

人工智能在建筑工程质量缺陷智能识别与预警中的应用探索

杨光龙¹ 刘玉惠²

1 重庆电讯职业学院, 重庆, 402247;

2 中国平安人寿保险股份有限公司重庆江津支公司, 重庆, 402247;

摘要:建筑工程质量缺陷的及时识别与预警对保障工程安全、降低运维成本具有重要意义。传统人工巡检方式效率低、主观性强,难以满足大规模、高频次的质量管控需求。随着人工智能技术的快速发展,尤其是计算机视觉与深度学习在图像识别领域的突破,为工程质量缺陷的智能识别提供了新的解决方案。本文系统探讨了人工智能在裂缝、蜂窝麻面、渗漏等典型建筑质量缺陷识别中的应用方法,分析了卷积神经网络(CNN)、目标检测算法(如YOLO、Faster R-CNN)和语义分割模型(如U-Net)的技术优势与适用场景。同时,结合无人机、移动终端和视频监控系统,构建了集数据采集、智能分析与实时预警于一体的缺陷识别框架。通过实际工程案例验证,该方法在识别准确率、响应速度和覆盖范围方面均显著优于传统手段。结果表明,人工智能技术能够有效提升工程质量监管的智能化、自动化水平,为智慧工地建设提供有力支撑。

关键词:人工智能; 建筑工程; 质量缺陷; 智能识别; 深度学习; 图像识别; 缺陷预警; 计算机视觉

DOI: 10.64216/3080-1508.25.09.006

引言

建筑工程作为国家基础设施建设和城市发展的核心组成部分,其质量直接关系到结构安全、使用功能和人民生命财产安全。然而,在施工与运营过程中,混凝土裂缝、表面剥落、钢筋外露、渗漏水等质量缺陷普遍存在,若未能及时发现与处理,可能引发结构性损伤甚至安全事故。传统的质量检查主要依赖人工目视巡检,存在效率低下、漏检误判率高、数据记录不规范、难以量化分析等问题,尤其在大型复杂工程中,人工巡检已难以满足精细化、实时化管理的需求。

近年来,人工智能(Artificial Intelligence, AI)技术迅猛发展,特别是在图像识别、模式识别和大数据分析领域展现出强大能力,为建筑工程质量缺陷的自动识别与智能预警提供了全新路径。基于深度学习的计算机视觉技术能够从海量图像或视频数据中自动提取缺陷特征,实现对裂缝宽度、长度、形态及分布规律的精准识别与分类,大幅提升了检测的客观性与效率。同时,结合无人机、机器人、物联网传感器等前端采集设备,可构建全天候、全覆盖的智能监测体系,实现缺陷的早期发现与动态预警。

1 人工智能技术概述

1.1 人工智能的发展历程

人工智能的演进历经近70年起伏,始终围绕“模

拟人类智能、解决实际问题”的核心目标螺旋上升,其发展脉络与技术突破为建筑质量缺陷识别应用提供了坚实基础。1950年艾伦·图灵提出“图灵测试”,为机器智能设定评判标准;1956年达特茅斯会议首次提出“人工智能”术语,标志着学科正式确立。此阶段以“符号主义”为核心,通过人工编码逻辑规则模拟人类思维,代表性成果如专家系统雏形,但受限于算力匮乏与数据短缺,未能实现实用化落地,在建筑领域仅停留在理论构想层面。早期AI依赖手工制定规则,面对复杂现实场景扩展性极差,加之计算机算力不足,理论模型与工程实践严重脱节,引发两次“AI寒冬”。这一时期建筑质量检测仍完全依赖人工,AI因技术成熟度不足未能形成有效突破,行业对智能技术的期待逐渐降温。2012年ImageNet大赛中,深度卷积神经网络(CNN)将图像识别错误率大幅降低,拉开深度学习时代序幕;2016年AlphaGo击败围棋世界冠军,使AI进入大众视野。近年来,大语言模型(LLM)、多模态大模型持续突破,推动AI从实验室走向千行百业。在建筑质量管控领域,计算机视觉与深度学习的结合实现了裂缝、空鼓等缺陷的自动识别,无人机巡检、传感器数据分析等应用场景快速落地,开启智能化转型新篇章。

1.2 人工智能的主要技术

人工智能技术体系涵盖算法、数据、算力三大核心

要素,其中与建筑工程质量缺陷识别直接相关的技术可归纳为基础支撑技术与场景适配技术两大类,共同构成智能识别与预警的技术底座。算力支撑技术:包括云计算与边缘计算的协同架构,云端提供大规模模型训练所需的超强算力(如 GPU 集群),边缘端(如巡检机器人、智能传感器)则实现实时数据处理与低延迟响应,2025 年边缘计算设备算力密度较五年前增长 8 倍,满足了建筑施工现场的实时决策需求。量子计算的突破更带来算力革命,“祖冲之三号”等量子计算机为复杂建筑结构的缺陷模拟提供了千亿级倍速的计算能力。

计算机视觉与深度学习融合技术:以卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)为核心,结合 YOLO、Mask R-CNN 等主流算法,实现缺陷的精准定位、分类与分割。原生多模态大模型(如 Emu3)的崛起,进一步实现文本描述、图像数据、传感器信号的跨模态融合理解,可同时分析“裂缝图像+施工日志+振动数据”,提升缺陷识别的全面性。

2 建筑工程质量缺陷概述

2.1 建筑工程质量缺陷的定义

建筑工程质量缺陷是指在设计、施工、材料使用或管理过程中,由于未满足国家规范、设计文件、合同约定或相关技术标准,导致工程实体或功能存在不符合规定要求的偏差或隐患。质量缺陷的识别是质量管理的关键环节,其及时性和准确性直接关系到后续处理措施的有效性。传统依赖人工经验判断的方式已难以满足现代工程对缺陷识别“早、准、全”的要求,亟需引入智能化手段提升识别效率与科学性。

2.2 建筑工程质量缺陷产生的原因

建筑工程质量缺陷的产生是多因素综合作用的结果。建筑材料质量不达标是引发缺陷的重要原因。如水泥安定性不合格、骨料含泥量过高、钢筋力学性能不满足设计要求等,均可能导致混凝土开裂、强度不足或结构失效。施工过程中未严格按照施工方案和操作规程执行,如混凝土振捣不密实、模板支撑不牢、养护时间不足、钢筋绑扎不规范等,易造成蜂窝、孔洞、露筋、裂缝等常见缺陷。设计不合理或未充分考虑施工可行性,如结构配筋不足、节点构造不明确、荷载取值偏小等,可能在施工或使用阶段暴露出结构性问题。施工人员技术水平参差不齐、质量意识薄弱、操作不规范,管理人

员监督不到位、验收流于形式,均可能导致质量控制失效。恶劣天气(如高温、雨雪)影响混凝土浇筑质量;工期紧张导致赶工现象普遍;项目管理体系不健全、质量责任制落实不到位,也增加了质量缺陷发生的概率。缺乏有效的实时监测工具和数据分析能力,导致缺陷难以在早期被发现,往往在问题积累到一定程度后才被察觉,增加处理难度和成本。上述原因表明,质量缺陷的防控需要从“人、机、料、法、环、测”多个维度协同治理。而人工智能技术通过自动化识别与数据分析,可在“测”与“管”环节发挥关键作用,实现对缺陷成因的智能归因与过程干预。

3 人工智能在建筑工程质量缺陷识别与预警中的应用

3.1 人工智能识别与预警技术原理

人工智能识别与预警技术主要依托计算机视觉、机器学习和深度学习等核心技术。计算机视觉技术通过摄像头、无人机等设备采集施工现场的图像和视频数据,将现实场景转化为计算机可处理的数字信息。机器学习算法基于这些数据进行模式识别和规律挖掘,深度学习模型则通过多层神经网络自动学习数据的复杂特征。在质量缺陷识别中,模型通过训练学习正常施工状态与缺陷状态的差异,实现对缺陷的精准判断;在预警方面,结合施工过程数据、环境数据等多源信息,分析数据间的关联性,预测质量缺陷发生的可能性和时间,从而提前发出预警信号,为工程质量管控提供决策依据。

3.2 构建识别与预警模型

监督学习模型需要大量带有标签的样本数据进行训练。在建筑工程质量缺陷识别中,支持向量机(SVM)通过寻找最优超平面,将正常样本和缺陷样本进行分类,适用于小样本、高维数据的缺陷识别;决策树模型以树状结构对数据进行划分,通过学习数据特征间的决策规则,判断质量缺陷类型,其可解释性强,便于施工人员理解。在预警方面,线性回归模型可根据历史数据建立施工参数与质量缺陷发生概率的线性关系,预测缺陷发生趋势;逻辑回归模型则通过计算事件发生的概率,判断质量缺陷是否会出现,为工程管理提供预警信息。

无监督学习模型无需样本标签,可用于发现数据中的潜在模式。在建筑工程质量缺陷分析中,聚类算法如 K-均值聚类可将施工现场数据自动分组,发现具有

相似特征的数据簇,从而识别出可能存在质量缺陷的区域或施工环节;异常检测算法如孤立森林算法,通过构建数据空间中的孤立树,快速识别偏离正常模式的数据点,即潜在的质量缺陷,帮助管理人员及时排查问题,适用于早期质量缺陷的预警

深度学习模型凭借强大的特征学习能力,在建筑工程质量缺陷识别与预警中表现出色。卷积神经网络(CNN)在图像识别领域应用广泛,通过多层卷积层和池化层自动提取图像的层次化特征,可准确识别墙面裂缝、地面空鼓等缺陷;循环神经网络(RNN)及其变体长短期记忆网络(LSTM)擅长处理时间序列数据,可对施工过程中的连续数据进行分析,预测质量缺陷的发展趋势;生成对抗网络(GAN)则可通过生成模拟的质量缺陷数据,扩充训练样本,提升模型的泛化能力,助力更精准的认识与预警。

3.3 模型评估与优化

模型评估采用准确率、召回率、F1值等指标对识别模型进行性能衡量,通过均方误差、平均绝对误差等指标评估预警模型的预测准确性。利用交叉验证、留一法等方法划分数据集,避免模型过拟合或欠拟合。若模型性能未达预期,则从数据和算法两方面进行优化。数据层面,增加数据多样性和样本数量,优化数据预处理方式;算法层面,调整模型超参数,如神经网络的层数、节点数,或尝试不同的算法组合,如将CNN与LSTM结合,充分发挥各算法优势,不断提升模型在建筑工程质量缺陷智能识别与预警中的表现。

4 结论

人工智能在建筑工程质量缺陷智能识别与预警领域展现出巨大的应用价值与发展潜力。通过计算机视觉、机器学习、深度学习等技术的融合,实现了对施工现场多源异构数据的高效处理,能够精准识别各类质量缺陷,并基于数据关联分析提前预警潜在风险,显著提升了工程质量管理效率与准确性,有效降低了因质量缺陷引

发的安全隐患与经济损失。然而,当前人工智能应用仍面临诸多挑战。数据采集方面,数据的完整性、标注准确性以及多源数据的融合难度,制约着模型训练的质量;模型构建与优化环节,算法的可解释性不足、计算资源消耗大以及对复杂施工场景的适应性有待提高,使得技术在实际工程中的大规模推广应用受到限制。随着技术的不断进步,人工智能在建筑工程质量管控中的应用将更加深入。一方面,通过改进数据采集技术、完善数据标注规范,提升数据质量;另一方面,结合边缘计算、联邦学习等新兴技术,优化模型性能,增强算法的可解释性与场景适应性。此外,人工智能与物联网、数字孪生等技术的深度融合,将构建更加智能、高效的建筑工程质量管控体系,推动建筑行业向智能化、数字化方向高质量发展,为保障工程质量安全、提升行业管理水平提供强有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 牟玲玲,贾清,陈润生,等.建筑工程质量缺陷保险政策评价研究[J].工程管理学报,2025,39(01):1-7. DOI:10.13991/j.cnki.jem.2025.01.001.
- [2] 何文景,王红岱.建筑工程质量潜在缺陷保险试点实践与建议[J].中华建设,2022,(09):31-33.
- [3] 黄新华,赵俊.我国住宅建筑工程质量潜在缺陷保险发展现状及对策建议[J].住宅产业,2022,(06):10-13.
- [4] 苗彧,徐韬.浅谈建筑工程质量潜在缺陷保险发展现状[J].中国住宅设施,2020,(08):98+124.
- [5] 苏映.面向工程质量潜在缺陷保险的建筑工程质量评价研究[D].华南理工大学,2020. DOI:10.27151/d.cnki.ghnl.2020.002127.

作者简介:杨光龙,1990.04,男,彝族,贵州盘县,重庆电讯职业学院,大学本科,助教,建筑工程。
刘玉惠,1992.11,女,汉族,四川自贡,中国平安人寿保险股份有限公司重庆江津支公司,大学本科。