

道路桥梁无损检测新技术及方案优化

文 / 尹夕鸣 广西交通工程检测有限公司

李 浩 广西壮族自治区靖西公路养护中心

摘要：道路桥梁无损检测在保障桥梁安全、延长使用寿命、减少维护成本、提高运营管理水平等方面具有至关重要的作用。它不仅是桥梁健康管理的技术支撑，也有助于提高社会交通安全水平，为人民群众的出行提供有力保障。本文结合道路桥梁无损检测新技术及方案优化策略进行分析，以供参考。

关键词：桥梁工程；无损检测；新技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.16.069

引言

桥梁的安全性直接关系到公众的生命财产安全，及时的检测与维护能够减少不必要的恐慌和不信任。对于桥梁的改建、扩建或加固等决策，检测数据能够提供详细的指导信息。无损检测的结果能够帮助设计师和工程师更加精准地制定出合理的方案，减少工程项目的风险，确保工程的顺利进行。

一、道路桥梁无损检测的重要性

（一）保障公共安全，延长桥梁使用寿命

道路桥梁作为交通运输的主要承载体，承担着大量的车辆和行人流量。无损检测能够帮助及时发现桥梁结构中的隐患、损伤或老化现象，防止潜在的灾难性事故发生。例如，桥梁结构的疲劳裂纹、腐蚀、变形等问题，通过无损检测可以早期发现并采取相应的修复措施，有效避免交通事故或结构倒塌等灾难。通过无损检测，可以精确地评估桥梁的结构健康状况，帮助进行科学合理的维修和加固，从而延长桥梁的使用寿命。定期的无损检测可以让工程师及时调整养护计划，使得桥梁维护更加精细化、精准化，避免了不必要的频繁大修或过度加固，节约了维修成本。

（二）节约维护成本，提高桥梁运营管理水平

无损检测技术可以在不破坏桥梁结构的前提下，准确地评估出桥梁可能存在的缺陷或疲劳点。通过及时发现问题，能避免发生大规模、无法修复的损坏，从而减少昂贵的维修和重建费用。此外，无损检测有助于合理规划维修工作，确保资金的合理使用。定期进行无损检测能够为桥梁运营管理提供准确的数据支持，帮助管理部门及时了解桥梁的健康状态，确保桥梁的安全性、可靠性和高效性。同时，检测结果可作为桥梁后期维修和加固的依据，为决策者提供科学的数据支持。

二、道路桥梁无损检测新技术的类型

（一）磁粉检测技术

磁粉检测技术是一种常用的表面缺陷检测方法，适用于对铁磁性材料表面及近表面缺陷的检测。在桥梁钢结构表面施加磁场，若表面存在裂纹或缺陷，磁场会发生畸变，进而在表面形成磁粉聚集现象，能够直观地显示出裂纹或缺陷的位置。广泛用于钢桥、钢筋混凝土桥

的表面裂纹、腐蚀及焊接接头等的检查。操作简单、检测结果直观、适用于较小的缺陷检测。

（二）渗透检测技术

渗透检测技术是用于检测桥梁表面微小裂纹和孔洞的无损检测方法。通过向桥梁表面涂覆渗透液，利用液体能够渗透到裂纹或孔隙中，通过清洗后涂覆显像剂，从而使裂纹或缺陷显现出来。适用于桥梁表面微小裂纹、孔洞等的检测，尤其在金属和非金属材料的表面缺陷检测中有广泛应用。操作简单、便于现场使用、能够高精度检测表面缺陷。

（三）涡流检测技术

涡流检测技术利用电磁原理来探测导电材料的缺陷，主要用于金属材料的表面和近表面缺陷检测。通过产生一个高频电流在导电材料中，形成涡流，当材料内部存在缺陷时，涡流的路径会受到扰动，导致电流的变化，进而检测出缺陷的存在。适用于钢铁、铝合金等金属桥梁部件的缺陷检测，尤其对表面裂纹、腐蚀损伤等具有较好的敏感性。无需接触被测物体，可以对非常小的裂纹或腐蚀进行检测，且检测速度较快。

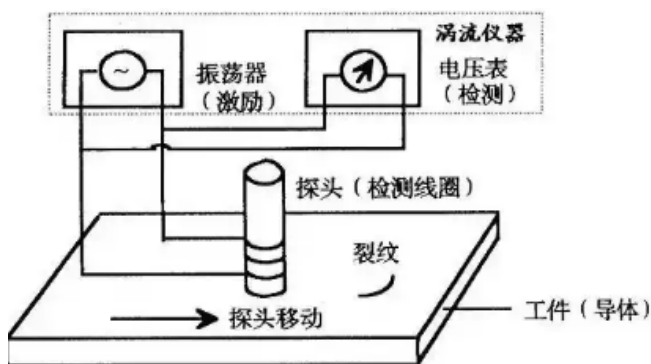


图1 道路桥梁涡流检测原理图

（四）射线检测技术

射线检测技术是通过电离辐射（如X射线或 γ 射线）穿透桥梁结构，检测结构内部的缺陷或不均匀性。射线通过被检测物体时，若物体内部有缺陷（如裂纹、空洞等），会改变射线的吸收或透射特性，进而产生影像，显示缺陷位置和大小。适用于桥梁中混凝土、

钢铁结构的内部缺陷检测，尤其对复杂结构的检测非常有效。可以检测到内部缺陷，且具有较高的检测精度。

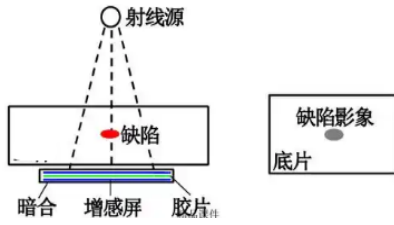


图2 道路桥梁射线检测原理图

(五) 超声波检测技术

超声波检测技术通过高频声波探测桥梁结构中的缺陷，广泛应用于金属、混凝土等材料的检测。超声波信号通过传感器发送到被检测材料中，遇到缺陷时会发生反射，反射波经过分析后，可以确定缺陷的位置、大小及性质。超声波检测可用于金属桥梁的裂纹、腐蚀、焊接接头等的检测，也广泛应用于混凝土桥梁中的气泡、裂纹等问题。能够检测到结构内部的缺陷，且适用于多种材料（如金属、混凝土等），精度高。

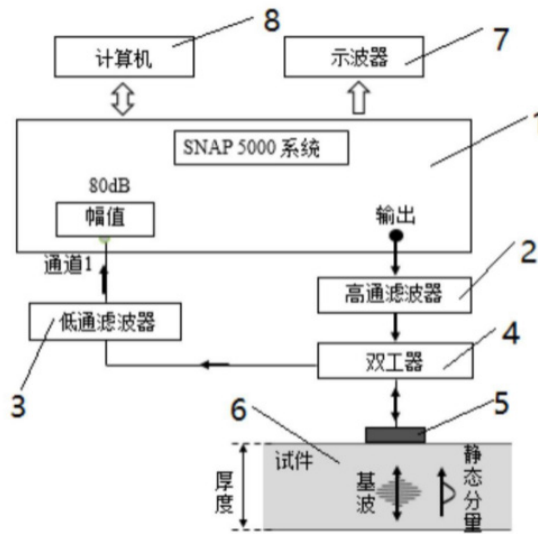


图3 道路桥梁超声波检测原理图

(六) 金属磁记忆检测技术

金属磁记忆检测技术是通过检测金属材料表面及其附近区域的磁场变化，来判断材料的应力状态、腐蚀程度及潜在裂纹。金属在磁场作用下会形成一定的磁记忆，材料表面及其内部的应力和缺陷会导致磁场分布的变化。通过测量这些变化，可以了解金属的疲劳程度、应力集中及裂纹等信息。适用于钢结构桥梁的应力检测、裂纹评估以及腐蚀的检测等，特别适合桥梁长期运行状态下的监测。能够提供全面的应力和损伤信息，且对深层缺陷具有较高的灵敏度，不需要直接接触材料表面。

三、道路桥梁无损检测新技术方案优化策略

(一) 综合多种检测技术

各类无损检测技术（如超声波、磁粉检测、渗透检测等）在桥梁检测中有各自的优势和适用范围，单一检测方法往往难以全面发现和评估桥梁的各种潜在缺陷。因此，结合多种技术进行综合检测，可以弥补各自的不足，提供更加准确和全面的检测结果。超声波检测用于检测桥梁结构内部的缺陷，能够准确识别裂纹、空洞等内部问题。它能够提供缺陷的位置、类型和大小等详细信息。磁粉检测主要用于检测桥梁表面缺陷，如裂纹、分层等。通过磁粉在桥梁表面形成图像，可以快速、有效地识别表面缺陷。渗透检测适用于表面裂纹的检测，通过液体

渗透到裂纹中，经过显像剂的作用，能够揭示表面微小的裂纹，尤其是对于光滑表面的裂纹检出非常有效。将这些检测技术结合使用，能够从不同的角度对桥梁结构进行全面评估，避免因单一技术的局限性而错过潜在的风险点。例如，结合超声波和磁粉检测，既能评估内部缺陷，也能确认表面裂纹，从而提供更精确的诊断。此外，开发集成多种检测技术的智能平台，如结合超声波、射线检测、涡流检测等技术的综合检测系统，能够进一步提高检测的全面性和准确性，减少遗漏，提高检测效率。

(二) 提高检测效率与自动化水平

引入自动化技术、机器人技术以及智能数据处理方法，可以有效减少人工干预，提升检测的效率与准确性。无人机可以快速、精准地对桥梁进行高效巡检，尤其适用于难以接触的高空或狭窄区域。无人机配备高清摄像头、红外成像和激光雷达等设备，能够捕捉到桥梁表面和结构的细节图像，实时传输数据，减少人工检测的时间与风险。机器人能够进入到桥梁结构内部，进行更精细的检查，尤其是一些人力难以到达的部位，如桥梁的下部或内腔。机器人可以配备各种传感器，如震动传感器、超声波传感器等，用来检测桥梁的裂缝、腐蚀、磨损等情况。通过高清摄像技术，能够获取桥梁表面细微的损伤、裂纹、脱落等情况，而红外成像技术则可以通

过温度差异检测桥梁表面的异常区域，从而发现潜在的裂纹或腐蚀区域。两者结合使用可以提供更全面的数据支持。在桥梁上安装智能传感器（如位移传感器、应变计、加速度计等），能够实时采集应力、位移、振动等信息。通过传感器网络，将数据实时传输到云平台或数据中心进行处理，利用大数据分析技术对桥梁状态进行评估和诊断。云平台可以集中存储与处理检测数据，并通过算法分析发现异常情况。通过智能分析系统，桥梁的健康状态可以得到全面评估，从而优化检测策略，避免了传统人工检测中的漏检、误检问题。

（三）数据处理与智能分析

1. 大数据技术与机器学习分析

在桥梁检测过程中，会产生大量的监测数据，如来自传感器、无人机、机器人、红外成像和超声波检测等多种来源的数据。这些数据通常具有高维度和复杂性，传统的数据处理方法难以满足实时性和准确性的要求。大数据技术可以帮助高效存储、管理并处理这些海量数据。通过数据融合和特征提取技术，可以从这些原始数据中提取出与桥梁健康状况相关的关键特征，减少冗余信息，提高后续分析的效率。机器学习算法，尤其是深度学习、支持向量机（SVM）、随机森林等技术，能够从大规模数据中学习桥梁损伤的规律和特征，自动识别潜在的风险点。例如，通过分析桥梁传感器数据中的异常变化，机器学习算法能够识别出可能的结构损伤，如裂缝、腐蚀等。机器学习还可用于对桥梁的结构健康状态进行分类，帮助区分正常状态和需要维护的状态。

2. 缺陷识别与分类

在桥梁检测中，利用大数据和机器学习技术对桥梁的监测数据进行深入分析，可以帮助实现对缺陷的自动识别和分类。例如，使用超声波、红外线或射线检测技术获取的图像数据，结合图像处理与模式识别技术，能够自动检测并分类不同类型的结构缺陷（如裂纹、腐蚀、空洞等），并对其进行量化评估。这种自动化的缺陷识别和分类方法不仅提高了检测效率，还能有效降低人工误差，提升检测的精度和可靠性。基于长期监测数据的积累，可以利用大数据分析技术对桥梁的健康状态进行趋势预测。通过分析历史数据中的变化趋势，可以预测桥梁结构的老龄化、疲劳等问题。例如，结合振动信号、应变数据、温度变化等信息，可以建立桥梁健康状况的预测模型，对未来可能出现的损伤进行预警。通过数据融合技术，能够将不同检测方法（如超声波、红外成像、射线检测等）的数据进行综合分析，从多个角度评估桥梁的健康状况。例如，超声波数据可以提供桥梁内部结构的信息，而红外成像则能揭示表面的损伤。这些数据的结合，有助于实现对桥梁整体健康状态的精确评估，从而提高桥梁管理的决策依据。

3. 图像处理与模式识别

在桥梁的无损检测过程中，尤其是使用红外、射线、超声波等非接触式检测技术时，获取的图像数据需要进行

详细处理与分析。图像处理技术通过对图像进行去噪、增强、分割等处理，可以突出显示结构缺陷所在，提高识别的清晰度和精度。自动化图像分析能够快速识别裂纹、腐蚀、剥离等缺陷，减少人工分析中的误差，提升诊断的准确性。结合模式识别技术，能够自动从大量的图像或信号数据中提取出具有代表性的特征，并进行分类识别。模式识别不仅适用于裂纹的检测，还可以用于更复杂的结构问题，如应力集中、材料退化等。通过训练模式识别模型，系统能够在新的检测数据中迅速识别出与历史数据相符的损伤模式，实现自动化的桥梁健康诊断。基于上述的数据处理与智能分析技术，可以实现对桥梁健康状态的实时监控和预警。通过建立健康预测模型，结合传感器采集的实时数据，系统能够在桥梁出现异常时及时发出预警，并根据历史趋势预测可能的损伤发展，提前采取修复措施。此外，智能决策支持系统能够根据分析结果提供维护建议，帮助桥梁管理者合理安排维修与保养计划，优化资源分配，延长桥梁的使用寿命。

（四）定期检修与数据反馈

建立定期检查制度，配合检测数据反馈机制，优化检测方案。制定基于桥梁使用年限和负载情况的定期检查计划，确保在桥梁老化、受损的关键时刻进行及时检查和维修。根据每次检测结果进行反馈，并根据检测中出现的新问题进行动态优化检测方案，确保方案的适应性和时效性。桥梁的检测方案需根据环境条件（如气候、湿度、温度等）来优化，确保检测结果的准确性。

结语

道路桥梁无损检测技术方案的优化是确保检测工作高效、精确和经济的关键。优化策略不仅有助于提升检测质量，还能在保障安全的基础上，减少时间、成本和人工资源的投入。道路桥梁无损检测方案的优化策略是多方面的，既需要技术上的创新与整合，也需要考虑环境、人员、成本等因素。通过综合应用多种检测技术、提高自动化水平、采用智能分析手段和实时监测系统，可以实现更高效、更精确的桥梁健康管理，保障桥梁的安全运行，减少维护成本，并提高公共交通设施的使用寿命。

参考文献

- [1] 黄德荣, 周科成, 魏涵雨, 姚元军. 钢结构桥梁常见质量缺陷分析及处理方法 [J]. 云南水力发电, 2024 (12).
- [2] 魏玉文. 钢结构桥梁检测及评估研究 [J]. 交通世界, 2023 (32).
- [3] 童龙. 公路钢结构桥梁抗疲劳设计方法研究 [J]. 运输经理世界, 2024 (03).
- [4] 安小军. 钢结构桥梁中防腐蚀技术的创新与应用工程与建设, 2024 (01).
- [5] 张宜巍. 钢结构桥梁加工安装施工技术要点 [J]. 中华建设, 2024 (05).