断变化的环境条件和工程需求。

参考文献

- [1]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.
- [2]耿会涛,李子豫.提高水工钢筋混凝土结构耐久性措施探究[J].河南科技,2018(13):99-101.
- [3]冯卓.水工混凝土结构耐久性影响因素分析及控制[J].河南水利与南水北调,2020,1:50-51.