

装配式建筑灌浆套筒连接施工质量智能检测方法

魏志强

中铁十五局集团第三工程有限公司 四川成都

【摘要】装配式建筑中，灌浆套筒连接施工质量直接影响结构安全性与耐久性，其检测技术一直是行业研究重点。传统检测方法受限于人工操作与离线分析，存在精度不足、效率低下及成本偏高的问题，难以满足规模化施工需求。本文聚焦智能检测技术在该领域的应用，系统阐述基于传感器网络、大数据分析 with 物联网技术的集成方案，包括实时采集灌浆压力、温度、流速等关键参数，通过机器学习算法实现缺陷精准识别与定位。解析智能检测系统的硬件架构、数据传输协议及软件平台构建要素，并结合工程案例验证其应用效果。

【关键词】装配式建筑；灌浆套筒；智能检测；施工质量；传感器技术

【收稿日期】2025 年 3 月 14 日 **【出刊日期】**2025 年 4 月 10 日 **【DOI】**10.12208/j.ace.2025000164

Intelligent detection method for grouting sleeve connection quality in prefabricated building construction

Zhiqiang Wei

China Railway 15th Bureau Group No. 3 Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan

【Abstract】In prefabricated construction, the quality of grouting sleeve connections directly affects structural safety and durability. The detection technology for this process has always been a key focus in industry research. Traditional detection methods, limited by manual operations and offline analysis, suffer from issues such as insufficient accuracy, low efficiency, and high costs, making them inadequate for large-scale construction needs. This paper focuses on the application of intelligent detection technology in this field, systematically presenting an integrated solution based on sensor networks, big data analytics, and IoT technologies. The system includes real-time collection of critical parameters such as grouting pressure, temperature, and flow rate, with machine learning algorithms enabling precise defect identification and localization. The paper analyzes the hardware architecture, data transmission protocols, and software platform components of the intelligent detection system, while validating its effectiveness through engineering case studies.

【Keywords】Prefabricated building; Grouting sleeve; Intelligent detection; Construction quality; Sensor technology

引言

在建筑行业绿色化、工业化转型浪潮中，装配式建筑凭借施工高效、低碳环保的显著优势，已然成为行业发展的核心方向。灌浆套筒连接作为装配式建筑结构安全的关键技术，其施工质量直接关乎建筑全生命周期安全。传统超声检测、X 射线探伤等技术存在检测盲区多、效率低下、数据处理滞后等局限，难以满足大规模工业化建造需求。在此背景下，亟需构建智能化检测体系，突破传统技术瓶颈。本文聚焦灌浆套筒连接施工质量智能检测方法研究，旨在通过数字化、智能化手段实现缺陷精准识别与质量动态监控，为装配式建筑高质量发展筑牢技术根基。

1 传统检测技术面临的挑战与局限

从检测准确性方面来看，传统无损检测技术，如超声波检测法，虽操作便捷且对结构无损伤，但其检测精度受多种因素制约。灌浆套筒内部复杂的钢筋布置以及灌浆料的不均匀性，常导致超声波信号在传播过程中发生散射、衰减，使得检测结果对缺陷的定位和定量分析存在较大误差，难以精准识别微小缺陷和深部缺陷。X 射线检测法虽能提供较为清晰的内部成像，但辐射风险限制了其在施工现场的广泛应用，且对于大体积构件或较厚墙体，检测效果大打折扣。

在检测效率层面，传统检测手段耗时费力。例如预埋钢丝拉拔法，需在施工前预埋钢丝，且检测过程需逐个对预埋钢丝进行拉拔测试，不仅工序繁琐，还易受施工现场环境干扰，一旦钢丝在施工过程中被扰动或损

坏,检测结果的可靠性将严重受损^[1]。该方法只能检测出浆口附近区域的灌浆密实度,无法全面反映套筒内部整体灌浆质量,对于大规模装配式建筑项目而言,检测效率低下,难以满足工程进度需求。

检测成本也是传统检测技术难以回避的问题。部分检测技术,如 X 射线数字成像检测,不仅设备购置成本高昂,且检测过程中对专业操作人员要求极高,检测费用不菲,这无疑增加了项目的建设成本^[2]。一些检测方法在检测后还需对结构进行修复,进一步提高了成本投入。传统检测技术在准确性、效率和成本等方面的局限性,已成为制约装配式建筑灌浆套筒连接施工质量提升的瓶颈,迫切需要引入创新的智能检测方法,以满足装配式建筑行业快速发展的需求。

2 智能检测技术的原理与优势

基于传感器技术的智能检测,通过在灌浆套筒关键部位预埋各类传感器,如压力传感器、温度传感器、应变传感器等,实时采集灌浆过程中的物理参数变化。压力传感器可精准监测灌浆压力的动态变化,在灌浆过程中,若压力出现异常波动或未达到预设值,可能预示着灌浆不密实或存在漏浆现象;温度传感器则可根据灌浆料水化反应过程中的温度变化特征,判断灌浆料的凝固状态和强度发展情况。当灌浆料水化反应正常时,温度会呈现特定的上升和回落曲线,若温度曲线异常,可能暗示灌浆料配合比不当或灌浆过程存在缺陷。

数据分析算法在智能检测中发挥着核心作用。利用机器学习、深度学习等算法对传感器采集的海量数据进行深度挖掘和分析。机器学习算法可通过对大量已知质量状态的灌浆套筒数据进行学习,建立起灌浆参数与质量状态之间的映射模型。在实际检测中,将实时采集的数据输入模型,即可快速判断灌浆施工质量是否合格^[3]。深度学习算法,如卷积神经网络,可对检测图像或视频数据进行处理,识别灌浆套筒内部的缺陷类型、位置和大小。通过对预埋在套筒内的微型摄像头采集的图像进行分析,能够准确检测出套筒内是否存在空洞、裂缝等缺陷,且检测精度远高于传统人工判读方法。

物联网通信技术依托蓝牙、Wi-Fi、4G/5G 等无线模块,实现检测数据实时上传云端或现场终端。施工及质检人员可通过多终端远程查看数据,实时监控灌浆质量,确保问题快速响应^[4]。相较传统技术,智能检测凭借高精度传感器与算法提升缺陷识别准确性;数据实时采集分析实现检测与施工同步,大幅提高效率;其

还减少人工与设备依赖,规避返工成本,以高效、精准、经济的优势,成为装配式建筑灌浆套筒连接施工质量检测的优选方案。

3 构建智能检测系统的关键要素

传感器的选型与布局是基础且关键的环节。在传感器选型上,需根据检测目标和现场环境,综合考虑传感器的精度、灵敏度、稳定性、耐久性以及抗干扰能力等因素。对于监测灌浆压力,应选用高精度、响应速度快的压力传感器,以准确捕捉灌浆过程中的压力变化细节;而用于监测温度的传感器,则需具备良好的温度稳定性和宽温度测量范围。在布局方面,要确保传感器能够全面、准确地采集到灌浆套筒关键部位的物理参数。在套筒的灌浆入口、出浆口以及中间部位均匀布置压力传感器,可实时监测灌浆压力在套筒内的分布情况;在灌浆料内部不同深度位置预埋温度传感器,能更准确地掌握灌浆料水化反应过程中的温度变化规律。合理的传感器选型与布局,是保障智能检测系统获取全面、准确数据的前提。

数据处理与分析平台是智能检测系统的核心。该平台需具备强大的数据存储、处理和分析能力。一方面,能够对传感器采集的海量、多类型数据进行高效存储,确保数据的完整性和安全性。另一方面,利用先进的数据分析算法,对存储的数据进行实时分析和处理。通过数据清洗、特征提取等预处理步骤,去除噪声数据,提取与灌浆施工质量密切相关的特征参数,再运用机器学习、深度学习等算法构建质量评估模型^[5]。采用支持向量机算法对预处理后的灌浆压力、温度等数据进行分类,判断灌浆施工质量是否合格;利用卷积神经网络对预埋摄像头采集的图像数据进行处理,识别套筒内的缺陷类型和程度。数据处理与分析平台的性能优劣,直接决定了智能检测系统对灌浆施工质量的评估准确性和效率。

系统稳定性与可靠性是智能检测的关键。施工现场环境复杂,需从硬件、软件、数据三方面保障:硬件选用工业级设备,传感器密封防水,数据传输线采用屏蔽线缆;软件具备容错和自诊断功能,故障时自动报警并处理;建立数据备份机制,避免数据丢失^[6]。通信网络是数据实时传输的基础。短距离可采用蓝牙、Wi-Fi 连接传感器与采集终端,长距离借助 4G/5G 上传数据至云端。通过合理规划网络架构、设置信号增强设备保障通信稳定,并采用加密技术确保数据传输安全,实现远程实时监控,提升施工质量控制效率。

4 智能检测方法在实际工程中的应用

某大型装配式住宅项目中,全面应用了装配式建筑灌浆套筒连接施工质量智能检测方法,取得了显著成效。在项目施工初期,依据工程设计要求和现场实际情况,精心构建了智能检测系统。在灌浆套筒上合理选型并布置了压力传感器、温度传感器以及微型摄像头。压力传感器安装在灌浆入口、出浆口及套筒中部关键位置,用于实时监测灌浆压力变化;温度传感器预埋在灌浆料内部不同深度,以跟踪灌浆料水化反应的温度历程;微型摄像头则安装在套筒内部特定位置,用于采集套筒内部图像信息。这些传感器与数据采集终端相连,数据采集终端通过无线通信模块将采集到的数据实时传输至施工现场的监控中心数据处理与分析平台。

在灌浆施工过程中,智能检测系统发挥了重要作用。通过压力传感器监测到的灌浆压力数据,施工人员能够及时掌握灌浆过程是否顺畅。当某一楼层部分套筒的灌浆压力在短时间内出现异常下降时,系统立即发出预警。经现场排查,发现是由于部分灌浆管道连接处密封不严导致漏浆^[7]。施工人员迅速采取措施对管道进行修复,重新灌浆,避免了因灌浆不密实而产生的质量隐患。温度传感器反馈的灌浆料温度变化数据,为判断灌浆料的凝固状态和强度发展提供了依据。根据温度曲线与预设标准曲线的对比分析,施工人员合理调整了后续灌浆施工的时间间隔和养护措施,确保了灌浆料的性能满足设计要求。

对于套筒内部的质量检测,微型摄像头采集的图像数据经数据处理与分析平台利用深度学习算法进行处理。在对某单元墙体套筒检测时,算法识别出部分套筒内存在微小空洞缺陷。根据检测结果,施工单位采用高压补浆的方式对缺陷套筒进行修复,并再次通过智能检测系统进行复查,确认缺陷已消除。应用智能检测方法后,相比传统检测方式,检测效率大幅提升^[8]。传统检测方法需在施工完成后进行大量的抽样检测,且检测过程耗时较长,而智能检测系统可在施工过程中实时进行全面检测,每完成一楼层的灌浆施工,即可同步完成该楼层的质量检测。在检测准确性方面,智能检测系统借助先进的传感器和算法,能够精准识别微小

缺陷。由于能够及时发现并解决质量问题,减少了后期返工修复成本,有效保障了工程质量,加快了工程进度,取得了良好的经济效益和社会效益。

5 结语

传统检测技术在装配式建筑灌浆套筒连接施工质量检测中存在明显不足,智能检测技术的出现有效解决了这些问题。其融合多学科技术,通过构建合理系统,在实际应用中提升了检测准确性与效率,降低了成本。未来,随着技术发展,智能检测将更智能化、自动化,进一步推动装配式建筑质量提升,为行业可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 周厚政,王立秀. 装配式建筑钢筋套筒灌浆连接工艺优化研究[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(06): 37-39.
- [2] 罗洪军. 钢筋套筒灌浆连接试验与施工实践[J]. 建筑机械化, 2025, 46(02): 176-178.
- [3] 郭涛. 装配式建筑工程中钢筋套筒灌浆连接施工技术浅析[J]. 中国设备工程, 2024, (14): 211-213.
- [4] 廉少波. 冬季低温时装配式结构钢筋套筒灌浆连接的可行性研究[J]. 砖瓦, 2024, (06): 152-154+157.
- [5] 任星权. 装配式混凝土建筑钢筋套筒灌浆连接施工技术[J]. 砖瓦, 2023, (09): 156-158.
- [6] 李振荣. 装配式建筑冬期钢筋套筒灌浆连接施工技术[J]. 建材技术与应用, 2023, (01): 42-45.
- [7] 季元, 张强, 刘伟. 钢筋套筒灌浆连接质量检测技术及质量控制策略探索[J]. 江苏建筑职业技术学院学报, 2022, 22(04): 35-37.
- [8] 徐基平, 刘印建. 装配式建筑工程中的钢筋套筒灌浆连接施工技术[J]. 工程建设与设计, 2022, (04): 77-79.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS