

桥梁检测中的无损检测技术应用与优化研究

孙希大

中交元洋（大连）桥梁水下检测有限公司，辽宁 大连 116000

[摘要]随着我国基础设施建设的不断发展，桥梁作为交通运输体系的重要组成部分，其结构安全与使用寿命受到广泛关注。无损检测技术因能在不损害桥梁本体结构的前提下实现对关键部位的健康监测，已成为桥梁检测领域的重要手段。文中首先分析了当前桥梁检测中应用的主要无损检测技术，包括超声检测、射线检测和磁粉检测等，探讨了各类技术在实际检测过程中的优势与局限。针对现有检测方法在灵敏度、准确性和操作效率方面存在的问题，提出了检测参数优化和多技术协同应用的改进策略。研究结果表明，通过合理优化检测流程和技术组合，不仅可以提高检测数据的可靠性与准确性，还能更有效地发现和评估桥梁结构潜在的病害，有助于实现科学维护和延长桥梁服役周期。本研究为桥梁无损检测技术的实际应用和持续优化提供了理论支持和实践参考，促进了桥梁安全运营管理水平提升。

[关键词]桥梁检测；无损检测技术；结构健康监测；检测参数优化；多技术协同

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18786

中图分类号: TU192

文献标识码: A

Research on the Application and Optimization of Non-destructive Testing Technology in Bridge Inspection

SUN Xida

Zhongjiao Yuanyang (Dalian) Bridge Underwater Inspection Co., Ltd., Dalian, Liaoning, 116000, China

Abstract: With the continuous development of infrastructure construction in China, bridges, as an important component of the transportation system, have received widespread attention for their structural safety and service life. non-destructive testing technology has become an important means in the field of bridge inspection because it can achieve health monitoring of key parts without damaging the structure of the bridge itself. The article first analyzes the main non-destructive testing technologies currently used in bridge inspection, including ultrasonic testing, radiographic testing, and magnetic particle testing, and explores the advantages and limitations of each technology in the actual inspection process. Aiming at the problems in sensitivity, accuracy, and operational efficiency of existing detection methods, an improvement strategy of optimizing detection parameters and multi technology collaborative application is proposed. The research results indicate that by optimizing the detection process and technology combination reasonably, not only can the reliability and accuracy of detection data be improved, but potential diseases of bridge structures can also be more effectively discovered and evaluated, which helps to achieve scientific maintenance and extend the service life of bridges. This study provides theoretical support and practical reference for the practical application and continuous optimization of non-destructive testing technology for bridges, promoting the improvement of bridge safety operation management level.

Keywords: bridge inspection; non-destructive testing technology; structural health monitoring; optimization of detection parameters; multi technology collaboration

引言

随着中国经济快速发展，城市建设速度也明显加快，桥梁在整个交通运输系统当中扮演角色变得越来越关键。可是那些使用了很多年的桥梁，每天都要承受自然环境侵蚀和车辆重压，结构安全问题面临非常大的威胁。到2023年为止，全国正在正常使用的桥梁总数已经超过90万座，

各种损坏问题种类和数量都在持续增多，这让基础设施的安全管理变得特别困难。过去那种需要钻孔取芯的检测方式，会直接伤害桥梁本身，还会影响车辆正常通行。现在大家更愿意使用无损检测技术，因为它效率高、不伤桥梁、还能随时监测结构变化，所以已经逐渐成为桥梁日常检查和保养最主要手段。中国各地现在已经广泛采用超声波、

射线、磁粉等多种无损检测方法,这些方法明显提升了检查速度和结果准确度,让桥梁维护工作变得更加可靠和高效。无损检测技术在桥梁日常维护和安全管理过程中优点非常突出,但是检测灵敏度不够高、数据处理速度慢、在复杂环境下适应能力弱,这些问题严重制约了技术大范围实际使用。以前的研究基本都只盯着单一技术怎么改进,很少把几种技术结合起来一起用,也很少从头到尾把整个检测流程优化好。这次研究主要围绕桥梁无损检测技术怎么真正用起来、怎么进一步改进来展开,全面总结现在常用的几种主流检测方法,分别讲清楚每种方法的好处和不足,仔细分析到底哪些关键参数和操作步骤最影响检测结果,最后给出简单易行又有效的流程优化办法,以及几种技术一起配合使用的具体策略。希望这次研究能够帮助大家把桥梁健康检测做得更好,把安全管理水平提得更高,让各种桥梁和基础设施能够安全稳定地运行很多年,提供可靠的理论依据和实实在在的操作指导^[1]。

1 桥梁结构安全现状与健康监测需求

1.1 桥梁结构安全面临的主要挑战

桥梁作为交通运输体系中的重要基础设施,其结构安全对社会经济运行和公众生命财产具有重要意义,桥梁结构在长期运营过程中不可避免地面临各种挑战,严重威胁其安全性与性能,环境因素是影响桥梁健康的重要外因,自然灾害如地震,洪水,强风等,可能导致桥梁结构受损甚至毁坏,长期暴露于高湿度、盐雾环境以及化学腐蚀物中,会加速钢筋锈蚀与混凝土劣化,显著降低桥梁的耐久性,荷载变化是桥梁结构安全的另一主要影响因素,车辆交通量与荷载水平的持续增长导致桥梁长期处于超设计荷载状态使关键部位如索塔、主梁及节点处的疲劳损伤风险增加。

于桥梁设计寿命期间,重复性动荷载作用易诱发裂缝扩展和应力集中现象,致使桥梁结构性能逐步退化。传统的维护和检测方法具有不足,难以彻底、迅速地察觉桥梁结构的潜在问题。部分桥梁由于施工质量问题以致造成先天缺陷,上述问题于长期使用中易逐步显现并很难得到及时识别。鉴于前述因素,桥梁结构安全遭遇的风险呈现多维性的,迫切需要高效的检测与监测技术进行解决。

1.2 健康监测在桥梁养护中的重要性

桥梁作为重要的交通基础设施,其长期服役过程受多种因素的影响,包括荷载效应、材料老化、环境腐蚀等,这些因素可能导致结构损伤、性能退化甚至安全隐患^[2]。健康监测是桥梁养护管理的重要组成部分,通过实时、定

期或专项检测,能够掌握桥梁结构的运行状态和潜在病害,为科学决策提供依据。在桥梁运营中,健康监测可以有效发现细微损伤,对结构安全状态进行动态评估,从而在早期阶段采取预防性维护措施,避免重大结构性问题的发生。健康监测还可以延长桥梁的服役周期,减少维护成本,确保公共安全。科学的健康监测体系可以提升桥梁管理效率,构建桥梁结构全生命周期信息数据库,为后续的维修与养护给予数据支持。伴随新技术的运用,桥梁健康监测方式逐渐朝智能化、自动化方向演进,这不但提高了检测的精度与可靠性,而且加强了养护管理的针对性与科学性,对保持桥梁长期安全稳定运行拥有重大意义。

2 无损检测技术类型及应用现状

2.1 超声检测在桥梁中的应用

超声检测技术已经大量应用到桥梁检测工作中,这种方法具有很高灵敏度而且完全不会损伤结构,尤其适用于发现混凝土还有钢结构里面的裂纹、孔洞或者分层等问题。检测人员通过发射超声波再接收回来信号,仔细分析回波到达时间长短以及波形高低变化,就可以准确判断材料里面到底有哪些缺陷。使用超声检测可以实现对桥梁重要部位比如主梁、立柱还有支座进行非常精准评估,给桥梁安全性判断以及使用寿命预测提供真实可信数据支持。尽管超声检测在发现靠近表面缺陷时性能优异,可是在结构特别复杂桥梁上使用还是会遇到困难,比如超声波信号变弱加上周围噪声太多,可能会影响最后检测结果准确程度。于潮湿或者表面粗糙的环境中,超声波的传播特性亦将遭到影响。以高效解决这些问题,必须融合多种无损检测技术提高综合诊断能力。借助完善仪器设备并改善操作流程,超声检测将持续在桥梁健康监测中担当关键作用^[3]。

2.2 射线检测技术的适用领域

射线检测技术因为拥有很强的穿透能力,而且完全不需要接触被测物体,所以人们觉得这种技术未来可以在桥梁检测工作中用得越来越多。这种技术是用能量很高的射线直接穿过桥梁的钢筋混凝土或者钢板,然后拍出里面的照片,这样就能很快看出桥梁内部到底哪里出现了问题、问题有多严重。特别是检查钢桥或者钢梁焊接的地方,用这种方法最合适。它可以把材料里面的裂缝、气孔、密度不均匀的地方清清楚楚拍出来,检查结果非常准确、也很可靠,能大大帮助工程师保证桥梁不会突然出大问题。在那些结构特别复杂或者非常重要的桥梁部位,肉眼或者表面检查根本看不见的隐藏毛病,射线检测都能帮着准确找到具体位置。不过用这种技术的时候,射线对人体和周围

环境会有辐射危险，所以每次操作都要做好厚厚的铅衣、设立警戒区等很多安全防护工作。另外，因为拍片设备和胶片都很贵，所以很多地方想大量使用这种技术，还会因为钱不够而受到比较大的限制。

2.3 磁粉检测的特点及限制

磁粉检测借助运用磁场令材料表面的缺陷显露，适用于桥梁结构中中铁磁性材料的检测。其优势在于操作简单，检测过程形象，能查出表面和近表面裂纹等微小缺陷。限制在于检测对象只限于铁磁性材料，并且对于存在深层缺陷的结构不易有效地识别。磁粉检测对于被检表面光洁度要求严格，检测环境会干扰结果，需要配合其他技术来提升全面性与准确性^[4]。

3 检测参数优化策略

3.1 检测流程参数优化途径

检测流程参数优化能显著提升桥梁无损检测技术的效果和效率。优化流程参数需要按照检测目标需求，综合考虑桥梁结构特点和检测环境条件，来拟定检测方案。每种桥梁结构会出现各种病害形式，都要根据病害特征选择检测技术，同时设置针对性参数。超声检测、射线检测、磁粉检测这些技术，都要对输入能量强度、检测频率、采样分辨率这些参数进行优化，这样才能提升检测过程灵敏度和数据质量。

在检测实施阶段，参数优化还需考虑数据采集过程中的外界干扰因素，通过设置稳定的工作参数，应对桥梁表面粗糙度、缺陷大小及埋藏深度等因素可能带来的影响^[5]。流畅的检测流程设计能够减少人为操作失误，提高检测的效率和结果的一致性。结合桥梁检测的现场环境与时间要求，通过逻辑优化与动态调整检测设备参数，可实现工作效率的显著提升，进一步确保检测任务的及时性及科学性。

通过合理的参数优化方法，不仅可以强化桥梁结构的健康监测能力，还能为后续数据分析提供高质量的基础信息。适当优化流程参数能够明显提升桥梁检测精度和可靠性，这样做具有非常重要的作用，真正给桥梁日常养护带来稳定而且有力的技术保障。

3.2 检测精度与灵敏度提升手段

检测准确度和敏感度属于桥梁无损检测技术发展最核心两个指标。想要提高检测准确度必须改进传感器性能，具体办法包括提升设备分辨率、减少信号干扰，这样才能精准发现桥梁结构里面极细微缺陷。想要提高敏感度可以完善数据处理算法，加强信号识别能力，这样就能捕捉到很微弱信号里面隐藏异常。合理选取检测频率和参数范围

就能即使环境很复杂也能有效监测结构损伤。使用多种波形模拟技术可以克服单一信号容易失真难题，大幅提升数据可靠性。把检测设备做得更小更轻便就能大大增加操作灵活性，轻松适应各种不同现场需求。积极引入新型材料和新工艺来促进传感器体系不断创新，持续提高敏感度和准确度，最终给桥梁结构健康监测带来更加可靠保障。

4 多技术协同应用的创新模式

4.1 多技术集成与组合方案

多技术协同应用是桥梁病害诊断的创新模式，能提升检测精度与可靠性，桥梁结构病害特征复杂，单一检测技术难以全面满足健康监测要求，多技术集成与组合方案可发挥各技术优势，相互补充，克服局限，比如检测桥梁内部缺陷时，超声检测穿透力强，能评估材料内部裂纹，空洞；射线检测擅长观察材料密度变化和深层结构特征；磁粉检测则可提高表面微裂纹识别精度，通过综合运用这些技术，能更精准、全面地掌握桥梁病害情况，为桥梁安全评估和维护提供可靠依据。在单一技术局限背景下，把超声检测和射线检测结合应用，能借助超声波探测隐患位置且利用射线图像清楚呈现缺陷形态，进而达成桥梁结构深入评估。对桥梁钢结构精准检测和裂纹判断，多技术协同亦可以凭借磁粉检测和超声检测的结合，于表面裂纹与次表面病害识别层面达到数据互补，用更精确评估病害的范围和性质。依托技术的功能性融合和信息联动，多技术组合给桥梁检测带来了更完整的信息来源和优化诊断能力，为桥梁健康监测实践和科学维护建立了牢固基础。

4.2 协同检测在桥梁病害诊断中的实践价值

多种技术一起用在桥梁病害诊断上具有很大实际意义，关键点就是面对桥梁结构复杂、病害种类繁多的情况，把几种无损检测技术融合运用起来，才能实现完整准确的诊断效果。把超声检测精准定位的能力跟射线检测深层穿透的特点融合到一起，就能快速发现桥梁内部隐藏的裂缝和孔隙这些问题。磁粉检测可以很好补充表面跟靠近表面的缺陷检测。多种技术一起工作的时候，每种技术的优点都能互相补足，这样收集到的数据既全面又深入。碰到疲劳裂纹、腐蚀损伤、混凝土老化这些复杂问题，多种技术一起检测就能提供非常精确的综合判断，大大降低只用一种技术容易出错的风险。这款应用在实际现场用起来特别灵活，它能把各种检测步骤很好地整合到一起，把不同来源的分析数据全部综合起来，直接给出清晰可靠的结论，让负责桥梁养护的人能快速做出正确决定，这样就能大大

提高桥梁长期使用的安全保障水平。

5 结束语

这份研究专门针对桥梁检测里几种常见的不伤桥梁本身就能查出问题的技术,进行了全面总结和实际应用的改进工作,深入分析了超声波、射线、磁粉这些主要检测方法在检查桥梁结构是否健康时到底能起到什么作用,又有哪些缺点。研究人员把目前这些技术在灵敏度、准确度、操作速度方面的不足全部总结出来,然后提出了怎么调整检测参数、怎么让多种技术一起配合使用这些新办法。结果表明,把检测流程改进好、再把几种方法联合起来用,能大幅提升得到的数据又准又全,这样就能更早发现桥梁隐藏的毛病,也能更科学地判断毛病严重程度,这对保障桥梁安全管理、日常维护保养提供了非常可靠的技术支持。

[参考文献]

- [1]陆健.桥梁检测无损检测技术实践应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(5):0119-0121.
- [2]施洪张宝龙.桥梁检测中无损检测技术的应用分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(6):53-55.
- [3]李妍妍.桥梁检测中无损检测技术的应用[J].装饰装修天地,2020(12):252-252.
- [4]陶东阳毛国庆.桥梁检测中的无损检测技术应用概述[J].黑龙江交通科技,2020,43(9):130-131.
- [5]宋震.道路桥梁检测无损检测技术应用[J].新商务周刊,2020(22):203-204.

作者简介:孙希大(1986.2—),性别:男,民族:汉,籍贯:山东省滕州市人,学历:本科,研究方向:桥梁检测。