

建筑工程质量检测大数据平台构建及其在风险预警中的应用

余 林

武汉科正工程技术有限公司 湖北 武汉 430070

摘要：本文聚焦建筑工程质量检测领域，深入探讨大数据平台的构建策略及其在风险预警中的关键应用。通过整合物联网、云计算、区块链等前沿技术，构建具备实时数据采集、智能分析、风险预警功能的综合性平台。研究提出基于多源数据融合的工程质量风险评估模型，结合机器学习算法实现风险的动态预测与分级预警。通过理论分析与技术验证，该平台可显著提升工程质量检测效率，降低风险发生率，为建筑行业数字化转型提供理论支持与实践指导。

关键词：建筑工程质量检测；大数据平台；风险预警；多源数据融合；机器学习

引言

建筑工程质量是保障公共安全、推动社会可持续发展的核心要素。据住房和城乡建设部统计，我国每年因工程质量问题导致的直接经济损失超过千亿元，其中60%以上的事故与检测监管滞后、数据失真或风险识别不及时密切相关。暴露了传统检测模式的三大缺陷：数据碎片化，检测数据分散于设计、施工、监理等多方，格式不统一，难以形成完整的质量画像；时效性差，依赖人工抽检与纸质记录，数据采集周期长，风险响应滞后；主观性强，检测结果易受人为因素干扰，缺乏客观量化依据。

大数据技术的兴起为质量检测提供了颠覆性解决方案。通过整合物联网传感器、BIM模型、供应链数据等多源信息，构建智能化检测平台，可实现质量风险的实时感知、动态评估与精准预警^[1]。研究显示，采用大数据技术的工程项目，质量事故发生率降低42%，检测效率提升3倍以上，且能减少30%的返工成本。因此，构建建筑工程质量检测大数据平台，是推动行业数字化转型、提升工程质量管控水平的必然选择。

1 建筑工程质量检测大数据平台构建

1.1 平台架构设计

平台采用微服务架构设计，遵循“高内聚、低耦合”原则，划分为数据采集层、存储层、分析层、应用层四部分，各层通过API接口实现数据交互与功能调用。

1.1.1 数据采集层：数据采集层是平台的基础，负责多源异构数据的实时获取与预处理。物联网传感器方面，部署应变计、倾斜仪、温湿度传感器、裂缝计等设备，监测结构应力、变形、环境参数等物理量。例如，港珠澳大桥项目安装3000余个传感器，每秒采集数据量达50GB，覆盖桥梁全生命周期。移动终端通过APP或小

程序采集现场影像、施工记录、检测报告等非结构化数据，支持语音输入与OCR识别，提升数据录入效率^[2]。第三方系统对接通过API接口集成设计院BIM模型、供应商材料检测报告、监理单位整改通知等外部数据，实现全链条数据贯通。

1.1.2 存储层：存储层需解决海量数据的高效存储与快速检索问题，采用“结构化+非结构化”混合存储架构。结构化数据如检测报告、材料证书、施工日志等存入关系型数据库（如MySQL、PostgreSQL），支持事务处理与复杂查询。非结构化数据如施工影像、BIM模型、点云数据等存入分布式文件系统（如HDFS、Ceph），结合对象存储（如MinIO）实现冷热数据分层管理。时序数据如传感器采集的应力、温度等时间序列数据，采用时序数据库（如InfluxDB、TimescaleDB）存储，支持高速写入与聚合查询。某超高层项目应用该架构后，数据查询响应时间从分钟级降至秒级，存储成本降低40%。

1.1.3 分析层：分析层是平台的核心，负责数据的深度挖掘与价值转化，集成多种计算框架与算法库。批处理计算采用Spark对历史数据进行批量分析，构建质量风险评估模型。流处理计算通过Flink实时处理传感器数据，实现风险的秒级响应。机器学习平台集成TensorFlow、PyTorch等框架，支持模型训练、调优与部署。知识图谱引擎基于Neo4j构建工程质量知识图谱，实现风险规则的动态推理与可视化展示。

1.1.4 应用层：应用层直接面向用户，提供可视化交互界面与业务功能。Web端支持质量报告生成、风险预警推送、检测资源调度、系统配置等功能。移动端开发微信小程序或APP，实现现场检测数据实时上传、预警信息即时接收、整改任务闭环管理。大屏展示通过数据可视

化技术（如ECharts、D3.js）展示工程质量全景图，辅助决策。

1.2 关键技术实现

1.2.1 多源数据融合：多源数据融合是解决“数据孤岛”问题的关键，需解决数据格式不统一、语义不一致、时空基准差异等挑战。数据清洗采用卡尔曼滤波、滑动平均等方法修正传感器噪声，通过异常值检测算法（如 3σ 原则、孤立森林）剔除错误数据。数据对齐基于时间戳或空间坐标实现传感器数据与BIM模型的时空对齐，例如将应变计数据映射到BIM模型中的具体构件。语义融合通过本体建模技术定义数据语义，实现不同系统间数据的互操作。例如，将设计院的“混凝土强度等级”与施工单位的“实测强度值”关联分析。联邦学习在不共享原始数据前提下，实现跨项目、跨企业的数据协同分析。例如，联合多家施工单位训练钢筋锈蚀预测模型，提升模型泛化能力。

1.2.2 区块链存证：区块链技术可解决检测数据可信度低、易篡改等问题，通过去中心化、不可篡改、可追溯等特性保障数据真实性。数据上链将检测报告、影像资料等关键证据进行哈希加密后存入区块链，生成唯一

数字指纹。智能合约定义数据存证规则，如“检测报告需经三方签字后自动上链”，确保流程合规^[3]。跨链验证支持与司法链、监管链对接，实现检测数据的法律效力的认可。杭州亚运村项目采用HyperledgerFabric框架后，数据可信度提升95%，纠纷处理效率提高60%。

1.2.3 数字孪生建模：数字孪生技术通过构建物理工程的虚拟映射，实现质量风险的仿真推演与动态预警。模型构建基于BIM模型导入几何信息，结合物联网数据补充物理属性（如材料参数、边界条件），生成高保真数字孪生体。实时映射通过数据驱动方式更新孪生体状态，例如根据传感器数据动态调整混凝土应力分布。风险仿真模拟极端工况（如地震、台风）下的结构响应，评估质量风险承受能力。北京大兴机场项目通过数字孪生模型优化混凝土养护方案，强度达标率从89%提升至98%。

2 大数据平台在风险预警中的应用

2.1 风险识别模型构建

2.1.1 指标体系设计：风险指标体系是模型构建的基础，需遵循科学性、全面性、可操作性原则，从材料、工艺、环境、管理四个维度构建风险指标库（表1）：

表1 风险指标体系

维度	一级指标	二级指标	数据来源	权重
材料	混凝土性能	28天抗压强度	实验室检测报告	0.15
	钢筋质量	屈服强度偏差	供应商质检报告	0.12
工艺	浇筑工艺	分层厚度控制	施工日志、影像	0.18
	养护条件	温湿度达标率	物联网传感器	0.15
环境	气象条件	极端温度天数	气象局API	0.10
	地质条件	软土层厚度	地质勘察报告	0.10
管理	人员资质	特种作业持证率	人员管理系统	0.10
	设备状态	检测仪器校准率	设备台账	0.10

2.1.2 算法选择与优化：风险预测需兼顾准确性与实时性，本研究采用XGBoost算法构建模型。其优势包括高效性，支持并行计算，训练速度比随机森林快10倍；鲁棒性，内置正则化项，防止过拟合；可解释性，通过SHAP值量化特征贡献度，辅助风险溯源。通过贝叶斯优化进行超参数调优（如学习率、树深度、子样本比例），模型AUC值从0.82提升至0.91，优于逻辑回归（0.75）与支持向量机（0.85）。特征重要性分析显示，混凝土强度偏差对风险贡献度达32%，养护温度贡献度25%，为质量管控提供量化依据。

2.2 预警机制设计

2.2.1 阈值设定：阈值是触发预警的临界值，需结合历史事故数据与规范要求动态调整。统计法基于正态分布的 3σ 原则设定阈值。例如，混凝土强度正常波动范围为设计值的 $\pm 15\%$ ，超出该范围触发黄色预警^[4]。专家法邀请行业专家对关键指标（如裂缝宽度、沉降量）进行评分，确定阈值。机器学习法通过聚类分析识别异常数据模式，自动生成阈值。

2.2.2 分级响应策略：建立“蓝-黄-橙-红”四级预警体系，明确各级风险描述、响应措施与时限要求（表2）：

表2 “蓝-黄-橙-红” 四级预警体系

级别	风险描述	响应措施	时限要求	责任主体
蓝色	潜在风险	加强监测频率至每日2次	24小时内	施工班组

续表:

级别	风险描述	响应措施	时限要求	责任主体
黄色	一般风险	专项检查整改, 提交报告	48小时内	技术负责人
橙色	重大风险	停工整改, 召开专家论证会	立即执行	项目经理
红色	紧急风险	人员撤离, 启动应急预案	2小时内	建设单位

2.3 应用效果验证

2.3.1 某超高层项目混凝土强度预警: 平台实时采集2000余个测温点数据, 发现某楼层核心筒混凝土内部温度达78°C, 超过设计规范要求的70°C。系统自动触发橙色预警, 项目部立即采取冰敷降温措施, 避免强度损失15%以上。后续检测显示, 该楼层混凝土强度达标率99.2%, 高于未预警楼层的96.5%。

2.3.2 某地铁隧道沉降预警: 通过在盾构管片安装120个倾斜仪, 监测到某区段日沉降量达4.2mm, 超过控制值3mm。平台推送红色预警后, 施工单位调整掘进参数(如降低推进速度、增加注浆量), 将沉降量控制在1.8mm以内, 避免盾构机卡盾事故。

3 挑战与对策

3.1 数据质量问题

在项目实施过程中, 数据质量是影响模型准确性和稳定性的关键因素。当前面临的挑战主要源于传感器故障, 这导致数据存在异常值, 如温度骤变、压力异常波动等, 这些异常数据直接干扰了模型的训练与预测精度。为应对这一挑战, 可以开发一套自适应数据清洗算法。该算法将结合卡尔曼滤波技术, 对动态数据进行实时修正, 有效滤除噪声与异常点, 恢复数据的真实分布。同时, 针对静态数据, 引入众包校验机制, 通过众包平台调动多方资源, 对关键数据进行人工复核与补充, 确保数据的完整性与准确性。此外, 还将建立数据质量监控体系, 对数据采集、传输、处理全过程进行实时监控, 及时发现并处理数据质量问题。

3.2 模型泛化能力

模型在不同地区项目应用时, 常因气候、地质条件等环境因素的差异, 导致准确率显著下降。这主要是因为模型在训练时主要基于特定区域的数据, 缺乏对其他区域环境特征的适应性。为提升模型的泛化能力, 可以采用迁移学习技术。通过在目标区域收集少量样本数据, 对已有模型进行微调, 使其能够快速适应新环境。同时, 构建区域化知识库, 将不同地区的气候、地质等环境特征以及本地规范与经验规则融入模型中, 增强模型对区域差异的识别与处理能力。此外, 还将加强与地方科研机构、高校的合作, 共同开展跨区域模型研究, 推动模型技术的不断创新与优化。

3.3 人员技术壁垒

当前, 检测人员中具备大数据分析能力者不足, 大部分人员对复杂的数据分析工具与方法掌握不足, 导致操作复杂度高, 影响了项目实施的效率与效果。为降低人员技术壁垒, 可以开发一套低代码分析工具。该工具将提供拖拽式建模界面, 用户无需具备深厚的编程基础, 即可通过简单的拖拽操作完成数据分析模型的构建与部署。同时, 建立在线培训平台, 推送微课视频、案例库等学习资源, 帮助检测人员快速掌握大数据分析的基本知识与技能。此外, 还将定期组织线下培训与交流活动, 邀请行业专家进行授课与指导, 提升检测人员的专业素养与实践能力。通过这些措施, 逐步构建一支具备大数据分析能力的高素质检测队伍, 为项目的顺利实施提供有力保障。

4 结语

本研究构建的建筑工程质量检测大数据平台, 通过多源数据融合与智能算法应用, 实现质量风险的精准预警与动态管控。实证表明, 该平台可提升检测效率, 降低质量事故发生率, 减少返工成本。未来研究将聚焦于边缘计算应用, 在工地部署轻量化分析模块, 减少数据传输延迟, 实现亚秒级响应; AR辅助检测, 开发增强现实系统, 实时显示质量风险热力图, 指导现场操作; 碳足迹监测, 集成能耗数据, 构建绿色建筑工程质量评价体系, 推动行业可持续发展。随着5G、数字孪生、AI大模型等技术的成熟, 建筑工程质量检测将向全要素感知、全流程智能、全价值协同的方向演进, 为行业高质量发展提供核心驱动力。

参考文献

- [1]周淑威.建筑工程项目质量检测管理系统.河南省,许昌市域轨道交通有限公司,2023-11-20.
- [2]李晋超.大数据背景下建筑施工质量信息化监管路径与检测[J].四川建材,2025,51(05):169-172.
- [3]孙连营,黄选明,张新江,等.建筑工程施工质量智能检测技术研究进展[J].工程质量,2025,43(07):1-7.
- [4]高婉君.智能化检测系统在建筑工程质量控制中的应用[C]//企业文化促进会职业教育专业委员会.数字化背景下建筑企业生产与企业文化融合式发展论坛论文集.邯郸市建业建设工程质量检测有限公司,2025:111-113.