

高速公路桥梁健康监测与养护技术

赵文涛

山西省交通建设工程质量检测中心(有限公司) 山西 太原 030032

摘要: 高速公路桥梁健康监测与养护技术涵盖多个关键领域。传感器技术实时捕捉桥梁状态信息,为健康评估提供基础数据。无损检测技术如超声波、X射线及红外热像,有效检测桥梁内部及表面缺陷。影像技术通过高清摄像头和三维扫描,直观展示桥梁变形情况。远程监控与数据分析技术实现实时监测与预警,提升养护效率。养护技术方面,裂缝处理、伸缩缝养护及桥梁加固技术,确保桥梁结构安全与延长使用寿命,共同保障高速公路桥梁的安全运行。

关键词: 高速公路;桥梁健康监测;养护

引言:高速公路桥梁作为交通网络的关键节点,其结构健康与安全直接关系到交通运输的顺畅与公共安全。随着交通流量的持续增长和自然环境的不断变化,桥梁面临着越来越多的挑战,如长期荷载作用下的疲劳损伤、环境侵蚀导致的材料老化等。因此,开展高速公路桥梁健康监测与养护技术研究,对于及时发现桥梁安全隐患、预防事故发生、延长桥梁使用寿命具有重要意义。

1 高速公路桥梁健康监测与养护的必要性

高速公路桥梁作为连接城市与乡村、促进经济发展的重要交通基础设施,其健康状态直接关系到交通安全、行车舒适度和公众生命财产安全。因此,对高速公路桥梁进行健康监测与养护具有极高的必要性。第一,桥梁在长期使用过程中,会受到自然环境、交通荷载、材料老化等多种因素的影响,导致结构性能逐渐下降,甚至可能出现安全隐患。通过健康监测,可以及时发现桥梁结构的异常变化,如裂缝扩展、位移过大、振动异常等,从而提前采取措施进行养护,避免事故的发生。第二,高速公路桥梁的健康状态直接影响到行车安全。如果桥梁存在安全隐患,将严重威胁过往车辆的行驶安全,可能导致交通事故的发生^[1]。通过健康监测,可以实时掌握桥梁的安全状况,为交通管理部门提供决策依据,确保行车安全。第三,桥梁的健康监测还有助于提高行车舒适度。桥梁的振动、噪声等都会影响到行车的舒适度。通过健康监测,可以及时发现并处理这些问题,提高行车质量,提升公众对高速公路的满意度。第四,对高速公路桥梁进行养护也是延长其使用寿命、节约社会资源的重要手段。通过定期养护和保养,可以及时发现并修复桥梁的损坏部分,防止问题进一步恶化,从而延长桥梁的使用寿命,减少重建或大修的成本。

2 高速公路桥梁健康监测技术

2.1 传感器技术

在高速公路桥梁健康监测中,传感器技术主要包括位移传感器、应力/应变传感器、温度传感器等多种类型。位移传感器用于监测桥梁结构的位移变化,能够反映出桥梁在外部荷载作用下的变形情况。通过位移传感器的监测数据,可以及时发现桥梁结构的异常变形,为评估桥梁的稳定性和安全性提供重要依据。应力/应变传感器则用于监测桥梁结构的应力分布和应变状态。通过测量桥梁各部位的应力/应变值,可以了解桥梁在荷载作用下的受力情况,及时发现潜在的结构损伤或安全隐患。这对于评估桥梁的承载能力、预测桥梁的剩余寿命具有重要意义。温度传感器则用于监测桥梁结构的温度变化。温度变化会对桥梁材料的性能产生影响,从而影响桥梁的整体稳定性。通过温度传感器的监测数据,可以分析温度对桥梁性能的影响程度,为制定合理的养护措施提供科学依据。这些传感器通过高精度的测量和实时的数据传输,能够实现对桥梁状态的全面监测和评估。同时,随着传感器技术的不断发展,越来越多的新型传感器被应用于桥梁健康监测中,如光纤传感器、加速度传感器等,这些新型传感器具有更高的精度和更广泛的应用范围,为桥梁健康监测提供了更加全面和准确的数据支持。

2.2 无损检测技术

2.2.1 超声波检测

超声波检测作为一种先进的无损检测技术,在桥梁健康监测领域发挥着至关重要的作用。它利用超声波在介质中传播时遇到不同介质界面会发生反射、折射和散射等特性,通过向桥梁结构内部发射超声波并接收反射回来的信号,工程师们能够深入分析桥梁内部的微观结

构和缺陷情况。这种方法不仅能够精确检测出桥梁中的裂纹、空洞、夹杂物等缺陷，而且具有非破坏性、检测范围广泛、定位准确度高、检测速度快等优点，是确保桥梁结构安全、提升养护效率不可或缺的一种技术手段。

2.2.2 X射线检测

X射线检测是一种高效且精确的无损检测技术，广泛应用于桥梁结构的健康监测中。该技术利用X射线的高穿透性，通过向桥梁发射X射线并接收透射过来的信号，能够清晰地揭示桥梁内部的结构特征和潜在缺陷。对于桥梁中的焊缝质量、裂纹扩展以及材料内部的夹杂物等关键缺陷，X射线检测具有独特的检测优势，能够提供详尽且直观的检测结果。然而，值得注意的是，X射线对人体具有一定的辐射危害。在进行X射线检测时，必须严格遵守相关的安全规范，采取必要的防护措施，如穿戴防护服、佩戴防护眼镜等，以确保检测人员的人身安全。此外，检测设备的选择和操作也需要严格按照标准执行，以确保检测结果的准确性和可靠性。通过这些措施，X射线检测在桥梁健康监测中发挥着不可替代的作用，为桥梁结构的养护和修复提供了有力的技术支持。

2.2.3 红外热像检测

红外热像检测技术在桥梁健康监测领域展现出了独特的优势。它利用红外热像仪对桥梁表面进行非接触式的温度测量，通过捕捉并分析桥梁表面释放的红外辐射，能够实时生成清晰的热像图，直观展示桥梁表面的温度分布情况。这种方法对于发现桥梁中的热异常区域、热损伤或潜在的结构缺陷尤为有效，如桥梁连接部位的过热、材料内部的热损伤等。红外热像检测的非接触性、实时性和直观性等特点，使其成为桥梁健康监测中一种不可或缺的重要辅助手段，为桥梁的安全运行提供了有力的技术支持。

2.3 影像技术

在高速公路桥梁健康监测领域，影像技术作为一种直观且高效的监测手段，正逐渐成为不可或缺的一部分。通过高清摄像头、三维激光扫描仪等影像设备，我们可以捕捉到桥梁的实时影像信息，进而对桥梁的结构状态、变形情况等进行全面的分析和评估。影像技术主要包括数字摄影测量和三维激光扫描两大类。数字摄影测量利用高分辨率的摄像头捕捉桥梁的影像，并通过图像处理技术提取桥梁的几何尺寸和变形信息。这种方法具有操作简便、成本低廉的优点，适用于对桥梁的整体变形情况进行初步监测^[2]。而三维激光扫描技术则通过激光扫描仪对桥梁进行全方位的扫描，生成高精度的三维

模型。这种技术不仅能够捕捉到桥梁表面的细节信息，还能够实现对桥梁内部结构的可视化监测。通过对比不同时间点的三维模型，我们可以直观地看到桥梁的变形情况，为桥梁的健康评估和养护提供有力的数据支持。此外，影像技术还具有实时监测和远程监控的优势，通过安装高清摄像头和远程监控系统，我们可以实时获取桥梁的影像信息，并对其进行远程分析和处理，这大大提高了监测的效率和准确性，降低了人工监测的成本和风险。

2.4 远程监控与数据分析技术

在高速公路桥梁健康监测技术体系中，远程监控与数据分析技术占据着举足轻重的地位。这一技术组合不仅实现了对桥梁状态的实时监测，还通过深度数据分析，为桥梁的健康管理和养护决策提供了科学依据。

(1) 实时监测能力：远程监控系统能够实时接收来自桥梁现场的各种传感器数据，包括位移、应力、温度等关键参数。这些数据通过无线网络传输至监控中心，使工程师能够即时掌握桥梁的运行状态，及时发现异常变化。(2) 数据分析与预警：收集到的数据经过专业软件的分析处理，能够揭示桥梁结构的健康趋势和潜在风险。通过数据分析，可以预测桥梁可能发生的故障类型、位置和时间，为预防性养护提供重要依据。同时，系统还能设置预警阈值，一旦数据超出正常范围，立即触发报警机制，确保及时响应。(3) 远程操控与响应：远程监控系统的另一大优势在于，它允许工程师在远离现场的情况下，对监测设备进行远程调试和控制。这不仅提高了工作效率，还降低了人员进入危险区域的风险。(4) 历史数据追溯：系统能够存储大量历史数据，为桥梁的长期健康评估和养护历史记录提供宝贵资料。这些数据有助于识别桥梁性能随时间的变化规律，为未来的养护策略制定提供参考。(5) 智能化决策支持：结合人工智能和机器学习技术，远程监控与数据分析系统能够进一步智能化，自动识别桥梁状态，提出养护建议，甚至预测未来可能的养护需求，从而显著提升桥梁管理的科学性和效率。

3 高速公路桥梁养护技术

3.1 桥梁裂缝处理技术

高速公路桥梁的裂缝处理是养护工作中的关键环节，直接关系到桥梁的结构安全和耐久性。以下是根据不同方面的裂缝处理技术概述：(1) 裂缝检测与评估：通过专业的裂缝检测设备对桥梁进行全面检查，准确测量裂缝的宽度、长度和深度。同时，评估裂缝对桥梁结构安全的影响程度，为后续的裂缝处理方案提供依据。

(2) 表面封闭处理: 对于宽度较小、深度较浅的裂缝, 通常采用表面封闭处理技术。这包括使用裂缝封闭剂、环氧树脂等材料填充裂缝表面, 以防止水分和有害物质侵入, 延缓裂缝扩展。(3) 压力注浆技术: 对于宽度较大、深度较深的裂缝, 采用压力注浆技术更为有效。该技术通过高压注浆设备将注浆材料注入裂缝内部, 填充裂缝并恢复其原有的强度和刚度。注浆材料的选择应根据裂缝的性质和桥梁的材质来确定。(4) 碳纤维加固技术: 在某些情况下, 裂缝可能伴随着结构强度的降低。此时, 可以采用碳纤维加固技术, 通过粘贴碳纤维布或碳纤维板来增强桥梁结构的承载能力。这种技术具有重量轻、强度高、施工方便等优点。(5) 长期监测与养护: 裂缝处理后, 需要对桥梁进行长期监测, 以评估裂缝处理的效果并及时发现新的裂缝。同时, 根据监测结果制定养护计划, 确保桥梁的长期安全运行。

3.2 伸缩缝养护技术

3.2.1 伸缩缝的作用与重要性

伸缩缝是高速公路桥梁结构中不可或缺的一部分, 其主要作用是适应桥梁因温度变化、荷载作用等因素产生的伸缩变形, 防止桥梁结构因变形过大而受损。伸缩缝的设置能够确保桥梁在各种工况下都能保持结构的完整性和稳定性, 从而延长桥梁的使用寿命。同时, 伸缩缝还能有效减小车辆通过桥梁时的冲击和振动, 提高行车的舒适性和安全性。因此, 伸缩缝的养护工作对于桥梁的整体性能和行车安全具有重要意义。

3.2.2 伸缩缝的检查与清洁方法

伸缩缝的养护工作首先需要对其进行定期的检查和清洁。检查内容包括伸缩缝的变形情况、密封条的完好程度以及是否有杂物堵塞等。清洁时, 应使用专业的清洁工具和清洗剂, 彻底清除伸缩缝内的灰尘、杂物和积水, 确保伸缩缝的畅通无阻。同时, 在清洁过程中要注意保护伸缩缝及其周边的结构, 避免造成不必要的损伤。

3.2.3 伸缩缝的更换与修复技术

当伸缩缝出现严重变形、损坏或密封失效时, 需要及时更换或修复。更换伸缩缝时, 应选择与桥梁结构相匹配的新伸缩缝, 并按照规范要求安装和调试。修复伸缩缝时, 则需要根据损坏情况采取相应的修复措施, 如更换密封条、修补变形部位等。在更换和修复过程中, 要严格控制施工质量, 确保伸缩缝的性能和安全性达到设计要求。

3.3 桥梁加固技术

高速公路桥梁加固技术是提升桥梁承载能力、延长使用寿命的重要手段, 面对桥梁因长期使用、自然环境侵蚀或交通荷载增加而产生的结构损伤, 加固技术显得尤为重要。桥梁加固技术通常包括增大截面加固法、粘贴加固法和预应力加固法等。增大截面加固法是通过增加桥梁构件的截面尺寸, 如增加主梁的高度或宽度, 来提高桥梁的承载能力。这种方法施工简单, 但可能会对桥梁的外观和使用空间造成一定影响^[3]。粘贴加固法则是利用高性能的粘贴材料, 如碳纤维布或钢板, 将其粘贴在桥梁的受力部位, 通过粘贴材料的高强度来增强桥梁的承载能力。这种方法施工方便, 对桥梁的外观影响较小, 且加固效果显著。预应力加固法则是在桥梁结构中引入预应力, 通过预应力的作用来抵消部分荷载, 从而减轻桥梁结构的受力状态, 提高承载能力。这种方法需要专业的施工设备和工艺, 但加固效果持久, 对桥梁的整体性能提升较大。在实施桥梁加固技术时, 需要根据桥梁的实际情况和加固需求, 选择合适的加固方法和材料。同时, 还需要严格控制施工质量, 确保加固效果达到设计要求。此外, 对于加固后的桥梁, 还需要进行定期的监测和养护, 及时发现并处理潜在的问题, 确保桥梁的安全运行。

结语

未来, 随着物联网、大数据、人工智能等前沿技术的持续进步与创新, 高速公路桥梁的健康监测与养护将迎来一场深刻的智能化变革。这些技术将深度融合于桥梁监测体系之中, 实现数据的实时采集、智能分析与精准预警, 显著提升监测效率与准确性。同时, 智能化的养护系统将能够根据监测结果自动制定并执行养护计划, 实现养护工作的精准化、高效化。这一系列的技术革新将为高速公路桥梁的安全运行提供更加全面、可靠的保障, 推动交通运输行业的持续健康发展。

参考文献

- [1] 沈楸. 康爱红. 顾万. 等. 混凝土板梁桥典型病害风险矩阵评估及养护策略研究[J]. 公路. 2020. 65(7): 298-303.
- [2] 陈玉欣. 王娜. 滑坡体上桥梁病害分析及加固技术研究[J]. 公路. 2021(11): 189-193.
- [3] 陈衍永. 高速公路桥梁养护与维修加固施工关键技术分析[J]. 住宅与房地产. 2020(35): 144+151.