

表1 安阳智能电网电力核心项目及建设成效表

工程类型	核心项目	建设成效	应用价值
移动式/装配式变电站	5座110kV移动变、1座110kV装配式变	新增供电能力16万千伏安,建设周期缩短70%以上	破解负荷激增、应急供电难题
虚拟电厂	分布式能源聚合管控平台	整合光伏、储能等资源超千处,调峰能力显著提升	提升新能源消纳率,优化电网调度
配网智能化升级	10千伏电缆智能化改造、20项配网优化	故障响应时间缩至秒级,供电能力提升15万千伏安	增强供电可靠性,改善营商环境
高压骨干输变电	220千伏展鹏变电站	强化区域电网互联,保障产业园供电	支撑重大产业项目,完善电网网架

5 智能电网背景下安阳电力工程技术发展趋势

5.1 深化数字技术与电力工程深度融合

未来安阳将推进数字孪生、5G、人工智能与电力工程全场景融合,构建全域感知、全网协同、全业务智能的电网管控体系。一方面,搭建全市统一的电网数字孪生平台,实现输变配设备三维建模、运行仿真、故障预判;另一方面,依托5G低时延、大连接特性,升级智能终端通信网络,实现电网数据实时传输、调度指令秒级下达,推动电网从“自动化”向“智慧化”转型。

5.2 推进城乡智能电网一体化建设

聚焦乡村振兴与新型城镇化需求,安阳将加大县域、农村电网智能化改造投入,推广低成本智能终端、模块化配电设备,实现配网自动化全覆盖;同时,结合农村分布式光伏、乡村充电基础设施建设,完善微电网、共享储能配套工程,打通新能源并网“最后一公里”,实现城乡电网供电能力、智能化水平均衡提升。

5.3 强化新能源与储能协同工程建设

依托安阳清洁能源资源优势,大力推进风电、光伏集中式并网与分布式开发配套工程,布局规模化共享储能电站,构建“新能源+储能”一体化电力工程体系;优化虚拟电厂管控平台,扩大可控负荷、储能资源聚合范围,提升电网调峰调频能力,助力全市能源结构绿色转型,助力“双碳”目标落地。

5.4 打造复合型电力工程人才队伍

加强校企合作,与本地高校、职业院校共建电力工程智能化专业,定向培养数字化电力人才;开展在职人员技能培训,重点提升智能设备运维、大数据分析、电网智能调度等核心技能,打造一支懂技术、善运维、能创新的专业队伍,为电力工程持续升级提供人才保障。

5.5 完善智能电网工程标准与运维体系

结合安阳本地电网特征,制定适配的智能电网电力工程建设标准、设备运维规范;建立全生命周期运维管理机制,依托智能监测平台实现设备状态检修、隐患提前处置,降低运维成本,提升电网长期运行可靠性^[5]。

6 结论

智能电网是电力行业转型升级的必然趋势,电力工程技术作为核心支撑,其创新应用直接决定电网高质量发展水平。安阳市通过移动式变电站、虚拟电厂、配网智能化升级等电力工程实践,有效破解了供电瓶颈、提升了新能源消纳能力与供电可靠性,但仍面临技术融合不足、城乡发展不平衡、人才短缺等问题。

未来,安阳需紧扣智能电网发展方向,立足本地产业与电网实际,深化数字技术赋能,推进城乡电网一体化升级,强化新能源与储能协同建设,补齐人才与标准短板,推动电力工程技术持续迭代升级,构建安全、高效、绿色、智能的现代电力系统,为全市经济社会高质量发展提供坚强电力保障。

参考文献

- [1] 高中亮,王博,高兴飞.智能电网中电力工程技术的应用与发展研究[J].科技视界,2024(47):89-92.
- [2] 国家能源局.新型电力系统发展蓝皮书[R].北京:国家能源局,2022.
- [3] 国网河南省电力公司.安阳地区智能电网建设三年行动计划(2024-2026)[Z].2024.
- [4] 李刚.柔性输电技术在区域电网升级中的应用研究[J].电力工程技术,2025,44(2):112-116.
- [5] 安阳市发展和改革委员会.安阳市能源绿色低碳转型实施方案(2025-2030)[Z].2025.

Research on the Application of Bridge Structure Health Monitoring and Evaluation System

Yufu Pu

Sujiao Group Testing and Certification Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211112, China

Abstract

This article conducts comprehensive and in-depth research and discussion on the health monitoring and evaluation system for bridge structures, systematically analyzing the practical application value and implementation path of this technology system in modern bridge engineering. The article first clarifies the core components of the system, covering key modules such as high-precision sensor deployment, multi-source data acquisition and stable transmission, intelligent data analysis and processing, structural state evaluation and early warning, etc. All links work together to achieve full process and real-time monitoring of bridge structural status. The study further emphasizes that the bridge structure health monitoring and evaluation system is not only an important technical means to ensure the safety of bridge operation and prevent major safety accidents, but also can optimize maintenance strategies through long-term data accumulation, effectively extend the service life of bridges, and provide scientific basis for bridge operation and maintenance management, disease control, and expansion decisions, significantly improving the intelligent and scientific level of bridge lifecycle management. In addition, based on current engineering application practices, the article objectively summarizes the practical problems of the system in terms of long-term reliability of sensors, efficient processing of massive data, precise identification of complex damages, and multi system fusion adaptation. Based on industry development trends, the article provides a forward-looking outlook on the future development direction of bridge structure health monitoring and evaluation from the dimensions of technological innovation, standard improvement, and intelligent upgrading.

Keywords

bridge structure; Health monitoring; Evaluation system; Case Analysis

桥梁结构健康监测与评估系统应用研究

普玉富

苏交科集团检测认证有限公司, 中国·江苏·南京 211112

摘要

本文围绕桥梁结构健康监测与评估系统展开全面、深入的研究与探讨, 系统解析了该技术体系在现代桥梁工程中的实际应用价值与实施路径。文章首先明确了系统的核心构成, 涵盖高精度传感器布设、多源数据采集与稳定传输、智能数据分析与处理、结构状态评估与预警等关键模块, 各环节协同运作, 实现对桥梁结构状态的全流程、实时化监测。研究进一步强调, 桥梁结构健康监测与评估系统不仅是保障桥梁运营安全、防范重大安全事故的重要技术手段, 更能通过长期数据积累优化养护策略, 有效延长桥梁使用寿命, 同时为桥梁运维管理、病害治理、改扩建决策提供科学依据, 显著提升桥梁全生命周期管理的智能化与科学化水平。此外, 文章结合当前工程应用实践, 客观梳理了系统在传感器长期可靠性、海量数据高效处理、复杂损伤精准识别、多系统融合适配等方面存在的现实问题, 并立足行业发展趋势, 从技术创新、标准完善、智能升级等维度, 对桥梁结构健康监测与评估领域的未来发展方向进行了前瞻性展望。

关键词

桥梁结构; 健康监测; 评估系统; 实例分析

1 引言

桥梁作为交通基础设施的关键组成部分, 其结构健康状况直接关系到交通的安全与顺畅。随着桥梁建设规模的不断扩大和服役年限的增长, 桥梁结构健康监测与评估系统的应用变得日益重要。该系统能够实时、动态地监测桥梁结构

的响应, 及时发现潜在的安全隐患, 为桥梁的维护、管理和决策提供科学依据^[1]。

2 桥梁结构健康监测与评估系统的组成

2.1 传感器

传感器是桥梁结构健康监测系统的前端感知设备。应变传感器可以测量桥梁结构在荷载作用下的应变变化, 如光纤光栅应变传感器在大型跨海大桥中被广泛应用。加速度传感器能够监测桥梁在风荷载、地震荷载等动态荷载作用下的振动加速度, 像在山区高墩桥梁中, 加速度传感器可实时捕

【作者简介】普玉富(1991-), 男, 中国云南大理人, 本科, 工程师, 从事交通运输工程、桥梁隧道试验检测研究。

捉桥梁的振动情况。还有位移传感器、温度传感器等，它们分别从不同的角度获取桥梁结构的状态信息。

2.2 数据采集与传输

数据采集系统负责将传感器获取的模拟信号转换为数字信号，并进行初步的处理和存储。在一些大型桥梁中，如港澳大桥，由于桥梁结构庞大，需要布置大量的传感器，其数据采集系统必须具备高采样频率、大容量存储和稳定的数据传输能力。数据传输方式包括有线传输（如光纤传输）和无线传输（如 ZigBee、GPRS 等）。有线传输稳定性高，适用于长距离、大数据量的传输，而无线传输则具有灵活性强、安装方便等优点，适用于一些难以布线的区域。大桥结构健康监测系统集成后将包括的下列四个子系统。

这四个子系统将运行于四个层次：第一层次是传感器子系统的各传感器在线拾取大桥关键部位的信号；第二层次是将采集到的传感器信号转换成数字信号存储在本地工业用计算机内，同时通过计算机光纤网络输送到数据处理与管理子系统；第三层次是由计算机服务器与工作站组成的计算机系统完成数据的后处理、归档、显示及存储；并根据健康评估系统的指令为其提供特定格式和内容的数据以及处理结果；第四层次是健康评估系统根据监测系统送来的数据进行分析、统计、阈值判别给出评估意见及报警信息，并为养护工作提出建议。

2.3 数据分析处理

数据分析处理是桥梁结构健康监测与评估系统的核心环节。通过对采集到的数据进行分析，可以得到桥梁结构的各种响应特征。常用的分析方法包括时域分析、频域分析、小波分析等。时域分析可以直接观察桥梁结构的响应随时间的变化规律，在桥梁遭受突发事件（如车辆碰撞）后的结构状态评估中具有重要作用。频域分析则能够揭示桥梁结构的固有频率等动力特性，对于识别桥梁结构的损伤具有较高的灵敏度。小波分析结合了时域和频域的优点，在处理非平稳信号方面具有独特的优势，可用于分析桥梁在复杂荷载作用下的结构响应。

监测中心内部、数据中心内部网络架构不变，对监测中心到网络中心间的网络连接进行升级优化，采用基于二进制流、文本文件、数据库文件三种数据存储模式。

升级监测中心到数据中心间 VPN 设备版本，增加接入带宽，并优化安全策略。增加数据中心的接入线路数量及带宽，同时应用负载均衡技术，进一步提升接入

带宽、网络安全性与可靠性等，满足更多并发、更大数据量的传输需求。网络层预留基于 4G/5G 的传输接口，未来作为应急备份方案^[2]。

3 桥梁结构健康监测与评估系统的应用实例分析

3.1 某跨江大桥概况

该跨江大桥为单跨 730m 的悬索桥，主跨大、交通繁忙。

主桥采用加劲钢桁梁，由主桁架、上下平联、横向桁架组成。主桁架采用华伦式，桁高 5m，桁宽 17.5m，小节间长度 5.0m，大节间（即一个标准节段）长度 10.0m，在每小节处均设横向桁架。上、下平联采用 X 型体系。所有杆件均采用宜加工的工字型截面。全桥共分 73 个节段组拼安装，节段最大吊装长度 10m，节段最大吊装重量 42T。每个节段在工地拼装场地组拼，采用施工缆索吊装就位拼装。

由于地理位置重要，实时监测桥梁健康状况至关重要。大桥安装了应变传感器、加速度传感器和风速仪等设备。应变传感器布置于主塔和主梁关键部位，监测车辆和风荷载作用下的应变；加速度传感器用于监测振动特性。长期数据分析发现，在特定风向和风速下，桥梁振动加速度异常波动，经验证为桥塔附近缆索风致振动引起。为此，采取附加阻尼器等措施抑制缆索振动，确保桥梁安全运营。（二）监测系统的设计原则

大桥结构监测要求监测系统与外部系统互联互通、数据共享，实时展示监测结构”等规定，同时应考虑遵循“先进、适用、稳定、安全、经济、实用”的原则，系统具有有效性、可靠性、经济性及灵活性的特点：

有效性：系统的监测数据与预警信号必须有较高的准确性，以降低无谓的复检及应急处理投入。

可靠性：系统必须具有较低的故障率以及较好的耐久性，以降低维护成本。

经济性：系统造价必须合理，具有较高的性价比，以适应刚构桥梁对状态监测与安全预警的需求。

灵活性：系统的传感技术以及数据采集、传输方式必须灵活，并可与人工检测灵活组合，以适应不同桥梁的具体特点有针对性地进行监测与预警。

为了满足《公路桥梁结构监测技术规范》对于单体桥梁结构健康监测系统应与省级长大桥梁结构健康监测平台、部级长大桥梁结构数据平台实现系统互联、数据共享，三级系统平台应统一数据接口、数据格式和传输协议的要求，更新了结构健康监测系统软件平台数据接口、数据格式和传输协议。

3.2 监测系统检查及维修

系统自诊断分为系统硬件系统的诊断以及各系统软件的自诊断。作为一个完整的健康监测系统，需要从各方面考虑系统的完好性。既需要考虑结构的硬件系统，也要考虑系统的软件系统，看软件系统是否能完好的工作。软件系统包括信号传输、显示的功能，报表的生成，数据的运转等，这些都需要进行分析，以保证整个系统的完好。

远程监视和控制结构监测系统成为一种趋势也成为一种必要。用户通过因特网访问大桥健康系统，能够及时察看系统的运行状态并及时发现问题、解决问题。方便桥梁管理人员地实时查看健康监测系统的状态及预警信息，迅速快捷地做出应对措施处理。维护健康监测系统更加方便简化，大大减少人员上桥维护次数，节约人力、时间、财力等。