

桥梁施工中无损检测技术应用现状

穆江飞 严超群 吴彩星

杨凌职业技术学院交通与测绘工程学院 陕西 杨凌 712100

DOI:10.12238/etd.v3i4.5271

摘要：科学技术的不断进步推动了桥梁工程检测技术的发展，无损检测技术用于桥梁施工将会有效地保证桥梁的质量，提高桥梁建设的效率，延长桥梁的使用寿命，减少安全事故的发生。本次主要针对无损检测技术及特点，桥梁施工中桥梁构件内部缺陷及其他桥梁工程的无损检测技术的应用进行了详细概述，并对各种无损检测技术在桥梁工程中各自的优势和缺点做出了详细的分析和研究。最后，结合工程案例采用探地雷达法对混凝土结构的缺陷进行检测。

关键词：桥梁；无损检测；内部缺陷；探地雷达

中图分类号：TU75 **文献标识码：**A

Application Status of Nondestructive Testing Technology in Bridge Construction

Jiangfei Mu, Chaoqun Yan, Caixing Wu

Yangling Polytechnic College School of Transportation and Surveying Engineering Shaanxi Yangling 712100

Abstract: The continuous progress of science and technology has promoted the development of bridge engineering testing technology, non-destructive testing technology used in bridge construction will effectively ensure the quality of the bridge, improve the efficiency of bridge construction, prolong the service life of the bridge, reduce the occurrence of safety accidents. This paper mainly aims at NDT technology and characteristics, the application of NDT technology in bridge construction and other bridge engineering is summarized in detail, and the advantages and disadvantages of various NDT technology in bridge engineering are analyzed and studied in detail. Finally, combined with engineering cases, GPR method is used to detect the defects of concrete structures.

Keywords: Bridges; Nondestructive testing; Internal defects; Ground penetrating radar

1 引言

随着我国国民经济的快速发展，城市化建设对交通基础设施有了更广泛的需求，而道路桥梁是解决城市交通拥堵和地面运输的有效手段，我国交通桥梁方面的数量和规模也在不断增加。然现役部分桥梁使用旧规范建造，后期养护运营管理不当，以及货车超载、超速现象时有发生，导致桥梁出现不同程度的病害。因此，无论是桥梁施工过程中，还是桥梁使用过程中，及时、定期对桥梁检测以便及时发现可能存在的损坏结构并在桥梁损坏变得更严重之前得到必要的维修，提高桥梁的安全性和稳定性，保证车辆的安全通行至关重要。

多年来，各种检测技术已用于桥梁系统的结构健康监测。在各种方法中，无损检测（NDT）技术以未损坏桥梁结构而受到欢迎和应用，主要用于对桥梁结构部件和结构系统进行检测。根据不同的结构类型、环境因素、使用材料等，桥梁检测所需的无损检测方法也不同。本文将对桥梁施工中无损检测技术的应用进行研究，旨在为研究人员了解现有无损检测方法的最新情况，并为桥梁无损检测技术的进一步创新铺平道路。同时，为工程师和检查技术人员在现场选择最合适的无损检测方法提供参考和帮助，从而节省大量成本和时间，推动无损检测技术在桥梁施工中及桥梁的日常维护中获得广泛应用。

2 无损检测技术

无损检测（NDT）包括各种非侵入性检测技术，用于评估材料性能、部件或整个工艺结构。无损检测技术能够定位缺陷并确定缺陷的特征，如尺寸、形状和方向。无损检测的目的是以安全、可靠和经济有效的方式检查部件，而不会对检测部件造成损坏或停止运行。破坏性测试以某种方式破坏或改变零件，即使通过测试，也无法继续使用。例如拉伸试验、三点弯曲试验或宏观切片。无损检测与破坏性试验相反，无损检测不会破坏或改变测试部件，使其在通过测试后仍适合使用。无损检测结果非常精确，检测过程可重复，具有较高的性价比，可为剩余寿命评估做出准确的判断。在桥梁施工中应用无损检测技术不仅能够提高施工效率，同时还能有效减少投入，并确保桥梁工程施工质量。

3 桥梁无损检测技术应用现状

3.1 桥梁无损检测技术发展现状

西方发达国家应用桥梁无损检测技术较早，这为我国桥梁施工企业提供了宝贵的经验。随着现代材料科学、应用物理学等学科领域的发展，为桥梁无损检测技术的快速发展打下了坚实的基础。目前已有声发射、超声检测、红外检测、冲击回波检测、自然电位检测、磁试验、X射线检测、脉冲雷达、光干涉、振动试验分析等数十种。此外，研究人员还利用相干激光雷达对桥梁下部结构的挠度进行测试，利用全

息干涉仪和激光斑纹测量桥体表面的变形状态，利用远红外成像技术检测桥梁混凝土层的损伤情况，利用磁漏摄动检测法对钢索、钢梁和混凝土内部的钢筋进行检测等等。用于桥梁工程的无损检测技术，在先进科学技术的带动下不断地完善和创新，能够更加全面地对桥梁受损情况给出准确的诊断。

3.2 桥梁无损检测技术应用分类

3.2.1 内部缺陷的无损检测方法

（1）超声波检测

超声波检测是桥梁检测最常用的技术之一，它利用声波频率高于可听范围来评估桥梁结构中各种类型的内部裂纹、空隙和分层。该方法使用频率超过可闻范围的超声波对结构部件进行测试，通过监视器上反射波表征桥梁结构内部缺陷以及与表面的精确距离。超声波探伤被认为是一种快速无损检测方法，可用于锁定桥梁结构内部的缺陷深度和位置，其成本适中，但对于非常薄的元件、脆性材料和复杂几何体结构的元件的效果较差。

（2）声发射测试

声发射测试的主要基础是来自外部或内部源的结构内部声波的传播。根据桥梁结构构件中裂纹产生的弹性波，产生的声发射工作。这些波以圆形模式从裂纹尖端附近向外辐射，并由连接到声发射测试监测器所见试样表面的传感器所感应。对于使用声发射方法监测桥梁部件，通常使用多个传感器。为了定位裂纹并消除噪声源的干扰信号，应将传感器放置在几何阵列的试件上。声发射测试已成功用于检测斜拉桥中的钢丝断裂和正交异性桥面板中的疲劳裂纹。

（3）红外热成像检测

红外热成像测试基于桥梁结构元件内单个元件的热辐射和温度之间的关系，由于发射率不同，每个元件以不同的速率吸收或释发射红外辐射的热量，通过表面温度分布的差异来描述物体的异形结构。因此，通过使用不同形式的主动热激励，可以有效地检测缺陷。该技术可合理利用环境热或冷提高该技术的检测优势。

（4）射线检测

射线检测是检测桥梁结构中混凝土空隙和缺陷的一种无损检测方法。在射线检测方法中，桥梁构件受到X射线辐射后射线以不同的速率传输。这些射线透射的变化可通过照相胶片或荧光屏检测到。射线检测方法可以应用于各种接头组件和材料类型，这种方法对于检测内部缺陷和指定缺陷或不连续的精确图像非常有效，且只需很少的表面处理，被视为具有高灵敏度的低速测试，但它需要昂贵且笨重的设备（X射线），也需要接触桥梁待测构件的两侧。

3.2.2 其他桥梁无损检测方法

（1）探地雷达检测

探地雷达检测或脉冲雷达检测是微波方法中最适用的方法之一。探地雷达适用于桥面或其他桥梁构件内部缺陷检测，通过探索通过天线发送穿过桥面并从内部反射器接收的电磁波的传播模型来检测损伤、分层、裂缝和空隙。通过分

析反射脉冲可以中等精度识别内部缺陷。探地雷达作为一种可靠的无损检测方法，适用于有无沥青覆盖层的情况。并且探地雷达在多层桥面（如混凝土桥面和沥青加铺层）的应用也是一个活跃和发展的研究领域。

（2）激光测试

激光检测法是可用于检测钢桥缺陷的无损检测方法。该方法采用脉冲激光引发兰姆波，在待检桥梁构件上产生激光冲击，由干涉仪记录由缺陷撞击产生的驻波兰姆波完成对桥梁构件中缺陷的检测。激光扫描仪可以检测桥梁构件中的缺陷和瑕疵，可以用于辅助目视检查。

（3）漏磁检测

漏磁检测方法通过较强的外部磁铁磁化桥梁构件结构中的钢材料，从而对构件中的缺陷进行检测，如腐蚀、截面损失、断裂和钢构件上的点蚀等。这种方法的原理是，当钢元素中存在缺陷时，材料中的磁场从其磁通路径“泄漏”。磁场的任何变化（泄漏）都可以通过放置在磁铁两极之间的磁探测器来感知。该方法非常适用于对金属管道钢筋束的损伤检测，对于被较厚混凝土层覆盖的钢构件效果较差。

（4）基于视觉的检测方法

基于视觉的结构检测方法可以追溯到几十年前。该技术早期用于对桥梁的静态和动态监测。通过引入了许多基于视觉的监测方法，以测量结构位移、监测振动响应和应力应变，并通过进一步处理检测裂缝和其他异常。在该技术中，图像处理软件起着非常重要的作用，该软件随后与特定的计算算法集成，用于获取结构监测中的机械参数。通过数字图像处理和模式匹配算法，对目标进行跟踪，从而获得结构上目标位置的位移。因此，该方法在检测钢构件中的裂纹和缺陷方面具有巨大潜力。基于视觉的方法适用于测量结构位移、监测振动响应和应力应变，以及检测裂缝和其他异常，但不适用于内部缺陷的检测。

4 工程案例

采用探地雷达法对混凝土结构背后缺陷情况进行检测，进而分析混凝土厚度不足、背后空洞、不密实等缺陷的情况。探地雷达工作原理及其基本组成示意图如图1，探地雷达波形记录示意图如图2所示，其结果可用探地雷达时间剖面图像表示，其中横坐标记录了天线在地表的位置，纵坐标为反射波双程走势，表示雷达脉冲从发射天线出发经地下界面反射回到接收天线所需的时间。

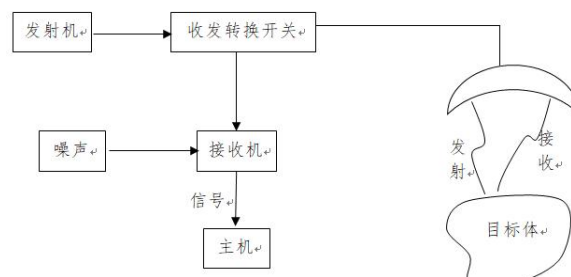


图1 探地雷达工作原理及基本组成示意图

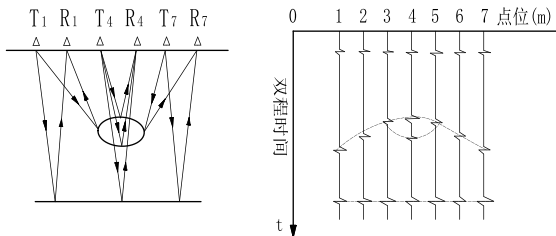


图2 地质雷达波形记录示意图

本次检测仪器选用美国劳雷公司生产的 GSSI SIR-4000 型探地雷达,主要选用400 MHz地面耦合屏蔽天线进行扫描,该天线检测深度为 1.5m。在原始数据经过处理后,得到时深剖面图如图 3 所示,然后进行分析得到检测结果。

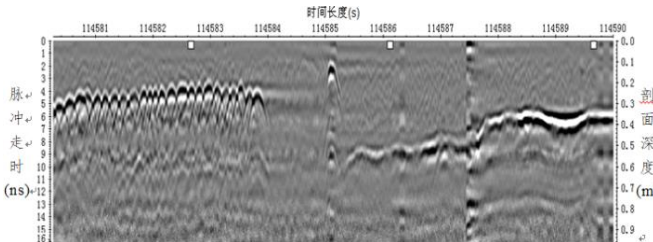


图3 探地雷达时间-深度剖面图（示例波形图）

5 结语

在桥梁施工中无损检测技术已被广泛应用,这使得桥梁建设过程中在工程质量提高的同时,也使得桥梁的使用寿命得到有效延长,还很好地避免了工程返工现象,进一步节约了施工成本。本论文主要对桥梁构件内部缺陷及其他桥梁工程无损检测技术进行了详细介绍,不同的无损检测技术具有各自不同的优势,在不同类型的桥梁施工中合理有效地选择具有针对性的无损检测技术将会有效地提高桥梁工程质量和桥梁施工效率。充分发挥无损检测技术在桥梁施工中所具备的优势,对推动无损检测技术在桥梁工程中的应用,提高我国桥梁工程的高质量发展具有重要的意义。

参考文献：

- [1] 张书龙.无损检测新技术在结构桥梁中的应用及影响[J].华东科技:学术版,2016(8):1.
- [2] 李文超,武长.关于桥梁无损检测技术的研究现状与发展[J].建筑与装饰,2020(18):2.
- [3] 刘荣寿.浅谈无损检测技术在钢结构桥梁中的应用[J].江西建材,2017(15):2.

基金项目：杨凌职业技术学院 2021 年科技创新项目，项目编号 ZK21-43

(上接第 54 页)

- [20] Palubiak, Darek P., and M. Jamal Deen. "CMOS SPADs: Design issues and research challenges for detectors, circuits, and arrays." IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics 20.6 (2014): 409-426.
- [21] Richardson, Justin A., et al. "A 2um diameter, 9hz dark count, single photon avalanche diode in 130nm cmos technology." 2010 Proceedings of the European Solid State Device Research Conference. IEEE, 2010.
- [22] Lu, Xin, et al. "A 4-μm Diameter SPAD Using Less-Doped N-Well Guard Ring in Baseline 65-nm CMOS." IEEE Transactions on Electron Devices 67.5 (2020): 2223-2225.
- [23] Geist, Jon. "Quantum efficiency of the pn junction in silicon as an absolute radiometric standard." Applied optics 18.6 (1979): 760-762.
- [24] Kuvâs, R., and C. A. Lee. "Quasistatic approximation for semiconductor avalanches." Journal of Applied Physics 41.4 (1970): 1743-1755.
- [25] Tan, S. L., D. S. Ong, and H. K. Yow. "Theoretical

- analysis of breakdown probabilities and jitter in single-photon avalanche diodes." Journal of Applied Physics 102.4 (2007): 044506.
- [26] Inoue, Akito, et al. "Modeling and Analysis of Capacitive Relaxation Quenching in a Single Photon Avalanche Diode (SPAD) Applied to a CMOS Image Sensor." Sensors 20.10 (2020): 3007.
- [27] Sun, Feiyang, et al. "A Simple Analytic Modeling Method for SPAD Timing Jitter Prediction." IEEE Journal of the Electron Devices Society 7 (2019): 261-267.
- [28] Han, Dong, et al. "A scalable single-photon avalanche diode with improved photon detection efficiency and dark count noise." Optik (2020): 164692.
- [29] Xu, Yux, Ping Xiang, and Xiaopeng Xie. "Comprehensive understanding of dark count mechanisms of single-photon avalanche diodes fabricated in deep sub-micron CMOS technologies." Solid-State Electronics 129 (2017): 168-174.