

浅谈监测与监控技术在桥梁施工中的应用

夏利阳 曹布尔

浙江致欣检测技术有限公司 浙江 嘉兴 314000

摘要：随着基础设施建设的大力推进，桥梁工程规模与复杂度与日俱增，对施工安全与质量的要求愈发严苛。监测与监控技术在此背景下成为桥梁施工的关键支撑。通过在桥梁施工各环节运用先进传感器、数据采集系统及分析软件，可实时获取结构应力、变形、沉降等关键参数。这些技术不仅助力施工人员及时掌握施工状态，提前预警潜在风险，还能施工方案优化提供依据，有效保障桥梁施工安全与质量，推动桥梁建设向智能化、精细化方向发展。

关键词：监测；监控技术；桥梁施工；应用

引言：在交通网络日益发达的当下，桥梁作为重要的交通枢纽，其建设质量与施工安全至关重要。桥梁施工过程复杂，受地质条件、施工工艺、环境因素等多方面影响，存在诸多不确定性与潜在风险。传统的施工管理模式难以全面、精准地掌控施工动态。而监测与监控技术凭借其实时性、精准性和全面性等优势，能够实时获取桥梁施工中的各类关键信息，为施工决策提供可靠依据，已成为保障桥梁施工顺利推进、确保工程质量与安全不可或缺的手段。

1 桥梁施工监测与监控技术概述

1.1 基本概念界定

监测与监控是桥梁施工安全保障体系的核心组成部分，二者内涵紧密关联却存在本质区别。监测侧重“数据采集与感知”，指通过各类技术手段对桥梁施工过程中的关键参数进行持续观测、记录，精准捕捉结构状态变化，为后续分析提供基础数据支撑，核心是“知其然”。监控则以监测数据为核心，叠加分析、决策与调控功能，通过对监测数据的实时研判，识别施工风险并输出调控指令，主动干预施工过程以保障结构安全与施工质量，核心是“知其然并知其所以然，进而控其然”。二者形成“感知-分析-调控”的闭环体系，共同保障桥梁施工安全。

1.2 技术分类与原理

(1) 传感器技术：作为数据采集的核心，依据监测参数不同可分为应力传感器、应变传感器、位移传感器、温度传感器等。其原理是通过敏感元件将桥梁结构的物理变化（如应力变形、位移偏移、温度波动）转化为可测量的电信号，为后续数据处理提供原始依据，是监测体系的“感知器官”。(2) 无线传输技术：核心作用是实现监测数据的高效、稳定传输，常见技术包括LoRa、5G、物联网等。LoRa技术适用于远距离、低功耗

的小数据量传输，适配复杂施工环境；5G技术凭借高带宽、低延迟优势，满足实时监测数据的高速传输需求；物联网则通过设备互联，构建全方位的数据传输网络，保障数据从采集端到处理端的顺畅流转^[1]。(3) 数据处理与分析技术：是实现监测数据价值转化的关键，主流技术涵盖BIM、大数据、AI算法。BIM技术构建桥梁三维数字化模型，实现监测数据与模型的融合可视化；大数据技术可挖掘海量监测数据中的潜在规律，识别风险演化趋势；AI算法通过智能研判，提升风险识别的精准度与效率，为施工调控提供科学依据。

1.3 技术发展趋势

(1) 智能化、实时化、集成化方向：智能化表现为技术体系具备自主感知、智能分析与自主决策能力，减少人工干预；实时化要求数据采集、传输、分析与调控的全流程高效协同，实现风险的即时响应；集成化则推动各类监测技术、传输技术与分析技术的深度融合，形成一体化监测监控平台，提升体系整体运行效率。(2) 数字孪生与虚拟仿真技术的应用前景：数字孪生技术可构建与实体桥梁完全映射的虚拟模型，实现施工过程的全生命周期动态模拟与监测；虚拟仿真技术能提前模拟复杂施工工况下的结构响应，预判潜在风险。二者结合可实现“虚拟预判-实体监测-虚拟优化-实体调控”的良性循环，大幅提升桥梁施工的精细化管控水平，是未来桥梁施工监测监控技术的核心发展方向之一。

2 监测与监控技术在桥梁施工中的核心应用

2.1 施工过程安全监测

(1) 支架与模板稳定性监测：支架与模板是桥梁现浇施工的核心承重结构，其稳定性直接决定施工安全。监测技术通过在支架立杆、横杆及模板龙骨关键部位布设应力传感器、应变传感器和位移传感器，实时采集荷载作用下的应力应变数据、竖向及水平位移数据。借助

无线传输技术将数据同步至管控平台,结合AI算法分析数据变化趋势,一旦监测数值接近预警阈值,立即触发报警并推送调控指令,避免支架坍塌、模板变形等安全事故,保障现浇结构施工过程的稳定性。(2)大跨度桥梁线形控制:大跨度桥梁施工中,线形偏差易导致结构受力不均,影响工程质量与使用寿命。监测技术通过在主梁、主缆、斜拉索等关键部位布设高精度位移传感器、倾角传感器,实时捕捉施工各阶段的线形变化数据。基于BIM模型构建线形数字化管控体系,将监测数据与设计线形数据对比分析,精准计算调整量,指导施工人员进行索力调整、主梁定位等操作,确保桥梁最终线形符合设计要求,保障结构受力合理性^[2]。(3)深基坑与高墩柱变形监测:深基坑开挖易引发周边土体沉降、边坡失稳,高墩柱施工易因风力、施工荷载导致竖向偏移或水平变形,均需精准监测。深基坑监测通过布设沉降传感器、测斜仪,实时采集基坑边坡位移、周边地面沉降数据;高墩柱监测则采用激光位移传感器、振动传感器,监测墩柱的竖向垂直度、水平位移及振动幅度。通过数据处理技术分析变形规律,预判变形发展趋势,及时采取基坑支护加固、墩柱临时支撑等措施,规避坍塌、倾覆风险。

2.2 结构健康状态评估

(1)混凝土浇筑质量监测:混凝土浇筑质量直接决定桥梁结构耐久性,温度应力、收缩徐变易引发裂缝。监测技术通过在混凝土内部及表面布设温度传感器、应变传感器,实时监测浇筑过程中的温度变化曲线、收缩徐变数据。利用大数据技术分析温度场分布规律,预判温度裂缝产生风险,指导施工人员采取保温养护、分层浇筑等措施;结合应变数据评估混凝土强度发展状态,保障混凝土浇筑质量,减少后期结构病害。(2)预应力张拉与索力监控:预应力施工质量是桥梁结构承载能力的关键保障,张拉不足或过度均会影响结构安全。监测技术通过在预应力筋、锚具及斜拉索、吊索等部位布设应力传感器、压力传感器,实时采集张拉过程中的张拉力数据、索力数据。借助数据处理系统将监测数据与设计值对比,精准控制张拉速率与张拉力大小,避免预应力损失或超张拉导致的结构损伤;对索力数据进行持续跟踪监测,及时发现索力衰减问题并进行补张拉,保障结构长期健康状态。(3)焊接与螺栓连接质量检测:焊接与螺栓连接是桥梁钢结构的核心连接方式,连接质量缺陷易导致应力集中、结构失效。监测技术采用超声波检测传感器、应力传感器等设备,对焊接焊缝进行无损检测,识别焊缝气孔、裂纹等缺陷;对螺栓连接部位布

设应力传感器,监测螺栓预紧力变化,判断是否存在松动问题。结合检测数据评估连接质量,对不合格部位及时返修处理,保障钢结构连接的可靠性,提升桥梁整体结构稳定性^[3]。

2.3 环境与荷载影响分析

(1)风速、温度、地震等环境因素监测:极端环境因素易对桥梁施工安全产生不利影响,需建立全方位环境监测体系。通过布设风速传感器、温度传感器、地震传感器等设备,实时采集施工区域的风速变化、温度波动、地震动参数等数据。利用数据分析技术评估环境因素对施工结构的影响,如强风对高墩柱、挂篮施工的干扰,极端温度对混凝土施工的影响等,提前制定应急预案,在恶劣环境来临前采取停工避险、结构加固等措施。(2)车辆荷载与施工机械动态响应分析:施工过程中,工程车辆、大型施工机械的荷载作用易引发桥梁临时结构或已完结构的动态响应,需精准监测分析。通过在施工便道周边、桥梁临时支座、已完主梁等部位布设振动传感器、应力传感器,实时采集车辆与机械通行时的结构振动数据、应力响应数据。结合动力学分析模型,评估荷载作用下的结构承载能力,合理规划车辆通行路线与机械作业时序,避免超载、重载对结构造成损伤,保障施工过程安全。

2.4 信息化施工管理集成

(1)监测数据与BIM模型的联动应用:依托BIM技术构建桥梁全专业数字化模型,将各监测系统采集的应力、位移、温度等数据与模型构件精准关联,实现监测数据的可视化呈现。通过模型轻量化技术,支持施工人员在移动端实时查看构件监测状态,当数据异常时,模型对应构件自动高亮预警。同时,基于联动数据开展施工模拟优化,预判施工过程中的潜在问题,为施工方案调整提供数据支撑,提升施工决策的科学性。(2)施工进度-质量-安全协同管理平台:整合监测监控数据、施工进度数据、质量检测数据,构建一体化协同管理平台。平台通过数据融合技术,实现进度节点与安全监测、质量检测数据的联动分析,如当某施工工序进度滞后时,自动核查是否存在安全监测异常或质量缺陷问题;通过可视化看板实时展示项目进度、安全预警、质量达标率等核心指标,为管理人员提供全方位的项目管控视角。同时,平台支持移动端审批与预警推送,实现问题的快速响应与闭环处理,提升施工管理的高效性与协同性^[4]。

3 桥梁施工监测与监控技术应用中的挑战与对策

3.1 现存问题与挑战

(1)多源数据融合与处理难度:桥梁施工监测涉及

应力、位移、温度等多类参数，数据来源于不同类型传感器、不同传输渠道，存在数据格式不统一、时空基准不一致等问题。同时，施工过程中产生的海量数据包含大量冗余信息，传统数据处理技术难以实现高效筛选、整合与关联分析。这导致多源数据的价值无法充分挖掘，难以形成对桥梁施工状态的全面精准研判，制约了监测监控技术的应用效能。（2）传感器耐久性与环境适应性：桥梁施工环境复杂多变，高温、高湿、强振动、粉尘干扰等恶劣条件对传感器性能提出严苛要求。部分传感器在长期使用中易出现精度衰减、信号漂移等问题，甚至因环境侵蚀导致硬件损坏，无法持续稳定采集数据。此外，特殊施工场景如深基坑、高空作业区域，传感器的安装与维护难度大，进一步影响了监测数据的连续性与可靠性，给施工安全管控带来隐患。（3）实时性与准确性平衡问题：施工过程中，风险预警的时效性与监测数据的准确性存在天然矛盾。若追求数据传输与分析的高实时性，可能因数据预处理流程简化导致误差增大；若过度强调数据准确性，需增加多层级校验环节，又会延长数据处理周期，无法及时输出预警信息。尤其在大跨度桥梁吊装、深基坑开挖等关键施工环节，实时性与准确性的失衡可能导致风险处置不及时，引发安全事故。

3.2 优化策略与建议

（1）标准化监测体系与规范制定：加快构建统一的桥梁施工监测技术标准体系，明确各类传感器的技术参数、数据格式及传输协议，实现多源数据的互联互通。同时，制定完善的监测流程规范，明确监测点位布设、数据采集、校验、分析等各环节的操作要求，减少人为操作误差。通过标准化建设，降低多源数据融合难度，提升数据处理效率与质量，为精准研判提供可靠数据支撑。（2）边缘计算与云计算协同架构设计：构建边缘计算与云计算协同的数据分析架构，平衡实时性与准确性需求。利用边缘计算设备部署在施工一线，对监测数据进行实时预处理，快速筛选关键信息并发出即时预警，

保障风险响应的时效性；将海量原始数据与预处理后的数据上传至云端，通过云计算平台进行深度挖掘、趋势分析与模型优化，提升数据研判的准确性。二者协同互补，实现监测数据处理的高效化与精准化^[5]。（3）跨学科人才培养与技术团队建设：桥梁施工监测与监控技术融合了土木工程、电子信息、计算机科学等多学科知识，需加强跨学科人才培养。高校与企业可开展校企合作，设置针对性的培养课程，培养兼具施工技术基础与数据处理、智能技术应用能力的复合型人才。同时，加强现有技术团队的专业培训，提升其对新型传感器、智能算法、信息化平台的操作与应用能力。通过人才队伍建设，为技术应用与创新提供智力保障，推动监测监控技术在桥梁施工中的高效落地。

结束语

监测与监控技术在桥梁施工中的应用，为工程建设带来了质的飞跃。它如同桥梁施工的“智慧之眼”，实时洞察施工动态，精准把控质量与安全关卡。通过持续的数据采集与分析，有效预防了潜在风险，优化了施工流程，提升了建设效率。未来，随着科技的不断进步，监测与监控技术将更加智能化、集成化，为桥梁施工提供更全面、深入的保障，助力打造更多高质量、长寿命的桥梁工程，推动交通基础设施建设迈向新高度。

参考文献

- [1]李鹏,张敏.大跨度预应力混凝土桥梁监测监控技术的研究与应用[J].江西建材,2022(06):93-94.
- [2]胡凯.大跨度混凝土桥梁预应力施工监测监控技术[J].黑龙江交通科技,2020,43(11):110-111.
- [3]张兴.基于人工智能的桥梁支座健康检测系统[J].信息记录材料,2024,25(02):118-120.
- [4]周延翱.智能监测技术在桥梁结构健康评估中的应用研究[J].智能城市,2025,11(03):158-160.
- [5]黄文波,戚萱.桥梁智能健康监测技术及应用分析[J].高科技与产业化,2024,30(11):34-35.