

公路桥梁施工监测技术发展趋势与工程实践研究

宋全龙

中衡建设（吉林）有限公司，吉林 长春 130000

[摘要]随着我国公路桥梁建设规模逐渐扩大，结构复杂性也日益增加，在此背景下，施工阶段的安全以及质量控制变得愈发重要起来。传统监测方式大多依靠人工测量以及常规仪器，虽说能够获取桥梁位移、应力以及变形等基本数据，然而其监测频率比较低，所获数据还存在滞后情况，很难满足大型桥梁施工的实际需求。近些年来，光纤传感、自动化监测、无人机航测、激光扫描以及信息化监测平台等相关技术得到了广泛的应用，由此实现了数据的连续采集、远程管理以及可视化分析，促使施工监测朝着智能化与系统化方向不断发展。即便技术在不断取得进步，施工监测在数据处理、系统集成以及实时预警等众多方面依旧存在着提升的空间。

[关键词]公路桥梁；施工监测技术；发展趋势；工程实践

DOI: 10.33142/aem.v7i10.18220 中图分类号: TU723 文献标识码: A

Research on the Development Trend and Engineering Practice of Highway Bridges Construction Monitoring Technology

SONG Quanlong

Zhongheng Construction (Jilin) Co., Ltd., Changchun, Jilin, 130000, China

Abstract: With the gradual expansion of the construction scale of highway bridges in China and the increasing complexity of their structures, safety and quality control during the construction phase have become increasingly important. Traditional monitoring methods mostly rely on manual measurement and conventional instruments. Although they can obtain basic data such as bridge displacement, stress, and deformation, their monitoring frequency is relatively low, and the obtained data still lags behind, making it difficult to meet the actual needs of large-scale bridge construction. In recent years, technologies such as fiber optic sensing, automated monitoring, unmanned aerial vehicle surveying, laser scanning, and information monitoring platforms have been widely applied, enabling continuous data collection, remote management, and visual analysis, promoting the continuous development of intelligent and systematic construction monitoring. Despite continuous technological advancements, there is still room for improvement in various aspects of construction monitoring, such as data processing, system integration, and real-time warning.

Keywords: highway bridges; construction monitoring technology; development trend; engineering practice

引言

随着我国交通基础设施建设快速推进，公路桥梁在区域交通网络里发挥着极为重要的作用，其施工质量以及安全性与交通运输效率、公共安全紧密相关。不过，随着桥梁跨度变得越来越大、墩高不断提升并且施工环境日益复杂起来，桥梁在施工期间很容易出现位移出现异常、应力出现集中、振动超过标准等问题，这给工程安全以及施工管理带来了不少挑战。传统的人工测量以及定期观测办法能够给出基础监测数据，然而存在着监测频率比较低、数据存在滞后情况、空间覆盖范围有限等种种不足之处，很难满足现代大型桥梁施工对于高精度、连续化以及实时化

监测的要求。近些年来，光纤传感、自动化监测、无人机航测、激光扫描、信息化平台、大数据分析以及数字孪生等先进技术慢慢应用到了施工监测当中，达成了从定点、人工观测朝着连续、智能化以及数字化管理转变的效果。这些技术不但提高了数据采集的精度以及效率，而且为施工风险预测、结构健康评估以及决策优化给予了可靠的支撑。在此基础上，本文把公路桥梁施工监测技术的发展趋势当作核心内容，参照工程实践案例，全面且细致地剖析了现有监测技术的应用实际情况、未来的发展方向以及在工程方面产生的效果，目的在于给桥梁施工管理提供科学的依据以及技术方面的参考，促使施工监测朝着更为智能化

化以及高效化的方向去发展。

1 公路桥梁施工监测技术重要性

公路桥梁施工监测技术在桥梁建设中具有至关重要的作用,它不仅能够通过实时监测关键部位的位移、应力和变形等参数,及时发现异常变化,从而保障施工安全和结构健康,预防事故发生;还可通过非破坏性检测和传感器网络对材料、结构设计及施工工艺进行动态验证,实现数据驱动的质量管理,提高施工精度;此外,长期积累的监测数据为桥梁全生命周期管理提供科学依据,有助于识别潜在损伤、优化养护和延长使用寿命;现代监测技术如GNSS定位和无线传输具备高精度和强适应性,可满足复杂环境和高效监测的需求,实现全天候实时监控,减少人工干预;同时,其应用符合行业规范和智能建造的发展趋势,有助于推动桥梁管理从被动应急向主动预防转型。

2 公路桥梁施工监测技术现状

2.1 传统监测技术

常规的公路桥梁施工监测,大多依靠人工测量以及常规仪器来开展观测工作,这里所涉及的仪器设备包含了水准仪、全站仪、经纬仪、应力应变计、位移计还有裂缝计等。其具体的操作流程是通过人工手动布设测点、按照固定时间间隔进行观测并且依靠人工来完成数据记录,如此便能获取到桥梁在施工期间关于变形情况、应力状况、线形状态以及基础稳定性等方面的关键数据。这些传统的监测手段经过长时间的工程实践,已然形成了一套相对成熟的监测模式,具备操作起来较为简便、所用设备的成本较低以及测量所得的数据较为直观等特性,基本上可以满足一般桥梁在施工阶段对于基本安全控制方面的需求^[1]。不过,因为观测的频次会受到人工方面的诸多因素所限制,所以监测所得到的数据往往呈现出离散性的特点以及滞后的状况,没办法达成对整个施工过程进行全过程且连续化实时监测的目标;与此在面临复杂多变的地形条件、恶劣不堪的施工环境或者特殊复杂的施工工况时,传统这种监测方式在数据所能覆盖的范围、精度保持的稳定性以及作业开展的效率等方面都存在着十分明显的欠缺之处,很难去契合现代大型桥梁施工对于高精度以及高时效监测信息的那种需求情况。

2.2 光纤传感与自动化监测

光纤传感以及自动化监测技术于公路桥梁施工这一领域获得了颇为广泛的运用,其最为关键的特点在于借助光纤传感器针对应力、应变、温度、位移等极为重要的参数展开连续且稳定的高精度实时采集活动,并且凭借自动化监测系统达成数据的远程传输以及智能化处理目的。光

纤传感器有着抗电磁干扰能力较为出色、灵敏度颇高、能够长期埋设以及耐腐蚀性能较好等诸多优势,特别适合在桥梁施工阶段用于结构健康监测方面的工作。有了自动化监测系统的助力,光纤传感数据便可以实现全天候的自动采集以及实时更新,由此极大地提升监测的效率以及数据所具有的时效性。与此监测平台往往具备数据可视化呈现、趋势分析以及自动存储等多种功能,能够直观地展示出施工进程中结构状态所发生的种种变化情况。

2.3 无人机与激光扫描技术

无人机以及激光扫描技术在公路桥梁施工监测方面的应用变得日益普遍起来,已然成为提高监测效率以及获取空间数据能力的关键手段。无人机凭借其灵活的飞行平台以及高清影像设备,能够针对桥梁施工现场展开快速且较为全面的航拍与巡查工作,进而获取到诸如结构表面状况、施工进度、构件形态等方面的信息,在高空作业区域、复杂地形或者难以让人靠近的位置,它所具有的优势是十分明显的^[2]。激光扫描技术借助高速激光束对目标实施瞬时测距的操作,可以生成精度颇高的三维点云数据,全方位地呈现出桥梁结构的几何形态、线形变化以及变形特征,从而给施工阶段开展结构比对以及形变分析提供了较为可靠的依据。

2.4 信息化监测平台应用

信息化监测平台于公路桥梁施工监测方面的应用,已然成为提高监测管理效率以及挖掘数据价值的关键途径。凭借物联网、大数据、云计算等现代信息技术,该平台能把现场各式各样的传感器、测量设备以及监测终端整合成一个统一的数据采集与管理系统,达成监测数据的自动汇总、实时传输、集中存储以及可视化展示的效果。此平台一般拥有数据曲线分析、历史记录查询、结构状态评估以及施工风险提示等多种功能,能够直观地呈现出施工进程中桥梁结构的整体变化走向,从而为决策层及时了解工程状态给予有力支撑。

3 公路桥梁施工监测技术发展趋势

3.1 智能化与自动化趋势

在公路桥梁施工监测这块领域当中,智能化以及自动化正在快速地从原本的被动观测朝着主动感知去转变,并且从离线分析也在向着实时决策的方向加速转型,在施工现场,正越来越多地布置各式各样的智能传感网络,这里面包含了MEMS传感器、无线传感器节点还有光纤阵列等等,并且依靠着边缘计算以及物联网来把海量的时序数据及时地汇聚起来,以此来支撑起近实时的响应。与此基于机器学习所构建的异常检测与预测模型正逐步取代经

验判断,进而实现对振动、位移、应变等各类信号的自动识别以及风险等级划分,这就为维护决策提供了量化的依据。数字孪生和 BIM 与监测系统相互深度融合,让物理结构和它的虚拟映射可以同步地发展演变,如此一来便能够支持施工过程的可视化仿真、损伤定位以及对未来状态的预测,最终把监测结果直接转变为施工控制与管理决策方面的输入。无人巡检、自主监测终端以及自动化数据处理流水线逐渐普及开来,这使得监测的时间分辨率以及空间覆盖率都得到了明显的提高,进而让针对突发工况的响应从“事后才发现”的情况转变成了“事前就能够发出预警”的状态。并且在这个过程当中,行业正朝着平台化、标准化以及模块化的监测服务方向去发展,越来越多的监测项目开始采用云端集中管理的方式以及可视化大屏,从而为多专业、多项目的统一调度给予有力的支撑。

3.2 信息融合与大数据分析

随着传感器类型变得多样起来,而且监测手段也在快速地发展,公路桥梁在施工阶段所产生的数据就展现出了多源化、实时化以及海量化这样的特点。信息融合还有大数据分析慢慢变成了提升监测价值的一个十分重要的方向。多源信息融合着重于把光纤传感数据、全站仪测量得出的结果、无人机所获取的三维点云、激光扫描模型以及环境数据等这些不同类型的数据统一起来进行处理。借助时空匹配、数据清洗以及特征重构等一系列的操作,进而达成对结构状态的一种综合性的判读目的,以此来规避单一监测手段所存在的那些局限性。大数据分析技术会去构建时序模型、结构响应特征库以及多维度关联分析算法,能够从极为庞杂的数据当中识别出潜在的结构变化规律,提取出关键的影响因子,还能生成更为可靠的关于趋势的判断依据以及预警依据^[3]。当把机器学习与深度学习模型结合起来之后,数据分析就能够进一步实现对施工阶段变形模式、受力路径的变化情况以及潜在异常的智能识别与预测了,使得监测从以往传统的那种单纯的“结果呈现”状态转变为“模式挖掘”以及“风险预测”这样全新的状态。

3.3 数字孪生与智能预警

在公路桥梁施工监测领域当中,数字孪生技术以及智能预警正逐步构建起高度协同的监测体系。数字孪生借助建立起与桥梁结构物理实体极为一致的虚拟模型,达成施工全程的实时映射以及动态更新,把现场传感器所采集到的应力、应变、位移、振动还有环境数据等,同三维几何模型、施工进度模型相互融合起来,进而给出可视化的、可交互的、可预测的桥梁行为模拟。这一虚拟与现实构成的闭环,不但让工程管理人员可以直观地掌握结构的状态

以及施工所带来的影响,而且还能凭借模拟不同的施工方案以及负载工况来评估结构的响应情况,从而为风险决策给予量化的依据。智能预警系统在这样的基础之上,联合规则库、阈值设定以及机器学习算法,针对监测数据展开实时分析,实现对异常的识别、趋势的预测以及风险等级的划分,使得潜在的结构异常、施工超载或者环境影响能够在早期阶段就被发现并且加以标注。

3.4 高精度传感技术发展

高精度传感技术于公路桥梁施工监测而言,占据着极为关键的地位,其不断发展,监测数据的准确性、可靠性以及时效性均得到了颇为明显的提升。随着光纤光栅传感器、MEMS 微机电传感器、超宽带无线传感器还有高分辨率激光测距设备陆续得到应用,施工期间的应力、应变、位移、振动以及环境参数,皆能达成微小量级的精准捕捉,充分契合大型桥梁结构在施工进程当中对于精细监测所提出的种种需求。高精度传感器自身有着高灵敏度以及低噪声这样的特性,而且即便处于复杂的环境之下,依旧能够维持稳定且持久的监测性能,如此一来,桥梁结构出现的微变形以及早期异常情况便能够被及时察觉到^[4]。与之多传感器融合技术不断向前发展,有力推动了不同类型的传感器之间数据的互补以及误差的校正,借助对空间与时间展开联合分析的方式,监测结果的可靠性以及可解释性都得以提高。高精度传感技术的发展,还给施工监测的自动化、智能化以及数字化给予了数据方面的坚实基础,让监测系统能够胜任实时动态分析、趋势预测以及结构安全评估等相关事宜,进而为现代公路桥梁施工赋予了从定点观测到全局精细化管理的技术助力,促使监测手段朝着高精度、连续化以及智慧化的方向快速地发展演变。

4 工程实践研究

在公路桥梁施工期间,借助将先进的监测技术同具体施工项目相融合的方式,形成了由理论指导与现场应用构成的闭环体系。在实际操作当中,施工监测所涵盖的范围很广,包含了像基础支撑体系、桥墩、梁体以及索塔等关键构件的位移情况、应力状况、振动状态以及温度方面的变化情况,而且还会涉及到施工进度、环境条件还有荷载工况给结构响应带来的综合影响。通过运用诸如光纤传感器、MEMS 微型传感器、无人机航测以及激光扫描等多种不同来源的监测手段,并且结合信息化监测平台来达成数据的实时采集、传输以及可视化分析的目的,工程团队便能够精准地掌握施工阶段的结构状态以及关键节点的变化趋向。实践方面的研究显示,系统化的数据采集工作以及多维度的分析做法,不但可以将桥梁施工里潜在的结

构异常情况和施工风险给揭示出来,而且还能够为施工方案的调整给予量化的依据,进而实现对施工过程的精细化管理。与此随着工程案例不断积累并加以分析,监测方案得以优化、数据处理流程变得更为完善以及跨学科协作模式也得到了验证,这为后续的桥梁施工项目提供了能够被复制的经验和技术方面的参考,促使施工监测从单纯的注重安全控制朝着全生命周期管理以及智能化决策支持的方向去转变,充分展现了现代施工监测技术在工程实践当中的应用价值以及发展潜力。

5 结语

公路桥梁施工监测技术正逐步从传统的依靠人工观测的方式朝着智能化以及数字化的方向去发展。像光纤传感、无人机、激光扫描还有信息化平台这类技术在实际应用当中,使得监测所获取的数据在精度方面以及实时性方面都得到了相应的提高,进而为施工期间的安全保障以及管理决策给予了有力的支持。从工程实践的情况来看,先进的监测技术能够有效地对结构的变化情况以及施工过

程中存在的风险予以掌握,从而促使施工质量得以提升。虽说技术已经取得了一定程度的进步,不过在数据融合、系统集成以及实时预警等诸多方面依旧有着可以进一步提升的空间。在未来,伴随智能化与数字化技术不断地向前发展,施工监测将会变得更加高效且更加可靠。

【参考文献】

- [1]郭枫,李雅鑫,关瀚峰,等.BIM 技术在公路桥梁施工监测中的应用[J].工程技术研究,2025,10(9):202-204.
 - [2]唐涛,蔡华俊.公路桥梁施工中应变监测相关技术研究[J].四川水泥,2021(10):263-264.
 - [3]刘亚飞.BIM 技术在公路桥梁施工模拟及监测中的应用研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2020.
 - [4]明照通.基于激光扫描技术的高速公路桥梁施工监测方法研究[J].建设机械技术与管理,2025,38(5):45-46.
- 作者简介: 宋全龙 (1982.7—), 毕业院校: 吉林大学, 所学专业: 土木工程, 当前就职单位: 中衡建设 (吉林) 有限公司, 职务: 项目经理职称级别: 副高。