建筑工程检测技术数字化转型： 智能监测体系在工程管理中的创新应用

赵子涵

身份证号：430104199408122557

DOI:10.61369/ME.2025010018

摘要： 阐述建筑工程检测技术现状，指出现有局限，强调数字化转型需求。介绍智能监测体系相关技术，包括物联网感知层、数字孪生建模等，及工程构建路径中的系统框架与预警机制设计，还提及多种应用及面临的问题，展望与新技术融合前景。

关键词： 建筑工程检测；智能监测体系；数字化转型

Digital Transformation of Construction Engineering Inspection Technology: Innovative Application of Intelligent Monitoring System in Engineering Management

Zhao Zihan

ID:430104199408122557

Abstract： This article elaborates on the current status of construction engineering inspection technology, points out existing limitations, and emphasizes the need for digital transformation. Introduce the relevant technologies of intelligent monitoring system, including IoT perception layer, digital twin modeling, etc., as well as the system framework and warning mechanism design in the engineering construction path. It also mentions various applications and problems faced, and looks forward to the prospects of integration with new technologies.

Keywords： construction engineering testing; intelligent monitoring system; digital transformation

引言

随着建筑行业的发展，对工程检测技术的要求日益提高。2022年发布的相关工程质量安全政策强调了提升工程质量安全标准的重要性，这促使建筑工程检测技术需从传统向数字化转型。传统检测技术存在局限性，如效率低、数据离散、实时性差等，难以满足复杂工程需求。而智能监测体系的发展为解决这些问题提供了可能，其涵盖物联网感知层、数字孪生建模等关键技术，涉及系统框架设计、多维度监测指标体系等重要方面，对建筑工程检测技术的数字化转型具有重要意义。

一、建筑工程检测技术数字化转型的驱动因素

（一）传统检测技术的局限性

传统建筑工程检测技术存在诸多局限性。人工检测方式效率低下，在大规模建筑工程中，需耗费大量人力和时间，且易受检测人员主观因素影响，检测结果准确性难以保证^[1]。传统检测获取的数据往往呈离散化状态，难以形成系统、全面的评估。不同检测时段和人员获取的数据缺乏有效整合，无法为工程整体状况提供连贯、准确的描述。同时，传统检测实时性差，无法对建筑工程在施工过程中的动态变化进行及时监测。例如在一些大型桥梁建设工程中，传统检测技术难以及时发现结构在施工期间出现的微小裂缝等隐患，无法为工程安全施工提供及时有效的数据

支持。

（二）智能监测的行业需求

随着工程质量安全标准不断提升，对建筑工程检测技术的精准性和实时性提出更高要求。传统检测方法难以满足复杂工程结构和大规模建设项目的需求，数字化转型迫在眉睫。绿色建造理念的深入，强调资源节约和环境友好，需要通过智能监测技术实现对建筑材料、能源消耗等方面的精准把控，以减少浪费和污染^[2]。智慧工地作为建筑行业的发展趋势，集成多种先进技术，智能监测是其核心组成部分。它能够实时收集工程数据，为施工决策提供科学依据，提高工程管理效率和质量，从而推动建筑工程检测技术向数字化转型。

二、智能监测体系的核心技术架构

（一）物联网感知层技术

物联网感知层是智能监测体系的基础，主要涉及传感器网络部署、多源异构数据采集等技术。传感器网络需根据建筑工程的结构特点和监测需求合理布局，确保对关键部位和参数的全面感知^[9]。多源异构数据采集技术能够融合多种类型的传感器数据，如应变、位移、温度等，这些数据具有不同的格式和来源。通过有效的采集方法，可保证数据的准确性和完整性，为后续的分析处理提供可靠依据。边缘计算技术在感知层也起到重要作用，它能够在靠近数据源的边缘设备上进行数据处理，减少数据传输延迟和网络带宽压力，提高系统的实时性和响应速度。

（二）数字孪生建模技术

数字孪生建模技术是智能监测体系的关键。通过 BIM 模型融合实现对建筑工程的精确数字化表征。利用传感器获取工程实体的实时数据，将其映射到虚拟的 BIM 模型中，使虚拟模型与物理实体高度一致，形成数字孪生体。这一过程需要考虑数据的准确性和实时性，确保虚拟模型能真实反映工程实际状态。同时，结构健康诊断算法应用于数字孪生模型，对工程结构的健康状况进行实时评估和预测，为工程管理提供决策依据。此外，动态可视化技术使数字孪生模型以直观的方式呈现，便于工程人员理解和分析工程状况，从而更好地进行工程管理^[14]。

三、智能监测体系的工程构建路径

（一）系统框架设计

1. 多维度监测指标体系

智能监测体系在工程构建路径中的系统框架设计及多维度监测指标体系至关重要。建立涵盖结构应力、材料性能、环境参数等要素的复合型监测指标体系是关键环节。结构应力监测可及时发现建筑结构潜在风险，保障工程安全^[6]。材料性能监测能确保使用材料符合工程要求，避免因材料问题导致工程质量事故。环境参数监测则考虑到温度、湿度等对工程的影响，为工程施工和维护提供合理的环境参考依据。通过整合这些多维度的监测指标，形成一个全面、系统的智能监测体系，为建筑工程检测技术的数字化转型提供有力支撑，实现工程管理的创新应用。

2. 分级预警机制设计

智能监测体系的工程构建路径涉及系统框架设计与分级预警机制设计。在系统框架设计方面，需综合考虑数据采集、传输、存储与分析等模块的集成，确保系统的稳定性与高效性。对于分级预警机制设计，构建基于大数据分析的阈值动态调整模型至关重要。通过对大量工程数据的分析，动态设定合理阈值，以适应不同工程环境与阶段^[6]。同时，制定分级响应预案，依据预警等级明确相应的应对措施，包括工程人员的调度、设备的调整以及应急处理流程等，从而实现工程潜在风险的及时、精准防控，提高工程管理的智能化水平。

（二）数据处理方法创新

1. 时序数据融合算法

小波变换是一种有效的信号处理方法，在处理非平稳信号方面具有优势。将其与深度学习相结合用于异常数据识别，可提高监测的准确性和效率。首先利用小波变换对时序数据进行分解，提取不同频率的特征分量。这些特征分量包含了数据的局部和全局信息。然后将这些特征作为深度学习模型的输入，深度学习模型可以自动学习这些特征与异常数据之间的复杂关系。通过在大量的数据集上进行训练和优化，模型能够准确地识别出异常数据。这种结合方法能够充分利用小波变换的特征提取能力和深度学习的强大学习能力，为智能监测体系中的数据创新提供了方法，有效提升了工程管理中的监测水平^[7]。

2. 分布式存储架构

设计适应工程现场环境的边缘 - 云端协同存储方案是构建智能监测体系分布式存储架构的关键。通过边缘计算设备在工程现场进行数据的初步处理和存储，能够有效减少数据传输量和延迟，同时保证数据的实时性和可靠性^[8]。这些边缘设备可以根据现场环境和需求灵活配置，对采集到的数据进行筛选、压缩和特征提取等操作。然后，将经过处理的数据上传至云端进行进一步的存储和分析。云端存储具有大容量、高安全性和可扩展性等优点，能够满足工程长期监测数据的存储需求。边缘 - 云端协同存储方案实现了现场数据的高效利用和远程管理，为智能监测体系提供了坚实的数据基础。

四、智能监测的创新应用场景

（一）结构安全实时监测

1. 深基坑变形预警

在深基坑变形预警方面，利用位移传感器网络可实现毫米级变形监测与风险预判⁹。传感器网络能够实时获取深基坑关键部位的位移数据，精确到毫米级别。这些数据通过智能算法进行分析处理，能够及时发现微小的变形趋势。一旦变形值超过预设阈值，系统会立即发出预警信号。这种实时监测和预警机制，为施工人员提供了充足的时间采取相应措施，避免深基坑变形过大引发安全事故，有效保障了深基坑施工过程中的结构安全以及周边环境的稳定。

2. 大跨度钢结构健康诊断

应变模态分析技术是大跨度钢结构健康诊断中的重要手段。通过在钢结构关键部位布置传感器，获取结构在荷载作用下的应变响应数据。这些数据经过处理后，可得到结构的应变模态参数。基于应变模态分析理论，可以识别结构的损伤位置和程度。例如，当钢结构出现疲劳损伤时，其应变模态参数会发生变化。通过对比损伤前后的应变模态参数，可以确定损伤的具体位置。同时，结合损伤力学理论，可以进一步评估损伤的程度。该技术为大跨度钢结构的健康诊断提供了一种有效的方法，有助于及时发现结构的安全隐患，保障结构的安全使用^[10]。

（二）建筑材料智能检测

1. 混凝土强度云监测

混凝土强度云监测是建筑材料智能检测的重要部分。通过传感器等设备对混凝土强度相关数据进行实时采集，如应力、应变等信息。利用云计算技术，将采集到的数据传输到云端进行分析处理。基于声发射技术开发强度发展曲线预测系统，能够根据混凝土内部结构变化产生的声发射信号，分析其强度发展趋势。借助大数据分析技术，对海量监测数据进行挖掘，从而更准确地评估混凝土强度。这种云监测方式不仅能实现实时监测，还可远程获取数据，为工程管理人员提供及时、准确的决策依据，确保建筑工程质量和安全。

2. 钢筋锈蚀无损评估

在钢筋锈蚀无损评估中，构建电磁感应检测数据与腐蚀程度的映射模型是关键。通过电磁感应原理获取钢筋的相关数据，这些数据包含了钢筋的电磁特性等信息。利用先进的数据分析技术和算法，对获取的数据进行处理和分析。将处理后的数据与已知的钢筋腐蚀程度进行关联和对比，从而建立起两者之间的映射关系。这种映射模型能够准确地反映电磁感应检测数据与钢筋实际腐蚀程度的对应规律。基于此模型，工程人员可以通过检测到的电磁感应数据快速、准确地评估钢筋的锈蚀情况，为建筑工程的质量和安全生产提供有力保障。

（三）施工过程质量管控

1. 装配式构件安装精度控制

装配式构件安装精度控制至关重要。利用机器视觉技术可实现毫米级安装误差实时反馈。该技术通过在施工现场设置高精度摄像头，对装配式构件的安装过程进行实时监测。摄像头获取的图像数据传输至智能分析系统，系统利用图像识别算法精确提取构件的关键特征点，与设计模型中的理想位置进行对比，从而快

速、准确地计算出安装误差。一旦误差超出允许范围，系统立即发出警报，提示施工人员进行调整。这不仅提高了安装精度，保证了装配式建筑的质量，还减少了因安装误差导致的返工和资源浪费，有效提升了施工效率和经济效益。

2. 防水工程渗漏监测

在防水工程渗漏监测方面，智能监测体系具有重要创新应用。通过在防水工程关键部位铺设分布式光纤传感器，可实时感知渗漏相关的微小物理变化。当防水层出现渗漏时，水分的侵入会导致光纤周围环境的折射率等物理参数改变，传感器能敏锐捕捉并将信号传输至监测系统。监测系统利用先进算法对数据进行分析处理，准确判断渗漏位置和程度。这不仅能及时发现渗漏隐患，避免渗漏问题进一步恶化对建筑结构造成损害，还能为维修提供精准定位，减少维修成本和时间，有效保障防水工程质量，提升建筑整体防水性能。

五、总结

智能监测体系在建筑工程管理中具有重要应用价值。在提升检测精度上，通过先进技术实现对工程各项指标更精准监测。在优化管理流程方面，实现了实时数据传输与分析，提高了管理效率。同时能有效预防工程风险，提前发现潜在问题。然而，目前也面临一些技术瓶颈，如传感器耐久性不足，影响长期监测效果；算法泛化能力有限，难以适应复杂多样的工程环境。展望未来，智能监测体系应与5G、区块链等技术深度融合。5G可提供更高速稳定的数据传输，区块链能确保数据的安全性与不可篡改性，从而进一步提升智能监测体系在建筑工程管理中的效能，推动建筑工程检测技术的数字化转型。

参考文献

- [1] 杜丹丹. 唐山市建筑工程检测实验室质量管理体系研究 [D]. 华北理工大学, 2019.
- [2] 蓝天锐. 基于本体的建筑工程检测实验室管理系统构建 [D]. 广东工业大学, 2021.
- [3] 王海燕. 数字化转型、技术创新与企业价值 [D]. 河北大学, 2022.
- [4] 刘荟. 数字化转型与企业技术创新研究 [D]. 重庆工商大学, 2023.
- [5] 和姿祎. 数字化转型对制造企业绿色技术创新的影响研究 [D]. 哈尔滨理工大学, 2023.
- [6] 冉献伟. 建筑工程检测中无损检测技术的应用 [J]. 建筑·建材·装饰, 2019(5):85.
- [7] 蒙娇. 建筑工程检测中无损检测技术的应用 [J]. 区域治理, 2018(36):186.
- [8] 李海军, 王金锋. 建筑工程检测中无损检测技术的应用探讨 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2016(5).
- [9] 曹建胜. 浅析无损检测技术在建筑工程检测中的应用 [J]. 居业, 2019(10):84,86.
- [10] 唐鸣. 无损检测技术在建筑工程检测中的应用 [J]. 建材发展导向(上), 2021, 19(7):310-311.