

电力工程电气施工质量防控关键节点及智能化管控体系构建

邓坚强

440784*****4830

摘要: 电力工程电气施工作为保障电力系统安全稳定运行的核心环节,其质量控制直接关系到电网运行的可靠性与供电服务水平。随着电力建设规模的持续扩大与技术复杂度的不断提升,传统质量管控模式在应对多专业交叉、隐蔽工程多、动态风险高等挑战时逐渐显现局限性。本文聚焦电气施工质量防控的关键节点,系统分析不同阶段的质量风险特征,识别影响工程质量的核心要素;在此基础上,结合现代化信息技术,构建覆盖全流程的智能化管控体系,提出基于数据驱动的实时监测、风险预警与闭环处置机制。希望本文研究成果可为电力工程电气施工质量的精细化管理提供理论支撑,推动质量管控从被动检查向主动预防转变,助力电力工程建设高质量发展。

关键词: 电力工程; 电气施工; 质量防控; 关键节点; 智能化管控; 体系构建

DOI: 10. 69979/3029-2727. 25. 08. 069

引言

电力工程作为国家能源基础设施的重要组成部分,其建设质量对国家经济发展与社会民生具有深远影响。电气施工作为电力工程的核心分部工程,涵盖变压器、开关柜、电缆线路、接地系统等关键设备的安装与调试,涉及土建、机械、电子等多专业技术交叉,施工过程具有工序繁杂、隐蔽工程多、安全风险高等特点。近年来,随着特高压输电、智能变电站、新能源并网等技术的推广应用,电气施工的技术标准不断提高,质量管控难度显著增加。在此背景下,本文以电气施工质量防控为核心,通过分析施工全周期的关键节点与风险特征,构建智能化管控体系,旨在实现质量问题的早发现、早预警、早处置,为提升电力工程电气施工质量管理水平提供系统性解决方案。

1 电力工程电气施工质量防控关键节点分析

1.1 施工准备阶段的关键节点

1.1.1 设计图纸会审与技术交底

设计图纸是施工的依据,其深度与准确性直接决定工程质量。会审重点包括:电气主接线方案的经济性与可靠性、设备选型与布置的合理性、电缆路径与土建结构的匹配性等。技术交底需明确施工工艺标准、质量控制要点(如电缆弯曲半径、接地体埋深)、安全风险防控措施,确保施工人员理解设计意图与技术要求。若图纸存在错漏碰缺或交底不清,易导致施工偏差,甚至引发返工。

1.1.2 施工机具与材料设备检验

施工机具的性能状态直接影响施工质量与效率。需对起重机、焊机、试验仪器等进行校准与性能测试,确保其精度满足规范要求。材料设备进场前,应核出厂合格证、型式试验报告,并按批次抽样送检(如电缆绝

缘电阻、开关柜耐压性能)。不合格品严禁入场,从源头杜绝质量隐患^[1]。

1.1.3 施工方案与作业指导书编制

针对复杂工序(如大型变压器吊装、GIS 设备安装),需编制专项施工方案,明确施工流程、资源配置、质量控制标准与应急预案。作业指导书应细化操作步骤(如电缆头制作工艺)、验收指标(如接触电阻值),为施工人员提供可操作的执行标准。方案的科学性与指导性直接影响施工质量的可控性。

1.1.4 施工环境与场地准备

电气施工对环境条件有严格要求,如变压器安装需在相对湿度低于 70% 的环境下进行,电缆接头制作需在无尘车间完成。场地准备包括临时用电系统搭建、材料堆放区规划、排水设施设置等,确保施工过程符合安全与质量要求。

1.2 主要电气设备安装阶段的关键节点

1.2.1 变压器安装关键节点

(1) 基础复测与就位:检查基础中心线、标高、预埋件位置是否符合设计要求,就位时采用液压千斤顶调整水平度(误差 ≤ 2 毫米/米)。(2) 附件安装与密封处理:套管、冷却器、瓦斯继电器等附件的安装需严格控制密封面清洁度,防止渗漏油;冷却系统需进行压力试验(保压 24 小时无渗漏)。(3) 真空注油与热油循环:注油前需对油箱抽真空(真空度 ≤ 133 帕),注油后进行热油循环(油温 60-70 摄氏度,循环 48 小时以上),确保绝缘油性能指标达标^[2]。

1.2.2 开关柜与配电盘安装关键节点

(1) 柜体固定与垂直度调整:柜体采用螺栓固定时,需加装防震垫片;垂直度偏差 $\leq 1.5\%$ (高度)。

(2) 母线连接与绝缘处理:硬母线连接采用力矩扳手

紧固（力矩值符合厂家要求），软母线弧垂偏差 $\leq 2\%$ ；相间及对地绝缘距离需满足设计规定（如 10 千伏系统 ≥ 125 毫米）。（3）二次回路接线与标识：导线应无损伤、绝缘层完好，端子排编号清晰；强弱电回路分开布置，避免电磁干扰。

1.2.3 电缆线路施工关键节点

（1）电缆敷设与固定：直埋电缆需铺砂盖砖，埋深 ≥ 0.7 米；桥架内电缆弯曲半径 ≥ 15 倍外径；固定间距符合规范。（2）电缆头制作与试验：户内终端头采用热缩或冷缩工艺，户外终端头需做防水处理；制作完成后进行直流耐压试验（试验电压为额定电压的 2.5 倍，持续 5 分钟）。（3）防火封堵与标识：电缆穿墙孔洞需用防火堵料密封，电缆两端悬挂标识牌（注明型号、起点终点）。

2 电气施工质量风险成因与防控难点

2.1 质量风险的主要成因

2.1.1 技术因素

新技术、新工艺应用不当是引发质量风险的重要原因。例如，装配式变电站安装中，若预制构件尺寸偏差超标或连接螺栓扭矩不足，易导致结构失稳；智能变电站的光纤熔接质量不良会造成通信中断。此外，施工人员对新规范、新标准的理解偏差也可能引发操作失误。

2.1.2 管理因素

质量管理体系不健全是普遍存在的问题。部分施工单位存在“重进度轻质量”倾向，质量检查流于形式；岗位职责不清，导致工序交接时责任不明；分包管理混乱，对协作队伍的技术能力与质量意识缺乏有效监督^[2]。

2.1.3 环境因素

施工环境的不确定性对质量影响显著。高温、高湿环境易导致绝缘材料老化加速，低温环境会影响混凝土凝固速度与焊接质量；粉尘、腐蚀性气体则会损害精密设备。此外，交叉作业产生的电磁干扰、机械碰撞也可能引发质量缺陷。

2.1.4 材料设备因素

材料设备质量是工程质量的物质基础。部分供应商为降低成本，可能提供不符合标准的产品；设备运输过程中的碰撞、受潮也可能导致性能下降。

2.2 质量防控的主要难点

2.2.1 隐蔽工程质量控制难度大

电气施工中存在大量隐蔽工程（如接地体敷设、电缆中间接头制作），一旦覆盖后难以复查。若施工时未按规范操作（如接地体搭接长度不足），后期运行中可能引发接地故障，排查与修复成本极高。

2.2.2 多专业交叉作业协调复杂

电气施工与土建、消防、通信等专业存在大量交叉

工序。例如，电缆沟开挖需与土建基础施工配合，开关柜安装需与墙面装修协调。若信息传递不及时或接口界面划分不清，易导致工序冲突、返工等问题。

2.2.3 质量数据分散且利用不足

传统模式下，质量数据多以纸质记录为主，分散在不同部门与人员手中，难以实现集中管理与深度分析。数据孤岛现象导致无法及时发现质量趋势性问题，也难以以为管理决策提供有效支持^[3]。

2.2.4 人员技能与质量意识参差不齐

电气施工对人员技能要求较高，但部分一线工人未经过系统培训，仅凭经验操作；少数管理人员质量意识淡薄，对质量问题的危害性认识不足，导致违规操作时有发生。

3 智能化管控体系构建的总体思路与目标

3.1 总体思路

以“数据驱动、全程管控、智能决策”为核心理念，运用物联网、大数据、人工智能等信息技术，构建覆盖“施工准备—设备安装—调试试验—竣工验收”全周期的智能化管控体系。通过部署智能传感设备实现质量数据实时采集，利用大数据分析识别质量风险，依托人工智能算法辅助决策，形成“监测—预警—处置—改进”的闭环管理机制，最终实现质量管控的自动化、精准化与高效化。

3.2 建设目标

3.2.1 实现质量数据全要素采集

通过智能终端与传感器，对施工环境参数、设备运行状态、工艺操作数据等进行实时采集，消除数据盲区。

3.2.2 建立质量风险智能预警模型

基于历史质量数据与实时监测信息，构建风险预警模型，对关键节点的质量偏差进行自动识别与分级预警，提前介入处置。

3.2.3 提升质量管控决策科学性

通过数据可视化平台展示质量趋势、风险分布与处置进展，为管理人员提供直观的决策依据；利用人工智能算法推荐最优处置方案，减少人为判断失误^[4]。

3.2.4 推动质量管控模式转型升级

从传统的“事后检查”转向“事前预防+事中控制”，从“经验驱动”转向“数据驱动”，全面提升质量管控的主动性与有效性。

4 智能化管控体系的核心架构与功能模块

4.1 体系架构设计

智能化管控体系采用“三层架构+两大支撑”的设计模式（见图 1）。

维度	核心指标	测量方法
目标一致性	计划符合率	(实际值/计划值)×100%
资源效能	机械利用率	有效工时/总可用工时
风险控制	变更签证率	变更金额/合同总价
质量经济性	质量成本比	预防成本/(总成本-利润)

图 1：智能化管控体系设计模式

4.1.1 感知层

通过各类传感器、智能仪表、移动终端等设备，实现质量相关数据的前端采集与边缘计算。

4.1.2 平台层

构建质量数据中心与业务中台，负责数据存储、清洗、分析与共享，提供通用技术组件与服务接口。

4.1.3 应用层

面向不同用户角色开发功能模块，满足差异化需求。

4.1.4 标准规范支撑

制定数据采集、传输、存储与应用的标准规范，确保体系兼容性与扩展性。

4.1.5 安全保障支撑

建立网络安全防护体系，保障数据传输与存储的安全性。

4.2 核心功能模块

4.2.1 智能监测模块

(1) 环境监测：在施工现场部署温湿度传感器、粉尘检测仪、噪声传感器，实时监测环境参数是否超出允许范围（如焊接作业环境温度 ≥ 5 摄氏度）。(2) 设备状态监测：对关键设备安装振动传感器、温度传感器，监测运行时的机械状态与温升情况；对施工机具加装物联网模块，采集工作时长、能耗等数据。(3) 工艺操作监测：通过智能力矩扳手记录螺栓紧固力矩值，通过高清摄像头识别电缆头制作工艺规范性，通过 RFID 标签追踪材料设备流向。

4.3 风险预警模块

(1) 规则引擎预警：基于预设的质量标准与工艺规范，对采集数据进行实时比对，触发预警规则。(2) 机器学习预警：利用历史质量事故数据训练分类模型（如随机森林、支持向量机），识别潜在质量风险模式，实现超前预警。(3) 预警信息发布：通过移动 APP、短信、现场声光报警器等多渠道推送预警信息，明确风险位置、类型与处置建议。

4.4 闭环处置模块

(1) 问题上报与派单：施工人员发现质量问题时，

可通过移动终端拍照上传，系统自动生成工单并派发给相关责任人。(2) 处置过程跟踪：责任人接收工单后，需在规定时间内反馈处置方案与进展；系统记录处置措施、更换材料、验收结果等信息，形成闭环。(3) 处置效果评估：对已闭环的问题进行回访与数据分析，评估处置措施的有效性，优化后续预警阈值与处置流程。

4.5 数据分析与决策支持模块

(1) 质量趋势分析：按时间、区域、设备类型等维度统计质量指标（如一次验收合格率、缺陷发生率），生成趋势图表，识别质量薄弱环节。(2) 风险热力图展示：在 GIS 地图上标注质量风险分布，直观展示高风险区域与工序，为资源调配提供依据。(3) 智能报告生成：自动汇总质量数据，生成日报、周报、月报，内容包括质量概况、风险预警、处置进展、改进建议等。

4.6 知识库与培训模块

(1) 质量标准库：集成国家规范、行业标准、企业标准等质量技术要求，提供在线查询与版本管理功能。

(2) 案例库：收录典型质量事故案例（含原因分析、处置措施、经验教训），支持关键词检索与相似案例推荐。(3) 在线培训系统：开发质量知识微课、操作视频、虚拟仿真培训课程，对施工人员进行技能与质量意识培训，考核合格后方可上岗。

5 结束语

电力工程电气施工质量防控是保障电网安全稳定运行的关键环节。本文通过分析施工全周期的关键节点与质量风险成因，构建了基于物联网、大数据、人工智能的智能化管控体系，实现了质量数据的实时采集、风险的智能预警与处置的闭环管理。该体系的应用可有效提升质量管控的精准性与效率，推动电力工程施工质量向更高水平迈进。

参考文献

- [1] 康军飞. 智慧工地理念下电力工程建设的智能化管理路径研究[J]. 新潮电子, 2025(12): 97-99.
- [2] 刘伟力. 电力工程质量监督智能化管控方案分析[J]. 集成电路应用, 2023(12): 220-221.
- [3] 戎毅成, 谭鑫, 高瑾, 等. 基于物联网的电网施工智慧工地数字化管理平台建设[J]. 山东电力技术, 2023, 50(4): 22-27.
- [4] 余琪. 建筑电气施工技术要点及质量控制研究[J]. 价值工程, 2025(18): 149-151.