

智能化检测设备在工程质量管理中的应用研究

季兴文

云南 昭通 657000

DOI:10.61369/ETQM.2026050017

摘 要： 工程质量管理正从经验主导走向数据驱动，结构安全、耐久性能与施工过程可追溯的要求不断提升。智能化检测设备通过多源感知、自动采集与实时分析，将路基路面、桥隧结构、压实过程、材料试验、施工巡检及环境安全监测纳入同一质量闭环，为风险早识别、问题早处置与责任可界定提供技术支撑。本文围绕其应用优势、典型场景与数据集成路径展开论述，并进一步提出“端—边—云”协同、标准化互联与 AI 预测决策的优化方向，为提升工程质量治理效能提供参考。

关 键 词： 智能化检测设备；质量工程管理；端—边—云协同；大数据与 AI

Research on the Application of Intelligent Detection Equipment in Engineering Quality Management

Ji Xingwen

Zhaotong, Yunnan 657000

Abstract： Engineering quality management is shifting from experience driven to data-driven, with increasing demands for structural safety, durability, and traceable construction processes. Intelligent detection equipment integrates roadbed and pavement, bridge and tunnel structures, compaction process, material testing, construction inspection, and environmental safety monitoring into the same quality loop through multi-source perception, automatic collection, and real-time analysis, providing technical support for early identification of risks, early disposal of problems, and delineation of responsibilities. This article discusses its application advantages, typical scenarios, and data integration paths, and further proposes optimization directions for "end-to-end cloud" collaboration, standardized interconnection, and AI prediction decision-making, providing reference for improving the efficiency of engineering quality governance.

Keywords： intelligent detection equipment; quality engineering management; end edge cloud collaboration; big data and AI

引言

近年来建设规模与运营年限叠加，早期缺陷在交通荷载与环境作用下易演化为结构性病害，传统抽检方式难以覆盖长线路、多工点与高频施工节奏。与此同时，监管侧对质量数据的真实性、时效性与可追溯提出更高要求，施工侧也需要以更低成本实现过程控制与风险预警，推动智能检测装备加速进入工程现场^[1]。

一、智能化检测设备在工程质量管理中的应用优势

智能化检测设备在工程质量管理中的应用优势，核心在于把抽样式、事后式质量控制转化为连续式、过程式质量治理^[2]。其一，多源传感与自动化采集可实现关键指标的高频获取与时空连续覆盖，将压实度、平整度、温度、应变、振动等数据从点状样本扩展为全线段证据，显著降低漏检与偶然性误判。其二，边缘

计算与在线算法可在现场完成初步筛查与异常识别，将质量风险前移到施工当下，支持即时调参、返工控制与工序闭环，减少后期修复成本。其三，检测结果的数字化与标准化输出便于跨单位共享，能够与试验检测、施工日志、材料批次、设备工况等信息关联，形成可追溯的质量链条，强化责任界定与合规审查。其四，智能装备可减少人为读数与手工记录带来的偏差，提高检测一致性与可比性，同时为质量预测、寿命评估与养护决策提供长

期数据资产支撑^[3]。

二、智能化检测设备在工程质量管理中的具体应用

（一）路基路面智能检测与评价

路基路面质量最容易在“压实—成型—交付”各环节因工况波动产生隐蔽缺陷，智能检测通常以“几何—结构—材料状态”三类指标联动评价。施工阶段可在压路机上集成 GNSS/IMU、振动加速度计与温度传感器，结合智能压实（IC/CCV 等）形成分幅分层的压实指数与遍数热力图，并与含水率、松铺厚度等工艺参数关联，实现超压、欠压与边缘弱压的实时提示。成型后利用车载激光雷达/三维扫描获取平整度、横坡、车辙与构造深度等几何指标，同时采用地质雷达（GPR）反演结构层厚度与脱空风险，配合落锤弯沉（FWD）或轻量弯沉设备获取回弹模量与承载能力。数据在边缘端完成滤波、时空配准与阈值判定，形成分段评分、病害定位与整改闭环，为交工验收与后续养护提供数字底稿。

（二）桥梁隧道结构智能监测与健康诊断

桥隧的关键在于把偶发巡检变成连续体检，以结构响应数据支撑健康诊断与风险处置。桥梁可在主梁、支座与索体系布设 FBG 应变计、加速度计与位移计，配合温湿度与风速风向监测，形成荷载—响应—环境的同步数据；对裂缝与锈蚀敏感部位采用高清摄像+AI 视觉，实现裂缝宽度、剥落面积与渗漏迹线的自动量测与时序跟踪^[4]。隧道侧可在衬砌关键断面布置收敛计、应变计与渗压/水位传感器，结合地表沉降与拱顶位移监测，识别围岩变形、衬砌开裂与渗水富集区；必要时叠加分布式光纤测温/测应变与微震监测捕捉异常演化。诊断端采用模式参数识别、频率漂移与阻尼变化分析，叠加阈值分级与异常检测模型，输出健康指数、预警等级与处置建议，实现“监测—预警—复核—维修”闭环。

（三）智能压实质量控制与实时监控

压实工序的质量差异往往来自含水率波动、松铺厚度不均与碾压能量分布失衡，智能压实以“设备—材料—轨迹”数据联动实现过程控制。压路机端集成 GNSS 定位、速度传感、振动加速度计与轮载参数采集模块，实时计算压实指数与刚度相关指标，并自动记录遍数、重叠率、停振区与低速碾压区，生成分幅热力图用于现场调度^[5]。土石方与路面基层可结合在线含水率与温度监测，对超湿、欠湿区给出补水或晾晒提示，并将松铺厚度、拌和均匀性与压实曲线关联，识别表实里虚、边缘弱压等隐患。数据经边缘端完成时空配准与阈值判定后回传管理平台，平台按层位建立质量电子工单，形成“异常定位—复压指令—复测确认”的闭环证据；同时可对设备振动幅值、频率与轮胎压力进行健康监控，避免因设备状态衰减导致的系统性欠压。

（四）工程材料智能试验与质量分析

材料质量的波动常出现在“原材料进场—拌和生产—现场摊铺”链路中，智能试验通过自动化与数据建模把风险压到批次层级^[6]。拌合站可配置在线计量校核、含水率与温度监测、级配与油石比自动记录，并与配合比版本绑定，实现每盘次参数留痕；关键

指标超限自动锁机或触发复核。试验室侧采用自动马歇尔、车辙、弯拉与无侧限抗压等设备，统一加载控制与采样频率，原始曲线直接入库，减少人工抄录误差；结合图像识别对骨料针片状、沥青包裹率与拌和均匀性进行量化。平台端将试验结果与供应商、运输时长、环境温湿度等变量关联，开展趋势分析与异常批次追溯，形成“批次判定—原因定位—处置闭环”的质量分析链^[7]。

（五）施工过程智能巡检与可视化管理

施工现场的质量风险往往隐藏在工序交接与隐蔽环节，智能巡检以影像、定位与模型对照实现所见即证据的过程管控。可在工点布设固定摄像头与移动执法终端，结合 RTK 定位与时间戳，实现关键工序的自动取证与轨迹回放；对钢筋绑扎间距、模板拼缝、喷淋养护覆盖率、摊铺厚度标尺等细部，采用 AI 视觉进行目标检测与尺寸量测，自动生成问题清单与位置坐标^[8]。桥隧或复杂节点可使用无人机航测与三维重建，形成点云模型并与 BIM/设计断面对比，快速识别偏位、超挖欠挖与构件安装误差。巡检数据在平台端按“工序—分项—分部”归档，联动材料批次、试验报告与整改闭合状态，形成可视化看板与电子旁站记录，使质量管理从人工走查升级为数据驱动的闭环巡检^[9]。

三、智能化检测设备在工程质量管理中的优化方向

（一）基于“端—边—云”协同的智能检测体系构建

“端—边—云”协同的关键在于把实时性、可靠性与可扩展分层实现，避免单点上云导致的延迟与数据冗余。端侧聚焦高可信采集与工况标注：设备内置传感器自校准、采样频率与量程自适应，结合工序节点、材料批次与桩号坐标自动打标，并在采集时完成基础质量控制，如噪声抑制、漂移补偿与缺失检测。边侧强调低时延推理与联锁：在工点部署边缘计算盒或工业网关，运行轻量化模型完成压实指数计算、裂缝/渗漏识别、GPR 厚度快速反演与阈值分级报警，同时支持断网缓存、断点续传与本地工单派发，确保异常可当场闭环。云侧承担跨项目汇聚与模型治理：构建数据湖与指标体系，统一主数据、规则库与版本管理，开展全局对标、趋势预测与寿命评估，并通过 MLOps 实现模型训练、灰度发布与回滚。系统层面需定义消息协议、时间同步与设备身份认证，建立“数据采集—边缘判定—云端复核—处置回写”的闭环链路，使检测从单一设备能力升级为可持续迭代的工程质量智能体系。

（二）检测设备互联互通与数据标准化平台建设

互联互通的瓶颈往往不在设备数量，而在协议割裂与指标口径不统一导致的数据不可拼接。平台建设应先建立设备接入规范：明确通信协议适配层与数据采集 SDK，兼容 MQTT/HTTP/OPCUA 等通道，并为试验机、压实设备、雷达、点云扫描仪等定义统一的设备身份、采样参数与状态码；通过网关完成协议转换与边缘校验，保证时间戳、坐标系与工程桩号的一致映射。其次构建质量数据标准体系：以元数据字典统一指标名称、单位、试验条件、阈值规则与版本号，形成可追溯的数据血缘；对影像、点云与原始曲线制定文件格式与压缩策略，保留关键特征与审计

字段。平台层提供数据分层存储与权限控制，支持按“项目—标段—结构部位—工序”索引检索，并开放 API 对接 BIM、进度、计量与养护系统，实现一处录入、多端复用。最后引入数据质量评估与异常审计机制，自动检测缺测、漂移与可疑篡改，提高跨单位共享与监管抽查的可信度。

（三）基于大数据与 AI 的工程质量预测与决策支持

质量预测的价值在于把已发生的问题转化为将发生的风险，让资源配置提前发生作用^[10]。数据层面需融合施工过程参数、材料批次、环境条件、设备工况与检测结果，构建可用于建模的特征集，例如压实遍数与振动能量、含水率偏差、摊铺温度窗、试验曲线特征、结构响应模态指标等，并以桩号与时间轴对齐形成样本。算法层可采用时序模型与集成学习进行风险评分，对车辙、早期裂缝、强度离散与桥隧异常响应开展概率预测；对高维传感数据可引入异常检测与自编码器实现无标签预警，降低对人工标注的依赖。决策层将模型输出映射到可执行动作，形成“风险等级—处置策略—成本影响”的推荐，如复压加密、配合比微

调、增设排水或提前加固，并通过仿真或规则校核约束误用。运行层需建立闭环验证机制，将整改结果与后续检测回写模型，开展漂移监测与定期再训练，确保预测能力随材料来源、工法变化与季节环境动态更新，最终支撑质量治理从合格判定走向风险管理与精细决策。

四、结语

智能化检测设备的深入应用，使工程质量管理从被动验收走向全过程可观测与可追溯。面向路基路面、桥隧结构、压实控制、材料试验与施工巡检等场景，数据驱动的闭环机制能够显著提升问题识别的时效性与处置的精准性。后续需以“端—边—云”协同为骨架，推进互联互通与标准化平台建设，并以大数据与 AI 强化预测决策能力，形成可复制、可监管、可持续迭代的质量治理体系。

参考文献

[1] 时芮. 智能化检测技术在市政园林工程施工质量管理中的作用 [J]. 产品可靠性报告, 2025, (11): 37–38.
[2] 陈家. 商业综合体电气智能化工程质量管理研究 [J]. 中国住宅设施, 2025, (10): 152–154.
[3] 焦爱红. 建筑工程项目中的质量管理与控制 [J]. 城市开发, 2025, (20): 97–99.
[4] 董帅. 建筑电气智能化弱电工程施工技术及管理 [J]. 城市开发, 2025, (14): 154–156.
[5] 梁徐, 蔡全, 朱秋, 等. 弱电智能化工程高质量管理的路径探究 [J]. 产品可靠性报告, 2025, (04): 37–38.
[6] 李朵朵. 智能化技术在矿山电气工程自动化控制中的应用 [J]. 世界有色金属, 2021(14): 25–26.
[7] 惠宁. 谈建设工程质量监督管理信息系统的开发实践 [J]. 数字技术与应用 2016, 34(4): 240–240.
[8] 莫前隆. 建设工程质量管理信息化应用分析 [J]. 江西建材 2014, (11): 271–271.
[9] 康杰. 智能化技术在建筑工程材料检测中的应用 [J]. 新城建科技, 2024, 33(12): 156–158.
[10] 李晓鹏, 崔士起, 刘文政, 等. 装配式建筑钢筋套筒灌浆智能化施工质量检测技术研究 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, (12): 118–120.