

桥梁健康监测系统在桥梁养护管理中的应用

刘亚红 徐 达 刘 赓 杨 超

陕西高速公路工程试验检测有限公司 陕西 西安 710000

摘 要：桥梁健康监测系统在桥梁养护管理中发挥着重要作用。通过实时监测桥梁结构状态、评估桥梁安全性、辅助制定维修方案及船舶撞击监测与预警等功能，该系统为桥梁的安全运营提供了有力保障。本文概述了桥梁健康监测系统的基本工作原理、系统组成及主要功能，分析了桥梁养护管理的主要内容与现状，并详细探讨了桥梁健康监测系统在桥梁养护管理中的具体应用，旨在推动桥梁养护管理的现代化进程，提升桥梁的安全性和耐久性。

关键词：桥梁健康监测系统；养护管理；应用

引言

桥梁作为交通基础设施的重要组成部分，其安全性和耐久性直接关系到交通运输的顺畅与公共安全。随着桥梁使用年限的增长，桥梁结构损伤和病害问题日益凸显，养护管理变得尤为重要。桥梁健康监测系统的引入，为桥梁养护管理提供了全新的技术手段和解决方案。本文旨在探讨桥梁健康监测系统在桥梁养护管理中的应用，以期桥梁的安全运营提供有益参考。

1 桥梁健康监测系统概述

第一，桥梁健康监测系统的工作原理主要依赖于传感器的作用。这些传感器被精心布置在桥梁结构上，能够实时采集桥梁结构的振动、变形、温度、位移等关键物理量数据，这些数据随后通过网络传输到中央控制中心，进行数据分析、处理和诊断。传感器种类多样，包括但不限于振动传感器、应变传感器、温度传感器和位移传感器等，它们各自负责监测桥梁的不同方面，如振动频率、形变情况、温度变化以及位移状况，这些数据共同构成了对桥梁健康状况的全面评估基础。第二，从系统组成上看，桥梁健康监测系统主要由传感器子系统、数据存储与管理子系统、数据处理及数据控制子系统、综合预警与安全评估子系统以及用户界面子系统五大部分构成。传感器子系统负责现场数据的采集，并将其传输至附近的工作站。数据存储与管理子系统则负责全寿命期内桥梁所有动态、静态数据的归档、查询和存储；数据处理及数据控制子系统对初始监测数据进行检验判断、结构化储存和管理，以及对采样频率的把控；综合预警与安全评估子系统则基于数据分析结果，对桥梁的健康状况进行评估，并在必要时发出预警信号；用户界面子系统则为用户提供了与系统交互的平台，使得用户可以方便地查看监测数据、接收预警信息以及对系统进行合理操作与设置。第三，在主要功能方面，桥梁

健康监测系统展现出了其强大的实用性。系统能够通过长期监测桥梁的各项物理量数据，及时发现桥梁的结构损伤，为维修措施的实施提供科学依据，能够生成关于桥梁健康状况的趋势报告，为桥梁的结构安全和预期使用寿命提供评估，当发现异常情况时，系统能迅速发出预警信号，为管理部门争取宝贵的处理时间。桥梁健康监测系统还可以为新桥的设计提供参考数据，通过对相似桥型的监测数据进行分析，可以为新桥设计提供更为合理、经济的方案，并且系统的数据还可以用于科研项目，推动桥梁工程学科的发展，并通过高精度的传感器对桥梁的结构状态进行实时监测，一旦发现异常情况立即发出预警，为相关部门及时采取措施提供了有力支持^[1]。

2 桥梁养护管理的主要内容与现状

2.1 桥梁养护管理的主要内容

桥梁养护管理作为确保桥梁结构安全、延长使用寿命及提升交通服务质量的重要环节，其内容广泛且复杂，旨在通过一系列预防性和修复性措施，保持桥梁的良好运行状态。（1）日常巡查与定期检查。日常巡查是对桥梁进行频繁而简短的检查，旨在及时发现并处理可能影响桥梁安全的表面缺陷或异常情况，如裂缝、剥落、积水等。定期检查则更为系统深入，通常依据规定的周期进行，包括桥梁结构的全面检查、评估及必要的无损检测，以获取桥梁整体健康状况的详细信息。这些检查为制定针对性的养护计划提供了重要依据。（2）维护与修复工作。根据检查发现的问题，采取相应的维护措施，如清理桥面杂物、修复轻微损伤、更换老化部件等，以保持桥梁的基本功能。对于较为严重的结构损伤，则需进行修复工程，包括加固结构、更换损坏构件等，确保桥梁的结构安全，而且桥梁的清洁与美化也是养护管理的一部分，旨在提升桥梁的通行环境与视觉效果。（3）档案管理与信息化管理。档案管理要求详细记

录桥梁的基本信息、历史维修记录、检查结果及养护计划等，为桥梁的长期管理提供数据支持；信息化管理则是利用现代信息技术，如建立桥梁健康监测系统、数据库管理系统等，实现桥梁养护信息的数字化、网络化，提高管理效率与决策科学性。

2.2 桥梁养护管理的现状

一是意识不足，部分地方政府和交通管理部门对桥梁养护的重要性认识不足，往往将更多的精力和资源投入新建项目中，而忽视了现有桥梁的维护与管理，这种“重建设、轻养护”的观念导致了桥梁养护工作的滞后，许多桥梁因得不到及时有效的维护而逐渐出现安全隐患。公众对于桥梁安全的关注度也有待提升，缺乏参与桥梁养护管理的积极性，难以形成全社会共同关注桥梁安全的良好氛围，这种意识层面的缺失，不仅影响了桥梁养护工作的顺利开展，也增加了桥梁安全事故的风险。二是资金短缺，随着城市化进程的加快和交通流量的增加，桥梁的养护需求日益增长，但养护资金的投入却未能与之匹配。一方面，地方政府财政压力较大，难以承担全部桥梁养护费用；另一方面，桥梁养护资金来源单一，缺乏多元化的融资渠道。这导致部分桥梁养护工作因资金不足而被迫搁置，一些急需维修的桥梁得不到及时处理，加剧了桥梁安全隐患。资金短缺还限制了养护技术的研发与应用，使得桥梁养护管理在技术创新方面进展缓慢。三是技术手段落后，随着桥梁建设技术的不断进步，桥梁结构越来越复杂，对养护技术的要求也越来越高，但是部分地区的桥梁养护单位仍采用传统的养护手段和方法，难以适应现代桥梁养护的需求，缺乏先进的检测技术和设备，使桥梁病害的发现和um理变得困难重重，而且养护人员的专业素质和技术水平也有待提高，缺乏掌握新技术、新方法的能力，技术手段的落后不仅影响了桥梁养护的效率和质量，也制约了桥梁养护管理的现代化进程^[2]。

3 桥梁健康监测系统在桥梁养护管理中的具体应用

3.1 实时监测桥梁结构状态

桥梁健康监测系统通过精心部署于桥梁关键部位的传感器网络，实时且精确地捕捉桥梁在各种荷载及环境因素作用下的动态响应，扮演着桥梁安全卫士的重要角色，该系统不仅能够实时监测桥梁主梁的竖向位移，这对于准确评估桥梁承载能力、及时发现并预警超限超载车辆对桥梁结构的潜在破坏至关重要，有效防止了因超限超载导致的不可逆损伤。并且系统还具备强大的振动监测功能，能够精确测量桥梁的振动频率、振幅等关键参数，及时发现风力、交通荷载等引起的异常振动现

象，如颤振，为养护管理部门提供及时的预警信息，助力管理部门迅速采取如调整交通流量、限制特定风速条件下的通行等措施，确保桥梁的安全稳定运行。系统还能监测温度、湿度等环境因素，这些因素对桥梁材料性能和结构稳定性有着不可忽视的影响，为制定科学合理的养护计划提供了全面而精确的数据支持。更令人瞩目的是，桥梁健康监测系统能够实现数据的远程实时传输与智能化分析，通过专业软件对监测数据进行深度处理，生成直观量化的桥梁健康状况评估报告及趋势预测，不仅为养护管理部门提供了精准的数据依据，还助力发现桥梁结构中的潜在隐患，为采取预防性维护措施奠定了坚实的科学基础。

3.2 评估桥梁结构安全性

桥梁健康监测系统依赖于安装在桥梁关键承载点的精密传感器网络，实时捕捉桥梁在各类荷载作用下的力学响应，精准监测桥梁结构内部的应力分布、应变状态及位移变化等核心指标。这些数据构成了评估桥梁结构安全性的坚实基础，直接反映了桥梁在实际运营中的力学性能和稳定性状态。系统进一步运用先进的数据分析模型和算法，综合考量桥梁结构特性、材料性能、荷载条件及环境因素，对桥梁的承载能力、稳定性及耐久性进行科学预测与深入评估。通过实时监测数据与预设安全阈值的对比，系统能敏锐识别桥梁结构中的异常状况，如应力集中、应变超限、位移异常增大等，及时向管养单位发出预警，预警信息详尽包含异常数据、潜在故障类型及位置，为管理人员迅速定位问题、制定应对策略提供了强有力的支撑。特别是在桥梁拉索断裂、长期结构变形等严重问题出现时，系统能即时触发预警机制，通过短信、邮件或自动报警等手段，确保预警信息迅速传达至相关人员，助力管理人员即时掌握桥梁安全态势，迅速采取修复加固措施，有效规避安全事故。而且桥梁健康监测系统还通过深度分析历史监测数据，揭示桥梁结构性能的变化趋势与规律，为管理人员制定科学合理的养护计划提供数据指引，优化养护资源配置，提升养护工作效能，延长桥梁使用寿命，全面保障桥梁的安全运营与持续发展。

3.3 辅助制定维修方案

桥梁健康监测系统作为现代桥梁养护管理的核心工具，在确保桥梁结构安全、延长使用寿命方面具有不可替代的关键作用。该系统能够实时捕捉并传递桥梁的各项关键数据，为养护决策的科学性与精准性奠定了坚实的基础。通过对这些监测数据的深入分析和处理，管理人员能够全面且准确地了解桥梁结构的当前状态及其长

期发展趋势。以服役超过30年的老旧桥梁为例,这些桥梁面临自然环境侵蚀、材料老化等多重挑战,病害风险显著增加。传统的养护方式往往依赖人工巡检和经验判断,难以全面、及时且准确地发现问题。而桥梁健康监测系统则能实时提供桥梁的应力分布、振动频率、位移变化等关键参数,帮助管理人员对桥梁的整体健康状况进行量化评估。一旦发现应力集中、位移异常或振动频率变化等迹象,管理人员可以迅速组织专业团队进行详细检查,并结合桥梁设计资料、历史维修记录及当前交通需求,制定针对性的加固处理方案。通过对历史监测数据的分析,管理人员还能掌握桥梁病害的发展规律,预测未来变化趋势,从而合理安排养护工作的时间和频率,优化资源配置,提高养护效率和效益。更重要的是,桥梁健康监测系统还能能为桥梁的改造升级提供科学依据,确保改造后的桥梁能够满足预期使用要求^[3]。

3.4 船舶撞击监测与预警

船舶撞击作为桥梁安全领域的一大隐患,历来备受关注,特别是在繁忙的水运交通环境中,桥梁作为连接两岸的关键通道,其结构的完整性和稳定性对于保障交通顺畅与公共安全至关重要。为了有效应对这一潜在威胁,桥梁健康监测系统引入了先进的监测与预警技术,通过安装在桥梁关键部位的高灵敏度传感器,实时捕捉桥梁在各种条件下的振动响应,时刻监视其动态变化。当桥梁遭受如船舶意外碰撞等突发外力撞击时,会产生高频振动信号,这些信号蕴含着丰富的信息,能够反映出撞击的位置、力度以及对桥梁结构可能造成的潜在影响。系统内部集成的先进算法能够对这些振动数据进行快速处理与分析,准确区分自然振动与异常振动,如果检测到船舶撞击事件,系统会立即启动应急响应机制,

触发周边摄像头进行拍照或录像以捕捉关键证据,并将包括撞击时间、地点、强度等关键信息的报警数据实时上传至监控平台,为管理人员迅速掌握事故情况并采取相应的应急措施提供有力支持。这一功能不仅经济合理,而且具有显著优势,如实时监测能力确保了预警的及时性,高准确性有效避免了误报和漏报,提高了预警的有效性,而且系统的自动化、智能化特点实现了对桥梁安全的全天候、全方位监控,大大降低了人工监控的成本与难度。桥梁健康监测系统的船舶撞击监测与预警功能还能与其他安全措施相结合,如与水上交通管理系统联动实现船舶航行轨迹的实时监测与预警,以及与桥梁养护管理系统结合为日常养护与维修提供数据支持,共同构建了更加完善的桥梁安全防护体系,确保了桥梁结构的长期稳定与安全。

结语

综上所述,桥梁健康监测系统在桥梁养护管理中具有不可替代的作用,通过实时监测、评估预警和辅助决策等功能,该系统为桥梁的安全运营提供了全面保障。随着技术的不断进步和应用的深入,桥梁健康监测系统将在桥梁养护管理中发挥更加重要的作用,为提升桥梁的安全性和耐久性贡献力量。

参考文献

- [1]陶清平.桥梁健康监测系统在桥梁养护管理中的应用[J].建筑技术开发,2020,47(24):105-106.
- [2]常英.桥梁健康监测数据在桥梁养护管理工作中的应用[J].中国公路,2020(09):98-99.
- [3]刘尧,任广军.桥梁健康监测系统在桥梁管养中的应用[J].工程建设与设计,2024(22):52-54.