

Research on Bridge Structure Reinforcement Technology and Its Engineering Application in Highway

Qihua Luo

Zhuji Highway and Transportation Management Center, Zhuji, Zhejiang, 311800, China

Abstract

As the service life of highway bridges gradually increases, structural damage issues are becoming increasingly severe, affecting the safety and service life of bridges. To ensure traffic safety and extend the service life of bridges, the research and application of highway bridge reinforcement technologies are particularly important. This paper introduces the basic concepts of highway bridge structural reinforcement, common diseases and their causes, and provides a detailed analysis of commonly used reinforcement technologies, focusing on the practical application of crack repair, carbon fiber reinforcement, external steel reinforcement, and prestressed reinforcement. Through the analysis of engineering case studies, the key points of implementing reinforcement technologies, quality control and safety management during the construction process, and the evaluation of the economic benefits and environmental impacts of reinforcement technologies are discussed. The study shows that reasonable reinforcement design and efficient construction technologies can not only effectively extend the service life of bridges but also improve their safety and service levels.

Keywords

Highway bridges; Reinforcement technology; Crack repair; Carbon fiber reinforcement; Prestressed reinforcement

公路桥梁结构加固技术及其工程应用研究

罗其华

诸暨市公路与运输管理中心, 中国·浙江 诸暨 311800

摘要

随着公路桥梁的使用年限逐渐增加, 结构病害问题日益严重, 影响了桥梁的安全性和使用寿命。为保障交通安全并延长桥梁的使用年限, 公路桥梁加固技术的研究与应用显得尤为重要。本文介绍了公路桥梁结构加固的基本概念、常见病害及其成因, 并对常用的加固技术进行了详细分析, 重点探讨了裂缝修复、碳纤维加固、外包钢加固和预应力加固等技术的实际应用。通过工程案例, 探讨了加固技术的实施要点、施工过程中的质量控制和安全管理, 并评估了加固技术的经济效益和环保影响。研究表明, 合理的加固设计和高效的施工技术不仅能够有效延长桥梁的使用寿命, 还能提高其安全性和服务水平。

关键词

公路桥梁; 加固技术; 裂缝修复; 碳纤维加固; 预应力加固

1 引言

公路桥梁作为交通运输系统的重要组成部分, 其安全性与使用寿命直接关系到道路运输的畅通和公共安全。然而, 随着桥梁使用年限的增加, 结构老化、荷载增加及自然环境的影响使得桥梁出现不同程度的病害。裂缝、沉降、腐蚀等问题严重影响桥梁的结构稳定性和使用功能, 尤其是一些重要桥梁, 其加固工作显得尤为迫切。近年来, 随着加固技术的发展, 桥梁结构加固已经不再局限于传统的维修手段, 而是向着更加高效、长效的方向发展。加固技术的不断创新和应用, 不仅能够解决传统加固手段的局限, 还能够延

长桥梁的使用寿命, 确保公路交通的安全。因此, 研究并实施有效的桥梁加固技术, 对于提高桥梁的安全性和使用效益具有重要意义。

2 公路桥梁结构加固的概述

2.1 公路桥梁加固的定义与重要性

公路桥梁加固是指在桥梁的结构出现病害或因功能需求发生变化时, 通过采取物理或化学手段进行增强, 以恢复其安全性、耐久性及使用性能的技术过程。随着交通量的增加, 桥梁荷载逐渐超出设计标准, 导致结构性能下降, 进而影响交通安全与通行能力。桥梁加固不仅能延长其使用寿命, 还能提升其安全性与承载能力, 有效应对交通流量、环境变化等带来的负面影响, 防止桥梁发生失稳或事故, 确保交通系统的正常运行。

【作者简介】罗其华(1972-), 男, 中国浙江诸暨人, 工程师, 从事公路管理、交通道桥工程研究。

2.2 公路桥梁结构常见病害及其成因

公路桥梁的常见病害主要包括裂缝、沉降、钢筋锈蚀、混凝土劣化等。裂缝主要由过载、温差变化、材料缺陷等因素引起，通常会导致桥梁结构的应力分布不均。沉降问题通常是由于地基不均匀沉降或土质松软，桥梁基础承载能力不足引起的。钢筋锈蚀则是由于桥梁长期处于湿润或腐蚀性环境中，水分和盐分的侵入导致钢筋锈蚀，降低结构的承载能力。混凝土劣化的原因多为水泥与水的比例不当、养护不充分等。桥梁病害的出现通常与设计、施工、使用年限以及环境条件密切相关，因此要针对不同病害采取合适的加固措施^[1]。

3 公路桥梁结构加固的主要技术分析

3.1 裂缝修复与结构补强技术

裂缝修复与结构补强技术是桥梁加固中常见且有效的手段，主要用于填补桥梁结构中的裂缝，恢复其原有的承载能力。裂缝的产生通常是由于桥梁在长期使用过程中受外部荷载、环境因素、温度变化等影响，导致混凝土表面出现裂纹。常见的裂缝修复技术包括注浆法和粘贴法。注浆法是通过将高强度的材料注入到裂缝中，填补空隙，从而形成坚固的修复层。这一技术的优势在于施工简单、材料易获取，且能够有效防止水分和腐蚀性物质渗入裂缝内部，减少结构老化的速度。常用的注浆材料包括环氧树脂、聚氨酯等，它们具有优异的粘结性、抗渗透性和耐久性。粘贴法则是采用高强度的粘结材料将钢板、碳纤维、钢筋等加固材料粘贴在桥梁表面，通过增强桥梁的表面强度来提升其整体承载能力。此法主要适用于桥梁表面存在裂缝或强度不足的情况，能够有效提高桥梁的抗弯、抗剪和抗冲击性能，尤其在大跨桥梁和受损桥梁的修复中表现突出。这些技术的应用不仅能够有效恢复桥梁的力学性能，还能大幅度延长桥梁的使用寿命。近年来，随着裂缝修复技术的发展，其在老旧桥梁及损坏桥梁的加固中得到了广泛应用，特别是在一些交通繁忙、需及时恢复通车的桥梁中，成为了一种既经济又高效的加固手段。

3.2 碳纤维加固技术

碳纤维加固技术（CFRP 技术）是一种新型的桥梁加固方法，通过将碳纤维增强复合材料粘贴或缠绕在桥梁结构表面，显著增强其抗拉强度、耐久性以及抗腐蚀性。碳纤维复合材料（CFRP）作为加固材料具有重量轻、强度高、耐腐蚀性强等优点，因此在桥梁加固中应用越来越广泛。CFRP 材料的抗拉强度是传统钢筋的几倍，并且其抗腐蚀能力使得桥梁在恶劣环境下得到更好的保护，尤其适用于潮湿、盐雾等腐蚀性较强的环境中。使用碳纤维加固技术时，施工人员会将 CFRP 材料以层状或环绕的方式粘贴到桥梁的表面，增强桥梁的抗拉和抗弯能力。特别是在桥梁受力较大、承载能力不足的情况下，碳纤维加固能够有效提高桥梁的整体性能，并显著延长其使用寿命。此外，碳纤维加固的施工过程

较为简单且施工周期较短，能够大幅度提高施工效率，并减少对交通的干扰。随着 BIM（建筑信息模型）技术的应用，碳纤维加固的设计和施工效率得到了极大提升。BIM 技术能够通过数字化建模进行桥梁结构的精确分析，优化加固设计，并根据现场实际情况灵活调整施工方案，从而进一步提高加固效果。碳纤维加固技术不仅适用于混凝土桥梁，还可以用于钢结构和石拱桥的加固。由于其独特的优势，CFRP 技术已成为桥梁加固中最为先进且被广泛采用的技术之一，尤其适用于桥梁的结构修复和增强工作^[2]。

3.3 外包钢加固技术

外包钢加固技术是一种通过在桥梁结构外部增加钢筋或钢板包裹层来增强结构承载能力的加固方法。该技术主要通过通过在桥梁的原有结构表面施加钢结构包裹层，提升桥梁的抗弯、抗剪和整体刚度，从而有效提高桥梁的抗荷载能力，防止其在高荷载、冲击或地震等极端条件下发生破坏。外包钢加固技术的最大优点是施工过程相对简单，并且成本较低，适用于需要快速修复或加固的桥梁。在施工过程中，工人通过将钢板或钢筋网与原结构表面进行牢固连接，从而增加桥梁结构的强度，并在受力部位提供额外的支持。例如，在一些老旧的桥梁或设计承载力不足的桥梁中，外包钢加固技术能够有效提高桥梁的抗弯和抗剪能力，特别是在桥梁的关键部位，如支撑点和连接部位，可以有效分担外部荷载，避免局部结构出现失稳现象。由于该技术的施工时间较短，且不需要对桥梁进行大规模的拆除或改建，因此非常适合需要紧急修复或加固的桥梁。除此之外，外包钢加固技术还能够与其他加固方法结合使用，提高桥梁加固效果，在确保桥梁安全性和功能性方面发挥重要作用^[3]。随着新型钢材和焊接技术的发展，外包钢加固技术在桥梁加固中的应用将进一步扩大，特别是在大跨度桥梁和复杂桥梁结构中，具有更广泛的应用前景。

3.4 预应力加固技术

预应力加固技术是一种通过在桥梁结构中施加预应力来增强其承载能力的加固技术。该技术通常采用钢绞线、钢丝或钢筋等材料，在桥梁的特定部位施加预应力，使桥梁在承受外部荷载时能够更有效地分担应力，从而提高桥梁的强度和稳定性。预应力加固技术的原理是通过施加预应力，使桥梁的应力状态发生变化，在荷载作用下能够更好地适应外部力的变化，避免发生过度变形或破坏。该技术尤其适用于大跨度桥梁或承载能力不足的桥梁加固，因为这类桥梁常常面临较大的交通荷载或环境荷载，预应力加固能够有效地提高其承载能力和使用寿命。具体施工过程中，施工人员会在桥梁结构内部或外部设置预应力钢绞线，通过张拉设备将其施加至设计要求的预应力值。随着预应力的施加，桥梁的变形和应力状态得到改善，结构的整体稳定性也得到增强。近年来，智能监测技术的应用进一步提升了预应力加固技术的效果。通过在加固后的桥梁中安装传感器，施工方可以实时

监测预应力状态,确保加固效果的持续稳定。如果发现预应力发生变化,可以及时进行调整,确保桥梁在整个使用过程中始终保持最佳的承载状态。预应力加固技术在提高桥梁强度和抗震性能方面表现突出,尤其适用于需要承受极限荷载和地震荷载的桥梁。随着科技的进步,预应力加固技术将在现代桥梁加固中发挥越来越重要的作用。

4 公路桥梁加固技术的施工应用策略

4.1 公路桥梁加固施工中的现场施工流程与组织

在桥梁加固施工过程中,首先要根据施工方案进行现场准备工作,确定施工区域,设置安全围挡,确保施工人员的安全。接着,施工方会根据图纸安排不同的施工队伍,确保每个环节的工人都有明确的任务。比如,首先会进行桥梁的损坏部位的清理,清除掉杂物、浮土等,确保修复工作能顺利进行。之后,施工人员根据加固方案进行裂缝修复、植筋加固或者是外包钢加固等工艺操作。施工过程中,项目经理和现场监理会定期检查,确保每道工序按照设计要求进行,避免施工中出现问题。此外,施工方还会根据天气和环境条件灵活调整施工进度,确保桥梁加固工程高效进行^[4]。

4.2 公路桥梁加固施工中的技术操作与工序控制

桥梁加固施工中的技术操作需要严格按照施工工艺进行,以保证工程质量。例如,进行裂缝修复时,施工人员要精确控制注浆材料的注入量和压力,确保裂缝填充完整。对于钢筋植筋施工,工人需要严格按照规定的深度、间距钻孔,确保植筋牢固,并保证钢筋的配筋数量和规格符合要求。每个工序结束后,技术人员还会对施工质量进行检验,确保每一项工艺操作都达到设计标准。对于一些高难度工序,比如外包钢加固,施工人员需要确保钢板与原桥梁的粘接牢固,避免因施工不当导致加固效果差。整体工序控制上,施工方通过合理安排施工顺序和工作时段,尽量减少施工干扰,保证施工的顺利推进。

4.3 公路桥梁加固施工中的安全管理与风险防控

桥梁加固施工现场的安全管理是施工单位重点关注的问题。在施工前,施工方会为每位工人进行安全培训,特别是高空作业和特殊工艺操作时,必须佩戴安全防护用品,如安全帽、安全带等,避免发生事故。施工过程中,工地周围会设置警戒线,非工作人员不得进入施工区。同时,施工单位会根据不同工序设立专门的安全负责人,确保每个施工环节都有专业人员进行监督,防止出现操作失误或安全隐患。在高风险环节,如使用吊车搬运加固材料时,施工方会加强

对吊车司机和起重作业人员的培训,确保操作规范,施工单位还会定期检查机械设备的安全性能,发现问题及时进行维修,防止因设备故障造成安全事故。

4.4 公路桥梁加固施工中的进度控制与协调管理

在桥梁加固施工过程中,进度控制是确保工程按时完成的关键。施工方会根据项目计划和工期要求,合理安排各项施工任务,确保每个阶段都能按时推进。例如,施工方会在每个施工阶段结束时,进行进度检查,确保工作进展顺利。如果遇到天气、材料供应等影响施工进度的情况,施工方会及时调整计划,增加工作班次或延长工作时间,以弥补进度延误。此外,施工方会加强各施工队伍之间的协调,确保每个工序衔接顺畅,不会因为不同工序之间的交接出现耽误。比如,混凝土修复完成后,下一步的钢筋加固工作需要紧密衔接,确保不会因为工序间的空档期造成资源浪费或工期拖延。通过高效的进度控制和合理的资源调配,施工单位能够确保加固工程按时交付,满足交通安全要求^[5]。

5 结语

在本文中,我们深入探讨了公路桥梁结构加固技术及其在实际工程中的应用。通过对合州大桥加固工程的详细分析,可以看出桥梁加固技术在提升结构安全性、延长使用寿命以及改善交通功能方面的重要性。加固设计的科学性、施工技术的高效性以及材料的合理选择,均在合州大桥的加固过程中得到了有效应用。通过这一案例,我们不仅展示了桥梁加固技术的多样性与适用性,也为未来类似工程提供了宝贵的参考。随着交通需求的不断增长,桥梁加固将继续作为保障交通安全、提升基础设施质量的重要手段,在不断发展进步的工程技术背景下,推动公共安全和交通效率的进一步提高。

参考文献

- [1] 班午东,孙杰.公路桥梁工程结构维修加固关键技术的应用[J].四川水泥,2025,(06):259-261.
- [2] 雷坦.公路桥梁维修与加固施工技术研究[A].贵州煤炭经济2024年论文选编[C].2024:30-32.
- [3] 肖永皓.公路桥梁加固维修关键施工技术研究与应用分析[J].大众标准化,2024,(04):148-150.
- [4] 沈清林.高速公路道路与桥梁结构病害与加固技术分析[J].科技资讯,2024,22(02):148-150.
- [5] 王勇.公路桥梁裂缝成因及修补加固技术分析[J].交通世界,2023,(27):112-114.