

AI 智能监测系统在土建施工质量缺陷识别中的应用研究

孙肖辉

中核环境产业投资股份有限公司

DOI:10.32629/bd.v9i8.4671

[摘要] 土建施工现场工况复杂、质量缺陷类型繁多,传统质量检测长期依赖人工巡检与定点抽检模式,普遍存在识别精度有限、监测频次不足、主观偏差较大、隐患发现滞后等突出问题,难以适配现代化工程精细化、动态化、全过程的质量管控需求。本文以AI智能监测技术在土建施工质量缺陷识别中的应用为研究对象,系统梳理机器视觉、深度学习、自动传感采集、云端数据传输等核心技术原理,围绕混凝土工程、钢结构工程、装饰装修工程及危大工程四大施工场景,深入分析智能系统对各类常见及隐蔽质量缺陷的识别机制与应用路径。

[关键词] AI智能监测系统; 土建施工; 质量缺陷识别; 应用

中图分类号: TU71 文献标识码: A

Application of AI Intelligent Monitoring Systems in Quality Defect Identification for Civil Engineering Construction

Xiaohui Sun

China Nuclear Environmental Industry Investment Co., Ltd.

[Abstract] Civil engineering construction sites involve complex working conditions and a wide variety of quality defects. Traditional quality inspection has long relied on manual inspections and spot-checking methods, which generally suffer from limited identification accuracy, insufficient monitoring frequency, significant subjective bias, and delayed detection of potential hazards. These limitations make it difficult to meet the requirements of modern engineering quality management characterized by refinement, dynamism, and whole-process control. This paper focuses on the application of AI intelligent monitoring technology in quality defect identification for civil engineering construction. It systematically reviews the core technical principles of machine vision, deep learning, automated sensing and data acquisition, and cloud-based data transmission. Focusing on four major construction scenarios—concrete engineering, steel structure engineering, decoration and finishing engineering, and high-risk construction projects—the paper analyzes in depth the identification mechanisms and application approaches of intelligent systems for various common and concealed quality defects.

[Key words] AI intelligent monitoring system; civil engineering construction; quality defect identification; application

引言

长期以来,施工现场质量检测主要依靠人工目视检查与传统仪器抽检,检测结果容易受人员经验、作业环境、观测视角等因素干扰,细微缺陷、动态变化隐患极易出现漏检、误检情况,导致质量问题整改滞后,不仅增加施工返工成本与材料损耗,还会给建筑结构长期安全运行埋下隐患。人工智能、机器视觉、自动化传感与云端数据技术的快速发展,为土建施工质量的智能化管控提供了全新技术路径。

1 AI智能监测系统核心技术与运行原理

1.1 图像识别、深度学习、机器视觉核心技术

(1) 图像识别技术是实现施工缺陷智能化筛查的关键环节,主要负责对采集的施工现场影像数据进行预处理与特征筛选。系统会自动完成图像的降噪、去模糊、画面裁剪、光影校正等基础处理工作,有效消除施工现场扬尘、光线明暗不均、杂物遮挡等外界环境带来的画面干扰。在优化图像画质后,技术会精准提取土建结构表面的形态特征、纹理变化、边界轮廓等关键信息,将肉眼模糊的外观差异转化为可识别、可对比、可量化的图像数据,完成对施工结构外观状态的初步甄别分类。(2) 深度学习技术是整套智能监测系统的核心运算与判定核心,依托自建的土建施工缺陷数据库完成模型训练与迭代优化。系统通过海

量标准化的施工缺陷样本持续学习各类质量通病的特征规律,不断优化内部运算逻辑与识别标准。在实际运行过程中,深度学习模型可以自主比对实时图像特征与标准施工工艺特征的差异,自主区分合格施工区域与存在缺陷的施工区域。相较于传统固定程序判定模式,深度学习具备自主学习、持续优化的能力,能够适配施工现场复杂多变的工况环境,精准识别混凝土裂缝、表面破损、平整度偏差、构件拼接缺陷等各类土建质量问题,实现从图像采集、特征分析到缺陷判定的全智能化运行。

1.2 自动化传感监测、数据采集与云端传输技术

(1) 自动化传感监测是整套智能监测系统获取结构内部状态数据的底层支撑手段。各类适配土建施工场景的传感装置会按照预设点位固定布设于构件内部或是结构表面。设备可以持续捕捉位移、应力、温度、沉降等无法依靠视觉拍摄获取的隐性指标。传感元件具备稳定的环境适应能力,能够长期处在潮湿、温差波动大的施工场地保持稳定工作状态。元件输出的数值不会随外界轻微扰动出现大幅波动,能够持续输出连续且具备参考价值的原始物理数据,填补机器视觉仅能观测外观的能力空白。(2) 标准化数据采集模块承担传感信号接收与初步规整的工作^[1]。所有传感设备生成的模拟信号会统一汇入采集终端完成转换处理。终端会同步完成无效数据过滤与时序标记工作,剔除设备短暂故障或是环境突发干扰产生的异常数值。每一组有效数据都会标注对应的采集时间与监测点位,保障所有数据具备完整的溯源依据。(3) 云端传输技术负责完成本地采集数据的远距离存储与同步共享。本地终端处理完成的数据会通过稳定无线传输链路推送至远端云服务平台。传输流程自带加密校验机制,每一段数据包都会完成完整性核对,避免传输过程中出现数据丢失或是内容篡改的情况。上传至云端的数据会按照监测区域、构件类型、数据类别完成分层归档存储。管理人员可以通过各类终端随时调取全部历史监测记录,云端存储介质能够长期保存海量监测数据,不会出现本地存储设备容量不足或是文件损坏丢失的问题,为后续缺陷趋势分析与质量复盘提供完整的数据储备。

1.3 AI算法缺陷训练、特征提取与智能判定机制

(1) AI算法缺陷训练是保障智能监测系统适配土建施工质量检测场景的核心基础工作。系统模型在正式投入施工现场使用前,需要依托大量土建施工常态化质量缺陷样本开展系统性训练工作。训练过程会持续整合施工全过程中产生的各类结构缺陷数据,不断积累不同施工环境、不同结构部位、不同缺陷形态的样本资源。通过反复的模型迭代学习,系统能够逐步梳理各类质量缺陷的形成特征与变化规律,持续修正自身识别逻辑,弱化环境干扰带来的判定误差,让算法识别标准贴合现场实际施工工况,彻底摆脱固定程序识别的局限性。(2) 特征提取是AI算法完成缺陷识别的核心中间环节,也是区分合格结构与缺陷结构的关键步骤^[2]。系统会对采集到的结构影像数据和传感数据进行深度拆解分析,自主筛选具备辨识度的有效特征信息。这类特征涵盖结构表面的纹理变化、形体偏差、边界形态以及各类

传感数值的波动规律。(3) 智能判定机制是整套算法体系的最终执行环节,承担质量缺陷识别与状态研判的核心职能。完成特征提取后,系统会将实时采集的结构特征与训练成型的标准缺陷特征库进行全方位比对分析。依托自主学习形成的判定逻辑,系统可以自主区分结构正常施工偏差与危害性质量缺陷。同时能够根据特征匹配的贴合程度,自动划分缺陷的轻重等级,完成缺陷类型的精准归类。整套判定过程无需人工干预,全程依靠系统自主运算完成,能够有效规避人工判定的主观误差,持续提升土建施工质量缺陷识别的精准度与稳定性。

2 AI智能系统在土建质量缺陷识别中的具体应用

2.1 混凝土工程缺陷智能识别

(1) AI智能系统能对混凝土表面裂缝做全方位识别,结构性裂缝和温度收缩裂缝都能覆盖。系统靠深度学习模型捕捉混凝土表层细微纹理变化,肉眼容易忽略的浅层细纹和隐蔽性裂纹也能精准捕捉到。还能自动区分裂缝的成因——是结构受力产生的危害性裂缝,还是养护不当、温湿度变化引起的普通收缩裂纹,分得比较清楚。(2) 针对混凝土浇筑常见的蜂窝麻面问题, AI识别技术筛查效率挺高。混凝土表层骨料外露、砂浆缺失、表面凹凸不平这些问题,系统通过图像特征比对都能准确捕捉。它能大范围连续扫描混凝土墙面、梁柱、板面这些结构部位,人工巡检容易漏掉的边角位置和高处结构面也能覆盖到,把缺陷的分布范围和严重程度判定清楚。比人工一面墙一面墙地查快得多,筛查覆盖率和准确率都上来了。(3) 系统还能识别施工操作不规范导致的漏振缺陷,以及养护不当产生的温差裂纹。浇筑漏振会让结构内部密实度不够,表层出现空洞和疏松,传统检测很难快速区分哪些是轻微漏振区域。AI系统通过结构表面成型纹理和密实度特征差异,能精准定位振捣不到位的薄弱部位。大体积混凝土温差变化产生的温差裂纹,系统结合温度传感数据和外观图像一起研判,把温度场变化和裂纹产生的关联分析到位。

2.2 钢结构工程缺陷智能识别

(1) AI智能系统能够对钢结构焊接区域的表层缺陷进行全域扫描识别,重点针对焊接施工中高频出现的咬边问题进行精准判定。钢结构焊缝位置的咬边缺陷形态细微,分布位置零散,人工检查极易出现漏判。系统通过深度提取焊缝边缘的成型轮廓与熔合纹理特征,可以精准捕捉焊缝与母材衔接位置的不规则凹陷形态,有效区分正常焊接波动与超标咬边缺陷,并依据成型特征判定缺陷的严重程度,为后续修补作业提供精准的数据参考。(2) 气孔属于钢结构焊接的常见质量通病,细小气孔分布密集且体积微小,肉眼很难全面甄别。AI智能模型通过长期的样本训练,能够精准捕捉焊缝表面的孔洞纹理特征,过滤现场烟尘、焊渣残留等环境干扰因素,全面识别不同规格、不同密集程度的气孔缺陷,有效解决人工排查精度不足的行业痛点,保障焊缝表层成型的完整性与密实度^[3]。(3) 对于钢结构焊接核心隐患的未焊透缺陷, AI系统可以结合图像特征与结构数据开展综合研判。未焊透属于危害性较高的隐蔽焊接缺陷,会直接削弱焊缝的有效受力截面,降低钢结构整体连接强度。系统依托深度学习

算法识别焊缝成型厚度与熔合深度的异常特征,精准识别焊缝内部熔合不充分的区域,弥补人工仅能观察表面、无法判断内部焊接质量的短板。

2.3 装饰装修工程缺陷识别

(1) AI智能系统能够对墙面地面铺贴面层、涂饰面层的空鼓缺陷开展智能化识别。空鼓属于装修工程中发生率最高的隐蔽缺陷,表层装饰材料外观并无明显变化,人工排查依赖敲击听音判断,主观性极强,且大面积排查耗时耗力。AI系统依托高清成像结合纹理特征深度学习,结合面层细微形变与光影差异,能够精准捕捉基层粘结不密实的空鼓区域。系统可以全面覆盖墙面、地面、吊顶等各类装修部位,有效识别局部空鼓和大面积空鼓区域,大幅提升空鼓缺陷的排查精度与覆盖范围。(2) 针对装修工程普遍存在的平整度偏差问题,AI智能识别技术具备高效精准的检测能力。传统靠尺检测仅能抽取局部点位测量,无法反映整体面层的平整状态^[4]。AI系统通过对装修面层进行全域图像采集与坐标比对,能够精准捕捉面层凸起、凹陷、局部错位等细微偏差,精准量化整体平整度误差,突破传统抽检模式的局限性,实现整体面层平整度质量的全面把控。(3) 系统可精准识别涂饰工程与板材饰面存在的色差缺陷。装修面层的色彩均匀度是观感质量的核心指标,轻微色差在复杂光线环境下难以被人眼分辨。AI智能模型通过标准化色彩参数比对,能够规避光线强弱、角度变化等外界干扰,精准识别面层色泽不均、局部发花、新旧色差等各类问题,统一色彩判定标准,消除人工观感判断的主观差异。

2.4 危大工程智能监测识别

(1) 深基坑施工监测这块, AI智能体系把传感数据和视觉识别技术结合起来,持续盯着围护结构的位移变化。基坑土体和围护结构的位移是动态变化的,常规人工测量只能拿到单日的离散数据,看不出持续变形的规律。智能系统可以全天候不间断采集深层位移、顶部水平位移这些核心参数,自动梳理位移变化速率和累计量的发展趋势。系统能精准识别位移增速异常、变形持续扩大这类结构性隐患,及时判定基坑施工中出现的不稳定状态,把常规巡检很难发现的渐变型缺陷揪出来,提前规避基坑坍塌、土体滑移这些重大风险。(2) 高支模架体监测方面, AI能

对架体整体形变和受力异常做智能化研判。高支模架体受力复杂,浇筑过程中的瞬时过载、局部变形、杆件偏移这些问题隐蔽性很强,人工排查没法实时掌握架体受力变化^[5]。智能监测系统靠实时传输的轴力和位移数据,再结合视觉轮廓比对算法,持续捕捉架体的微小形变和整体偏移趋势。(3) 大体积混凝土温控缺陷这块, AI智能监测模式能对温度场变化做全程识别和偏差判定。大体积混凝土水化热变化快,内外温差失衡很容易引起结构性温度裂纹。传统温控靠人工定时测温,数据间隔大,抓不住完整的温度变化规律。AI系统能持续采集混凝土内部和表层的温度数据,自动分析温差变化趋势,精准识别降温速率过快、局部温度过高、温控措施失效这些隐性缺陷。

3 结语

综上所述, AI系统不仅可以精准识别各类常规外观质量通病,还能动态监测结构形变、温度失衡、位移超标等隐蔽性结构性隐患,实现施工质量与安全风险的前置预判与闭环管控,有效降低工程质量缺陷率,节约施工成本,提升工程质量管理控的标准化与智能化程度。未来可通过持续迭代算法模型、扩充施工现场缺陷样本库、优化传感设备现场适配能力等方式,不断完善AI智能监测体系。

【参考文献】

- [1] 潘业楼. AI在装配式连接节点施工质量监理中的应用研究[J]. 微型计算机, 2026, (11): 210-212.
- [2] 温馨. 智能监测在土建深基坑施工风险管控应用[J]. 工程与技术研究, 2026, 9(10): 238-240.
- [3] 刘保利. 人工智能在建筑施工质量缺陷自动识别中的应用研究[J]. 数码设计(电子版), 2025, (3): 0065-0067.
- [4] 刘航. 智慧化技术在市政道路施工质量管理中的应用与优化研究[J]. 陕西建筑, 2026, (3): 83-87.
- [5] 陆书印. AI视觉识别技术在施工质量安全中的应用分析[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(18): 127-129.

作者简介:

孙肖辉, (1992—), 男, 河北人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 市政工程, 人工智能。