

建筑智能检测与修复专业发展探究

朱崇利¹ 刘兵¹ 耿力奇²

1. 遵义职业技术学院; 2. 四川省地球物理调查研究所

摘要: 随着我国城市化进程的不断加速推进,老旧小区配套基础设施面临结构老化、承载力下降、灾害抵御能力不足等多重挑战,严重影响城市居民的生活质量和生命财产安全。智能监测技术依托大数据、物联网、人工智能等先进技术,实现了对城市基础设施全生命周期的动态感知与精准评估;新型加固修复技术在传统工艺基础上实现了迭代升级,兼顾了修复效果与绿色环保需求。本文将对老旧小区智能监测技术、加固修复技术进行深入探究,为老旧小区更新改造工作、为构建韧性城市提供技术视角的思考。

关键词: 现代城市; 智能监测; 加固修复; 基础设施; 安全保障

DOI: 10.65976/3080-0374.2026.05.026

引言

全球许多城市的道路、桥梁、建筑等核心基础设施始建于20世纪中后期,设计寿命一般在50~100年,它们如今正集中进入“老年期”,城市基础设施开始普遍老化与性能退化。如钢结构疲劳、腐蚀,混凝土出现碳化、开裂、钢筋锈蚀等自然老化现象日趋严重,材料性能退化易导致结构承载能力和安全性下降。由于台风、地震、洪水等自然灾害对城市基础设施的破坏力相当巨大,而车辆撞击、火灾、爆炸等易导致结构突然损伤,全球人口集中流向城市,易导致人口负荷、交通流量、地下空间开发强度远超原有的基础设施设计容量,城市化进程加速与负荷激增加速了结构疲劳和损坏。基础设施的失效倒塌会直接威胁人民生命财产安全,易造成巨大的社会影响,极端事件与自然灾害的频繁挑战需要快速综合评估损伤且进行应急加固^[1]。现代城市发展已由从“增量扩张”到“存量提质”,着力建设一个能呼吸、有温度、会思考的有

机生命体的现代智慧城市。现代城市发展的理想图景是一个集数字智能、绿色生态、创新活力、宜居健康、包容公平于一体的复合系统^[2](图1)。

一、智能监测技术

传统工程检测主要依靠工程师现场目视检查或使用简单工具检测,传统检测主观性强、周期长、效率低,难以发现结构构件的内部损伤,且易影响周边环境与城市运行。传统检测与维护以“事后维修”为主,通常在问题出现后才进行修复,不能做到预防性维护,传统检测与维护依赖人工,缺乏长期、高效、连续的结构健康数据,数据缺失使得建筑设施维护决策缺乏科学依据,决策盲目导致成本高昂且会造成不可逆的损伤或建筑安全事故^[3](图2)。目前随着城市更新进程的加速和建筑业安全标准的提升,建筑业传统的人工检测与加固方式已难以满足现代建筑业对安全性、精度和效率的高标准要求。

在此背景下,通过集成传感器网络、数字孪生与

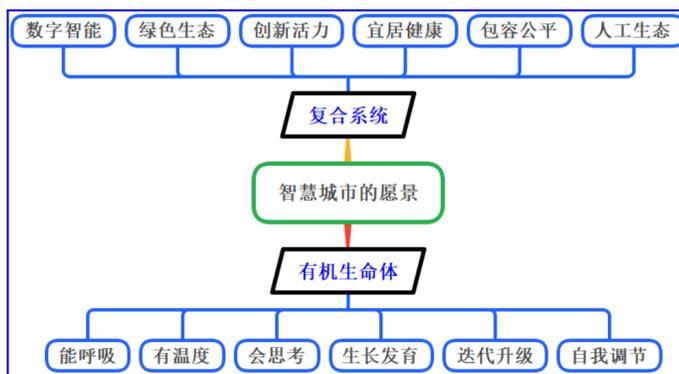


图1 智慧城市愿景

基金项目: 贵州省教育科学规划课题(2024A017); 院级自然科学类(重大)(2024-ZZZKZA-03, [2025]7号)。

作者简介: 朱崇利(1974—),男,博士研究生,副教授,研究方向为地勘、土木工程。

刘兵(1988—),男,硕士研究生,讲师,研究方向为建筑力学与结构。

耿力奇(1988—),男,本科,工程师,研究方向为工程结构防灾减灾。

人工智能、自动化检测设备等不同建筑智能监测技术，利用高韧性新型建筑材料与复合加固修复技术、机器人施工与自动化加固工艺等加固修复革新技术成为解决难题的关键支撑^[4]。在城市风险安全管控、历史建筑保护修复和基础设施维护中的应用，智能监测技术凭借其高精度、自动化、实时性的优势，向智能化、数字化智慧管理模式快速转型，构建一个更加安全、高效和耐久的建筑环境^[5]。

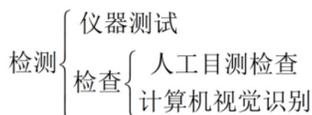


图2 检测的种类

针对问题要采取措施消除工程的病害，以适当的可靠度且经济的方式恢复工程的正常使用功能，通常通过功能函数

$$Z=R-S=g(X_1, X_2, X_3 \dots X_n)$$

$Z=R-S=g(X_1, X_2, X_3 \dots X_n)$ (其中随机变量 R 代表构件抗力，随机变量 S 代表荷载效应)来描述可靠状态。安全监测主要涵盖结构健康监测、环境安全监测等多个领域。

(一) 结构健康智能监测技术

结构健康监测目前主要通过布设应变传感器、光纤光栅传感器、压电传感器、微机电系统 (MEMS) 传感器、无线智能传感器网络、位移传感器等实时监测结构关键部位的应力变化、位移数据、裂缝发展情况等信息 (图 3)，实现数据的实时分析与预警。合成孔径雷达干涉测量 (InSAR) 技术、无人机巡检技术解决传统人工高空作业风险高、检测范围有限等问题，墙面剥落、开裂、渗漏等隐患识别图像数据与 BIM 模型比对分析，隐患的精准定位与量化分析数据为加固修复提供了科学依据^[6]。

(二) 环境与安全智能监测技术

通过智能烟感探测器、温度传感器、应急广播系统、燃气泄漏传感器等设备实时监测消防安全、燃气安全、给排水安全等预警响应数据，防止事故发生。

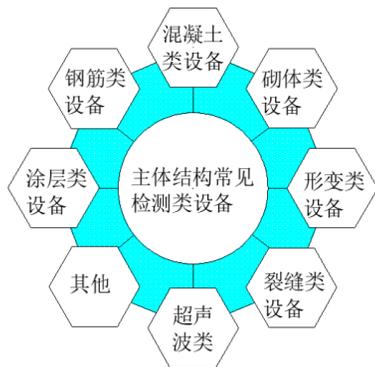


图3 主体结构常见检测类设备

数字孪生技术作为建筑智能监测的核心技术，通过构建与物理实体建筑完全镜像的虚拟模型，实现了建筑物状态的实时映射与预测性地维护，实时地监测数据与建筑信息模型深度的融合，多区域建筑系统的数字孪生框架整合了多种机器学习模型，可为全生命周期建筑能耗管理和异常检测奠定了坚实的基础，为建筑体系提供了可视化的洞察能力，通过预测模型为建筑运维提供了可主动干预的机会窗口^[7]。利用多种感知技术的监测系统协同，能够全天候、全天时地对大规模城市建筑群进行毫米级精度的实时监测，形成了一张可覆盖建筑全周期要素的立体感知网络，它实现了大范围建筑安全的快速筛查。

二、加固修复技术

随着城市化进程的不断深入，城市建筑安全风险管控已成为城市化治理的重要组成部分。建筑加固修复利用传统加固方式会面临影响建筑外观、施工复杂、增加结构自重等不同局限，而智能监测与加固技术构建起全链条安全治理体系的数字化建档，实现了静态编码与实时动态预警深度地融合，实现了从宏观区域到微观结构的全维度无死角的可视化，冲突遇险会自动地触发预警并关联结构数据，城市风险管控与更新实现了风险事前阻断^[8]。高韧性材料与复合加固技术实现了绿色建筑理念，历史建筑和风貌保护区的加固修复技术是一项极具挑战性的工作，通过采用高延性混凝土与碳纤维复合材料协同加固技术展现出显著优势。大型基础设施的维护管理程度直接影响城市运行的效率与安全，自动化建造设备在加固施工环节逐步地改变传统施工方式，智能评估与决策系统使得建筑监管效能显著提升^[9]。

(一) 混凝土结构加固修复技术

针对混凝土主体结构的老旧小区常见钢筋锈蚀、混凝土碳化、构件裂缝等病害通常采用增大截面加固法、粘贴钢板加固法、粘贴纤维复合材料加固法等修复技术。适用于混凝土强度不足、构件尺寸偏小的增大截面加固法和将钢板粘贴在混凝土梁、板、柱等构件的受拉区或受压区的粘贴钢板加固法及适用于各种混凝土结构的粘贴纤维复合材料的加固法要针对不同情况，采取最佳方案。消能减震技术、隔震技术、体外预应力技术等常与局部加固结合，能实现结构的整体性能 (图 4)。

(二) 砌体结构加固修复技术

针对砌体结构的增设构造柱和圈梁加固法、钢筋网水泥砂浆面层加固法、外包混凝土加固法等加固修复技术可增强砌体结构的抗震性能和整体性。

(三) 基础设施加固修复技术

老旧小区的如供电线路、给排水管道、道路等基

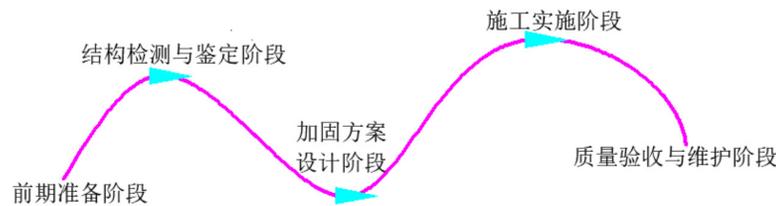


图4 加固改造流程

基础设施老化问题需进行针对性的加固修复，如非开挖与快速修复技术可以提高基础设施的安全性和可靠性。

三、措施保障

建筑智能监测与加固修复技术需要多学科、多行业的协同创新，它需要传统土木工程、人工智能、计算机科学、材料科学、机械工程等多学科的交叉融合。面对既有建筑加固与改造行业向智能化转型的发展趋势，新业态背景下需要具备一定的基础知识、专业知识和技能，掌握施工技术质量要求，掌握建筑机器人操作、装配式建筑等技能的操作型人才；具备扎实的专业知识及技能，信息化数字技术应用操作能力强等的技术应用型人才^[10]；具备扎实的专业理论知识，精通智能建造全流程项目数字化管理，能运用平台进行数据驱动决策的管理型人才；具备扎实的专业理论知识，拥有交叉学科背景，有科研创新能力的研发型高端人才等。专业人才培养需要从课程体系优化、核心能力培养、校企协同育人、城市更新与智能建造背景下应用型微专业建设路径等不同维度，系统制定适配市场行业需求的智能建造专业人才培养方案，行业协同与人才培养为行业输送更多具备融汇创新能力和技术实践能力的专业技能人才。职业教育专业要紧跟市场行业和岗位，建筑加固与修复技术专业承担既有建筑的加固与修复的设计、生产加工、施工、运维管理等各个环节，适应建筑业转型和“城市更新”需要，融入相当的“人居和文化”等要素，在老专业的基础上要拓展创新。对专业《人才培养方案》进行动态调整，对传统老课程进行创新重组，引入新课程，提高数字化水平，对已有教学老平台进行改造升级，引入行业市场新内容，引入新技术、新理念、新材料、新模式、新设备。

政府政策引导和标准体系构建是推动现代建筑智能监测与加固修复技术广泛应用的重要保障，政府引导促进技术的持续优化和普及，前瞻实用标准填补行业技术空白，推动行业领域标准与国家方针战略、地方市场需求的深度衔接，促进经济产业链健康发展，相关政策支持与标准化建设显得尤为迫切。

安全保障与可持续发展的迫切需求一种更经济、更安全、更高效、更环保的检测和维护方式。预防性维护的成本则远低于事后工程重建或大规模工程修复的成本，智能监测能最大化地市政基础设施的使用寿命，会是更经济、可持续的选择。

四、挑战与展望

在城市集中化、基础设施日益老化、安全与绿色健康可持续发展需求日益紧迫的“压力”下，唯有集政策引导、标准制定、技术创新、人才培养和产业协同等多方要素，才能构建更加安全、智慧、可持续发展的建筑新环境。未来的建筑智能监测与加固修复技术将更加注重数字孪生、全域感知、智能决策和精准执行的闭环整合，通过数据驱动智能建筑全生命周期的精细化新模式管理。随着新理念、新业态、新工艺、新材料、新设备和新技术的不断涌现，未来构建一个会主动预警、能自愈、可感知、易维护的现代韧性城市生命线系统，能保障城市的安全、高效和可持续健康发展。

参考文献：

- [1] 刘永康. “双碳”背景下城市既有建筑加固修复与更新方法研究 [J]. 城市建设, 2025(20):44-46.
- [2] 崔洁. 高层建筑混凝土柱局部置换加固技术研究 [J/OL]. 铁道建筑技术, 1-5[2026-01-21]. <https://link.cnki.net/urlid/11.3368.TU.20251201.0931.002>.
- [3] 汤颂彬. 盾构下穿影响下历史保护建筑的微扰动加固措施研究 [J]. 建筑施工, 2025,47(9):1422-1426.
- [4] 宋剑, 胡小夏. 某小区建筑纠偏加固监测数据分析 [J]. 科技与创新, 2025(8):116-118+122.
- [5] 杨景峰, 苗冰阳, 郭强, 等. 超大顶管侧穿密集建筑区施工影响及加固措施研究 [J/OL]. 中外公路, 1-11[2026-01-21]. <https://link.cnki.net/urlid/43.1363.U.20250414.1910.004>.
- [6] 黄秀英. 邻近深基坑的高边坡稳定性动态监测及加固施工探析 [J]. 江西建材, 2024(9):176-178.
- [7] 邢百朋, 陶水忠, 王设, 等. 既有建筑局部加载改造的检测及监测研究 [J]. 建筑结构, 2023,53(S1):2098-2102.
- [8] 牛文庆, 张小兵, 郑静. 某高层建筑纠倾加固与监测工程技术研究 [J]. 建筑结构, 2023,53(10):122-127+133.
- [9] 江岳春. 锚杆静压桩加固高层建筑中不均匀拖带沉降控制的探索与应用 [J]. 建筑结构, 2021,51(8):110-114.
- [10] 周志创. 城市密集区深基坑开挖对邻近建筑沉降影响及保护措施分析 [J]. 西部交通科技, 2020(11):143-144+169.