

# Design of health monitoring system and early warning threshold for small and medium span beam bridge based on Internet of Things

Weihong Wang<sup>1</sup> Baojie Feng<sup>2</sup>

1. Beijing Xinqiao Technology Development Co., Ltd., 100088, China

2. Qingdao Branch of Shanghai Municipal Engineering Design and Research Institute (Group) Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266000, China

## Abstract

With the continuous development of transportation infrastructure, small and medium-span beam bridges play a vital role in transportation systems. However, their structural health directly impacts traffic safety. This paper focuses on the design of an IoT-based health monitoring system for small and medium-span beam bridges and the study of early-warning thresholds. First, it elaborates on the application background and significance of IoT technology in bridge monitoring. Then, the paper details the overall architecture design of the health monitoring system, covering key aspects such as sensor deployment, data transmission, and processing. Additionally, it explores methods for determining warning thresholds by comprehensively considering multiple factors to establish reasonable thresholds. Furthermore, the study analyzes the advantages and challenges of practical applications, along with future development trends. The aim is to build an efficient and reliable bridge health monitoring system through this research, enabling timely detection of potential safety hazards and providing robust safeguards for the safe operation of small and medium-span beam bridges. This study holds significant practical value and real-world implications for engineering applications.

## Keywords

Internet of Things; small and medium span beam bridge; health monitoring system; early warning threshold

# 基于物联网的中小跨径梁桥健康监测系统设计及预警阈值研究

王伟红<sup>1</sup> 冯保杰<sup>2</sup>

1. 北京新桥科技发展有限公司, 中国·北京 100088

2. 上海市政工程设计研究总院(集团)有限责任公司青岛分公司, 中国·山东 青岛 266000

## 摘要

随着交通基础设施的不断发展, 中小跨径梁桥在交通运输中发挥着重要作用。然而, 其健康状况直接影响交通安全。本文聚焦于基于物联网的中小跨径梁桥健康监测系统设计及预警阈值研究。首先阐述了物联网技术在桥梁监测领域的应用背景与意义, 接着详细介绍了健康监测系统的整体架构设计, 涵盖传感器布置、数据传输与处理等关键环节。同时, 对预警阈值的确定方法进行了深入探讨, 综合考虑多种因素以合理设定阈值。此外, 还分析了系统在实际应用中的优势与挑战, 以及未来发展趋势。旨在通过该研究构建一个高效、可靠的桥梁健康监测体系, 及时发现桥梁潜在安全隐患, 为中小跨径梁桥的安全运营提供有力保障, 具有重要的工程实践价值与现实意义。

## 关键词

物联网; 中小跨径梁桥; 健康监测系统; 预警阈值

## 1 引言

中小跨径梁桥作为交通网络的关键节点, 分布广泛且承担着大量交通运输任务。其结构安全直接关系到人民生命财产安全和交通的顺畅运行。在实际运营过程中, 梁桥会受

到车辆荷载、环境侵蚀、地震等多种因素影响, 导致结构性能逐渐退化, 可能引发安全事故。传统的桥梁检测方式往往依赖定期的人工检查, 存在检测周期长、主观性强、难以实时掌握桥梁状态等局限性。

物联网技术的出现为桥梁健康监测提供了新的思路和方法。通过将各类传感器部署在桥梁关键部位, 利用物联网实现数据的实时采集、传输与处理, 能够及时获取桥梁的结构状态信息。在此基础上, 研究合理的预警阈值, 当监测数

【作者简介】王伟红(1992-), 男, 中国山西忻州人, 硕士, 工程师, 从事桥梁隧道工程研究。

据超过阈值时及时发出预警,有助于提前发现桥梁潜在安全隐患,采取有效措施进行维护和管理,保障桥梁的安全运营。因此,开展基于物联网的中小跨径梁桥健康监测系统设计及预警阈值研究具有重要的现实意义。

## 2 基于物联网的中小跨径梁桥健康监测系统设计

### 2.1 系统总体架构

基于物联网的中小跨径梁桥健康监测系统主要由传感器层、数据传输层、数据处理与管理层以及应用层构成。传感器层是系统的基础,负责采集桥梁的各种物理量,如应变、位移、振动、温度等。这些传感器如同桥梁的“神经末梢”,分布在梁桥的关键部位,如桥墩、桥台、梁体等,实时感知桥梁结构的受力与变形情况。

数据传输层承担着将传感器采集到的数据安全、准确地传输到数据处理中心的任务。根据桥梁现场实际情况,可选用有线传输或无线传输方式,确保数据传输的稳定性和可靠性。

数据处理与管理层对传输过来的海量数据进行清洗、存储、分析和挖掘。通过运用先进的数据处理算法,去除噪声数据,提取有价值的信息,为后续的预警判断提供依据。同时,对数据进行有效的管理,建立数据库,方便数据的查询与调用<sup>[1]</sup>。

应用层是系统与用户交互的界面,为桥梁管理人员提供直观的监测信息和决策支持。通过可视化界面,管理人员可以实时查看桥梁的健康状态,了解各项监测指标的变化情况,当出现异常时及时收到预警信息,以便采取相应的措施。

### 2.2 传感器布置设计

传感器布置的合理性直接影响监测数据的准确性和有效性。对于中小跨径梁桥,应根据桥梁的结构特点、受力情况以及可能出现的病害位置,有针对性地布置传感器。

在梁体关键截面,如跨中、支点附近,布置应变传感器,用于监测梁体在车辆荷载和环境作用下的应力变化情况。这些位置的应力状态能够反映梁体的受力性能,通过对数据的分析可以及时发现梁体是否出现超载或局部损伤<sup>[2]</sup>。

在桥墩和桥台顶部,布置位移传感器,监测桥梁在竖向和水平方向的位移。桥墩和桥台的位移变化可能预示着基础的不均匀沉降或结构的不稳定,及时掌握位移信息对于评估桥梁的整体稳定性至关重要。

振动传感器可布置在梁体和桥墩上,用于监测桥梁的振动特性。桥梁在正常运营和受到外界干扰时的振动频率、振幅等参数能够反映结构的健康状况,当振动特性发生异常变化时,可能意味着结构存在损伤或潜在安全隐患。

温度传感器则布置在桥梁关键部位,用于监测环境温度 and 结构内部温度变化。温度变化会引起桥梁材料的热胀冷缩,进而影响结构的受力和变形,考虑温度因素对于准确分

析桥梁的力学性能具有重要意义。

### 2.3 数据传输设计

数据传输的稳定性和可靠性是保证监测系统正常运行的关键。在物联网环境下,数据传输需要满足实时性、准确性和安全性的要求。

对于近距离传输,如在桥梁现场内部,可采用有线传输方式,如光纤。光纤具有传输速度快、抗干扰能力强、传输距离远等优点,能够确保大量监测数据的高速、稳定传输。

对于一些不方便铺设电缆的区域,或者需要灵活布置传感器的情况,可采用无线传输技术。Wifi技术传输速率高,适用于数据量较大的传感器数据传输,但传输距离相对较短,且容易受到周围环境干扰。ZigBee技术具有低功耗、自组网能力强等特点,适合大规模传感器网络的部署,能够实现传感器之间的互联互通。LoRa技术则具有远距离传输、低功耗的优势,能够在复杂环境下实现可靠的数据传输。

为了确保数据传输的安全性,采用加密技术对传输的数据进行加密处理,防止数据在传输过程中被窃取或篡改。同时,建立数据传输的冗余机制,当一条传输通道出现故障时,能够自动切换到备用通道,保证数据的连续传输<sup>[3]</sup>。

### 2.4 数据处理与管理设计

数据处理与管理是健康监测系统的核心环节之一。采集到的原始监测数据往往包含大量的噪声和冗余信息,需要进行清洗和预处理。通过滤波、平滑等算法去除噪声数据,提高数据的质量。

对清洗后的数据进行分类存储,建立结构化的数据库。数据库中按照不同的监测参数、时间顺序等对数据进行组织,方便数据的查询和分析。同时,采用数据压缩技术对存储的数据进行压缩,减少存储空间占用<sup>[4]</sup>。

运用数据分析算法对监测数据进行深入分析,挖掘数据背后的规律和潜在信息。例如,通过统计分析方法分析监测数据的均值、方差等统计特征,了解桥梁结构状态的长期变化趋势;通过机器学习算法对监测数据进行模式识别,预测桥梁可能出现的病害和安全隐患。

建立数据管理机制,对数据的访问权限进行严格控制,确保数据的安全性和保密性。同时,定期对数据库进行备份和维护,防止数据丢失。

## 3 预警阈值研究

### 3.1 预警阈值确定的原则

预警阈值的确定是健康监测系统发挥作用的关键。合理的预警阈值能够在桥梁出现潜在安全隐患时及时发出预警,同时避免因阈值设置不合理导致频繁误报或漏报。

预警阈值的确定应遵循科学性原则,充分考虑桥梁的结构特性、材料性能、设计标准以及实际运营条件等因素。通过对桥梁结构力学分析、材料试验等研究,结合相关的规范和标准,确定合理的监测指标范围和预警阈值<sup>[5]</sup>。

安全性原则是预警阈值确定的首要原则。预警阈值应能够准确反映桥梁结构的安全状态，当监测数据超过阈值时，意味着桥梁可能存在安全隐患，需要及时采取措施进行处理，以确保桥梁的安全运营。

同时，预警阈值的确定还应考虑实用性原则。阈值设置应结合实际工程情况，避免过于严格或过于宽松。过于严格的阈值可能导致频繁误报，增加管理人员的工作负担；过于宽松的阈值则可能无法及时发现桥梁的安全隐患，起不到预警的作用。

### 3.2 影响预警阈值确定的因素

影响预警阈值确定的因素众多。桥梁的结构类型、跨度、荷载等级等结构特性对预警阈值有重要影响。不同结构类型的桥梁，其受力特点和承载能力不同，相应的预警阈值也应有所差异<sup>[6]</sup>。

环境因素也是影响预警阈值的重要方面。桥梁所处的地理环境、气候条件等会影响桥梁结构的性能。例如，在寒冷地区，温度变化较大，混凝土结构可能会出现冻融破坏，此时温度相关的预警阈值需要根据当地的气候特点进行调整。

桥梁的运营状况，如交通流量、车辆荷载类型等，也会对预警阈值产生影响。交通流量大的桥梁，梁体承受的车辆荷载作用频繁，结构的疲劳损伤可能更为明显，因此与疲劳相关的监测指标预警阈值应适当降低。

此外，监测数据的不确定性、传感器的精度和可靠性等因素也会对预警阈值的确定产生一定的影响。在确定预警阈值时，需要综合考虑这些因素，确保阈值的合理性和可靠性。

### 3.3 预警阈值的设定方法

预警阈值的设定方法主要包括经验法、理论计算法和数据分析法。经验法是根据以往类似桥梁的监测数据和工程经验，结合专家的判断，确定预警阈值。这种方法简单易行，但缺乏科学依据，对于不同桥梁的适应性可能较差。

理论计算法是基于桥梁结构力学理论和材料性能，通过理论计算确定监测指标的极限值，然后根据一定的安全系数确定预警阈值。这种方法具有科学依据，但计算过程较为复杂，需要对桥梁结构和材料有深入的了解。

数据分析法是通过大量监测数据的统计分析，确定监测指标的正常取值范围和变化规律，然后根据一定的置信水平和风险控制要求确定预警阈值。这种方法能够充分考虑监测数据的实际情况，具有较强的适应性和可靠性。在实际应用中，通常综合采用多种方法来确定预警阈值，以提高阈值的合理性和准确性。

## 4 系统实际应用中的优势与挑战

### 4.1 优势

基于物联网的中小跨径梁桥健康监测系统优势显著。其具有实时性，传感器能实时采集数据并传至处理中心，使

管理人员及时掌握桥梁健康状态，出现异常可迅速反应，避免事故。该系统还具备全面性，传感器分布于桥梁各关键部位，可对桥梁的应变、位移、振动、温度等多种物理量进行监测，全面了解其结构性能与运行状况。同时，系统具有智能化特点，借助数据分析算法深入挖掘和分析监测数据，能预测桥梁可能出现的病害与安全隐患，为维护管理提供科学依据。此外，该系统可降低人工检测成本与风险，传统人工检测需工作人员攀爬桥梁、进入危险区域，强度大且风险高，而物联网监测系统能远程实时监测，减少人工检测需求。

### 4.2 挑战

然而，该系统在实际应用中面临诸多挑战。其一，传感器可靠性与耐久性待提升。桥梁所处环境恶劣，传感器易受温度、湿度、腐蚀等因素影响，性能下降或损坏会致使监测数据不准确。其二，数据安全性与隐私保护至关重要。监测数据含桥梁重要信息，若被窃取或篡改，会威胁桥梁安全运营，需加强数据加密和访问控制等安全举措。其三，系统成本是制约因素。物联网监测系统需大量传感器、数据传输设备及处理软件，前期投入高，经济欠发达地区难以承担。其四，系统维护管理需专业技术人员，因涉及物联网、传感器、数据分析等多领域知识，对维护人员专业素质要求高，给系统推广应用带来一定困难。

## 6 结论

本文聚焦基于物联网的中小跨径梁桥健康监测系统设计与预警阈值研究。系统设计涵盖总体架构、传感器布置、数据传输及处理管理等方面，构建起全面监测体系，可实时精准获取桥梁结构状态信息。预警阈值研究明确了确定原则，分析了影响因素，探讨了设定方法，合理阈值能为桥梁安全运营提供保障。此外，文章分析了系统实际应用的优势与挑战及未来趋势。该系统及预警阈值研究具重要工程实践价值，能实现中小跨径梁桥实时监测预警，及时处理病害、延长寿命、保障交通安全。未来，随着物联网技术发展，桥梁健康监测系统将更智能精准，为桥梁工程领域带来更多革新与安全保障。

### 参考文献

- [1] 范睿博.基于物联网的中小桥梁结构健康监测技术[J].物联网技术,2024,14(07):43-45.
- [2] 徐哲能,郑淑倩,王焯晟,等.基于物联网桥梁结构健康监测与智能预警平台建设[J].现代信息科技,2023,7(03):159-163.
- [3] 丁瑞,赵剑.基于物联网技术的桥梁监测系统[J].建筑技术开发,2019,46(23):106-107.
- [4] 王军凯.远距离桥梁健康监测与预警系统的设计与实现[J].软件,2020,41(05):143-145+220.
- [5] 刘剑.物联网背景下桥梁健康监测系统设计[J].中国公路,2020,(11):150-151.
- [6] 康佩,刘旨阳,王珏辉.基于物联网技术的桥梁结构健康监测系统的设计与实现[J].电子测试,2018,(24):62-64.