

桥梁振动监测技术在路桥安全评估中的应用

文 / 骆 源 马鞍山中鑫工程质量检测咨询有限公司

摘要：交通基础设施快速发展，桥梁作为关键连接点，其安全性和稳定性直接关系到人们的生命财产安全。桥梁震动检测技术作为一种非破坏性检测技术，通过科学合理的使用进一步提高了桥梁的整体使用安全性，桥梁振动检测技术通过监测动态荷载下的振动响应，有效收集数据，为桥梁安全评估提供科学依据。本文围绕桥梁振动监测技术在路桥安全评估中的应用进行系统化分析，从而准确预防结构损伤、保障交通安全方面发挥的重要作用，为桥梁的安全管理提供科学保证与依据。

关键词：桥梁振动检测技术；路桥安全评估；自然频率测试；模态参数识别

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.14.072

引言

桥梁是道路交通中的重要组成部分，桥梁建设可承担连接各地、促进经济发展的重任。然而，随着桥梁使用年限的不断增长，桥梁结构的整体安全性也发生改变，容易出现较为严重的道路桥梁安全问题。为更好地保护桥梁安全运行，应定期对桥梁安全性进行评估，而在桥梁安全评估工作中，传统评估方法容易导致路桥出现损伤，同时开展实施较为困难。传统检测方法，如目视检查和敲击检查，虽应用广泛，但主观性强，难以深入探究结构安全性。而振动监测技术在桥梁监测系统中发挥着至关重要的作用，通过实时监测桥梁结构的振动信号并进行深入分析，可以准确评估桥梁的整体性能和局部损伤。这种技术不仅能够提供关于桥梁结构安全性的可靠数据支持，还能通过科学化检查提高对桥梁整体结构性的了解，为桥梁的安全评估和维护提供有力的科学依据。

一、桥梁振动监测技术的原理与方法

随着我国公共基础设施的规模在不断扩大，桥梁工程项目的数量在不断增加，而随着使用时间的不断增加，大部分桥梁已经进入养护阶段。桥梁养护过程中，传统检测技术多为目测和敲击检测，尽管此方法能揭示部分问题，但对于深层次的路桥质量问题仍力不从心，进而影响了项目的整体效能。在此基础上，进行路桥工程项目的检测工作中，为更好地提升检测效果，落实对路桥项目工程质量的综合性保护，可转而使用桥梁振动监测技术，该技术的主要原理是基于结构动力学原理，通过安装传感器来进一步收集车辆通行与受到风力外部激励的振动数据（如图1），传感器收集到的数据需要进行系统化汇总，用来分析桥梁结构的整体刚度与局部损伤。

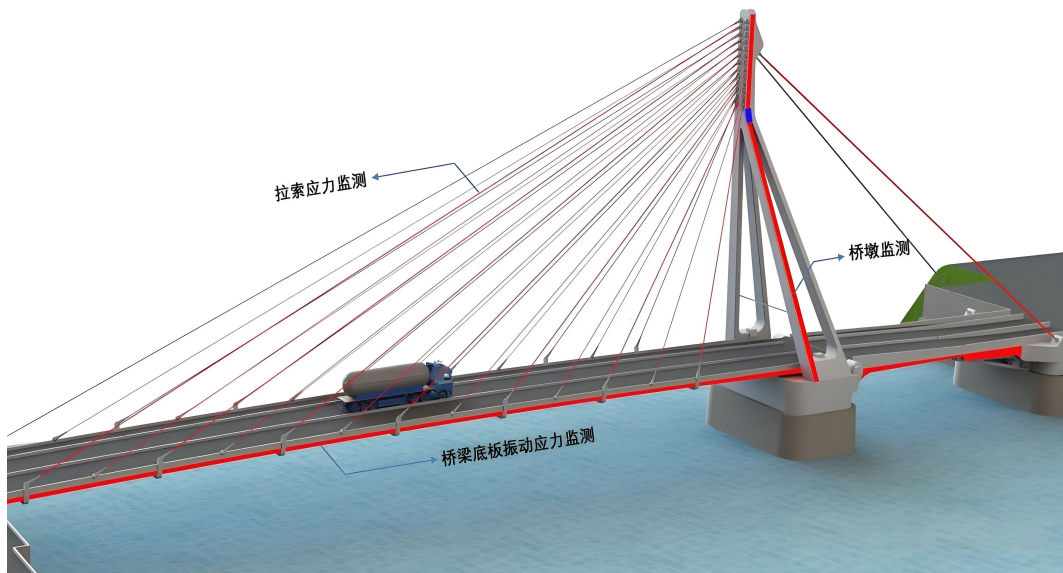


图1 振动检测

（一）自然频率测试

桥梁的自然频率，即结构在自然状态下发生自由振动的固有频率，是评估桥梁整体刚度和质量分布的重要指标。通过桥梁振动检测技术来测量桥梁的自然频率，

可进一步深入了解桥梁的整体质量情况，判断桥梁的刚度是否发生变化，若桥梁受到外界因素发生损伤时，其整体的刚度会下降，自然频率会降低，因此，自然频率测试被大面积使用到桥梁结构的初步损伤检测中。

（二）模态参数识别

模拟参数识别技术通过模拟桥梁在动态荷载下的振动响应，提取相关参数，以评估桥梁结构状态。模拟产生可以更好地反映出桥梁存在损伤的情况，如桥梁在长时间使用过程中出现开裂或者腐蚀的问题，通过模拟产生的方法，能够进一步地掌握结构参数，判断桥梁质量情况，从而根据所得数据综合判断损伤程度，制定桥梁损伤问题的处理方案，满足其综合使用需求。

（三）动态响应分析

动态响应分析是通过监测桥梁的动态荷载数据，如桥梁在动态荷载作用下的加速度、位移加速度等响应参数，了解桥梁的动态特征。动态响应方法能够全面了解桥梁在动态背景下的基础数据情况，完成对各种数据行为的分析，为桥梁安全评估提供数据支持。例如，利用动态响应数据分析，可判断桥梁在汽车通行时的振动是否超标，进而识别桥梁是否存在质量问题，及时处理安全隐患，并有效评估桥梁的行车舒适度。

二、桥梁振动检测技术在道路桥梁中的应用要点

在经济快速发展的背景下，路桥项目工程的整体数量在不断地增加，项目工程的安全性是人们重点关注的内容之一。因此，路桥工程项目使用上，应针对其进行重点的无损检测，全面掌握路桥基础数据，有助于深入了解路桥质量状况，减少损伤风险，提升道路桥梁使用的整体性和舒适度。

针对路桥工程项目来说，由于其整体的规模较大，因此在实际施工环节所涉及的施工技术与施工环节也较多，同时，完成无损质量监测需要系统化、科学化的工作流程。路桥安全评估工作是维护路桥项目质量安全的重要方法，社会快速发展的今天，人们对于路桥项目的安全性关注度较高，因此，选择科学合理的路桥安全评估技术，对其日后的使用与维护有着重要意义。而桥梁振动检测技术在道路桥梁的安全评估工作中具有重要的意义，首先，其能够完成无损检测的工作要求。其次，可以更好地掌握路桥项目的准确数据，为后期维修与养护工作的开展奠定坚实基础。

桥梁振动检测技术对维护桥梁正常运转有着重要意义，合理使用该技术，能确保工程结构展现出优异的应用成效。桥梁的安全性对于陆路交通来说有着重要的意义，其是连接两个区域的主要方式，而振动检测对于桥梁项目来说也有着较为重要的意义，合理实施振动检测，既能避免对桥梁结构造成损害，又能迅速完成安全质量检测。通过分析收集的数据，可准确评估桥梁现状，进而制定贴合实际的解决方案，满足路桥工程的科学化使用需求。其次，桥梁振动检测方法不再受到外界各方面因素的影响，如各种自然因素导致桥梁本体出现结构损坏的情况，但桥梁振动监测技术通过传感器进行相应的振动数据收集，不仅可收集到车辆通行造成的振动数据，

同时也可以收集各种自然环境造成的影响，全面分析有关数据，进一步掌握桥梁实施的状态情况，根据有关情况制定相应的应对方案，综合满足桥梁实际使用需求，进而提升桥梁结构的稳定性和安全性。

根据全球桥梁倒塌事件的统计分析，大约 40% 的桥梁在具体结构和功能方面存在一定问题，这导致了桥梁无法满足实际需求的全面融合。桥梁缺陷问题的成因多样，包括混凝土碳化、氯离子侵蚀、钢筋锈蚀、伸缩缝破损与支座脱空、裂缝等。这些病害类型和原因的详细分析有助于更好地理解桥梁在长时间使用后可能出现的严重质量问题，以及为何需要定期检测与维护来保证桥梁的整体使用效果。桥梁振动检测可长时间对桥梁的状态进行了解，无论是外界因素或是桥梁自身问题都可通过该方法进行检测，从而进一步掌握桥梁的实时状态，根据桥梁现有状态制定维修和养护的方案，使桥梁发生安全问题的概率全面降低。

三、桥梁振动检测技术的挑战与应对策略

（一）数据处理的复杂性

在进行桥梁振动检测的过程中，会产生大量的、复杂的数据集，这些数据集的处理和分析工作需要依赖于高效的数据处理算法和技术手段。为应对此挑战，可借助云计算和大数据等先进技术，大幅提升数据处理效率。此外，通过开发和应用智能算法，可以实现对振动数据的自动识别和分类，这不仅能够提高数据处理的准确性和可靠性，还能进一步优化整个检测过程的效率和质量。云计算的强大计算能力助力快速处理海量数据，大数据技术则能从中挖掘出有价值的信息。利用智能算法，诸如机器学习与深度学习技术，我们能够学习并识别桥梁的振动模式，进而实现对其健康状况的实时追踪与预测性维护。这些技术的综合运用，不仅显著提升了桥梁检测的自动化程度，更为桥梁的长期安全运行提供了坚实的技术支撑。

（二）传感器布置的合理性

传感器的布置位置和数量对于桥梁振动检测结果的准确性具有至关重要的作用。为了确保检测结果的可靠性，必须根据桥梁的结构特点和检测需求来合理地布置传感器。在实际应用中，可以采用有限元分析等方法对桥梁的结构进行模拟和分析，从而确定传感器的最佳布置位置和数量。此外，还可以采用无线传感器网络等先进的技术手段来实现传感器的灵活布置和高效管理，这样不仅能够提高检测的精确度，还能降低维护成本和提高数据传输的稳定性。通过精心选择传感器的布置位置，我们能够更精确地捕捉到桥梁在不同负载及环境条件下的动态响应，这对于评估桥梁健康状态及预测潜在结构问题具有关键作用。因此，传感器的布置策略需要综合考虑桥梁的材料特性、几何形状、使用环境以及预期的检测频率等因素，以确保能够全面而准确地监测桥梁的结构行为。

四、桥梁振动检测技术在路桥安全评估中的应用

(一) 高速公路桥梁安全评估

高速公路桥梁的安全评估具有较为重要的意义，高速公路桥梁总体风险评估是测试桥梁安全的重要检测数据（表1），桥梁的安全状况直接影响到交通的顺畅与安全。通过振动检测技术的应用，能够及时发现并处理桥梁的潜在问题，使用自然频率测试和模态参数识别的方法，完成对高速公路桥梁各项数据的准确收集，确保桥梁结构的安全性和耐久性。这不仅提升了桥梁的使用寿命，也为高速

公路的畅通无阻提供了坚实保障，高速公路桥梁所需要承载的荷载力较大，并且桥梁通过的车辆较多，种类也较为复杂，因此，振动监测技术的应用显得尤为重要，它能有效识别桥梁在复杂荷载下的微小变化，提前预警潜在风险，确保桥梁在高负荷运行中的安全稳定。高速公路桥梁支撑座容易发生损伤，可使用桥梁振动检测方法，有效检测桥梁的刚度，从而判断其支撑座是否有损伤问题，及时发现并修复损伤，确保桥梁结构安全，避免因支撑座问题导致的重大安全事故，保障交通顺畅。

表1 高速公路桥梁总体风险评估

评估指标	分类	分值	得分
建设规模 (A1)	100米 ≤ L ≤ 1000米 或 40米 ≤ LK ≤ 150米	1-2	2
地质条件 (A2)	地质条件较好，基本不影响施工安全因素	0-1	1
气候环境条件 (A3)	气候环境一般，可能影响施工安全，但不显著	1-3	3
地形地貌条件 (A4)	平原区	0-1	1
桥位特征 (A5)	跨河，通航等级7级及等外	0-1	1
施工工艺成熟度 (A6)	施工工艺较成熟，国内有相关应用	0-1	1

(二) 桥梁加固改造项目中应用

桥梁长时间使用会出现质量问题，如材料老化、结构损伤等情况，针对此情况，需要对项目进行改造维修。而桥梁振动监测技术在改造维修中发挥关键作用，可将其应用到桥梁拆除养护之前状态评估工作中，收集桥梁当前的状态，并进行记录。在桥梁完成改造后，振动检测技术再次应用于新结构的评估，收集各方面数据，与改造前的数据进行对比分析，验证改造效果，确保新结构的安全性和可靠性，为桥梁的长久使用提供科学依据。改造前振动响应明显低于改造后，表明改造措施显著提升了桥梁的整体性能，有效降低了振动幅度，提高了桥梁的承载能力和稳定性。

自检，同时邀请监理单位抽查，并争取当地政府监督检查，确保参建单位间协同合作。唯有专业人员细致检验，及时发现并解决问题，借助现代检测技术，方能推动路桥产业健康发展，进而完善检验制度。

(三) 检测制度的完善

不断在道路桥梁检测中改进系统的检测是至关重要的，对于施工的效率有很大帮助。值得注意的是，当前道路桥梁工程质量管理体系尚不能满足实验技术要求，因此，必须采取措施提升施工质量。另外，在提升质量的同时还要注重完善检测制度，能够准确促进路桥检测技术的运用。

结语

综上所述，路桥项目的检测技术在日常应用中至关重要，桥梁振动检测技术通过自然频率测试、模态参数识别、动态响应分析等方式可准确掌握桥梁的基础状态，从而判断出桥梁的安全性和耐久性，为后续维护和加固提供科学依据。桥梁振动检测技术的应用，显著增强了路桥工程的安全性评估能力，有效规避潜在风险，保障了桥梁的持续稳定运行。该技术的推广与应用，将为我国路桥事业的长远发展奠定坚实基础，助力交通基础设施的高质量建设。

参考文献

- [1] 阿荣, 娜布其, 白建光. "桥梁检测与加固"课程实验教学探索[J]. 科技风, 2024(36): 104-106.
- [2] 饶欢. 静载试验在公路桥梁检测中的作用分析[J]. 工程技术研究, 2023, 5(11): 22-24.
- [3] 袁波. 非线性声学检测方法在桥梁检测中的可行性分析[J]. 交通世界, 2024(33): 146-148.
- [4] 祁兴莲. 新型试验检测技术在公路桥梁检测中的应用[J]. 工程技术研究, 2024, 9(21): 46-48.
- [5] 王修本. 声波检测技术在混凝土桥梁检测中的应用[J]. 安徽建筑, 2022, 29(3): 163, 192.

五、桥梁振动检测技术在路桥安全评估中的应用保障

(一) 提高试验检测人员的专业技术水平

目前，我国的路桥检测工作已经得到了较为全面的发展，但在实际工作中仍然存在较多的问题。首要问题是工作人员的专业化技术水平不足。桥梁振动检测技术对于路桥项目的使用有着重要影响，在具体工作中，需要专业化人员来完成实际操作，但目前工作人员的专业化技术无法满足有关要求，导致检测结果精准度不高，影响桥梁安全评估的可靠性。为解决这一问题，应加强对专业检测人员的技术培训，定期举办相关培训活动，并助力检测人员提升专业技能和理论知识水平，确保他们能在桥梁试验中准确测量，从而有效提升道路桥梁的工程质量和施工效率。

(二) 路桥质量控制

根据中国路桥工程行业的发展现状和投资规划，目前我国大部分路桥工程建设主要依赖于个别经营单位来实施和完善。但在实际工作中，有很多的问题如：施工制定的方案少、施工管理的实施不规范、施工技术不加强等等。因此，在路桥质量控制方面，施工单位应严格