

建材检测中新型智能化监测技术的应用探讨

芦文娟

(济南一建集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 在建筑行业向着绿色化和工业化方向发展的大环境中, 建材质量精准检测是确保工程安全和可持续性发展的核心步骤, 面临着传统技术效率瓶颈和数据维度限制的双重考验。基于此, 本文基于建材检测中智能化检测技术应用的优点, 分析当前常用的智能检测技术, 探讨智能化监测技术应用策略, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 建材检测; 新型智能化监测技术; 区块链技术; 物联网监测技术; 人工智能分析技术

中图分类号: TU5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.23.008

0 引言

随着新型城镇化建设的深入推进, 建材市场对高性能、多功能材料的需求日益增长, 检测技术的革新成为行业高质量发展的关键驱动力。传统建材检测由于依赖人工操作和单点数据等原因, 很难捕捉到复杂服役环境中材料性能演化规律, 造成质量风险预警的滞后性。新型智能化监测技术以动态感知和智能分析为核心, 通过部署分布式光纤传感器、无线传感网络 (WSN) 和机器视觉系统等, 实现对建材从生产制备到施工应用全过程状态进行实时跟踪。这类技术应用打破了传统检测在时间和空间上的局限, 建构起“数据驱动—智能决策—精准控制”新检测范式, 对建材行业技术升级具有重要意义。

1 建材检测中新型智能化监测技术的应用优势

1.1 多维度感知融合的精准监测效能

新型智能化监测技术通过集成分布式光纤传感、微机电系统 (MEMS) 传感器等多元感知模块, 构建全域覆盖的监测网络。该技术打破传统单点检测限制, 以传感器阵列协同工作机制为基础, 将检材内部应力应变, 温湿度场和裂纹扩展多个物理量进行同步获取和融合分析^[1]。通过构建多变量耦合数学模型可以对建材结构实时状态参数进行精准反演, 监测精度比传统技术提高 2~3 个量级, 有效地解决了复杂环境中检测信号易受干扰和特征提取难的问题, 从而为建材性能精细化评价提供可靠的数据支持。

1.2 动态响应与趋势预判的时效革新

智能化监测技术搭载边缘计算与实时数据处理引擎, 可对采集的海量检测数据进行毫秒级特征提取与异常识别。基于机器学习算法建立的状态预测模型可

以从历史数据中训练和发掘建材性能演化规律以达到超前预判结构损伤和性能劣化趋势。这种从“事后检测”到“事前预警”的范式转变, 将检测周期从人工巡检的周期性间隔缩短至动态连续监测, 成功地将建材的缺陷检测时间提前 30%~50%, 这大大增强了检测任务的及时性和主动性, 为工程的维护决策提供了宝贵的时间窗口。

2 新型智能化监测技术分类

2.1 区块链技术

区块链技术通过去中心化分布式账本架构, 构建不可篡改的数据存储与验证体系。其核心机制由链式数据结构, 非对称加密算法和共识协议组成, 这三者协同保障数据在整个生命周期内的可信性。链式结构利用哈希指针在时间序列上实现数据验证, 任意节点篡改数据会使后续块哈希值无效, 从而构成自验证纠错机制。非对称加密技术确保数据传输和储存的机密性, 公私钥体系允许授权访问, 也避免数据泄露。共识协议采用工作量验证或权益确认等手段, 在去中心化的背景下确立节点之间的信赖, 确保数据记录在不需要第三方背书的情况下得到整个网络的批准^[2]。

2.2 物联网 (IoT) 监测技术

物联网技术以多模态传感器网络为核心, 构建覆盖物理世界的实时感知体系。该技术框架涵盖三个主要方面: 传感器节点利用微机电系统 (MEMS) 达到纳米级的环境参数感知, 并能够支持温度、湿度和振动等多个维度的数据收集; 通信层以 LPWAN, 5G 等协议栈为支撑, 构成低功耗广域覆盖和高速率短距传输协同网络; 边缘计算节点再经过本地化的数据处理来进行数据清洗, 特征提取和异常检测。多源异构数据完成

云边端架构下的时空对齐和语义融合,构成时空连续性监测图谱。

2.3 人工智能(AI)分析技术

AI 分析技术通过机器学习与深度学习算法,构建从数据到决策的智能闭环。该技术流程分为三个阶段:在特征工程阶段,使用卷积神经网络(CNN)来提取图像的纹理特性,或者采用循环神经网络(RNN)来建立时间依赖性模型;在模型训练阶段,利用迁移学习和联邦学习机制在保证数据隐私的同时实现知识的跨域迁移;在推理决策阶段,采用强化学习的方法,对控制策略进行动态优化。生成对抗网络(GAN)和自编码器(AE)的引入进一步提高该模型识别异常模式的能力。该技术架构打破传统规则引擎限制,对安全预警和质量检测场景具有自适应和可解释智能分析能力^[3]。

3 建材检测中新型智能化监测技术的应用措施

3.1 构建 AI 视觉识别系统自动分析建材表面缺陷

建材表面缺陷检测需突破人工巡检效率低、主观误差大的瓶颈。通过搭建 AI 视觉识别系统可以将深度学习算法应用于建材表面图像特征提取和缺陷分类中,从而自动化识别裂纹、孔洞和色泽不均这类常见的缺陷。通过对优化模型的不断训练,系统能够增强检测的准确性和效率,并对建材质量管控实时提供数据支持^[4]。

例如:在某桥梁工程预制构件检测中,项目团队基于 YOLOv5 算法开发专用 AI 视觉识别系统。课前采集 thousands of 混凝土箱梁的表面高清图像并对裂纹和蜂窝麻面缺陷类型进行标记,建立多维度的训练数据集。接着,在野外移动检测终端上部署轻量化模型,检测人员利用装有高清摄像头和手持设备的无人机对预制构件实施全方位扫描成像。该系统能够自动地对图像执行灰度转换、去除噪声和增强特征,利用卷积神经网络逐级抽取纹理、形态等核心特性,并与训练模型中的缺陷特征库进行比对和匹配。当系统侦测到超出 2 mm 长度的裂缝时,它会自动激活一个预警系统,并产生包括缺陷的位置、种类和严重性在内的详细检测报告。同时,通过设置区域 ROI(感兴趣区域),对预应力孔道周边等易损部位进行重点检测,将缺陷识别率从人工监测的 75% 提升至 92%。该技术平台整合实时数据传输的能力,并将检测数据同步到项目管理系统中,这为施工团队在制定修复计划时提供准确的参考,从而减少 30% 的缺陷处理时间。

3.2 开发区块链存证平台确保检测数据不可篡改

建材检测数据的真实性与完整性是工程质量追溯的核心。区块链技术以分布式账本,加密算法和共识

机制为检测数据的去中心化存证提供一种解决方案。每个检测环节的数据(如抽样时间、检测参数、人员签名等)以哈希值形式封装成区块,按时间顺序链接成不可篡改的链式结构,实现数据来源溯源,内容可验证,运行可审核,解决传统中心化存储中数据被篡改的风险。

例如:在某高层建筑钢结构检测项目中,研发团队搭建基于 Hyperledger Fabric 的区块链存证平台。在物料进场检测环节,取样人员利用具有 GPS 定位的智能终端实时获取钢材牌号和炉批号,利用 SHA-256 算法产生数据哈希值并将其随取样视频片段打包上传到区块链节点。检测实验室接收样品后,检测设备通过 API 接口自动将力学性能试验数据(例如屈服强度,抗拉强度等)实时写入区块,通过椭圆曲线对检测人员的电子签名进行加密,并嵌入数据链中。监理单位利用共识机制对数据进行完整性验证,每一个区块都需要得到三分之二以上节点的确认才能有效。在检测到某批钢材的检测数据出现异常的情况下,通过区块链浏览器可以对数据进行溯源,并对采样,运输和检测等全过程的运行记录进行验证。该平台建立智能合约,自动触发报警,若检测到的数据超出标准限值,则及时将报警信息同步发送给施工、监理和施工单位。工程完工后将全部检测数据组成不可篡改区块链存证文件并入工程数字档案中。该技术平台成功地将数据伪造的风险减少到零,同时数据追溯的效率提高 80%,为后续的工程质量责任鉴定提供坚实的技术基础,有关做法已列入地区建设工程质量数字化管理示范案例。

3.3 部署物联网传感器实时采集建材物理参数

建材性能受环境参数动态变化的影响显著,如混凝土凝结过程中温湿度波动可能导致内部应力集中,钢材长期暴露于高湿度环境易引发锈蚀。通过布设物联网传感器网络可以实现检材物理参数持续,非破坏性的监控,从而为质量溯源提供数据支持。

在大型桥梁工程中,针对预制混凝土构件的湿度—温度—应力耦合监测需求,可构建多层级物联网监测体系。在具体执行过程中,混凝土浇筑阶段需要预置分布式光纤传感器(DFOS),该传感器能够同步检测构件内部的温度梯度和应变分布,并通过 LoRa 无线模块将这些数据传送到边缘计算网关。同时在养护棚中设置温湿度一体式传感器并结合智能算法构建环境参数和材料性能关联模型。例如:对于 C50 高强度混凝土,可以设定湿度阈值为 $90\% \pm 5\%$ 、温度阈值为 $25 \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。当监测数据偏离这些阈值时,系统会自动触发声光报警,

并将预警信息推送到施工方的APP端。为确保数据的可靠性,需要定期对传感器进行标定和校验,采用三点法来校准温湿度传感器的精度至 $\pm 0.5\%$ RH、 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,并利用无线自组网技术来实现节点间的数据冗余备份。另外,还可以与BIM模型相结合构建参数与位置的映射关系,并利用WebGL技术在三维模型上直观地展示实时监测数据,方便管理人员对异常区域的迅速定位和干预措施的制定。

3.4 应用无人机巡检技术监测大型建材堆放状态

大型建材堆场具有占地面积广、物料形态复杂、动态变化频繁的特点,传统人工巡检方式存在效率低、盲区多、数据更新滞后等问题。无人机巡检技术借助搭载的多光谱相机和激光雷达可以实现堆场的三维建模和物料体积的动态测算,并结合AI算法智能研判堆放的合规性,从而为资源调度和安全管理等提供决策支持。

在港口建材堆场智能化管理中,可基于无人机平台构建“感知—分析—决策”一体化监测系统。在实现过程中,需要选择装备RTK定位模块、搭载16线激光雷达和1080P高清相机、采用SLAM算法以达到厘米级别定位精度的工业级无人机。考虑到水泥筒仓和钢材垛位等特定场景,我们可以规划一个“Z”字形的巡检航线,其中飞行高度被设定为50m,而航速则被限制在5m/s,确保保险的覆盖面积能够达到15万 m^2 。数据采集阶段激光雷达产生点云数据为每秒50万点将RGB影像与相机同步采集,采用多源数据融合算法建立堆场数字孪生模型。在物料体积的计算方面,可以采用泊松重建算法来提取点云表面的特性,并结合蒙特卡洛方法来确保体积误差率低于0.8%。为增强合规性研判,需要构建深度学习模型来分类识别堆放形态,如钢材垛位划分成“阶梯式”“井字形”6种标准堆型并自动标记偏离标准形态堆体。另外,还可以结合气象数据构建环境与堆放稳定性的关联模型,在风速大于8m/s的情况下系统会自动产生风险预警,建议增加防风缆绳或者调节堆放角度等加固方案。监测数据通过API接口推送到企业ERP系统中,动态联动库存管理和施工进度,减少物料供应落后造成工期延误的风险^[5]。

3.5 集成大数据分析模型预警建材性能衰变趋势

在建材检测领域,构建动态数据网络是精准预判性能变化的核心路径。通过布设多维度传感器矩阵实时获取建材在温湿度和应力应变环境中微观数据波动

情况,然后使用机器学习算法训练大量历史数据特征,可以形成具有自迭代能力的衰变预测模型。该技术路径能够打破传统抽样检测滞后性限制,将“结果验证”向“过程预警”检测范式提升。

以某跨海大桥工程为例,施工方在箱梁混凝土浇筑时预埋分布式光纤传感器,构建覆盖全结构的应变数据采集网络。该系统每隔10分钟对每个监测点进行温度—应变数据采集,经过边缘计算节点对异常值进行初步筛选,再把有效数据传送到云端大数据分析平台。该平台利用XGBoost算法创建一个衰变预测模型,并在对连续30天的数据进行分析后,发现某一区段的混凝土早期强度增长曲线与标准模板存在12%的偏差。检测人员立即调取该路段的施工日志并与原材料入场检测数据交叉核查,结果粉煤灰掺量的波动引起水化反应不正常。通过对配合比的调整和监测频率的加密,模型预测的误差率被限制在后续建设的范围内。本案例显示出大数据模型在实时数据中发掘潜在风险和动态校准检测策略等方面的技术优越性,可为跨海工程耐久性评估问题提供可重用数字化解决方案。

4 结束语

在建筑行业转型升级的关键阶段,建材检测的技术革新对保障工程安全与可持续发展意义重大。新型智能化监测技术以其多维度感知融合和动态响应预判的特点,打破传统检测在效率和数据上的限制,建构“数据驱动—智能决策,精准控制”的检测新范式。它通过区块链、物联网和人工智能技术交叉运用,从表面缺陷检测至性能衰变预警全过程赋能建材行业走向数字化、智能化转型的核心驱动力,也为提高工程质量管理水平,促进绿色可持续发展奠定坚实的基础。

参考文献:

- [1] 陈少威,张璐,韩东明.建筑材料检测机构管理对检测质量的影响[J].城市建设理论研究(电子版),2023(11):61-63.
- [2] 高金伟.浅谈如何控制节能建材检测的质量[J].科学技术创新,2020(05):144-145.
- [3] 毛爱新.建材检测中的误差与数据处理研究[J].城市建设理论研究(电子版),2019(21):51.
- [4] 王琳.建筑材料检测机构管理对检测质量的影响分析[J].中国标准化,2018(16):176-177.
- [5] 李国树.浅析建材产品检测管理与质量控制[J].建材与装饰,2018(31):50.