

数字赋能在桥梁健康监测中的应用

魏辰昊

(河北工程大学土木工程学院, 河北 邯郸 056002)

摘要: 随着数字化技术的不断进步, 桥梁健康监测的运行与管理正在经历一场转型升级。本文探讨了数字化监控技术在桥梁健康监测中的应用, 分析了其发展现状和智能监测系统的应用策略, 旨在验证信息化监测技术的实际价值。文章深入研究了大数据在桥梁健康监测中的应用, 评估了其价值、现状和具体实施策略, 为桥梁健康监测的数字化升级提供了参考和借鉴。

关键词: 数字技术; 桥梁健康监测; 应用策略

桥梁交通工程是综合运输体系不可或缺的重要组成部分。随着“建设交通强国”的提出, 加快推进智能化桥梁工程建设成为必然趋势。相较于其他行业智能化水平, 桥梁工程智能化受自然条件等客观因素的影响, 目前仍处于较低水平, 且发展比较滞后, 技术管理手段缺失。因此, 利用数字化技术赋能以促进桥梁健康监测发展是未来桥梁工程发展趋势。

一、数字化技术在桥梁健康监测中的应用价值

基于数字化的高效运行、精准的定位等有关桥梁健康监测技术不断完善。数字化技术提高了桥梁监测的准确性、及时性, 有效减少养护周期, 节省了人工成本, 使得桥梁管理养护的投资消耗大幅降低。目前桥梁养护工作正在不断完善和发展, 精细化桥梁监测技术已经取得了初步的建设成效, 先进的数字化监测技术已经在桥梁监测工作中投入实践应用, 为提高桥梁的安全性和使用寿命奠定了基础。数字化桥梁监测按照如下流程开展: 数据收集、数据筛选、信息监控、信号处理、信息存储。其中, 数据收集、数据筛选两个环节依靠监测系统中的大数据实现, 信息监控通过传感设备和数据传输实现, 再由互联网智能技术对数据加以分析, 获得有价值的桥梁健康信息, 探寻其中蕴含的规律, 打造一套可实施的信息化监控工程体系。数字化技术的应用有效提高了桥梁监测及养护的效率好质量, 为我国桥梁工程的管理养护发展提供了可靠的技术支撑。

二、桥梁健康监测的数字化发展现状

我国交通运输事业持续发展, 桥梁健康监测在几十年技术积累下, 已经取得了巨大的进步, 信息化程度越来越高, 但仍然存在着许多不完善的方面: 其一, 当前大部分监测系统监测数据质量较差, 数据收集和整理的速度慢, 失真性高, 丢包、漂移、噪声、锯齿、周期跳跃、毛刺等异常数据现象频发, 数据处理功能不够丰富, 部分监测系统只提供实时查看原始数据、简单的数理统计服务, 基于数据的智能化、深层次计算分析、问题诊断尚未能实现。其二, 桥梁监测系统注重传感器端数据采集, 对于数据计算分析的算法研究不够深入, 这就使桥梁监测系统可以支持数据管理、数据显示等服务, 而不能对数据展开结构性分析计算和数据挖掘。而随着数字化技术的深入发展, 以及5G、人工智能、物联网的发展与投入使用, 桥梁健康监控系统也必然进一步更新, 将支持同步化、实时性的数据监测和采集, 进一步提高数据回传的速度, 实现平台对桥梁状态进行实时、连续监控监测, 为桥梁养护工作提供更有价值的信息。

三、桥梁健康监测数字化系统的功能和架构

(一) 监测指标确定及外场监测传感器布设和组网

监测系统根据桥梁结构特点进行传感器布设和组网, 做好对关键构件及关键部位的监测, 打造系统性的监测指标, 整体反映桥梁状态。根据桥梁结构、使用环境、监测需求, 选择适合的传感器, 满足监测量程、进度和使用条件需求, 并能够配合安装、

组网和数据采集。

(二) 监测数据采集与传输

桥梁监测数据采集应当实时开展, 保证数据采集的质量和速度。做好传感器传输组网, 整理收集到的无线信号。现场数据采集站由多个数据采集模块组成, 模块硬件高度集成化, 软件低内聚高耦合, 以保证数据采集工作高效推进, 确保桥梁监测数据采集的时效性、稳定性、耐久性、准确性。

(三) 信息化平台设计及数据处理

桥梁监测数据量大, 包括环境温湿度、风力信息等环境数据; 桥梁应变、震动和挠度等桥梁数据等, 传感器、无线信号传输技术将上述数据及时处理并回传至服务台, 经由数据服务台进行数据的汇总、分析、比较、修正, 转化为有价值的桥梁健康状态信息。

(四) 桥梁安全预警系统的建立

安全预警系统划分为不同的等级, 以清晰显示桥梁状态, 为桥梁养护提供可靠的预警。通常将安全预警划分成4个等级, 反映桥梁不同的程度的健康状态。安全预警系统是一个综合性的数据分析系统, 整合环境信息、桥梁实时状态、桥梁基本属性, 如天气环境、运营环境、桥型、桥长等, 综合分析桥梁安全状态, 并将获取的数据信息推送至相关部门。

为了构建一套完善、可动态调整的预警模型, 系统提供预警等级设置功能, 对预警阈值进行动态调整。阈值会通过, 系统模型会根据桥梁的寿命, 桥梁本身的应变力和挠度等信息, 下阈值可通过系统计算给出推荐值, 也可通过专家计算设置。

四、桥梁健康监测数字化系统设计方案

(一) 监测指标体系设计

桥梁健康监测系统要通过数据采集、数据分析对桥梁属性、运行状态进行综合评判, 将桥梁的结构状况、健康情况进行评估, 反馈给桥梁养护工作人员。因此, 桥梁监测指标包括环境温湿度、风力、主梁振动、应力和挠度等。根据传感器监测到的数据分析桥梁目前振动状况, 判断桥梁结构频率、振型、阻尼比等动力信息, 基于挠度、位移等监测数据, 将桥梁的整体稳定性加以评价; 基于关键截面应变监测数据明确关键截面的应力状态。监测大气环境会受各种因素影响, 天气变化, 如雨水、风速等都会对监测样本产生一定影响, 影响监测结果的准确性。

(二) 监测点布设

监测点的布设要考虑桥梁基本属性、所处环境以及传感器功能性质等因素, 但也有一定的基准可供参考:

1. 结构主要振型中振幅较大位置;
2. 结构变形的主控制点;
3. 桥梁跨中等位置最大应力分布及变化的位置或构件;
4. 桥梁中间等位置可对结构总体温度进行监控的控制点;

基于上述基准, 可以确定出梁桥主要的监测部位, 再根据具体情况加以调整即可。

（三）数据采集与传输层

数据采集与传输对系统架构设计、技术条件的依赖性比较高。要保证数据传输的完整性和可靠性，应当优化传输结构，划分为不同的层次，每一层都提供完整的数据输入与输出、校验确认功能。

数据采集层是采集环境信息和桥梁状态信息，其主要包括：各类传感器（环境采集传感器、桥梁信息采集传感器等）、信号放大和调节设备、模拟数字信号转换设施、数据汇聚设施以及传输设施。该系统配置 GPS 位置信息，后台系统可以通过经纬度确定数据源所属桥梁。

（四）信息化平台整体设计

整个信息平台包括桥梁状态感知系统、数据传输系统、数据存储系统、业务流程系统等，各子系统相互配合，共同服务于桥梁健康状况监测工作。感知系统采集原始数据，包括环境信息、桥梁状态信息两大类；经由传输系统、存储系统进行大数据的传输和存储；再由大数据分析系统进行数据的分析、挖掘，反映桥梁的运营状态。

桥梁状态感知层为底层结构，功能在于感知环境和桥梁状态信息，通过各类传感器，如风力传感器、大气温湿度传感器等、振动传感器、挠度计传感器、应变计传感器等采集最原始的现场数据；各类传感器实现各种监测指标的感知、转换和数据采集。

传输层为网络数据传输，该层的主要功能在于将各类传感器采集到的原始数据通过无线或者有线网络方式，传输至数据核心层，是整个信息平台中承上启下的部分，将采集到的数据传输回后台服务器系统。传输层需要进行数据加密设计，以保证传输的安全性。

数据层为数据固化层，该层的功能在于对桥梁属性信息、运营动态、所处环境信息等进行整理，以结构化的方式组成系统数据库，结合界面设计为使用者提供数据存储、查询和更新服务，支持上层应用。

应用层为业务应用层，处于整个信息平台结构的最上层，可提供数据分析、智能诊断、监测报表输出、数据管理、数据挖掘、数据推送或显示等服务。

1. 平台设计

在系统设计和开发过程中，应严格按照平台的设计原理，首先对各个模块的功能进行设定，然后利用算法来实现各个模块之间的有效连接和协调。各模块间应保证各自的独立性，并能实现信息的传递与交流。在以后的数据传输与更新过程中，各模块能够独立、高效地工作，而信息的交互与传输则是后续数据分析所必需的。为了确保信息的传递与交流，必须确保各个模块之间的接口采用统一的参数，确保各个模块之间能够顺畅的互换，增强其在整体系统中的适应性。同时，标准化的模块化组件也便于后期的系统更新。

2. 平台的功能架构与技术架构

利用深层算法将该系统与视频监视装置相连，利用该视频装置对该环境数据进行监视，接着该系统将所监测到的数据上载，并对其进行数据分析，从而实现对环境变化的实时监测。再如，利用深度学习算法，将 GPU 影像运算框架与监控系统相结合，利用影像处理算法来监控环境。

3. 现场设置

在现场的控制界面上，可以将系统的工作状态、测试结果实时地显示出来，根据测试的结果进行模型的推压、设定参数等操作，从而对智能测试系统进行有效的控制。另外，本系统还能对系统的数据采集、告警等功能进行调度配置。在数据获取方面，采用了工业摄像机对图像进行获取，并利用工业摄像机的 SDK 函数对

采集过程中的图像参数进行控制。当系统发生故障，或探测系统部件发生故障时，报警装置就会报警。

（五）桥梁监测安全预警技术

通过对桥梁基础状态、结构监测、养护历史等数据的搜集，构建桥梁安全监测数据库（包括数据库、图像库、图像库），实现对桥梁安全监测数据的实时采集，对桥梁安全等级、病害等级、病害范围等进行判定，并进行预警，由相关职能部门进行应对，从而有效地防止安全事故的发生。

系统性预警，首先要明确研究目标，进行因素分解，然后对其成因进行剖析，然后利用一套算法，选取适当的预警指数，对潜在因素进行分析，并以报警上限和下限为基础，得到报警数值。一旦有警报发生，就会发出警报，并提出相应的措施，以消除警报。

1. 桥梁的安全警报水平分级

本系统拟对预警进行分级，并根据其严重性，将其分为 4 个级别。

2. 桥梁安全警报的分类指数和临界值

针对体系结构的本质特征，以振动加速度、关键截面应变等为预警指标，并综合考虑了多种可能对其在服役期间产生的安全隐患。

平台的预警功能，就是通过现场传感装置反馈回来的数据，与理论计算结果进行对比，如果超出理论上、下限，则报警。在对各类桥梁分类指数进行详细分析的基础上，按照下列原理，对各类桥梁的分类进行分类。

1. 从影响桥梁安全性的诸多指标中，选取最能体现其安全性的指标，对其进行量化分类，即建立各项安全指数临界值，对其状态进行评估。

2. 利用已有的先进理论，对影响各类桥梁安全性表现的定量与定性指标进行量化，对难于量化的，采用赋值的方式，或尽可能地构建定量与定性的关联。

3. 通过多次试验，对各类桥梁的等级划分指标进行修正，最后确立各类桥梁等级指数的临界值。

五、结语

综上所述，数字化技术为桥梁监控监测工作赋能，不仅有效提升桥梁监测的精度和效率，保证桥梁使用的安全性，同时也降低了桥梁养护成本，延长桥梁的工程使用寿命。在数字化时代，推动桥梁养护数字化发展，以数字化监测系统推动桥梁养护工作的开展和维持非常重要，随着数字化技术不断优化升级，桥梁监测系统也应当持续更新和完善，大力提高桥梁健康监测的质量和效率。

参考文献：

- [1] 陈一夫. 复杂条件下盾构隧道长距离穿越危桥关键控制技术 [J]. 施工技术 (中英文), 2024.
- [2] 潘盛山, 闫东, 覃晖, 等. 我国公路桥梁养护管理系统发展及展望 [J]. 世界桥梁, 2024, 52 (02): 56-65.
- [3] 李凯. 近邻铁路桥梁转体施工防护技术 [J]. 国防交通工程与技术, 2024, 22 (02): 71-74+50.
- [4] 吴厚琪. 软土地基公路桥梁施工基坑支护沉降监测研究 [J]. 山西建筑, 2024, 50 (06): 94-96.
- [5] 王锋元. 市政工程中的道路与桥梁连接处设计与施工工艺研究 [J]. 工程建设与设计, 2024 (05): 198-200.
- [6] 魏斌, 许肇峰, 吴益林, 等. 路网级桥梁集群监测系统建设关键技术及实践 [J]. 广东公路交通, 2024, 50 (01): 62-65+71.