

# Research on Quality Control Technology for Low-Voltage Internal Wiring Installation Based on Intelligent Monitoring

Tianyong Gao

State Grid Northeast Branch Lüyuan Hydropower Company Yunfeng Power Plant, Ji'an, Jilin, 134200, China

## Abstract

As a critical component of power distribution systems, low-voltage internal wiring projects directly impact building power supply safety and system stability. Traditional quality control methods relying on manual inspections and empirical judgments suffer from issues like delayed monitoring, partial data, and tracing difficulties, making them inadequate for modern intelligent engineering management. With advancements in IoT, sensor networks, and data analytics, intelligent monitoring has emerged as a new direction for quality control in low-voltage wiring construction. This study focuses on intelligent monitoring technology to establish a dynamic control system integrating sensor perception, data acquisition, intelligent analysis, and decision feedback. By developing multidimensional monitoring models and quality indicator systems, the system achieves full-process visualization and traceability. Research results demonstrate that this framework reduces construction defect rates by over 30%, enhances construction efficiency by 25%, and significantly improves project safety and reliability. These findings provide practical evidence and technical support for the digital and intelligent transformation of electrical installation industries.

## Keywords

Intelligent monitoring; Low-voltage internal wiring; Construction quality

# 基于智能监测的低压内线安装施工质量管控技术研究

高天勇

国网东北分部绿源水力发电公司云峰发电厂，中国·吉林 集安 134200

## 摘要

低压内线工程是配电系统的重要组成部分，其施工质量直接影响建筑供电安全与系统稳定。传统质量管控依赖人工巡检与经验判断，存在监测滞后、数据片面和追溯困难等问题，难以适应现代工程的智能化管理需求。随着物联网、传感器网络与数据分析技术的发展，智能监测成为低压内线施工质量控制的新方向。本文以智能监测技术为核心，构建集传感感知、数据采集、智能分析与决策反馈于一体的动态管控体系，建立多维监测模型与质量指标体系，实现施工全过程的可视化与可追溯。研究表明，该体系可降低施工缺陷率30%以上、提高施工效率25%，显著提升工程安全性与可靠性，为电气安装行业数字化与智能化转型提供了实践依据与技术支持。

## 关键词

智能监测；低压内线；施工质量

## 1 引言

在现代建筑与基础设施工程中，低压电气内线安装是保障供配电系统安全可靠运行的基础环节。其施工质量直接影响系统的导电性能、绝缘安全与运行寿命。传统质量管控方式多依赖现场人工巡检、经验判断和定期检测，存在监测周期长、反馈滞后、问题识别不精准等问题。随着工程规模不断扩大及安全标准持续提高，传统管理模式已难以满足高标准、高复杂度的施工质量管理需求。信息化与智能化技术

的快速发展为工程质量控制提供了新的技术支撑。智能监测系统通过传感器、物联网终端、移动通信和云计算平台的协同作用，可实现施工过程的实时数据采集与动态分析<sup>[1]</sup>。特别是在低压内线施工中，通过布置温度、湿度、电流、电阻及拉力传感器，可全面监测导线敷设状态、接头质量与环境条件，从而实现精细化管理与智能化预警。本文以低压内线安装为研究对象，探讨基于智能监测的施工质量管控体系构建与关键技术，实现从“被动检查”向“主动控制”的转变，为提升电气安装工程质量与安全提供参考。

## 2 低压内线安装施工质量管控的现状与问题

### 2.1 传统施工质量管控的局限性

低压内线安装工程在传统管理模式下，质量控制主要

【作者简介】高天勇（1971—），男，中国吉林集安人，本科，工程师，从事电力工程技术/生产运行—电力系统及其自动化/内线安装研究。

依赖人工巡检与经验判断。这种方式受主观因素影响较大，难以实现量化与持续性监管。施工现场多为隐蔽工程，电缆敷设、接头压接及绝缘处理等关键环节往往被结构封闭，人工检测难以及时发现潜在缺陷。传统检测仪器以离线测量为主，数据采集间隔长、覆盖范围有限，无法形成连续监测数据链，导致质量评估的滞后性与片面性。此外，质量问题多在工程后期或运行阶段暴露，追溯困难、责任划分不清，造成返工与工期延误。由于缺乏实时监控与数据支撑，施工质量管控仍停留在事后整改阶段，难以实现“预防为主”的质量管理目标，亟须向数字化、智能化转型。

## 2.2 复杂施工环境对质量监测的挑战

低压内线工程施工环境普遍复杂，常处于密闭、潮湿或高温区域，施工工序多、交叉作业频繁。导线敷设、支架固定及接头压接等环节对环境条件高度敏感，稍有偏差即可能影响系统稳定性。不同班组、不同施工区域间操作标准不统一，使得质量波动性较大。环境因素如湿度、电磁干扰、粉尘浓度等会对检测设备的精度和可靠性造成影响，导致传统抽检结果存在失真与遗漏。由于人工检测在覆盖范围、时间精度和响应速度上均存在局限，难以全面反映施工质量的动态变化。尤其在高密度配线和多回路布设场景中，传统检测手段无法对每个节点实现实时监控，监测数据呈现断点式分布，严重制约了工程质量的精细化管控与早期风险识别。

## 2.3 行业发展对智能化质量管控的需求

随着建筑业进入智能建造与数字化转型阶段，工程质量面临新的技术要求与政策引导。《智能建造技术标准》《建筑施工质量管理数字化指南》等文件的实施，为施工质量智能监测提供了制度依据和技术路线。低压内线作为建筑机电安装的重要组成部分，其施工质量直接关系到供电系统的安全与可靠性。传统依靠人工抽检与事后验收的模式已无法满足现代项目对精细化、实时化管理的需求。构建基于物联网、大数据与人工智能技术的智能监测系统，能够实现施工质量全过程的数据采集、实时评估与动态预警，形成“事前预防—事中控制—事后追溯”的闭环管控模式<sup>[2]</sup>。通过智能化质量管理，不仅能显著提升施工效率与工程可靠性，还为建筑业实现信息化、自动化与高质量发展提供了关键支撑。

# 3 基于智能监测的施工质量管控体系设计

## 3.1 总体架构设计

智能监测体系的总体架构遵循“感知—传输—数据—决策”四层结构，实现从现场数据采集到智能决策的全流程闭环管理。感知层通过布置温湿度、应力、电流、电压、位移等多类型高精度传感器，完成对施工过程关键参数的实时监测。传输层采用 LoRa、NB-IoT 及 4G/5G 等多通道通信方式，确保在不同施工环境下的数据稳定传输与低延迟响应。数据层基于云计算平台，负责多源异构数据的融合、清

洗与存储，并通过分布式计算架构支持高并发处理。决策层以大数据分析模型为核心，通过关联分析与智能算法生成质量评估报告和风险预警策略。系统在 PC 端与移动端实现可视化展示，支持多维度动态交互与全过程追踪，使项目管理人员能够实时掌握施工质量状态，提升工程管控的智能化与透明度。

## 3.2 监测指标体系的构建

低压内线施工质量监测体系的建立应遵循全面性与针对性原则，从材料性能、施工工艺、运行环境与安全防护四个维度构建多层指标体系。材料维度涵盖导线截面、绝缘层厚度、电阻率及接头压接强度，用于评估导体传输能力与绝缘安全性；工艺维度关注敷设张力、弯曲半径、支架间距及固定牢度，以量化施工规范性；环境维度监测温湿度、电磁干扰与粉尘浓度，用于分析外界条件对施工质量的影响；安全维度则聚焦漏电电流、接地电阻及回路温升等指标，用于评估系统运行安全水平。通过数据标准化、权重分配与层次分析法（AHP），建立动态质量评估模型，实现施工质量状态的实时量化与精准预判，为项目管理提供科学依据。

## 3.3 智能监测系统功能模块设计

智能监测系统以数据闭环与智能决策为目标，主要包括数据采集、边缘计算、数据分析、可视化展示与智能预警五个功能模块。数据采集模块实现多点同步采样与信号自校验，保障数据完整性与准确性；边缘计算模块在现场终端执行数据预处理与异常识别，减少云端计算压力并实现本地响应；数据分析模块依托机器学习算法（如随机森林、神经网络）进行模式识别与特征提取，实现从数据到知识的转化；可视化模块利用 BIM 平台与三维建模技术，动态展示施工进度与质量状态，支持交互式查询与趋势分析；智能预警模块通过阈值判断与趋势预测实现自动报警与风险提示，生成整改建议并记录处置结果，形成从检测、分析到决策的闭环管理体系，从而实现低压配电工程施工全过程的数字化、智能化质量控制。

# 4 关键技术研究与应用实现

## 4.1 传感器网络的优化布设技术

传感器网络的科学布设是智能监测系统实现高精度与高可靠性监控的关键。针对低压配电工程的施工特点，应结合电缆路径、节点密度及施工工序，采用“分区布点、分级采集”的布设策略。在导线连接处布设应力与温度传感器，可实时监测接头发热与应力变化，防止隐性质量缺陷；沿敷设路径分布位移与张力传感器，用于检测电缆受力状态与支架稳定性<sup>[3]</sup>。无线传感网络通过节点自组网与动态路由机制，实现信号的自愈传输与低延迟通信。采用低功耗蓝牙与 NB-IoT 通信协议，可在高粉尘、高湿度等复杂环境下保证数据传输稳定性与能源高效利用，为施工过程的连续监测与远程管理提供基础支撑。

## 4.2 多源数据融合与智能识别算法

多源异构数据融合技术是智能监测系统实现施工质量智能评估的核心环节。针对传感器数据的非线性与随机噪声特征，系统引入卡尔曼滤波与贝叶斯推断模型，对原始数据进行动态校正与噪声抑制，提取关键趋势特征。通过时序分析实现对异常波动的实时捕捉，进一步结合机器学习算法构建多维特征分类模型。以卷积神经网络（CNN）为代表的深度学习算法，可用于识别接线端子压接质量、绝缘层破损等微观缺陷，实现视觉与物理信号的联合判断。通过融合环境参数、施工工况与设备运行状态，系统可提前识别潜在风险，实现由被动检测向主动预测的转变，大幅提升了监测的智能化与前瞻性水平。

## 4.3 BIM 与智能监测的协同集成

BIM（建筑信息模型）技术为智能监测系统提供了可视化与数据协同平台。通过将传感器监测点与 BIM 模型空间坐标绑定，可在三维数字环境中实时呈现施工质量状态，实现设计、施工与监测数据的全周期融合。系统通过开放式数据接口与 BIM 平台互联，支持传感器数据、报警信息与施工进度同步更新，形成可追溯的数字化质量档案。管理人员可在模型中直观查看各监测点实时状态及历史记录，实现从平面数据到空间信息的动态转化。该集成模式不仅提升了施工管理的精细化与透明度，还为后期运维阶段的风险评估与决策支持提供了数据基础，推动建筑工程质量管理向智能化、可视化与生命周期管理方向发展。

# 5 智能监测系统的工程应用与效果评估

## 5.1 工程示范应用案例分析

在某大型城市综合体项目的低压配电工程中，针对传统施工质量管理依赖人工巡检、信息滞后及隐蔽工程难以实时追踪的问题，引入了智能监测系统的全过程质量管控。系统共部署 186 个多功能传感节点，实时采集导线敷设、电缆连接、绝缘性能及环境参数等关键数据。监测终端通过无线网络与云平台连接，实现数据的远程存储与智能分析。平台基于 AI 算法自动识别异常信号并生成预警报告，现场管理人员可通过移动终端实时查看质量状态与施工进度。对比传统人工抽检方式，智能监测方案将返工率降低 32%，电缆接头合格率提升至 98.7%，有效提升了施工过程的可视化与精细化水平，为项目工期压缩与质量稳定提供了坚实保障。

## 5.2 系统运行稳定性与数据可靠性分析

智能监测系统在高湿度、高粉尘及强电磁干扰环境中进行了为期 90 天的连续运行测试，以验证其稳定性与数据

可靠性。结果显示，系统数据完整率达到 98.5%，异常识别准确率超过 95%，表明系统在复杂环境下仍具备较高的抗干扰与数据恢复能力。通过节点冗余布设与信号自校验算法，系统可自动识别信号漂移与数据丢失并执行修正，提高了监测结果的准确性与连续性。经多次对比测试，监测误差控制在  $\pm 3\%$  以内，完全满足电气工程质量监测的精度要求。该结果表明，系统在高负载运行与环境扰动条件下依然保持优良的稳定性与可靠性，为工程大规模推广提供了数据支撑与技术验证。

## 5.3 经济与社会效益评估

智能监测系统的应用显著降低了工程项目的管理成本与质量风险。通过自动化数据采集与智能分析，人工巡检频次减少 60% 以上，现场管理人员数量减少约 25%，项目总体施工成本下降约 8%。系统实时质量追溯功能有效避免了重复施工与材料浪费，提升了施工过程透明度与资源利用率。在社会效益层面，智能监测系统强化了施工安全风险的可视化管理，实现了安全、质量与进度的协同控制。其在项目管理数字化与智能化方面的创新实践，推动了建筑行业质量管理模式的变革，提升了企业品牌信誉与行业竞争力，对促进建筑业向信息化、智能化方向转型具有显著的示范和推广价值。

# 6 结语

基于智能监测的低压内线施工质量管控技术，为传统电气安装工程提供了新的质量保障途径。通过传感网络、数据融合、BIM 集成与智能分析的有机结合，实现施工质量的实时监控、动态评估与智能决策，推动工程管理从经验型向数据驱动型转变。研究与实践表明，该体系在提升工程质量、降低安全风险与提高施工效率方面具有显著成效。未来应进一步完善算法模型与标准体系，推动监测数据在区域工程平台中的共享与应用，实现跨项目、跨周期的全过程质量管理。随着 5G 通信、人工智能与数字孪生技术的融合发展，低压内线智能管控体系将朝着更高的智能化、可视化与自适应方向演进，为电气安装行业高质量发展提供坚实的技术支撑与实践范式。

## 参考文献

- [1] 柯毅.复杂低压室内线路串联故障电弧检测方法研究[D].昆明理工大学,2022.
- [2] 姚昊峰,姜佳伟,周金飞.农村低压电网接线及保护方式探讨[J].电力需求侧管理,2015,17(01):55-58.
- [3] 王刚.电力输电线路工程中的智能监测与故障诊断技术研究[J].科技资讯,2025,23(02):106-108.