

混凝土耐久性增强技术研究与实践

郭永 翟丹阳

河北省第四建筑工程有限公司 河北 石家庄 050000

摘要：混凝土，作为建筑行业中不可或缺的一种材料，因其卓越的抗压强度、持久的耐用性以及出色的塑形能力，已在各类建设项目中得到了广泛的运用，涵盖建筑物、道路铺设、桥梁建造以及水利设施等多个方面。然而，尽管混凝土的基本性能可以满足这些领域的需求，但其在面对一系列外部侵袭，如地震的震动、风雨侵蚀以及环境中的酸碱侵蚀，还有长期的化学变化过程中，仍显脆弱。这些因素不断地对混凝土结构构成威胁，引发裂缝、开裂乃至腐蚀等一系列问题，严重影响其结构的完整性和安全性，以致于大大降低了混凝土结构的预期寿命。本文将针对混凝土耐久性增强技术研究与实践途径展开详细分析，以供参考。

关键词：混凝土；耐久性；增强；技术；实践

前言：当前，对混凝土的耐久性进行深入研究，以及探索相应的增强技术，就成了混凝土应用研究领域的一项紧迫并且至关重要的议题。学者们和工程技术人员正不断地寻求新技术、新材料以及创新的施工方法来提高混凝土的抗侵蚀能力、延长其使用周期，从而确保建筑和基础设施项目的长期稳定性与安全性。这些研究涵盖了从微观层面优化混凝土组合，增加其内在的抵抗力，到宏观层面的施工工艺改进和后期养护技术的完善等多个方面。只有通过持续不断的研究和技术创新，才能使混凝土这一古老而重要的建筑材料，在现代建筑行业中不断地发挥更大的作用，满足日益增长的建设需求以及对环境和持续发展的要求。

1 混凝土耐久性增强技术

1.1 混凝土增强剂技术

混凝土增强剂技术通过向混凝土混合物中引入特定的化学成分，为这一广泛应用的建筑材料赋予了更加卓越的性能特征。这一技术的核心在于优化混凝土的内部结构和化学特性，以有效提升其对外力的抵抗能力，包括但不限于提高抗裂性、抗渗性以及抗压力。此外，增强剂的使用还显著提高了混凝土的耐久性，从而延长了其服务寿命，这对于任何需要长期稳定性和耐用性的建筑结构而言，都是至关重要的^[1]。在众多增强剂材料中，硅酸钙、硅酸铝和陶粒等物质因其出色的性能而被广泛应用。硅酸钙具有显著的加固效果，能够提升混凝土的结构密度，增加其耐用性；硅酸铝则因其优异的抗裂和

抗渗性能而受到推崇；陶粒作为一种轻质材料，在改善混凝土的工作性能及减轻结构重量方面也显示出了不可忽视的优势。通过精心选择和配置这些增强剂，工程师能够针对特定的建筑要求和环境条件，设计出最适合的混凝土配方。不仅如此，混凝土增强剂的应用还能够实现更加环保和经济的建筑解决方案。通过提高混凝土的性能，可以减少因维修或更换而产生的额外成本和资源消耗，这对于推动可持续建筑实践具有重要意义。同时，随着技术的进步和新材料的发现，混凝土增强剂的种类和应用范围仍在不断扩展，为建筑行业带来新的可能性。随着相关研究的深入和技术的进步，预计未来混凝土增强剂将在更多领域展现出其重要价值^[2]。

1.2 钢筋防腐和防锈技术

在当今建筑工程领域，钢筋的腐蚀问题一直是威胁混凝土结构稳定性和安全性的主要因素。为了应对这一挑战，业界采纳了一系列的防腐和防锈措施，确保建筑物能够长久地保持其结构完整性。这些措施主要围绕在钢筋表面施加保护层，比如涂抹防腐涂料或应用金属镀层，以此来阻挡腐蚀性物质对钢筋的直接侵袭。涂抹防腐涂料是最普遍采用的方法之一，这种特殊的涂料能够在钢筋表面形成一道隔离层，有效防止水分和氧气等腐蚀因子与钢筋金属发生直接接触。通过这一保护措施，可以显著减缓钢筋的锈蚀过程，从而延长混凝土结构的整体寿命。除此之外，对钢筋进行金属镀层也是一种有效的防腐策略。这种技术通过在钢筋表面镀上一层如锌或者镍等不易腐蚀的金属，以形成牢固的保护壳层，不仅能阻挡腐蚀因子的侵袭，还能在一定程度上提高钢筋的机械性能^[3]。

1.3 高性能混凝土技术

作者姓名：郭永；出生年月：1984年7月；性别：男；民族：汉；籍贯：河北省石家庄市无极县；学历：本科；职位：主任工程师；职称：高级工程师；研究方向：建筑工程

高性能混凝土技术的发展,标志着现代建筑材料学的一个重要进步。通过巧妙结合使用高强度水泥、钢纤维、聚丙烯纤维等高质量材料,这种技术诞生了一种新型的混凝土。这种混凝土不仅具备了普通混凝土的基本属性,更在强度、抗裂性、耐久性以及抗震性等方面表现出卓越性能。如此综合性能的提升,意味着可以有效提高构建的建筑物在面对重力载荷、环境腐蚀、地震冲击等方面的承载能力和适应性,确保结构的刚性和稳定性。在材料选择上,高强度水泥作为基础,提供了坚实的结构骨架。而钢纤维与聚丙烯纤维的加入,则像是为这个骨架穿上了一件坚固的“盔甲”,有效地提升了混凝土的韧性和抗拉强度,极大地提高了其对裂纹的抵抗能力。特别是在面临地震等极端条件时,这种由高性能混凝土构成的结构能够展现出更好的抗震和抗裂效果,从而为人们的生命财产安全提供了更加可靠的保障。除此之外,高性能混凝土的耐久性也不容小觑。它能够抵御各种恶劣环境因素的侵蚀,比如盐水侵蚀、酸雨腐蚀及碳化等,显著延长了建筑物的使用寿命。因此,这种混凝土特别适用于海洋结构、桥梁、隧道及高层建筑等,为这些工程提供了更为坚固的物质基础^[4]。

1.4 应力松弛混凝土技术

应力松弛混凝土技术充分利用了混凝土自身的一项独特特性,即它在受到拉伸作用时展现出的应力松弛现象。这种技术的核心思想在于将经过精心选择的高强度钢纤维嵌入到混凝土的预应力筋中。随后,通过对混凝土构件施加预先计算好的预应力,便可以触发混凝土内部的应力松弛反应,这一过程不仅优化了材料内部的力学状态,而且显著提升了构件的整体性能。在混凝土材料的生产阶段,选择与混凝土基体材料相匹配的高强度钢纤维,是确保最终成品具有良好性能的关键一步。这些钢纤维的引入不仅为混凝土结构提供了额外的抗拉强度,还使其能够在受到较大外力作用时更好地分配和缓解内部应力,进而延长了构件的使用周期,并降低了维护成本。施加预应力的过程需要严格按照设计参数执行,以确保达到既定的结构稳定性和耐久性目标^[5]。通过这种方法,混凝土内部的原始应力状态被有效调整,使其能够在未来的实际使用中,更加有效地应对各种复杂的载荷条件。这种技术的实施,不仅赋予了混凝土结构更高的安全保障,也极大地提高了其对环境变化的适应能力。

2 混凝土耐久性增强技术的实践运用

2.1 混凝土结构耐久性设计及模拟

目前,在全球范围内,少数尖端工程项目已经开始

采取更加科学和量化的手段来预测及保障混凝土结构的设计寿命,这主要依赖于数学模拟技术的应用。比如,享誉国际的港珠澳大桥耐用性设计,就采纳了全面概率模拟的方法。在该领域,科研人员正不断探索新的研究途径,已经取得显著的科研成果。通常,混凝土结构的退化模式包括外界氯化物侵入导致的碳化作用,这可能会破坏钢筋的保护层,进而触发钢筋锈蚀以及随之而来的周围混凝土的破坏。为了有效设计这类遭受退化影响的混凝土结构的耐久性,数十年的研究和科技进步使得利用数学模拟方法对混凝土结构的使用期限进行精确且可靠的量化预测成为可能。最初的氯化物渗透数学模型,仅能在氯化物渗透系数与混凝土表面氯化物浓度保持不变的情况下,模拟和预测混凝土内氯化物的渗透行为。随后,第二代模型得以预测在渗透系数随时间减少且表面浓度保持不变的情况下氯化物的渗透。而我最近开发的第三代模型则可模拟预测在渗透系数逐渐降低且表面氯化物浓度随时间增加的条件下的氯化物渗透行为。至此,就可以覆盖并解决绝大多数实际混凝土结构中可能出现的氯化物渗透问题^[6]。

2.2 混凝土早期热裂缝控制

在混凝土结构领域,对早期热裂缝的控制技术在实际工程和科研活动中的现状依旧依赖于各自经验的积累,进行裂缝的分析与控制。这种方法的局限在于对裂缝形成的具体原因和过程理解不足,缺乏精确量化,导致控制措施的效果通常不尽人意,混凝土结构中裂缝的出现成为常见问题,这严重影响了结构的耐用性和可靠性。目前,这些控制尝试还停留在经验阶段,未能达到科学化的高度。与此相对,一小部分处于领先地位的国际工程项目已经开始采纳混凝土早期热模拟与裂缝分析的先进方法。这种做法允许以科学精确的方式预测混凝土的温度变化、裂缝形成风险及其宽度,进而设计出有效的控制措施以避免或限制裂缝的发生。该方法凭借其高精度和可靠性,代表了裂缝控制的科学化趋势。其核心在于能够准确预测不同环境条件下,由水泥的水化反应引起的混凝土温度变化,结合混凝土所承受的约束类型和强度,以及这些约束引起的应力与混凝土的极限拉伸强度之间的对比,来评估裂缝形成的可能性。此外,基于钢筋的规格和布置,可以进一步预测裂缝的宽度和分布。通过调节构件内外部条件,如温度变化和外部约束力度,可以有效减少裂缝的出现。即使裂缝无法完全避免,借助这些高度定制化的措施和钢筋布局的调整,也能精确控制裂缝的宽度,为混凝土结构的耐久性和完整性提供了新的保障。

2.3 选用质量良好、技术性能指标合格的砂石骨料

制备混凝土时，精心挑选的中砂作为细骨料是极其重要的步骤。这些中砂应具备优良特性：即高强度、结实耐用、体积稳定以及低含量的有害杂质，同时在粗细程度和颗粒分布上也应表现良好。优选的中砂中，较粗的颗粒比例较高，搭配恰当数量的中等与细小颗粒填充空隙，进而降低沙子的空隙率和表面积总和。这种精细的选择与搭配有助于减少水泥的消耗量，同时增强混凝土的整体密度与强度。同时，挑选符合标准的高品质石子作为粗骨料也非常关键，确保石子的最大粒径和颗粒分布符合相关规范，这样做的目的是为了降低混凝土的孔隙率和提升其密实度，这两项改进共同作用下，将有效提升混凝土的整体强度和耐用性。

2.4 控制硬化混凝土的体积稳定性

随环境温湿度波动，混凝土的基本构成元素——水泥石及骨料，遭遇不同程度的膨胀与收缩。主导混凝土收缩现象的是水泥石。因此，降低水泥石在混凝土中的比率，能有效缩小混凝土体积的收缩率。而骨料，则扮演着缩减收缩幅度的角色。具体而言，骨料的含量与其弹性模量直接影响混凝土收缩的程度：骨料量越高，混凝土收缩越小；高弹性模量的骨料在限制水泥石收缩方面作用更为显著。由于水泥石与骨料间的热膨胀系数不一，温度的波动将导致二者发生不一致的伸缩，从而在骨料与水泥石交界处产生不均匀分布的拉应力，引致界面裂纹的产生，降低混凝土的致密性。经实验验证，具有中等或稍低弹性模量的骨料，对维持混凝土的持久性尤为关键。如果骨料具备一定的可压缩性，因湿度和温度变化导致的体积变化对水泥石施加的应力减少，这对减少混凝土的裂痕形成有益。再者，粗骨料的粒度越大，减少了接触面积，增加了混凝土内部的不连续性，尤其在高强度且水泥含量较多的混凝土中更为突出。所以，在可能的情况下，推荐选用较小粒度的骨料。同时，研究亦表明，优化粗骨料的粒径，能有效减轻高强度混凝土的易脆性问题^[7]。

2.5 严格控制水胶比

确保混凝土的紧实性与耐用性，关键在于同时控制好水胶比和保持充足的水泥用量。理论分析指出，在确保混凝土拥有适宜的坍落度的同时，可以有效减少水胶比。这一操作旨在减少混凝土固化过程中多余水分的出现，以防这部分水分留在混凝土内部形成空洞或气孔，从而降低应力集中的风险。显然，为了达到较佳的效果，在严格调控水胶比的同时加入适量的外加剂是十分有益的。这是因为即便在保持坍落度的条件下，水胶比的降低幅度也是有限的；而引入外加剂能够显著提升这一过程的效果。

结语：总体来看，探究混凝土耐久性与其强化策略构成了一场持久且复杂的研究征程，这一过程要求我们融合多个领域的知识，进行全面的分析与优化。透过持续的应用验证和深入的理论研究，我们方能逐步提升混凝土结构在各类环境条件下的持久性能及其稳定性，最终达到安全可靠和环境友好的双重目标，以适应复杂多变的应用环境，保障其在面临多种挑战时的性能表现。

参考文献

- [1]罗岩.基于分散技术的碳纤维增强纳米偏高岭土再生混凝土力学及耐久性能研究[D].河北建筑工程学院,2023.
- [2]王顺义.港口钢筋混凝土结构耐久性提升技术综述[J].港口科技,2022,(05):35-38+48.
- [3]董志强,吴智深,吴刚,朱虹.董志强;吴智深;吴刚;朱虹.新型FRP海砂混凝土结构[M].南京东南大学出版社:202203.310.
- [4]柴源,牛勇,李文杰,吕海波.珊瑚骨料混凝土改性技术研究进展[J].材料导报,2021,35(15):15134-15142.
- [5]李兴平,吴中鑫,李栋.混凝土桥梁耐久性防护涂装体系设计与施工关键技术[J].公路,2021,66(02):178-183.
- [6]刘红彪,计子凡,张树龙,郭畅,赵震,刘晶晶,赵晶,王绪亭.基于阳极梯传感器的新建高桩码头结构耐久性监测与自动控制技术研究[J].水道港口,2019,40(06):680-686.
- [7]高丹盈.纤维材料筋制备及其增强混凝土结构关键技术与应用.河南省,郑州大学,2018-12-01.