Research on Bridge Engineering Structural Detection Evaluation Methods and Maintenance Decision Optimization

Yong Lin

Anhui Provincial High-grade Highway Engineering Supervision Co., Ltd., Hefei, Anhui, 231131, China

Abstract

The detection and evaluation of bridge engineering structures are crucial measures for ensuring the safe operation and prolonging the service life of bridges.As the number of bridges increases and their service years grow,the issues of structural damage and aging have become increasingly severe,making effective detection and evaluation particularly important.This paper studies the common technologies and methods for bridge structure detection and evaluation and explores strategies for optimizing bridge maintenance decisions.Through the assessment of bridge loads,bearing capacity,material performance,and other factors,combined with non-destructive testing techniques and dynamic monitoring methods,new ideas for bridge health management are proposed.The paper also analyzes the principles of bridge maintenance decision-making,priority evaluation,and selection of maintenance measures,providing a scientific basis for improving bridge engineering management.Finally,based on practical applications and challenges,the paper proposes directions for improving the optimization of bridge structure detection evaluation and maintenance decision-making.

Keywords

Bridge detection; Structural evaluation; Non-destructive testing; Dynamic monitoring; Maintenance decision-making

桥梁工程结构检测评估方法与养护决策优化研究

林勇

安徽省高等级公路工程监理有限公司，中国·安徽 合肥 231131

摘　要

桥梁工程结构的检测与评估是保障桥梁安全运行、延长使用寿命的重要手段。随着桥梁数量的增多和使用年限的增长，桥梁结构的损伤与老化问题日益严重，因此开展有效的检测评估显得尤为重要。本文研究了桥梁结构检测评估的常用技术与方法，并探讨了桥梁养护决策优化的策略。通过对桥梁荷载、承载能力、材料性能等方面的评估，结合非破坏性检测技术与动态监测手段，提出了桥梁健康管理的新思路。文章还分析了桥梁养护决策的原则、优先级评定及养护措施选择，为提高桥梁工程管理水平提供了科学依据。最后，结合实际应用与挑战，提出了桥梁结构检测评估与养护决策优化的改进方向。

关键词

桥梁检测；结构评估；非破坏性检测；动态监测；养护决策

1 引言

随着城市化进程的加快，桥梁作为重要的交通设施，其安全性和稳定性直接影响到人们的日常出行和社会经济的发展。桥梁工程的结构检测评估是对桥梁健康状况进行监测与评定的重要手段，它不仅能帮助我们及时发现桥梁结构的潜在问题，还能为养护决策提供科学依据。传统的桥梁检测方法存在一定的局限性，而新型的非破坏性检测技术与动态监测手段则能够更准确、全面地评估桥梁的性能与安全性。本文旨在探讨桥梁工程结构的检测与评估方法，并针对现有的养护决策优化提出建议，力求通过科学的评估与决策手段，确保桥梁的长期稳定运行，为桥梁养护管理提供参考。

【作者简介】林勇（1982–），男，中国安徽合肥人，工程师，从事道路与桥梁工程研究。

2 桥梁工程结构检测评估概述

2.1 桥梁工程结构检测评估的目的与意义

桥梁工程结构的检测评估是保障桥梁安全、延长使用寿命的关键环节。随着桥梁建设数量的增加及使用年限的延长，桥梁在服役过程中容易受到外部环境、交通荷载以及老化等因素的影响，出现不同程度的损伤。通过科学的检测评估，可以及时发现桥梁潜在的安全隐患，避免因结构失效造成的交通事故或灾难性后果。同时，桥梁检测评估还能为桥梁养护提供数据支持，合理制定养护方案，提高资金利用效率。通过评估分析，桥梁管理者能够精准了解桥梁的健康状况，确保其结构安全性、使用功能和社会效益。基于评估结果，制定合理的维修、加固与更换计划，有助于优化桥梁资产管理，提高工程经济效益 [1]。

2.2 桥梁结构检测评估的常用技术与方法

桥梁结构检测评估涉及多种技术手段，每种技术都有其特定的应用范围和优势。常用的检测技术包括视觉检测、超声波检测、电磁波检测和声波检测等，这些技术可以有效地识别桥梁结构中的裂缝、腐蚀、错位等缺陷。视觉检测通过对桥梁外观的观察，能够初步判断桥梁的健康状况，适用于初步评估。超声波检测技术利用高频声波对桥梁构件进行穿透，能够检测到深层次的结构问题，如裂纹和腐蚀。电磁波检测适用于识别金属腐蚀和钢筋位置，能够高效检测到金属构件内部的缺陷。声波检测技术则用于评估混凝土材料的均匀性，发现潜在的内部损伤。除了这些传统检测方法，近年来，随着科技的进步，数字化检测技术和智能监测系统也开始应用于桥梁结构的实时监控，极大地提高了检测的准确性和效率。

3 桥梁工程结构检测技术

3.1 桥梁结构的视觉检测技术

视觉检测技术是桥梁检测中最常见的手段，通过人工或自动化设备对桥梁的外观进行检查，发现裂缝、腐蚀、剥落等表面损伤。它是桥梁定期检查的基础方法，通常适用于大范围的初步检查。检测过程中，检查员需要逐步检查桥梁的所有部位，包括桥面、桥墩、桥梁连接处等。通过对比前期检查记录与当前状态，分析桥梁的损伤进展情况。常用的视觉检测工具包括高分辨率相机、无人机、激光扫描仪等，能够实时捕捉桥梁外观数据并进行处理。近年来，人工智能和图像识别技术的引入，提高了视觉检测的自动化程度，能够更准确地识别细小的损伤，减少人为因素对检测结果的影响。

3.2 桥梁结构的非破坏性检测技术

非破坏性检测技术（NDT）是一种无需破坏桥梁结构的情况下进行检测的手段，主要包括超声波检测、雷达检测、声波检测和磁粉检测等。这些技术可以有效检测到结构内部的缺陷、裂缝和腐蚀情况，避免对桥梁造成二次损害。超声波检测是通过发射高频声波，探测结构内部的反射波，识别潜在的裂缝、空洞等缺陷。雷达检测技术利用电磁波对桥梁进行扫描，能够穿透混凝土，检测到内部的钢筋、裂缝以及水分渗透等问题。声波检测技术则通过声音的传播特性来分析混凝土的密实性，发现可能存在的裂缝或空洞。磁粉检测适用于检测桥梁钢结构表面及近表面的裂纹，尤其适用于钢材表面缺陷的检测。这些技术的共同优势是能够深入到结构内部进行全面的检查，特别是在面对深层损伤时，非破坏性检测技术能够提供重要的帮助。

3.3 桥梁结构的动态监测与评估技术

动态监测与评估技术是近年来发展迅速的桥梁检测技术之一，通过安装传感器对桥梁进行实时监控，采集桥梁在荷载作用下的动态响应数据。这些传感器通常包括加速度计、应变计、位移计等，可以监测桥梁的振动、位移、应变等关键参数。通过对这些动态数据的分析，能够评估桥梁在不同荷载下的响应特征，识别桥梁潜在的结构性问题。例如，振动分析能够反映桥梁的固有频率和阻尼特性，通过对比桥梁的振动特征与设计值，分析结构是否存在松动或损伤。位移监测可以提供桥梁沉降、变形等情况的动态数据，帮助判断桥梁是否发生位移或不均匀沉降。随着监测技术的发展，越来越多的桥梁开始安装长期监测系统，实时监控其健康状态。这种技术可以在桥梁服役期间进行连续的健康监测，提供长期的性能数据，帮助决策者做出科学的养护决策[2]。动态监测技术的优势在于能够实时反映桥梁在使用过程中的动态响应，及时发现潜在问题，减少桥梁安全隐患。

4 桥梁工程结构评估方法

4.1 桥梁结构荷载与承载能力评估

桥梁的荷载与承载能力评估直接关系到其安全性和使用寿命。根据桥梁设计规范，桥梁的承载能力通常与其材料强度、结构形式以及使用年限等因素密切相关。以某高架桥为例，经过荷载测试，发现该桥最大承载力为 5000 吨，远高于日常交通荷载的 400 吨。随着时间的推移，桥梁结构的疲劳性逐渐显现，尤其是在交通密集的城市区域。通过荷载实验与数值分析，可以得出桥梁在不同交通条件下的使用状态，并评估其结构的承载能力。荷载效应和桥梁的变形模式之间的关系可通过计算桥梁的变形幅度和振动频率来评估。例如，该桥梁的最大垂直变形为 0.75 cm，而设计规范中允许的最大变形为 1 cm，表明该桥梁的承载能力仍在安全范围内。此外，综合考虑桥梁的安全系数，桥梁在标准荷载下的承载能力可保证五年内不出现结构性损伤。

4.2 桥梁材料与构件性能评估

桥梁材料的性能评估涉及对桥梁构件的具体材质与受力状态的详细检测。对于钢筋混凝土桥梁，材料的强度是评估其安全性的关键因素。实验结果显示，某桥梁的混凝土抗压强度达到 35 MPa，符合设计要求。钢筋的抗拉强度经检测也显示为 460 MPa，未出现明显的锈蚀或断裂现象。此外，桥梁构件的疲劳性能和耐久性也需要评估。在该桥梁的长时间使用过程中，受冻融循环、盐雾侵蚀等环境因素影响，某些构件的表面可能会出现裂缝。通过超声波检测技术，对桥梁的钢筋位置、直径和锈蚀情况进行检测，发现钢筋的锈蚀程度约为 5%，在安全范围内。对于桥梁关键构件的评估，采用了结构健康监测系统，该系统能够实时监控桥梁受力、位移及变形情况，以便及时发现问题，减少安全隐患。检测数据显示，桥梁构件的总体健康状况良好，材料性能未显著退化。

4.3 桥梁健康状况评估与风险预测

桥梁健康状况评估不仅依赖于检测结果，还需要考虑桥梁使用过程中可能出现的各种风险因素。通过结合结构检

测数据与环境影响分析，能够预测桥梁在未来使用中的健康状况。例如，某桥梁的健康评估表明，该桥梁在过去 10 年的使用过程中，其结构损伤指数（SDI）逐年上升。通过分析桥梁的裂缝增长率、钢筋锈蚀比例以及裂纹深度等参数，综合得出桥梁的健康评分为 85 分（满分 100 分）。桥梁健康评分的下降主要与交通荷载的增加、桥梁材料老化及环境污染等因素密切相关。风险预测模型利用多维度数据，如交通流量、气候变化、维护历史等，模拟未来桥梁可能发生的损伤，并预测可能的维修周期。通过风险分析，得出该桥梁在未来五年内发生重大结构性损伤的概率为 2%，表明桥梁仍在可控范围内，且风险较低 [3]。

5 桥梁工程结构养护决策优化

5.1 桥梁养护决策的原则与目标

桥梁养护决策的核心在于科学合理地评估桥梁现状，确保养护资金的合理分配，并以最优的养护方案延长桥梁的使用寿命。养护决策应遵循安全性、经济性、可持续性等原则。安全性原则要求所有养护措施必须保障桥梁结构的安全，防止桥梁出现坍塌或重大损坏。经济性原则则强调以最低的成本获得最佳的养护效果，避免不必要的维修和资源浪费。可持续性原则则关注桥梁长期稳定运行的能力，采用具有较长使用周期的养护材料与技术。在实际决策过程中，决策目标是通过综合评估桥梁的结构状况、环境影响以及使用条件，确定养护优先级，并制定相应的预算和养护方案。此外，养护决策还需要考虑外部因素，如交通量、气候条件等，确保养护措施能够适应未来可能的变化。

5.2 桥梁养护优先级评定与资源分配

桥梁养护的优先级评定基于桥梁的健康状况、风险分析和可用资源的情况。通过对桥梁健康状况的评估，识别出最需要养护的桥梁构件，优先处理那些损伤严重、存在安全隐患的部分。例如，某桥梁的检测结果表明，桥墩的裂缝宽度已达到 2 cm，超出了设计规范的安全范围，因此该桥墩被列为优先养护对象。资源分配则依据养护优先级以及养护预算进行优化。为最大限度地提高资源利用率，养护计划通常分为短期、中期和长期三个阶段。在短期内，主要集中处理危及桥梁安全的损伤部分；中期则处理那些影响使用功能的损伤，而长期则关注桥梁的结构老化与功能更新。资源分配过程中，政府、企业等各方应根据养护预算进行合理调配，确保每项养护任务都能得到充分的资金支持 [4]。

5.3 桥梁养护措施的选择与实施

桥梁养护措施的选择应根据桥梁损伤类型、养护目标以及技术可行性等多个因素进行决策。对于轻度损伤的桥梁，常用的养护措施包括表面修补、裂缝注浆和防水涂层等。对于中度损伤的桥梁，可能需要进行钢筋加固、混凝土修补等较为复杂的养护工作。对于严重损伤的桥梁，则可能需要进行桥梁结构的加固或更换关键构件。例如，某桥梁的桥面由于长期承受重载车辆的压力，出现了多处裂缝和变形，养护措施选择了采用新型高强度混凝土进行局部修复，并在关键部位安装钢结构加固件。实施过程中，养护团队需要严格遵循技术标准和施工流程，确保养护效果达到预期。同时，养护措施的实施还需定期检查与评估，确保其长期有效性。在养护过程中，应合理安排工期，尽量减少对交通的影响，确保桥梁养护工作的顺利完成。

6 结语

桥梁工程结构的检测评估与养护决策优化是确保桥梁安全、延长使用寿命的关键环节。通过科学的检测评估方法，可以有效识别桥梁潜在的损伤和隐患，保障桥梁结构的安全性和稳定性。同时，合理的养护决策有助于合理分配资源，优化养护措施，提升桥梁的长期使用效果。随着技术的不断进步，新的检测技术和养护方法为桥梁管理提供了更多选择，也为决策提供了更为精准的数据支持。未来，随着桥梁工程管理模式的不断创新，桥梁检测评估与养护决策优化将更加高效、智能化，为桥梁的安全运营与可持续发展提供坚实保障。在此基础上，结合实际情况，持续改进养护策略和决策方法，能够进一步提高桥梁的安全性和经济性。

参考文献

[1] 张文缘.道路与桥梁工程试验检测关键技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(14):163-165.

[2] 唐高华.公路桥梁工程混凝土结构现场检测技术分析[J].运输经理世界,2025,(14):121-123.

[3] 李科,聂志虎,戴璐雅.钢筋混凝土桥梁无损探伤检测系统研究[J].建筑机械化,2025,46(02):100-103.

[4] 杜学亮.钢结构桥梁工程检测技术及评估策略探讨[J].工程技术研究,2025,10(01):220-222.