

道路桥梁结构健康监测与维护管理

●王 剑



[摘要] 随着我国道路交通设施的快速增长,桥梁结构的作用越来越重要,它是保障交通连通、提高交通效率的关键设施之一。由于桥梁结构长期处于自然环境之中,会受到天气变化的影响。同时长期经受车辆和大风等的多元荷载,其结构应力亦会发生变化。因此必须对桥梁的健康状况进行持续监测,以确保其长期的安全运行。本研究基于现代传感器技术,设计并实施了一种新型桥梁健康监测方案,同时应用了一套完整的桥梁维护管理体系,分析桥梁监测数据,评估桥梁的健康状况,为制定科学的桥梁维护方案提供技术支持。

[关键词] 健康监测;维护管理;传感器技术;风险评估

交通建设迅猛发展的今天,桥梁成为道路交通网络的关键节点,它连接着各地,也推动了交通产业的发展。然而,桥梁在长期的对抗自然恶劣环境及承受交通复杂荷载的过程中,其自身健康面临着严峻的挑战。尤其是通行年限较长的桥梁工程,甚至存在着影响运行安全的风险。

因此对桥梁的持续监测和科学维护就是非常重要的工作,其对于桥梁的安全运行起着重要的保障作用。借助桥梁健康监测,人们可以及时了解桥梁的运行状况。传感器技术在桥梁健康监测的应用不仅增强了桥梁状态监测的时效性,也提高了其准确性,对科学评估桥梁的健康状况具有重要作用。同时,科学的桥梁维护管理体系,可以根据监测数据做出及时准确的维护决策,从而确保道路桥梁的安全运行和延长其服务寿命。针对这两个方面的问题,本文以道路桥梁结构健康监测与维护管理为研究对象,旨在搭建一套完整的桥梁健康监测与维护管理体系。

Q 桥梁结构健康监测的重要性

(一)桥梁结构健康状况对交通的影响

桥梁结构的健康状况对交通系统的安全性和可靠性具有重要的影响。桥梁作为道路交通网络的关键节点,它们的健康程度直接关系到交通流量的顺畅与否。桥梁如果出现健康问题,如结构疲劳、材料老化或损伤,将严重影响交通安全,导致通行能力下降,甚至引发交通堵塞或中断。这不仅影响经济活动和社会运转,也增加了交通事故的风险。当桥梁处于健康状态时,车辆可以顺畅通行,从而可以提高交通效率,减少延误时间。

桥梁结构的健康状况对交通安全性影响不可忽视。桥梁作为重要的结构工程,其失效可能产生严重后果。如果不及及时了解其健康状况并采取适当措施,可能导致结构损坏甚至崩溃,危及人身安全。桥梁结构的持续健康监测成为保障交通安全的必要手段之一。桥梁健康监测能够提供关于结构应力状态、负载效应和环境影响的实时数据,为预防性维护提供依据。

(二)自然环境对桥梁结构的影响

自然环境对桥梁结构的影响是桥梁设计和维护过程中必须考虑的重要因素。桥梁长期暴露在外界环境中,面临着多种自然因素的侵蚀和影响,这对其寿命和安全性构成了巨大挑战。

桥梁的结构性能,受气温变化的影响很大。具体来说,日夜的温度差异,四季的温度变化,都会使桥梁材料产生热胀冷缩的现象。在这个热胀冷缩的过程中,就可能使桥梁结构中出现裂缝,从而影响其负载能力和使用年限。湿度和降水的环境因素,对桥梁的健康也影响较大,尤其是在雨量多发的地区。降雨可能导致桥梁材料的腐蚀和侵蚀。针对钢制桥梁,长时间的湿润环境容易让它产生锈斑。而对混凝土桥梁来说,水的浸渗可能会导致内部的钢筋生锈,结果就会减弱原有的结构强度。冬季的冰雪天气,在增加表面荷载的同时,还有可能引发冻融循环的破坏,从而加速磨损。

风力荷载对桥梁结构的稳定性也构成潜在威胁。在强风作用下,桥梁可能产生振动和挠度,这一现象对悬索桥等长跨度桥梁尤其明显。长期的风力影响可能导致结构疲劳,增加桥梁维护和管理复杂性。自然环境条件的多样

性和复杂性使得桥梁结构在设计和维护过程中必须充分考虑这些因素，以确保其安全性和高效性。

(三)车辆和风的多元荷载对桥梁结构的影响

桥梁结构在道路交通体系中面临车辆和风的多元荷载，两者均对桥梁的安全性和耐久性产生重大影响。桥梁的使用寿命，受车辆荷载的影响较大，诸如轴重荷载、运动荷载、冲击荷载等，它们会引发应力集聚，导致疲劳破损，并加剧结构变形。风荷载的随机性和不确定性，使得桥梁结构有动态反应，特别在跨海大桥和高架桥这些特种建筑上更明显。风荷载的振动和共振可能会引起裂纹的形成，使得桥梁的动刚度减弱。现代设计的原则虽然已对荷载的影响有了全面考量，但荷载形式的复杂多样，加上环境状况的变化无常，仍需借助健康监测系统进行深入研究。对车和风荷载施加于桥梁的影响情况进行实时监测，能总结出荷载引发的结构反应的变化规律，为评估桥梁的健康状况提供科学依据，并在此基础上制定有关的维护决策，提高桥梁的稳定性和安全性。

Q 基于传感器技术的桥梁健康监测方案

(一)现代传感器技术在桥梁健康监测中的应用

现代传感器技术在桥梁健康监测中的应用正日益成为桥梁工程领域的一个重要研究方向。随着桥梁使用年限的增加，其结构健康状况不仅关系到交通系统的稳定运营，更直接影响到公共安全。传感器技术的快速发展为桥梁健康监测提供了高效、精准的技术手段，能够实时获取桥梁结构的各种状态信息。

传感器技术能够有效监测桥梁的应力状态。应力是评估桥梁承载能力和使用寿命的关键指标之一。通过安装在桥梁关键部位的应变传感器，可以实时获取桥梁在各种荷载作用下的应变数据，进而推算出桥梁的应力分布情况，为桥梁的安全评估提供科学依据。

传感技术在桥梁的挠度监测中具有显著的应用价值。挠度反映了桥梁在荷载作用下的变形程度，是反映结构刚度和整体健康状态的重要指标。利用激光传感器或位移传感器，可以连续监测桥梁的变形趋势，及时发现异常变化，防止潜在结构问题的发展。

震动监测也是传感器技术在桥梁健康监测中的另一个重要应用领域。通过加速度传感器可以监测桥梁在风、交通负荷和地震等动荷载作用下的振动响应。这些数据不仅有助于分析桥梁的动态特性，还能提供关于结构疲劳和潜在损伤的重要信息。

现代传感器技术在桥梁健康监测中的应用，通过实时、准确的数据记录和分析，使得桥梁安全状态的评估和管理更为科学、有效，显著提升了桥梁的使用安全性与管理效率。

(二)桥梁应力挠度震动等关键技术指标的获取

在桥梁健康监测中，获取桥梁的应力、挠度和震动等关键技术指标是确保桥梁结构安全和可靠的基础。现代传感器技术的进步为实时监测这些指标提供了有效的工具。通过使用应变片、加速度计和激光测距仪等先进设备，可以高精度地捕捉桥梁在外力作用下的响应。这些传感器通常安装在桥梁的关键结构部位，以实时记录桥梁在不同荷载情况下的应变和变形情况。

应力测量通常通过应变片来进行，这些传感器可以准确记录桥梁材料在荷载下的应力变化，帮助工程师分析结构在各种工况下的强度和稳定性。挠度测量则主要依赖于配备激光测距装置的设备，这些装置能够精确地测量桥梁在施加荷载后产生的垂直位移，从而为结构变形监控提供重要数据支持。震动监测通常由高灵敏度的加速度计完成，其可以捕捉桥梁在风、车辆和地震等动态荷载作用下的振动特性，协助评估桥梁动态性能及其抗震能力。

(三)桥梁病变的快速识别

桥梁病变的快速识别是桥梁健康监测中重要的一环。借助现代传感器技术，可以实现对桥梁结构的实时监测，获取大量的关键数据，如应力、挠度、震动等。这些数据通过先进的数据分析算法和机器学习模型进行处理，可识别出异常的结构响应，从而判定桥梁可能存在的病变。传感器布置在桥梁的关键位置，保证对结构的全面监测。这些技术手段不仅能及时发现潜在问题，还能提供早期预警，有效防止病变程度的加深。基于数据的历史趋势分析，可以预估病变的发展方向，制定合理的干预措施，以降低维修成本，提高桥梁的安全可靠性。实时且高效的识别过程，为保证桥梁的长期健康提供了强有力的技术支持。

Q 桥梁维护管理体系研究

(一)维护管理体系的建立和优化

桥梁维护管理体系的建立和优化是确保桥梁在生命周期内保持良好性能和安全运行的关键环节。在建立体系过程中，需要综合考虑桥梁结构的物理特性、环境条件和历史维护记录等因素，以形成科学、系统的管理流程。先进的传感器技术提供了实时数据支持，使得对桥梁健康状况的持续评估成为可能。这些数据不仅能够反映桥梁在各种荷载下的实际表现，还可以用来预测潜在的结构病变，进而为科学的维护管理决策提供依据。

维护管理体系的优化要求建立一个动态的反馈机制，及时更新和调整维护策略，以适应桥梁使用环境和状态的变化。风险评估在此过程中扮演重要角色，通过分析桥梁可能面临的各种风险及其影响来制定优先级不同的维护计划。由此形成的决策考虑了桥梁的综合状况，将有限的资

源配置到最需要的维护和修复任务中。

(二) 基于风险评估的桥梁维护决策方法

基于风险评估的桥梁维护决策方法是桥梁维护管理体系的重要组成部分,其核心在于通过科学的评估,衡量桥梁在不同条件下的风险水平,为制定维护方案提供依据。制定维护方案需要收集桥梁的物理特性、历史维护记录以及实时监测数据,这些数据能够全面反映桥梁的健康状态和潜在的风险因素。通过对这些数据的分析,可以确定桥梁的关键影响因素,例如材料老化程度、结构疲劳和外部环境影响等等。

风险评估过程中,需要建立适合于桥梁特点的评估模型。此类模型通常结合统计分析和机器学习方法,对桥梁的健康状态进行量化评估。这种评估不仅考虑当前桥梁的物理状况,还结合其历史趋势和未来可能的外部条件变化,为桥梁提供长期的安全预测。

基于这种评估结构,维护决策可以更加精准。决策方法将风险评估结果作为输入,结合维护资源的有效配置,形成优化的维护策略。这不仅提升了桥梁维护的科学性,也有助于合理分配有限的维护资金,从而实现经济效益和安全性的双重保障。最终,通过将风险评估与桥梁的维护决策紧密结合,可以显著提高桥梁管理的效率与效能,确保道路交通的安全通畅。

(三) 桥梁物理特性历史维护记录和实时监测数据在维护管理中的应用

在桥梁的维护管理体系中,桥梁的物理特性、历史维护记录和实时监测数据的应用极为重要。桥梁的物理特性,包括材质、结构类型和地理位置,是评估其健康状况和预测其未来性能的基础。这些特性决定了桥梁面临的潜在环境和荷载因素,对维护策略的选择具有重要指导作用。

历史维护记录为桥梁维护管理提供了重要的参考。这些记录包含过往的修缮和维护活动、以往检测到的问题及其解决方案。通过分析历史记录,可以发现桥梁的薄弱环节和常见故障模式,帮助制定针对性的维护计划。这种历史数据的积累有助于建立桥梁生命周期的全景视图,为长期的维护决策提供依据。

实时监测数据则为桥梁健康状况的动态评估提供可能。通过传感器技术收集的数据,包括应力、挠度和振动等,能够实时反映桥梁的运行状态。当出现异常变化时,监测系统可以发出预警,提示可能的结构问题。这种实时信息与

历史记录结合,可以提高风险评估的准确性,使得维护活动更加及时和有效。

在桥梁维护管理体系中,综合利用桥梁的物理特性、历史维护记录和实时监测数据,不仅可以增强桥梁的安全性和可靠性,还能够优化维护资源的配置,延长桥梁的使用寿命。这样的方法使得维护策略更加科学,有助于保障道路交通设施的长期稳定运行。

Q 结束语

本研究以现代传感器技术为基础,针对桥梁结构的健康监测与维护管理进行了深入研究。我们设计并实施了一种桥梁健康监测方案,开展了一套完整的桥梁维护管理体系,可以处理桥梁监测数据,评估桥梁的健康状况,提供科学的维护决策支持。研究结果显示,运用该监测体系,可以有效地获取桥梁的应力、挠度、震动等关键技术指标,快速识别桥梁潜在的病变。通过集成的维护管理系统,制定基于风险评估的桥梁维护方案。结合桥梁的物理特性、历史维护记录和实时监测数据,使得维护决策更有科学依据,为提高我国道路桥梁的安全性与耐久性提供有力的支持。桥梁健康问题的涵盖范围广泛,本研究仅就传感器监测技术和桥梁维护管理体系进行了研究与探讨,希望能为制定科学的桥梁维护方案提供技术支持,进而为我国的道路交通安全贡献自己的力量。

参考文献

- [1]姜雪飞.浅议道路桥梁建设中的混凝土结构[J].居业,2019(08):116.
- [2]冯超.浅议桥梁施工裂缝成因及防控措施[J].四川建材,2018,44(03):151-152,154.
- [3]孙全胜.智能桥梁结构健康监测的研究[D].东北林业大学,2005.
- [4]柏江源.日本道路桥梁的维护与管理的资产管理系统[J].四川水泥,2020(03):66.
- [5]杨心壤.为桥梁戴上“健康手环”——公路桥梁结构健康监测系统初探[J].中国公路,2022(10):20-21.

作者简介:

王剑(1981—),男,汉族,辽宁铁岭人,本科,工程师,北京首发公路养护工程有限公司,研究方向:道路桥梁结构。