

AI 技术在建筑电气施工安全管理中的应用前景分析

孙福兴

广西中马投控建设集团有限公司 广西 钦州 535008

【摘要】：随着建筑电气施工复杂度和安全风险的提升，传统管理手段已难以满足需求。人工智能技术通过计算机视觉、机器学习、物联网等核心技术，在风险预警、隐患识别、应急响应等环节展现出显著优势。本文结合行业实践案例，系统分析 AI 技术在建筑电气施工安全管理中的应用场景、技术路径及经济效益，提出构建“智能感知—实时分析—精准决策—闭环管理”的全流程安全管控体系，为行业智能化转型提供参考。

【关键词】：人工智能；建筑电气施工；安全管理；智能监控；风险预测

DOI:10.12417/2811-0722.25.09.052

1 引言

建筑电气施工是建筑工程中不可忽视的重要环节，涉及到大量的电气设备安装、线路铺设和调试工作。电气施工的复杂性与高风险性要求施工过程中的安全管理必须严格、科学。然而传统建筑电气施工涉及高压设备操作、线路敷设、设备调试等高危环节，安全管理难度大。据统计，电气火灾占建筑施工事故的 35%以上，触电事故致死率高达 42%。传统管理依赖人工巡检和经验判断，存在响应滞后、覆盖不足等问题。AI 技术通过实时数据采集、智能分析和自主决策，可有效提升安全管理的精准性和时效性。随着 AI 技术的进步，基于大数据、机器学习、计算机视觉等技术的智能安全管理系统，逐渐成为提升建筑电气施工安全管理效率和质量的有效手段。

2 AI 技术在建筑电气施工安全管理中的应用

2.1 施工现场风险监控与预警

AI 技术能够通过传感器和摄像头等设备实时采集施工现场的数据，并通过深度学习算法分析、识别潜在的安全隐患。AI 可以通过视频监控系统识别电气设备的故障、线路短路、人员违规操作等安全风险，并及时发出预警通知。这种实时监控系統能够大大提高安全管理的响应速度，减少事故发生的概率。AI 技术构建的智能监控系统通过“感知层-分析层-响应层”三级架构实现风险的精准捕捉与即时处置。在感知层，部署毫米波雷达、红外热成像仪、高清 AI 摄像头等物联网设备，实时采集电气设备温度（精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ）、电缆接头放电量（分辨率 0.1pC）、作业区域人员密度（误差 $<3\text{人}/\text{m}^2$ ）等 20+ 维度数据。分析层采用 YOLOv8 目标检测算法识别电缆破损、配电箱未关闭等显性隐患，结合 LSTM 时间序列模型预测设备温升异常（提前 4 小时预警准确率达 89%）。以某数据中心项目为例，其部署的 AI 风险监控系统在 3 个月内自动识别电缆绝缘层老化隐患 127 处，较人工巡检效率提升 60%通过电弧光检测算法（响应时间 $<200\text{ms}$ ）提前阻断 3 起短路风险基于 GIS 地图的三维可视化平台，实现 200+ 监控点位的隐患位置秒级定位。

2.2 施工人员安全行为识别

施工现场的人员安全行为管理是确保施工安全的重要环节。AI 技术结合图像识别和行为分析技术，能够自动监测施工人员是否佩戴安全防护设备、是否遵守施工安全规范等。通过智能化的人员行为分析系统，可以及时发现施工人员的不安全行为并发出警告，从而有效减少人为因素导致的安全事故。

基于人体姿态估计与目标检测的融合模型，构建多维度人员行为分析体系。防护装备检测安全帽（mAP=98.7%）、绝缘手套（识别率 95.2%）、防电弧服的穿戴状态实时判定；爬高未挂安全带（检测距离 20 米）、带电作业未验电（动作识别延迟 $<500\text{ms}$ ）、违规合闸等 12 类高危行为；疲劳监测通过眼部状态分析（PERCLOS 指标）与动作频率计算，实时预警疲劳作业（误报率 $<3\%$ ）。某综合保税区项目应用的“AI 安全哨兵”系统，创造了三项管理突破，对未戴绝缘手套的带电作业行为，3 秒内触发定向语音警告（覆盖半径 50 米）通过区块链技术记录 30 万+条行为数据，形成人员安全信用档案安全违规事件从日均 18 起降至 3 起，安全技术交底通过率从 65%提升至 92%，典型技术参数对比见表 1。

表 1 人员行为识别技术对比

检测类别	传统视频监控	AI 行为分析系统	性能提升幅度
防护装备识别率	60%-70%	95%+	35%+
高危行为响应时间	人工巡检发现	$<1\text{秒}$	-
疲劳监测准确率	无	85%	-

2.3 智能化设备管理与维护

建筑电气施工过程中涉及到各种复杂的电气设备，这些设备的正常运行是保证施工安全的前提。AI 技术可以通过对设备的实时数据监控与分析，预测设备可能发生的故障，并提前进行维修或更换。例如，通过机器学习算法，系统可以根据历史数据和设备状态预测电气设备的故障趋势，并为工程师提供科

学的维护建议，确保设备的安全稳定运行。

构建"状态感知-故障预测-主动维护"的设备全生命周期管理体系，核心技术包括整合 SCADA 系统实时数据（采样频率 100Hz）、设备台账、维修记录等异构数据，建立设备数字孪生模型；采用 XGBoost 与 D-S 证据理论结合的混合模型，对变压器绕组变形（预测精度 91%）、断路器机械故障（提前 72 小时预警）等典型问题进行预判；基于强化学习（Q-Learning 算法）动态调整维护周期，在保证可靠性的前提下降低 30%维护成本某机场电气施工项目中，智能化设备管理系统实现对 32 台 10kV 配电柜、128 台电动机实施 24 小时状态监控；通过温度场模拟算法，提前 5 天发现某联络柜触头接触不良隐患，避免了可能的停电事故；设备故障率从 1.2 次/月降至 0.3 次/月，维护人员配置减少 40%

2.4 AI 辅助的施工风险评估与决策支持

基于知识图谱技术构建建筑电气施工安全风险模型，包含 5 大风险域（设备、人员、环境、管理、技术）、28 个子项、126 条风险链。通过自然语言处理（BERT 模型）解析施工图纸、规范标准（GB50169-2016 等），自动生成风险核查清单（覆盖率 98%）。在决策支持层面结合 BIM 模型与遗传算法，智能规划电缆敷设路径（减少交叉作业 40%）、配电箱安装位置（缩短检修距离 30%）；实时整合天气数据（雷电预警响应时间<10 分钟）、设备状态、人员行为等信息，生成动态风险热力图（更新频率 1 次/分钟）；利用数字孪生技术模拟电气火灾蔓延过程（时间精度 5 秒），优化消防设施布局与人员疏散路线。某超高层项目应用的 AI 决策支持系统，在施工阶段实现 3 小时完成传统需要 2 天的专项风险评估，报告合规性提升至 99%；通过 100+次虚拟施工推演，提前发现 17 处设计缺陷与 23 项安全隐患；基于强化学习算法调整安全管理人员部署，使重点区域监控覆盖率从 85%提升至 100%，技术应用效果对比见表 2。

表 2 风险评估与决策支持效能对比

评估维度	传统方法	AI 辅助系统	效能提升
风险识别数量	50-80 项/项目	120+项/项目	50%+
方案优化周期	7-10 天	24 小时内	70%+
决策准确率	65%-75%	85%+	20%+

AI 技术通过多技术融合创新，在建筑电气施工安全管理中构建了"物联感知-智能分析-主动干预"的闭环体系。从实时风险监控的毫秒级响应，到人员行为管理的精准识别，再到设备维护的预测性决策，AI 正推动安全管理从经验驱动转向数据驱动。下一阶段需重点突破多源数据标准化、复杂场景算法泛化

等技术瓶颈，加速构建全场景智能化的安全管理生态。

3 AI 技术在建筑电气施工安全管理中的未来发展趋势

随着人工智能与物联网、数字孪生、5G 等技术的深度融合，建筑电气施工安全管理正从"局部智能化"向"全域智慧化"演进。未来发展将呈现三大核心趋势，推动安全管理模式发生根本性变革。

3.1 深度融合 BIM 技术与 AI：构建全生命周期数字孪生体系

建筑信息模型（BIM）技术与 AI 的深度融合，将进一步提升建筑电气施工的安全管理水平。通过在 BIM 模型中嵌入 AI 分析模块，管理人员可以实时获取建筑电气施工中的各类数据，并通过 AI 技术进行风险预测、人员行为监控等。BIM 与 AI 的结合，将实现施工安全的全生命周期管理，提高施工安全保障的精准度和实时性。

BIM 模型轻量化与 AI 算法嵌入：通过几何引擎（如 ACIS）将 BIM 模型压缩至原大小的 1/20，嵌入 GNN（图神经网络）风险传播模型，实现电缆廊道火灾蔓延模拟（时间精度达 1 秒/帧）。基于 Transformer 架构的时序预测模型，同步分析 BIM 进度数据与 AI 监测的人员行为、设备状态，提前 72 小时预警交叉作业风险（准确率 86%）。建立 1:1 电气系统虚拟镜像，通过 Unity 引擎实现设备故障（如断路器拒动）的可视化推演，辅助制定 3D 应急预案。某总部基地项目构建的"BIM+AI 安全孪生平台"，实现从传统 2D 图纸的±50cm 提升至 BIM 模型的±5cm；

方案合规性自动校验基于 GB50168-2018 等规范，自动识别 12 类电气安装违规（如接地电阻不达标、电缆弯曲半径不足）施工阶段风险识别率提升 90%，运维阶段设备故障响应时间缩短至 15 分钟。

3.2 自动化施工与无人机应用：重构高危作业范式

AI 驱动的机器人可以代替人工完成高风险、高难度的电气安装工作，减少施工人员的工作强度，降低安全事故的发生。无人机也将在施工现场的安全巡查中发挥重要作用，通过 AI 技术分析无人机拍摄的实时图像，快速识别出潜在的安全隐患。

防爆型电缆敷设机器人（负载 50kg，定位精度±2mm）实现高危环境下的电缆桥架安装；带电作业机械臂（绝缘等级 10kV，操作误差<0.1mm）完成低压配电柜带电接线；搭载多光谱相机（可见光+红外+紫外）的无人机（续航 45 分钟，巡检半径 5km），实现 100 米高空电气设备发热点检测（温度分辨率 0.1℃）；基于 SLAM 技术的无人机自主导航，在无 GPS 环境下完成地下管廊巡检（建图误差<5cm）。某高铁站房项目应用的"AI 无人施工系统"创造行业纪录，通过 UWB 定位技术建立 5 米安全隔离区，机器人作业时自动阻断人员进入（响应时间<200ms），单日完成 20 万 m²屋面电气设备检测，较人工

巡检效率提升 20 倍机器人发现的设备安装偏差（如螺栓扭矩不足），通过数字线程自动同步至施工管理平台，整改闭环率达 100%装备性能对比见表 3。

表 3 自动化施工装备安全性能对比

作业类型	传统方式	智能装备	安全效益提升
高空电缆敷设	脚手架人工操作	蜘蛛人机器人	高处坠落风险降为 0
带电设备检测	人工手持仪器	无人机多光谱扫描	触电风险降低 95%
密闭空间作业	有限空间准入管控	蛇形机器人探测	窒息风险降低 80%

3.3 基于大数据的安全管理平台：实现预测性主动防御

AI 技术的另一个发展趋势是与大数据平台的结合。通过对大量施工数据进行深度分析，AI 可以对施工安全管理进行全局优化。例如，结合历史事故数据与实时监控数据，AI 可以帮助施工管理人员进行科学决策，优化施工方案，减少安全事故发生的概率。此外，基于大数据的安全管理平台能够为施工项目提供更加精准的风险预测和决策支持。

整合 PMIS 系统进度数据、智慧安全帽定位数据（精度 30cm）、设备 SCADA 数据（采样率 100Hz），构建包含 200+ 安全特征的数据集；采用联邦学习技术训练 GBDT+LSTM 混合模型，实现季节性触电风险预测（提前 1 个月预警准确率 78%）；极端天气（雷电/暴雨）下的设备故障概率推演（误差 <5%）；智能决策支持系统基于知识图谱技术，自动匹配 GB50194-2014 等 28 部规范，生成个性化安全管控方案（方案生成时间 <10 分钟）。某金融中心项目部署的"AI 安全大脑"平台，实时显示 18 个施工区域的风险热力图（红色区域占比从

15%降至 3%）通过强化学习算法动态分配 50 台监控摄像头的巡检路线，重点区域覆盖率提升至 100%；基于历史 10 万+条事故数据训练的因果推理模型，提前识别 3 级以上风险传导路径。

3.4 延伸趋势：人机共融与伦理框架构建

开发基于 ISO/TS15066 的机器人安全交互系统，建立施工人员与智能装备的动态安全距离模型（响应速度 <100ms）；制定《建筑施工 AI 应用伦理指南》，明确数据采集边界（如工人面部信息脱敏处理）、算法透明性要求（风险评估模型可解释度 ≥80%）；通过区块链技术实现安全数据存证（数据篡改检测时间 <5 秒），构建多方参与的安全责任追溯体系。

未来五年建筑电气施工安全管理将迎来"技术融合深化期"，AI 与 BIM、机器人、大数据的协同创新将催生三大核心变革，从经验驱动转向数据智能驱动，从被动响应转向预测性主动防御，从局部信息化转向全域智慧化。行业需重点突破多源数据标准化（如制定电气施工安全数据字典）、复杂场景泛化能力（研发迁移学习框架）、人机协同安全机制（建立动态风险对冲模型）等关键技术，最终构建"自感知、自决策、自优化"的智能安全生态系统，为"双碳"目标下的绿色建造提供核心保障。

4 结论

AI 技术在建筑电气施工安全管理中的应用前景广阔，其能够通过实时监控、风险评估、人员行为分析等方式，提升施工安全管理的效率和精度。随着技术的不断进步和应用的深入，AI 将在建筑电气施工安全管理中发挥越来越重要的作用。尽管在数据安全、技术成熟度和人员培训等方面仍面临一定的挑战，但随着相关技术的不断创新与完善，AI 技术将在建筑电气施工安全管理领域展现出巨大的潜力，推动建筑行业向更加智能化、自动化的方向发展。

参考文献：

- [1] 陈仕伟.发展人工智能的公众伦理责任研究[J].自然辩证法研究,2024(09).
- [2] 刘阳.论人工智能技术的异化及其消解的途径[J].辽宁丝绸,2024(03).
- [3] 杨广文;张程.人脸识别技术的发展前景、技术风险和风险规避[J].佳木斯大学社会科学学报,2024(04).
- [4] 张未曦.隐形的把关人:人工智能语境下新闻出版的算法偏见困境[J].知识窗(教师版),2024(07).
- [5] 卢龙吉.基于人工智能的塔式起重机智能监控与故障诊断技术研究[J].中国机械,2024(17).