

多种检测技术结合的桥梁综合评估方法研究

张 谦

中交元洋（大连）桥梁水下检测有限公司，辽宁 大连 116000

[摘要]随着我国交通基础设施的快速发展，桥梁作为重要的交通枢纽，其结构安全和耐久性日益受到关注。传统桥梁检测评估方法在复杂工况下难以满足全面精准的诊断需求。为此，文中提出了一种多种检测技术结合的桥梁综合评估方法，通过融合目测、声波检测、光学影像分析及电磁检测等多项技术，实现对桥梁结构的多维度、高效率监测。研究过程中，各检测技术优势互补，能够有效识别桥梁结构中的损伤、裂缝、腐蚀等病害，并对桥梁健康状态作出科学评价。结果表明，综合检测方法不仅提升了评估的准确性和可靠性，还大幅提高了检测效率，显著优化了桥梁养护决策。该方法为桥梁安全管理和生命周期维护提供了有力的技术支撑，具有广泛的工程应用价值，有助于保障桥梁结构的长期安全运行和交通运输的可持续发展。

[关键词]桥梁检测；综合评估方法；多技术融合；结构健康监测；养护决策

DOI: 10.33142/ec.v8i9.17991

中图分类号: U446

文献标识码: A

Research on Bridge Comprehensive Evaluation Method Combining Multiple Detection Technologies

ZHANG Qian

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

Abstract: With the rapid development of transportation infrastructure in China, bridges, as important transportation hubs, have increasingly attracted attention to their structural safety and durability. Traditional bridge inspection and evaluation methods are difficult to meet the comprehensive and accurate diagnostic requirements under complex working conditions. Therefore, a comprehensive evaluation method for bridges combining multiple detection techniques is proposed in the article, which achieves multi-dimensional and efficient monitoring of bridge structures by integrating visual inspection, acoustic detection, optical image analysis, and electromagnetic detection technologies. During the research process, each detection technology has complementary advantages and can effectively identify damages, cracks, corrosion and other diseases in bridge structures, and make scientific evaluations of the health status of bridges. The results indicate that the comprehensive detection method not only improves the accuracy and reliability of the evaluation, but also significantly enhances the detection efficiency and significantly optimizes bridge maintenance decisions. This method provides strong technical support for bridge safety management and lifecycle maintenance, and has broad engineering application value, helping to ensure the long-term safe operation of bridge structures and the sustainable development of transportation.

Keywords: bridge inspection; comprehensive evaluation method; multi technology integration; structural health monitoring; maintenance decision

引言

伴随我国交通基础设施建设的不断加快，桥梁身为公路与铁路网络的重要组成部分，于确保交通运输畅通和区域经济发展内起着至关重要的作用。根据交通运输部数据表明，截至 2023 年，全国在役桥梁数量已经超过百万座，桥梁安全与耐久性问题越来越严峻，已成为基础设施管理领域迫切需要攻克的关键课题。常规的桥梁检测评估方法，例如目测、局部抽检等，因为局限于技术手段有限和工作环境多变，常常难以做到对于桥梁结构的全面诊断，容易造成损伤识别延迟和养护决策不合理，加剧隐性安全隐患。国内外学者已经探索把声波检测、光学影像分析、电磁检测等新兴技术运用于桥梁健康监测，并且获得一定成果，例如提升微裂缝识别率、改善腐蚀病害定位精度等方面。

各检测技术于工程实践应用中面临数据类型未一致、检测结果碎片化等问题，很难建立科学有效的综合评估体系。怎样整合多种检测技术，体现各自优势互补作用，达成对于桥梁结构状态的高效、准确评价，已成为现阶段桥梁工程领域研究的热点和难点。

1 桥梁结构诊断现状与技术发展

1.1 我国桥梁结构安全需求及现有挑战

伴随我国交通事业的快速的发展，桥梁身为关键的基础设施，其结构安全显得格外关键。桥梁不只是交通网络的关键组成部分，而且对于国家经济发展发挥着极其关键的作用。伴随桥梁服役年限的增加，桥梁结构的安全性遭遇严重挑战。主要问题涵盖材料老化、疲劳损伤、环境腐蚀和超负荷使用等。这些因素不但加剧了桥梁结构的劣化，

而且有可能引发突发性结构失效。传统的桥梁检测方法，例如定时人工检查、常规光学仪器测量等，在繁杂的工况条件下很难做到迅速、精确的全面诊断，造成潜在风险很难及时发现与处理。开发精准、高效的桥梁检测技术，满足桥梁结构安全需求，已经成为工程界和管理部门一起关注的热点问题。借助先进技术加强桥梁检测和养护的能力，对于确保桥梁的长期安全运行十分关键。

1.2 检测技术分类与发展趋势

桥梁检测技术主要分成目测技术、无损检测技术和半破坏性检测技术三大类。目测技术需要经验丰富的检测人员直接用眼睛仔细观察桥梁外表，最容易发现肉眼看得见的明显损伤。无损检测技术包括声波检测、光学影像分析和电磁检测等多种方法，因为速度快而且完全不会伤害桥梁结构，所以现在到处都在广泛使用。半破坏性检测技术只在桥梁局部很小区域内进行操作，却能够提供非常详细的内部损伤情况。目前检测技术正朝着自动化、智能化、综合化的方向快速演进，目的是大幅提高检测的准确度和工作效率，从而更好满足各种复杂环境下的全面检查要求。

1.3 各类检测方法的应用局限分析

各种桥梁检测办法用在实际工程里都会碰到不少麻烦。光靠人眼看完全取决于检查人员积累了多少经验，根本没办法把损伤的具体程度用数字清楚表达出来。使用声波检测的时候，周围任何噪音都会严重干扰信号，结果导致检测出来的数据不够准。采用光学影像分析必须配备特别清晰的相机，还要花大量时间跑很复杂的图像处理程序，所以几乎做不到现场马上出结果。电磁波检测方法只能用在导磁性能好的材料上，而且稍微有点电磁干扰就完全失效。当前这些检测办法基本都是单独拿来用，彼此之间没有实现很好的结合与互补，这就直接限制了我们对桥梁结构损伤判断得是否全面和可靠。所有这些问题都清楚表明，现在非常有必要尽快研发出一种能够把多种技术有效融合在一起、同时又能保持很高准确度的全新桥梁健康评估办法。

2 多种检测技术融合的理论基础

2.1 微观与宏观结构损伤识别机理

微观跟宏观结构损坏识别方式属于桥梁整体健康评估方法研究当中最核心的理论内容之一。微观损坏重点包含材料里面各种缺陷的发现，比如裂纹慢慢扩展、孔洞逐渐出现还有微小锈蚀这些物理化学变化，分析过程完全依靠声波探测设备跟电磁检测设备这些高精度仪器，可以清楚发现桥梁材料内部那些特别容易聚集应力的区域。宏观损坏重点关注桥梁整个结构出现的变形、开裂跟倾斜这些肉眼明显看得见的外部大问题，采用光学图像分析技术跟直接用眼睛观察的方式就能做出清楚判断，清楚反映整个结构受到力量后的反应规律跟外形变化情况。微观损坏跟宏观损坏两种识别方式之间既存在明显区别，也有着密切联系，微观损坏不断积累就会导致宏观缺陷出现，宏观结

构状态发生变化也可以清楚揭示微观损坏正在如何发展。从理论层面来看，利用多种检测技术互相验证结果，就能建立起从材料内部损伤一直发展到整个结构性能受损的完整损伤演变规律，这样就能为桥梁健康状况实现精确实时监测并且做到早期发现问题提供关键技术支撑。

2.2 技术协同性原理与优势互补

桥梁检测需要把好几种不同方法组合起来使用，因为每种方法都能特别擅长发现某一种损伤。肉眼观察能马上看出裂缝和表面损坏情况。声波检测可以精准找到混凝土里面的空洞和断裂，把隐藏问题暴露出来。光学影像分析能拍出超级清晰照片，帮助发现肉眼看不见的微小变化。电磁检测专门用来详细判断钢筋是否生锈以及锈蚀程度。把这些方法联合起来工作，互相弥补各自短板，就能大大提高检测准确率，再用数据融合办法把所有信息整合到一起，保证结果既全面又不会自相矛盾，这样就能更好判断桥梁到底有多健康，给出准确诊断结论，也能及时安排维修保养，留下可靠支撑。

2.3 融合框架下的数据互通机制

在整合多种桥梁检测技术的整体框架里面，数据互通机制起到了关键作用。这个机制通过把各种检测技术得到的数据全部进行标准化处理，让这些数据能够在不同平台之间顺利共享，一起进行协同分析。信号处理技术跟数据整合技术结合起来，保证检测数据能够准确传输并且随时更新。依靠统一的数据格式和接口协议，促进不同来源数据之间快速顺畅交流，大大提升数据分析的深度和可靠性。这个机制不仅明显增强桥梁评估的全面程度和准确程度，同时为后面智能化决策提供了非常扎实可靠的数据基础。

3 主要桥梁检测技术体系构建

3.1 视觉与光学影像监测技术构成

视觉与光学影像监测技术在桥梁检测中发挥着关键作用，通过高分辨率摄像设备获取桥梁结构的图像数据，能够直观识别表面损伤、裂缝等显性病害。先进的图像处理算法被应用于自动识别和量化这些损伤特征，提高检测的效率与精确度。在影像分析中，支持向量机及神经网络等机器学习技术的引入，进一步增强对微小损伤的识别能力。除此之外，光学影像监测技术还引入了全景影像分析，通过全方位、多角度获取桥梁结构图像，为全面诊断提供了有力的支持。把清晰全面视觉信息完全整合进桥梁检测整个系统里面，这样就给桥梁整体健康状况全面评估工作奠定非常坚实可靠基础，让后面做养护维修决策变得更加科学准确。这种全新技术系统搭建完成以后，明显大幅度提升桥梁检测智能化程度，大力保障桥梁能够长期保持安全运行状态。

3.2 声波与电磁检测技术应用流程

声波检测和电磁检测技术用在桥梁健康监测的时候，主要利用高频信号和电磁场分析来实现对桥梁内部细小

结构的检查评估。声波检测利用声音在混凝土里面的传播特点，发现混凝土里边的裂缝、空洞这些缺陷，通过仔细分析波形的各种变化就能准确确定损伤到底出现在什么位置、严重到什么程度。电磁检测利用感应电流和磁场的变化情况，清楚识别出钢筋生锈或者预应力钢筋松弛这些问题，而且具有不用直接接触桥梁、精度特别高的优点。这两种技术使用的时候必须提前调整好合适的频率和传感器灵敏度，这样才能确保采集到的数据足够准确可靠。最后再结合专门的可视化软件工具，就能让工程师非常直观、清楚地了解桥梁当前的健康状态，做出精准可靠的评价。

3.3 多源检测结果集成模式

多种检测结果融合在一起，在桥梁整体健康评估过程中非常重要，采用科学方法，把视觉光学影像、声波检测、电磁检测这些不同技术得到的数据进行协调融合，这样就能大大提升整个评估准确度和工作效率。必须建立一个统一数据库，用来存储和管理来自各种不同检测设备产生的数据，实现所有信息高效互相连接。通过数据融合算法，比如特征提取技术和模式识别技术，对所有来源信息进行全面分析，最终实现对桥梁结构损伤位置判断和损伤程度评估更加精确准确。建立多层次评估体系，能够完整清晰反映桥梁当前健康状况，为桥梁日常检测和后期养护维护工作提供可靠科学依据。

4 综合评估流程与健康状态判定

4.1 损伤特征提取与分类原则

损伤特征提取跟分类工作对桥梁整体健康评价至关重要。提取损伤特征时把多种检测技术组合起来使用，就能高效精识别并详细刻画桥梁结构中出现的各种病害。声波检测重点捕捉桥梁内部深层裂缝跟空洞发出声音特征，光学影像分析负责测量表面裂纹精确尺寸宽度跟分布状况，电磁检测技术能够精准识别钢筋锈蚀情况以及锈蚀严重程度。每种损伤特征都要建立明确分类标准，才能正确归类损伤类型以及严重等级。需要全面分析损伤物理特性、形状大小、位置分布还有未来发展趋势等多方面因素，形成完整损伤诊断模型。损伤诊断模型把各种检测数据融合以后，就能实现桥梁从建成一直到老化全寿命周期健康状态精准评估，给后期结构安全评价跟维修养护决策给出有力科学依据。

4.2 结构健康监测指标体系建立

建立结构健康监测指标体系属于达成桥梁综合评估最核心一步。指标体系必须包含能够完整体现桥梁健康状况各项参数，这样才能保证评估结果既精准又完整。内容涉及物理指标和化学指标，比如结构变形量、裂缝具体宽度、钢筋腐蚀电位大小，这些参数有利于及早识别结构可能出现问题。环境因素包括湿度高低、温度变化、车辆载

荷大小，这些因素会对桥梁产生影响，也必须加入监测范围，用来供给必要背景数据。动态指标比如应力应变实时变化、桥梁振动频率特征，能够真实体现结构当前工作状态，这一点对于精准评估桥梁健康程度极其关键。借助多项指标一起综合分析，就能高效判定桥梁还能安全使用多少年、存在哪些风险，从而给出养护维修最合理决策依据。

4.3 评估结果在养护决策中的应用

桥梁评估结论能起到非常重要作用。管理人员采用多种检测技术整合在一起形成的综合评估方法，就可以清楚识别出桥梁结构出现的损伤、裂缝、腐蚀等各种问题，从而给后面养护维修工作给出可靠而且科学的参考依据。有了这份清楚判断，管理人员就能不断优化日常维护计划，同时完全避免出现不必要维修而造成资源浪费的情况。评估数据转化为具体数字之后，管理人员马上就能判断出哪些部位最需要优先处理，接着选用最合适修缮方案，这样操作不仅能够明显延长桥梁使用寿命，还能显著减少安全事故发生的风险。在资金不够充足的时候，依据评估结论构建出的决策支持系统，能够大幅提高桥梁管理工作的整体效率，保证整个交通网络一直保持安全稳定的运行状态。

5 结束语

传统桥梁检测评估遇到复杂环境时容易出错、漏判，准确率不高，为了解决这些问题，研究人员开发出一种把多种检测技术组合在一起的综合评估办法。具体做法是把人工目测、声波检测、光学影像分析、电磁检测这些不同技术全部用起来，这样就能从多个角度、全面仔细地检查桥梁结构的每一个部位。这种办法可以清楚准确地发现桥梁出现的各种问题，比如结构损伤、裂缝、生锈腐蚀等等，然后根据检查结果科学系统地判断桥梁到底有多健康，检测又准又快，比以前老方法准确度和效率都提升了很多，给桥梁日常维修决策和安全管理带来非常可靠的技术支持，让整个桥梁评估工作变得更加可信、更加好用。

[参考文献]

- [1]王斌陈双庆.模糊综合法桥梁评估方法研究[J].黑龙江交通科技,2021,44(9):111-112.
 - [2]李鹏.桥梁结构健康监测评估及预防性养护方法研究[J].江西建材,2023(6):78.
 - [3]崔译丹左婷.钢结构桥梁检测及评估研究[J].产业创新研究,2023(12):130-132.
 - [4]王军威,罗春明,姜涛.桥梁健康监测技术及结构损伤评估算法[J].建筑安全,2023,38(6):34-37.
 - [5]王文强.市政桥梁结构健康监测与评估技术研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(5):0134-0137.
- 作者简介：张谦（1998.8—），性别：男，民族汉族，籍贯：辽宁省朝阳市人，硕士学历，研究方向：土木工程。