

混凝土结构工程检测与加固技术研究

姚娜, 马洪生

武汉中和工程技术有限公司, 湖北 武汉 430312

摘 要 : 本研究全面梳理了混凝土结构工程的检测与加固技术。起先, 深入剖析了混凝土强度检测的关键技术, 涵盖回弹法、超声波法和钻孔取芯法, 详尽阐述了这些技术的理论基础、操作步骤以及适用条件。随后, 本文综述了几种混凝土裂缝检测技术, 包括目视检测、激光扫描和红外热成像技术, 并对它们的优势与局限性进行了综合分析。进一步地, 本文详述了检测混凝土钢筋锈蚀的有效手段, 例如半电池电位法、电阻率测量法和物理探测技术, 为精确判定钢筋的锈蚀状态提供了技术支持。在此基础上, 本研究深入探讨了混凝土结构工程的加固技术。先是分析了常用的加固材料, 如纤维增强复合材料、纳米材料和高性能混凝土的性能特征及其潜在应用。接着, 本文审视了多种加固技术, 包括外包钢加固、碳纤维布粘贴加固、钢筋网喷射混凝土加固和灌浆加固等, 为实际工程应用提供了多样化的加固方案。最终, 本研究对加固成效进行了评估, 通过比较加固前后的结构性能变化, 旨在为混凝土结构工程的加固设计提供专业的指导。

关 键 词 : 混凝土结构; 工程检测; 加固技术; 非破坏性检测; 破坏性检测

Research On Engineering Testing And Strengthening Technology Of Concrete Structure

Yao Nana, Ma Hongsheng

Wuhan Zhonghe Engineering Technology Co., LTD., Hubei, Wuhan 430312

Abstract : This study comprehensively combs the detection and reinforcement technology of concrete structure engineering. At first, the key technologies of concrete strength testing are analyzed in depth, including rebound method, ultrasonic method and drilling core method, and the theoretical basis, operation steps and applicable conditions of these technologies are elaborated in detail. Then, several concrete crack detection techniques, including visual detection, laser scanning and infrared thermal imaging, are reviewed, and their advantages and limitations are comprehensively analyzed. Further, this paper describes the effective means to detect the corrosion of concrete reinforcement, such as half cell potential method, resistivity measurement method and physical detection technology, which provides technical support for the accurate determination of the corrosion state of steel bars. On the basis of this, this study deeply discusses the strengthening technology of concrete structure engineering. First, the properties and potential applications of common reinforcement materials such as fiber reinforced composites, nanomaterials and high performance concrete are analyzed. Then, this paper reviews a variety of reinforcement techniques, including cladding steel reinforcement, carbon fiber sheet reinforcement, steel mesh shotcrete reinforcement and grouting reinforcement, etc., to provide a variety of reinforcement schemes for practical engineering applications. Finally, this study evaluates the reinforcement effect, and aims to provide professional guidance for the reinforcement design of concrete structure engineering by comparing the structural performance changes before and after reinforcement.

Keywords : concrete structure; engineering inspection; reinforcement technology; non-destructive detection; destructive detection

引言

混凝土结构工程检测是评估结构健康状况、确定加固方案的重要依据。传统的检测方法主要包括外观检查、非破坏性检测和破坏性检测等。近年来, 随着科学技术的进步, 光纤传感技术、超声波层析成像技术、红外热成像技术等高新技术在混凝土结构检测中得到了广泛应用, 为准确评估结构性能提供了有力支持。

另一方面，混凝土结构加固技术的研究与发展，为延长结构使用寿命、提高结构性能提供了多种途径。传统的加固方法如增大截面法、粘贴碳纤维复合材料加固法、钢筋网喷射混凝土加固法等，以及新兴的自修复混凝土技术、智能材料应用、3D打印混凝土加固技术等，都在不断优化和改进，以满足不同结构加固需求。然而，由于设计、施工、材料、环境等因素的影响，混凝土结构在长期使用过程中会出现不同程度的损伤和性能退化，这直接影响到结构的耐久性和安全性。因此，对混凝土结构工程进行检测与加固，以保障其安全、可靠运行，已成为土木工程领域亟待解决的问题。

一、混凝土结构工程检测技术

为了确保混凝土结构的安全、耐久和可靠性，对其性能进行全面检测是至关重要的。以下将详细介绍混凝土结构工程中常用的几种检测技术，这些技术涵盖了混凝土强度、裂缝以及钢筋锈蚀的检测，为工程维护和修复提供了科学依据。

（一）混凝土强度检测方法

回弹法，作为一种基于混凝土表面硬度评估的无损检测技术，主要通过使用回弹仪对混凝土表面进行弹击实验。该方法通过精确测定混凝土表面受弹击后的反弹响应，据此计算得出混凝土的抗压强度。回弹法检测混凝土抗压强度由于其测试快捷、设备简单、操作方便、不损伤结构物、检测费用低廉，已经在施工现场混凝土抗压强度测试中得到了广泛应用。同时，在混凝土结构施工质量验收规范中已经明确规定回弹法可以作为一种检测混凝土抗压强度的方法在施工检测中应用^[1]。然而，值得注意的是，回弹法的检测结果容易受到混凝土表面状况以及碳化层的影响，这在数据分析与解读过程中需予以充分考虑。

超声波法，以其对混凝土内部结构和强度的高灵敏度，成为无损检测领域的重要手段。该方法通过分析超声波在混凝土材料中的传播速度、衰减特性等，能够有效地探测混凝土内部的缺陷，如裂缝、孔洞等。超声波法的应用，不仅为评估混凝土的均匀性和密实性提供了有力工具，而且为混凝土结构的健康监测和病害诊断提供了关键的技术支持。

钻孔取芯法，虽然属于一种微破坏性的检测技术，但其通过从混凝土结构中取出一定直径的芯样，并在实验室条件下进行抗压强度测试，能够直接、精确地测定混凝土的实际强度。由于其测试结果的可靠性和准确性，钻孔取芯法被业界公认为混凝土强度检测的黄金标准^[2]。特别是在那些对混凝土强度评估精度要求极高的场合，钻孔取芯法无疑成为首选的检测手段。

（二）混凝土裂缝检测方法

视觉检测法，作为一种直观且基础性的裂缝检测手段，其核心在于依靠检测者的肉眼进行直接观察。在必要情况下，检测者还会借助放大镜等简单辅助工具，对混凝土表面的裂缝情况进行细致地检查。该方法因其操作简便、实施门槛低，而被广泛应用于快速初步评估混凝土结构的裂缝状况。然而，该方法在探测微小裂缝或结构内部的隐蔽裂缝时，受制于人眼的生理分辨率限制，其检测效果往往难以达到高精度要求，从而暴露出一定的局限性。

激光扫描法，则是一种依托于高精度激光技术的裂缝检测手

段。通过对混凝土表面进行精细的激光扫描，该方法能够精确测量裂缝的宽度、深度以及空间分布特征。在面对复杂结构中的裂缝检测任务时，激光扫描法展现出了卓越的性能，能够提供详尽的三维裂缝图像。这些图像为裂缝的深入分析与评估提供了宝贵的数据支持，显著提升了检测的精确度和工作效率。

红外热像法，作为一种新兴的裂缝检测技术，通过捕捉和分析混凝土表面的温度分布异常，有效地揭示了裂缝的位置和范围。由于裂缝区域通常伴随着热传导特性的改变，导致热量分布出现不规则性，红外热像法能够迅速且广泛地识别裂缝的存在^[3]。特别是在对大型混凝土结构进行初步筛查和快速评估时，红外热像法凭借其独特的应用优势和实用价值，成为裂缝检测领域的重要手段。

（三）混凝土钢筋锈蚀检测方法

半电池电位法，作为一种先进的无损检测技术，其核心原理在于通过对钢筋与混凝土接触界面电位差异的精确测量，来评估钢筋的锈蚀状态。该技术的操作流程简洁且精确，它不仅能够有效判断钢筋是否已经发生锈蚀，还能够对锈蚀活动的活跃程度进行初步量化。这一独特性能使得半电池电位法成为混凝土结构维护与修复决策过程中的关键数据来源，为工程技术人员提供了重要的诊断参考。

电阻率法，则是通过精确测量混凝土电阻率的变化，间接评估钢筋的锈蚀状况。由于电阻率与混凝土的密实性以及钢筋的锈蚀状态密切相关，该方法为深入探究钢筋锈蚀的动态过程提供了有价值的信息^[4]。电阻率法的应用，有助于混凝土结构的整体健康状态进行全面而细致的评估，从而为制定科学的维护策略提供了坚实的理论基础。

物理探测法，涵盖了电磁感应、雷达扫描等前沿技术，其主要目的是无损地检测混凝土内部钢筋的分布及其锈蚀状况。这些技术不仅为评估混凝土结构的长期耐久性提供了深层次的洞察，而且在无需对结构造成任何损害的前提下，确保了检测的准确性和高效性。物理探测法的运用，为混凝土结构的健康监测和安全评估提供了强有力的技术支撑，成为现代土木工程领域中不可或缺的高科技检测手段。

二、混凝土结构工程加固技术

随着建筑物的老化以及环境因素的影响，混凝土结构的加固成为延长其使用寿命、确保安全的关键措施。本部分将探讨混凝土结构工程中常用的加固材料、方法，并对加固效果进行评价，

旨在为实际工程提供科学合理的加固方案。

（一）加固材料研究

纤维增强复合材料（FRP）凭借其卓越的力学特性——高强度、轻质和出色的耐腐蚀性，在混凝土结构加固领域崭露头角，成为工程师和设计师首选的加固解决方案^[5]。这种材料通过精巧的复合工艺，将碳纤维、玻璃纤维等不同类型的纤维与树脂相结合，从而展现出优异的力学性能。FRP材料的适用性广泛，能够适应多种加固场景，为混凝土结构的加固与修复提供了全新的思路和方法。

纳米材料，以其独特的物理和化学属性，在混凝土结构加固领域展现了前所未有的应用潜力。通过向混凝土中添加纳米颗粒，不仅显著提升了混凝土的强度和耐久性，还增强了其抗裂性能和抗渗性能。这种创新的应用为传统的加固材料提供了有效的替代方案，推动了混凝土结构加固技术的持续发展和创新。

高性能混凝土，以其高强度、低渗透性和优良耐久性而著称，完美适用于那些需要增强承载能力和延长使用寿命的混凝土结构。采用高性能混凝土进行加固，能够有效地提升结构的整体性能，确保其在长期服役过程中的稳定性和可靠性。这种材料的运用，为混凝土结构的长期维护和安全运行提供了坚实的物质基础和技术保障。

（二）加固方法研究

外包钢加固法，其核心在于在现有混凝土构件的外围包裹一层钢结构，如型钢或钢板，以此提升其承载能力和抗震性能^[6]。该技术的施工流程相对简便，且加固效果显著，特别适用于增强柱、梁等承重构件的力学性能。作为一种在土木工程领域广泛应用的结构加固手段，外包钢加固法以其高效性和实用性受到了工程师和技术人员的高度评价。

粘贴碳纤维布加固法，通过将具有高强度和高弹性模量的碳纤维布粘贴至混凝土表面，从而有效提升结构的受力性能。该方法以其轻质、施工快捷以及对原结构影响最小的特点，成为桥梁、建筑和其他基础设施加固工程中的优选技术^[7]。碳纤维布的应用，不仅提高了结构的强度和刚度，还保持了结构的美观和原有功能。

钢筋网喷射混凝土加固法，是一种将钢筋网布置于现有混凝土表面，并通过喷射新的混凝土层，形成复合结构体的加固方法^[8]。这一技术显著提升了结构的承载能力和抗裂性，适用于对大面积混凝土结构的加固。通过这种方法，不仅增强了结构的整体性和稳定性，还延长了结构的使用寿命。

灌浆加固法是一种通过向混凝土内部的裂缝或孔洞注入特制的灌浆材料，旨在恢复结构的完整性和提升其强度的方法。这种方法适用于修复混凝土结构的内部缺陷，并增强其整体性，为结构的长期稳定和安全运行提供了坚实的保障，是一种重要的结构修复技术。

（三）加固效果评价

在遭受中等强度地震冲击的情况下，长期承受车辆荷载与环境因素双重侵蚀的未经加固的老旧混凝土桥梁，其结构性能已显著衰退。地震的侵袭可能导致桥梁内原有裂缝的进一步扩展，以

及新裂缝的生成，这不仅严重损害了结构的整体完整性，还加剧了安全隐患^[9]。此外，地震造成的局部损坏进一步削弱了桥梁的承载能力，使得潜在的安全风险更加凸显。同时，桥梁在抗震性能上的不足，表现为地震时振动幅度过大和稳定性差，这极有可能触发严重的安全事故。

然而，通过综合运用外包钢加固法、粘贴碳纤维布加固法、钢筋网喷射混凝土加固法等多种先进的加固技术，该老旧混凝土桥梁在相同的地震条件下展现出了显著提升的结构性能。这些加固措施有效地限制了裂缝的扩展，保障了结构的整体性；同时，显著增强了桥梁的承载能力，即便在地震的影响下，桥梁仍能维持较高的承载力，从而大幅降低了结构损坏的可能性^[10]。更为重要的是，桥梁的抗震性能得到了显著提升，地震引发的振动幅度明显减小，稳定性大幅增强，确保了桥梁在地震中的安全使用，为桥梁的长期稳定和乘客的安全提供了坚实保障。

结束语

研究成果表明，混凝土结构工程检测与加固技术对于保障结构安全、延长使用寿命具有重要意义。然而，面对不断发展的技术需求和日益严峻的工程挑战，我们仍需在检测与加固技术的研究和应用上持续探索，以实现更加精准、高效、环保的混凝土结构维护与管理。

本文的研究虽已取得一定成果，但仍有不足之处，期待未来研究能够在此基础上，进一步拓展混凝土结构工程检测与加固技术的深度与广度，为我国基础设施建设和发展贡献力量。希望本文能为相关领域的专家学者提供参考，共同推动混凝土结构工程检测与加固技术向前发展，为实现更加智能、可持续的建筑工程贡献力量。

参考文献

- [1] 邓晓, 李建辉. 回弹法检测混凝土抗压强度中的相关技术问题探讨[J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(04): 21-23. DOI: 10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2024.04.021.03.
- [2] 付文金, 桂霖彬. 建筑工程混凝土结构表面裂缝实体检测技术[J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(03): 107-109. DOI: 10.20080/j.cnki.ISSN1671-3362.2024.03.036.
- [3] 马铁员. 夜窝水库闸墩裂缝无损检测及分析[C]//辽宁省水利学会. 辽宁省水利学会2023年学术年会论文集. 辽宁西北供水有限责任公司; , 2023: 5. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.075588.
- [4] 谢茂宇. 桥梁工程中预应力混凝土桥梁的检测与加固技术[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (01): 176-178. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202401058.
- [5] 陈文燃. 小盘河水库混凝土坝施工质量控制及质量安全分析[J]. 黑龙江水利科技, 2022, 50(11): 185-188. DOI: 10.14122/j.cnki.hskj.2022.11.042.
- [6] 聂军红, 李佳星. 解析混凝土结构桥梁检测加固技术的应用[J]. 黑龙江交通科技, 2019, 42(06): 239-240. DOI: 10.16402/j.cnki.issn1008-3383.2019.06.119.
- [7] 李永欢. 治河工程钢筋混凝土挡土墙结构安全检测方法与安全评估研究[J]. 黑龙江水利科技, 2022, 50(06): 41-43. DOI: 10.14122/j.cnki.hskj.2022.06.007.
- [8] 胡勇. 浅谈公路桥梁工程中预应力混凝土桥梁的检测与加固[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2017, (36): 32. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.201736026.
- [9] 杨晨. 桥梁混凝土结构无损检测中弹性波CT检测技术的应用分析[J]. 工程技术研究, 2021, 6(24): 34-36+46. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2021.24.009.
- [10] 汤飞鹏. 公路工程混凝土构件裂缝的超声波单面平测法探讨[J]. 新型工业化, 2021, 11(11): 208-210. DOI: 10.19335/j.cnki.2095-6649.2021.11.082.