

智能感知技术驱动的建筑检测体系优化范式探索

文 | 卢毓健

城镇化进程持续深化导致建筑存量规模急剧扩张，让建筑安全检测的精准性与时效性面临严峻挑战。智能感知技术快速迭代并与大数据深度融合，为建筑检测体系的系统性变革提供了全新技术路径。探索其驱动下的检测体系优化范式，具有重要的理论价值与现实意义。

建筑检测体系的困境与转型需求

传统检测体系的结构性缺陷

传统建筑检测一直依靠人工巡检和经验来判断，检测结果受主观因素干扰特别明显，数据采集分散且没有系统性整合能力。检测流程标准化程度不够，跨部门信息壁垒问题突出，结构健康状态难以实现动态追踪和全生命周期管理。既有体系在隐患识别精度、风险预警时效性及多维数据融合处理等核心环节存在明显不足。随着城市建筑规模不断扩大，人力驱动模式的局限性越来越突出，已经不能满足现代城市精细化治理对建筑安全管控的更高要求，体系性变革是必然趋势。

智能感知技术介入的现实驱动

物联网、人工智能和大数据技术深度融合，为建筑检测智能化转型提供坚实技术支撑。高密度传感器网络广泛部署让结构振动、形变及裂缝扩展等关键参数实时采集成为可能；机器视觉与深度学习算法成熟应用显著提升缺陷识别精度和响应速度；边缘计算架构引入有效降低数据传输时延，使现场实时诊断具备工程可行性。技术能力系统性跃升和检测需求持续扩张形成双向驱动态势，推动智能感知技术加速向建筑检测场景深度渗透，成为重构检测体系范式的核心动力。数字化智能监测大规模部署进一步夯实了转型基础，嵌入式传感器和无线传输模块协同运作，建筑结构应变与沉降位移等关键参数实现全天候连续数字化采集，从根本上弥补了传统定期抽检模式数据连续性先天缺陷。

智慧城市生态的需求牵引

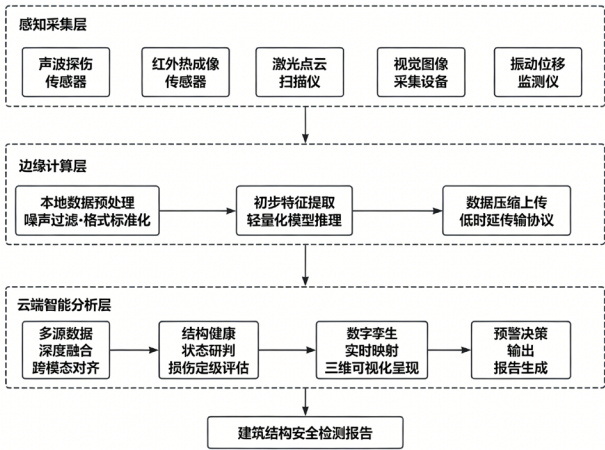
智慧城市战略全面推进促使建筑检测体系朝着数字化、

网联化及智能化方向加快演进，城市信息模型平台规模化建设为建筑检测数据的汇聚共享提供了基础设施支撑，数字孪生城市深度构建对建筑结构状态实时感知与精准映射提出更严格技术要求。与此同时，元宇宙空间技术兴起拓展了建筑检测的虚实交互维度，并为远程协同诊断与沉浸式检测管理提供全新应用场景。建筑检测体系智能化升级成为智慧城市数字底座建设不可或缺的组成部分，宏观政策导向与城市治理需求共同构成体系转型的外部牵引力量。

智能感知驱动的检测体系优化范式构建

多模态感知融合的技术架构设计

面对建筑结构复杂和检测需求多样情况，多模态感知融合架构把异构传感网络当作数据底座，集成声波探伤、红



来源：深圳市交通工程试验检测中心有限公司

图1 多模态感知融合技术架构

外热成像、激光点云和视觉图像等多种类型感知手段，构建能覆盖建筑全结构域的立体化感知体系。如图 1 所示，架构整体分成感知采集层、边缘计算层及云端智能分析层这三级结构，各层级之间借助标准化数据接口实现高效协同，边缘节点承担本地数据预处理和初步特征提取任务，大幅压缩上传数据的冗余度，云端平台负责多源数据的深度融合与结构健康状态的综合研判。该架构有效解决单一传感模态信息维度不足的问题，为后续智能诊断提供高质量的多维数据输入。

数字孪生与元宇宙虚实融合平台构建

数字孪生技术是以建筑信息模型作为基础，依靠实时感知数据的持续注入，于数字空间构建和物理建筑高度同步的动态镜像模型，达成结构状态的毫秒级映射与演化仿真。元宇宙空间技术的引入进一步拓展孪生平台交互维度，检测人员能够借助沉浸式虚拟环境对建筑结构开展远程漫游式巡检，突破物理空间的时间与地域方面的限制。平台融合空间计算与三维可视化引擎，把裂缝分布、形变云图及应力集中区域等检测结果以直观三维形式呈现，辅助工程师精准定位建筑结构的隐患部位，虚实融合的协同检测模式显著提升检测效率与决策可靠性，是建筑检测体系向高科技形态跃升的关键支撑。数字化智能监测数据持续实时注入，是保障数字孪生模型和物理实体长期高精度同步的根本前提，孪生映射的时效性与准确性将随之衰减，因此，监测数据质量管控要作为平台建设内置环节统筹推进。

深度学习赋能的缺陷智能诊断机制

深度学习模型经过对海量建筑缺陷样本做端到端训练，达成了从原始感知数据到结构损伤类型及严重程度的自动化推断。在损伤识别精度的量化评估中引入综合诊断置信度指标，其计算方式如下：

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot f_i(x)}{\sum_{i=1}^n w_i} \times 100\%$$

式中， P 为综合诊断置信度（%），表征模型对当前缺陷类型判断的可靠程度； n 为参与融合的感知模态总数量（个）； w_i 为第 i 种模态的权重系数（无量纲），依据各模态历史诊断精度动态赋值； $f_i(x)$ 为第 i 种模态输入特征 x 经深度网络映射后输出的单模态置信度得分（%）。该公式借助加权融合多模态诊断结果，有效抑制单一模态噪声所产生的干扰，让综合诊断置信度在典型裂缝识别场景中相比单模态基准提升显著，为检测结论在工程上的采信提供可量化的精度依据。

数据可信流通与安全共享机制

建筑检测数据关联多主体协作和敏感结构信息，数据安全与可信流通是优化范式落地的重要保障。区块链技术凭借去中心化和不可篡改特性，为检测数据全流程存证提供可

信底层支撑，每一条检测记录加密上链，确保数据溯源完整与具法律效力；联邦学习框架在保障各参与方原始数据本地留存前提下，通过模型参数安全聚合实现跨机构智能诊断模型协同优化，从根本上消除数据共享中隐私泄露风险。两项技术协同应用，构建覆盖数据采集、传输、存储及应用全链条的安全闭环，为建筑检测大数据价值释放提供制度性与技术性双重支撑。与此同时，智能合约机制的引入可实现检测数据访问权限的自动化管控与审计追踪，进一步强化多主体协作场景下的数据治理能力与合规保障水平。

优化范式的实证验证与推广路径

绩效评价指标体系构建

科学的绩效评价体系是衡量优化范式实际效能的关键工具，指标体系围绕技术性能、运营效率及数据治理这三个维度来构建，涵盖缺陷识别准确率、检测响应时效、数据完整性及系统稳定性等核心指标。如表 1 所示，各指标依据其对检测体系整体效能的影响程度赋予差异化权重，采用层次分析法与熵权法相结合的组合赋权方式，有效平衡主观经验判断与客观数据分布的双重影响。评价结果以综合得分形式输出，支持横向跨场景比较与纵向动态追踪，为优化范式的持续迭代提供量化依据，也为后续实证分析提供标准化的评估框架。

表 1 建筑智能检测体系绩效评价指标体系

评价维度	评价指标	权重（%）
技术性能	缺陷识别准确率	18
	误检率	12
	多模态融合精度	15
运营效率	检测响应时效	14
	系统稳定性	10
	人力替代率	11
数据治理	数据完整性	10
	数据上链率	10
	隐私保护合规度	10
合计	—	100

来源：深圳市交通工程试验检测中心有限公司

典型场景下的实证案例分析

选择高层住宅、大跨度桥梁和地下综合管廊这三类典型建筑场景开展实证验证，以此系统检验优化范式在不同结构类型和检测环境之下的适应性与有效性。实证结果显示，

多模态感知融合架构在复杂遮挡环境中依然能够保持较高的数据采集完整率，数字孪生平台的实时映射精度能够满足工程级应用的相关要求，深度学习诊断模型对常见缺陷类型的识别准确率相较于传统方法有显著提升。依据上文所构建的绩效评价体系对三类场景的综合得分进行横向比较，结果验证了优化范式在不同应用条件下都具备稳定的效能表现，为该范式的跨场景推广提供了充分的实证支撑。

政策建议与规模化推广路径

优化范式的规模化推广需靠技术标准、政策制度和市场机制协同配合。技术层面，建议推动建筑智能检测数据格式与接口标准统一制定，以此消除不同平台间互联互通壁垒，并为大数据汇聚共享奠定标准化基础。制度层面，建议把智能感知检测结果纳入建筑安全监管法定认定体系，让其拥有与传统人工检测报告同等的法律效力。市场层面，可探索政府购买服务和社会资本参与结合的多元化投入机制，激励检测企业加大智能化技术研发投入。从长远来看，随着元宇宙基础设施持续完善及数字经济政策红利释放，建筑检测智能化转型会迎来更广阔的发展空间，优化范式具备向智慧城市

全域推广的现实条件。

结束语

智能感知技术深入介入，正在重塑建筑检测体系底层逻辑和运行范式，从多模态感知融合到数字孪生平台构建，再到深度学习诊断机制及数据安全共享体系，技术链条系统整合推动检测能力实现质的跃升。实证结果显示，优化范式在典型场景展现出显著效能优势，为智慧城市背景下建筑安全治理提供可复制、可推广的系统性方案。随着数字经济与城市治理持续融合，建筑检测体系智能化转型仍有广阔深化空间，相关范式完善与推广值得持续关注与探索。

作者简介：卢毓健 深圳市交通工程试验检测中心有限公司

责任编辑：孙姗姗 投稿邮箱：zhouhl@staff.ccidnet.com

（上接第99页）

于高海拔、山地地形的智能装备与算法模型；推动数字技术全链条嵌入农业生产，打造县域数字农业示范园区，形成可复制、可推广的要素错配纠偏模式。

健全县域多元要素保障体系

实施县域数字农民培育计划，建立数字科技特派员驻村服务机制，破解人才短板；健全数字化的农业社会化服务体系，为小农户提供一站式技术服务。

完善数据治理与跨域协同机制

搭建高原特色农业县域大数据平台，统一数据标准，打通部门间数据壁垒；全面推广“全农码”，实现全流程溯源与要素精准管控；建立跨部门、跨县域协同机制，将错配纠偏成效纳入数字乡村建设工作名录，形成常态化工作机制。

结束语

本文以生产效率理论为核心分析框架，综合运用文献梳理法与县域实地调研法，系统阐释了数字技术对云南高原特色农业县域生产要素错配的纠偏机理，同时深入剖析了数字技术赋能过程中面临的现实堵点与制约因素。研究发现，数字技术能够通过重构土地、资本、劳动力、技术四大农业核心生产要素的配置逻辑，从根源上破解县域层面的要素错配难题，是提升高原特色农业生态全要素生产率的核心抓手。但从云南县域发展的实际情况来看，数字

基础设施布局的区域分化、特色作物数字技术供需短板、县域要素支撑体系建设滞后、数据治理跨域协同机制不畅等问题，仍明显制约着数字技术纠偏作用的充分释放。

后续研究将聚焦县域要素错配的精准破解，进一步深挖数字技术赋能云南高原特色农业高质量发展的优化路径，重点通过多县域典型案例的对比分析与县域面板数据的量化模型构建，验证不同纠偏路径在不同类型县域的实际效果。研究成果旨在为云南省各级政府制定高原特色农业数字化转型相关政策提供理论依据，也为县域各类农业经营主体优化生产要素配置提供实践参考，最终推动云南高原特色农业实现提质增效与绿色低碳转型，为云南全面推进乡村振兴、加快农业强省建设提供坚实的产业支撑。

本文系2025年云南省哲学社会科学规划社会智库项目“云南高原特色农业县域生产要素错配测度与数字技术纠偏路径研究”（项目编号：SHZK2025307）、2025年云南省教育厅科学研究基金项目三个定位专项“乡村数字化赋能云南高原特色农业生态全要素生产率的效果与实现路径研究”（项目编号：2025J0480）的阶段性研究成果。受到2025年“云南省哲学社会科学规划社会智库项目资助”。

作者简介：范东寿 云南民族大学经济与管理学院 讲师
冯一拓（通讯作者）云南民族大学澜湄国际职业学院

责任编辑：孙姗姗 投稿邮箱：zhouhl@staff.ccidnet.com