

混凝土结构的耐久性设计及其维护策略

刘东旭

河北拓朴建筑设计有限公司 河北石家庄 050000

【摘要】混凝土结构以其卓越的力学性能和经济性在现代建筑中得到广泛应用。然而，混凝土结构的耐久性问题日益受到重视，它直接关系到建筑的安全性和使用寿命。本文旨在探讨混凝土结构耐久性的影响因素，提出耐久性设计原则和方法，以及维护策略，以期为提高混凝土结构的耐久性提供参考和指导。通过科学的设计与合理的维护，可以延长混凝土结构的使用寿命，确保其长期稳定运行。

【关键词】混凝土结构；耐久性；设计；维护

引言

混凝土结构是土木工程使用最广泛的结构形式，混凝土结构的长期耐久性对其使用年限的保证以及在全寿命周期内保持其性能和成本的合理至关重要。然而，由于环境侵蚀、材料老化等因素，混凝土结构的耐久性问题日益凸显。研究如何提高混凝土结构的耐久性，对于保障建筑安全、延长使用寿命具有重要意义。

1 混凝土结构概述

混凝土结构是一种常见的建筑结构形式，以其优异的力学性能、良好的耐久性和经济性在建筑领域得到广泛应用。它主要由水泥、骨料、水和外加剂等材料按一定比例混合而成，通过水泥水化反应形成坚硬的混凝土。混凝土结构具有良好的抗压性能，但抗拉性能相对较弱，因此在设计时通常需要加入钢筋以提高其抗拉和抗裂性能。此外，混凝土结构还具有良好的耐火性和隔音性，使其在高层建筑、桥梁、隧道等工程中得到广泛应用。然而，混凝土结构的耐久性问题也日益受到关注，如冻融、化学侵蚀、碳化等环境因素都会影响其使用寿命。因此，研究和提高混凝土结构的耐久性，对于确保工程安全和延长使用寿命具有重要意义。

2 混凝土结构耐久性的影响因素

2.1 环境因素

混凝土结构的耐久性受到多种环境因素的显著影响，这些因素包括温度变化、湿度、化学侵蚀、紫外线照射以及冻融循环等。例如，温度的极端变化会导致混凝土内部产生热应力，长期作用下可能引起裂缝，缩短结构的使用寿命。湿度过高的环境会加速钢筋的锈蚀，降低结构的承载能力。化学侵蚀，如海水中的氯离子渗透，可以加速钢

筋的腐蚀过程，导致混凝土保护层脱落，进一步影响结构的完整性。紫外线照射会加速混凝土表面材料的老化，降低其耐久性。冻融循环在寒冷地区尤为常见，水分在混凝土孔隙中结冰膨胀，反复作用下会破坏混凝土结构。据研究，冻融作用可以使混凝土的抗压强度在几个周期内降低20%左右。

2.2 材料因素

混凝土结构的耐久性在很大程度上取决于其组成材料的质量与特性。水泥、骨料、水和外加剂等材料的选用直接影响混凝土的性能。例如，低品质的水泥可能导致水化不充分，降低混凝土的密实度，从而增加渗透性和化学侵蚀的风险。骨料的类型和粒径也至关重要，劣质骨料可能含有过多的有害物质，如泥块和有机物，这些物质会降低混凝土的耐久性。水灰比是影响混凝土强度和耐久性的关键因素，过高的水灰比会导致混凝土孔隙率增加，耐久性下降。外加剂如减水剂和防冻剂，如果使用不当，也可能对混凝土性能产生负面影响。研究表明，适当降低水灰比，使用高质量的水泥和骨料，可以显著提高混凝土的耐久性，例如，水灰比每降低0.05，混凝土的抗渗性能可提高约10%。

2.3 设计因素

合理的结构设计能够确保混凝土在各种环境条件下的稳定性和耐久性。例如，钢筋的配置和保护层厚度对防止腐蚀至关重要。如果保护层过薄，钢筋更容易受到腐蚀，导致混凝土开裂和剥落。研究表明，保护层厚度每增加10毫米，钢筋腐蚀速率可降低约15%。此外，结构的裂缝控制设计也非常重要，因为裂缝会为水分和有害物质的渗透提供通道。通过优化配筋方案和混凝土配合比，可以显著减少

裂缝的产生。例如，适当增加纵向钢筋的配筋率，可以提高混凝土的抗裂性能。设计时还应考虑结构的使用环境，如沿海地区应选择抗氯离子渗透性能更好的混凝土。

2.4 施工因素

施工过程中的不当操作，如振捣不充分、养护不当或混凝土浇筑时间过长，都可能导致混凝土内部产生孔隙和裂缝，从而降低其耐久性。例如，不充分的振捣可能导致混凝土内部产生气泡，这些气泡在结构中形成弱点，增加了渗透和腐蚀的风险。养护不足会导致混凝土表面水分快速蒸发，造成表面裂缝和碳化，进而影响结构的耐久性。有研究指出，适当的养护可以延长混凝土的使用寿命高达20%。此外，施工过程中的混凝土温度控制也至关重要，过高或过低的温度都会影响混凝土的水化过程，进而影响其强度和耐久性。

3 混凝土结构的耐久性设计原则

3.1 耐久性设计的目标

耐久性设计的目标是确保混凝土结构能够在预期的使用年限内，保持其结构完整性和功能性，同时抵御各种环境因素和使用条件的长期影响。这要求在设计阶段就充分考虑结构的长期性能，包括抗渗性、抗冻性、抗化学侵蚀性等。设计时需选择合适的材料，优化混凝土配合比，以提高其密实度和耐久性。例如，通过增加矿物掺合料的使用，可以改善混凝土的抗渗性和抗化学侵蚀性。同时，设计还应考虑结构的裂缝控制，通过合理的配筋和构造措施，减少裂缝的产生和发展。此外，耐久性设计还应包括对结构的维护和修复策略，以应对不可预见的损伤和老化。

3.2 耐久性设计的方法

在混凝土结构的耐久性设计中，关键的方法包括合理选择材料、优化配合比、加强结构设计、实施有效的施工技术和采取防护措施。通过选用高性能的水泥、合适的骨料和优质的掺合料，可以提高混凝土的密实度和抗侵蚀能力。优化水灰比和添加适量的减水剂等外加剂，有助于提升混凝土的力学性能和耐久性。在结构设计时，合理配置钢筋，确保足够的保护层厚度，防止钢筋锈蚀。施工阶段，严格控制混凝土的浇筑、振捣和养护，确保其均匀性和密实度。此外，采取必要的防护措施，如表面涂层或防水层，可以有效抵御外部环境的侵蚀。

3.3 耐久性设计的标准

耐久性设计的标准是确保混凝土结构在预期使用年限内，能够持续满足功能和安全要求。这需要依据国家和行

业相关规范，如《混凝土结构设计规范》和《建筑结构可靠性设计统一标准》等，明确混凝土结构的耐久性要求。设计时需考虑结构所处环境的侵蚀性，如气候、湿度、化学环境等，合理确定混凝土的抗渗性、抗冻性、抗化学侵蚀性等性能指标。同时，应根据结构的重要性和使用功能，设定不同的耐久性等级，如一般建筑、重要建筑和特殊环境建筑。通过严格的设计审查和施工监督，确保混凝土结构从材料选择到施工过程均符合耐久性设计标准。

4 混凝土结构的耐久性设计方法

4.1 材料选择

选用合适的水泥品种、骨料类型、外加剂和掺合料，能够显著提高混凝土的耐久性能。例如，使用低热水泥或硫铝酸盐水泥可以减少水化热，降低因温度变化引起的裂缝风险。选择具有良好抗冻性能的骨料，如花岗岩或石英岩，可以提高混凝土在寒冷地区的耐久性。外加剂如减水剂和缓凝剂可以改善混凝土的工作性和硬化性能。掺合料如粉煤灰和矿渣粉不仅能提高混凝土的密实度，还能降低渗透性和提高抗化学侵蚀能力。据研究，合理使用粉煤灰可以提高混凝土的抗氯离子渗透性能约20%。因此，精心选择材料并优化配合比，是实现混凝土结构耐久性设计的关键步骤。

4.2 结构设计

通过精心设计，可以显著提升混凝土结构的耐久性。例如，合理配置钢筋，确保足够的保护层厚度，可以有效防止钢筋锈蚀，延长结构寿命。研究表明，保护层厚度每增加10毫米，钢筋锈蚀的风险可降低约15%。此外，采用适当的配筋率和配筋形式，如增加纵向钢筋和使用螺旋筋，可以提高混凝土的抗裂性能。在易受侵蚀的环境中，设计时应考虑结构的密封性和防水性能，如设置防水层和排水系统。结构的裂缝控制也是设计中的关键，通过优化混凝土配合比和施工工艺，可以减少裂缝的产生。例如，通过控制水胶比和使用抗裂剂，可以降低混凝土的收缩率，减少裂缝的发生。

4.3 防护措施

通过在混凝土表面或内部采取适当的防护措施，可以有效延缓环境侵蚀和老化过程。例如，应用防水涂料或防水膜可以防止水分渗透，减少冻融损伤和化学侵蚀。在沿海或化学污染环境，使用抗氯离子渗透的混凝土或添加防腐涂层，可以显著提高结构的耐腐蚀性。此外，表面涂层或密封剂的使用，可以保护混凝土免受紫外线和大气污染物的侵害。例如，某些高性能的硅烷

涂层能够显著降低混凝土表面的水渗透率，延长其耐久性。在桥梁和高层建筑中，定期的维护和检查也是必要的防护措施，通过及时发现和修复损伤，可以避免问题扩大，确保结构的长期稳定。

4.4 施工技术

正确的施工方法能够确保混凝土的均匀性和密实度，从而提高其耐久性。例如，采用高效的振捣技术，如高频振捣棒，可以减少混凝土内部的气泡和孔隙，提高其密实度。在浇筑过程中，控制混凝土的坍落度和浇筑速度，避免混凝土分层和离析，也是提高耐久性的关键。养护是另一个关键环节，适当的湿润养护可以降低早期裂缝的风险，延长混凝土的使用寿命。例如，使用覆盖物和喷雾系统进行养护，可以保持混凝土表面湿润，减少水分蒸发。此外，施工过程中的温度控制也非常重要，过高或过低的温度都会影响混凝土的水化过程和强度发展。

5 混凝土结构的维护策略

5.1 定期检查

通过定期的视觉检查和无损检测技术，如超声波检测和雷达扫描，可以评估混凝土的完整性和内部缺陷。例如，利用超声波检测可以检测混凝土内部的裂缝和空洞，而雷达扫描则可以评估混凝土的湿度和密实度。定期检查还应包括对钢筋锈蚀情况的评估，尤其是在沿海或工业污染环境中。通过这些检查，可以确定是否需要进行维修或加固。例如，如果发现钢筋锈蚀严重，可能需要采取防锈处理或局部加固措施。此外，定期检查还应记录结构的使用状况和环境变化，为后续的维护和修复提供数据支持。

5.2 损伤评估

损伤评估过程通常在定期检查后进行，以确定结构的当前状态和需要采取的维护措施。损伤评估包括对裂缝的宽度、深度和发展趋势的测量，以及对钢筋锈蚀程度的评定。例如，裂缝宽度的增加可能表明结构承载能力下降，而钢筋锈蚀则可能导致保护层剥落和结构强度降低。通过使用先进的检测设备，如红外热像仪来检测表面温度差异，可以间接评估内部损伤。此外，损伤评估还应考虑结构的使用历史、环境暴露情况和过往维护记录。例如，如果一个结构在高盐雾环境中暴露多年，损伤评估将特别关注氯离子渗透和钢筋锈蚀问题。准确的损伤评估为制定维修方案提供了科学依据，确保维护工作的及时性和有效性。

5.3 维修与加固

维修与加固是混凝土结构维护策略中的重要环节，旨在恢复或提升结构的承载能力和耐久性。一旦发现结构损

伤，如裂缝、钢筋锈蚀或保护层脱落，应立即采取相应的维修措施。例如，对于裂缝，可以采用压力灌浆法进行封闭，防止水分和有害物质进一步渗透。对于钢筋锈蚀，除了清除锈迹外，还可能需要使用防锈涂料或阴极保护技术来减缓腐蚀进程。在一些情况下，为了提高结构的整体性能，可能需要进行加固，如粘钢加固或碳纤维加固。这些加固方法可以显著提高结构的抗弯和抗剪能力。例如，粘钢加固通过将钢板粘贴在混凝土表面，增加了结构的有效截面，从而提高了其承载力。维修与加固工作应由专业的施工队伍执行，并遵循严格的质量控制标准，以确保工程的安全性和有效性。

5.4 预防性维护

预防性维护是混凝土结构维护策略中的一项前瞻性措施，目的是在问题发生之前就采取措施，以避免或减少损伤。这种维护方式包括定期的清洁、涂层更新、排水系统的检查与维护，以及对潜在薄弱区域的加固。例如，定期清洗混凝土表面可以去除污垢和生物生长，减少对结构的化学侵蚀。涂层更新，如重新涂刷防水涂料，可以防止水分渗透，延长结构的使用寿命。检查和维修排水系统，确保其有效运行，可以防止积水和水压对结构造成的损害。此外，对易受侵蚀的区域，如桥梁的支座和梁端，进行定期的加固，可以预防裂缝的扩展和结构的退化。例如，通过在上述区域增加额外的保护层或使用耐腐蚀材料，可以显著提高结构的耐久性。

结语

通过科学的耐久性设计和有效的维护策略，可以显著提高混凝土结构的耐久性和使用寿命。关键在于合理选择材料、优化设计、严格施工、定期检查和及时维护。这不仅保证了建筑的安全和功能，也延伸了其经济价值和社会效益。

参考文献：

- [1] 王康臣, 方翔, 范志宏, 等. 深中通道混凝土结构耐久性设计[J]. 腐蚀与防护, 2022, 43(12): 88-94+99.
- [2] 胡正涛, 李国力, 杨海成, 等. 华南地区通明海特大桥混凝土结构耐久性设计[J]. 腐蚀与防护, 2023, 44(02): 87-93.
- [3] 王神力. 铁路跨海桥梁钢筋混凝土结构耐久性设计[J]. 铁道建筑技术, 2022, (07): 67-70.
- [4] 汪晨. 建筑工程混凝土结构耐久性设计的探讨[J]. 价值工程, 2022, 41(14): 48-50.
- [5] 李克非, 廉慧珍, 邸小坛. 混凝土结构耐久性设计原则、方法与标准[J]. 土木工程学报, 2021, 54(10): 64-71+96.