

建筑电气工程中的智能化技术应用与管理创新

沈柳青

横店集团浙江得邦公共照明有限公司，浙江 金华 322118

DOI:10.61369/ERA.2025070021

摘要： 面向“双碳”目标与新型城镇化需求，建筑电气工程亟需通过智能化技术实现能效提升与运维模式革新。本研究整合数字孪生、边缘计算及 AI 算法，构建“技术－管理”双维协同框架，提出智能配电动态调节、照明自适应控制等技术方案，并建立标准化应用体系与全生命周期动态监测机制。案例分析表明，该框架可优化负荷分配效率，降低运维成本，推动建筑能源系统向“产储用”协同转型。未来需深化数字孪生与元宇宙技术融合，突破中小型项目经济性适配与数据安全瓶颈，为智慧城市能源网络建设提供支撑。

关键词： 建筑电气工程；智能化技术；管理创新

Application and Management Innovation of Intelligent Technology in Building Electrical Engineering

Shen Liuqing

Hengdian Group Zhejiang Debang Public Lighting Co., Ltd., Jinhua, Zhejiang 322118

Abstract： In response to the "dual carbon" goal and the demand for new urbanization, building electrical engineering urgently needs to achieve energy efficiency improvement and operation and maintenance mode innovation through intelligent technology. This research integrates digital twins, edge computing and AI algorithms, builds a "technology management" dual dimensional collaborative framework, proposes technical solutions such as intelligent power distribution dynamic regulation, lighting adaptive control, and establishes a standardized application system and a dynamic monitoring mechanism throughout the life cycle. The case analysis shows that this framework can optimize load distribution efficiency, reduce operation and maintenance costs, and promote the transformation of building energy systems towards "production, storage, and use" collaboration. In the future, it is necessary to deepen the integration of digital twin and metaverse technology, break through the bottleneck of economic adaptation and data security for small and medium-sized projects, and provide support for the construction of smart city energy networks.

Keywords： building electrical engineering; intelligent technology; management innovation

引言

《城乡建设领域碳达峰实施方案（2023）》要求 2025 年建筑能耗强度降 15%，电气系统智能化升级为关键。传统建筑电气系统能效低、故障响应慢。智能化技术虽能提升稳定性与能效，但面临技术集成与管理协同挑战，如标准缺失、跨系统协同低效等。本研究以该方案为纲领，针对建筑电气智能化转型中技术与管理协同断裂问题，构建“技术－管理双维协同”框架，通过多源数据融合、案例分析等，形成可复用路径与范式，为行业提供决策支持工具。

一、建筑电气工程智能化技术的概念与发展

（一）智能化技术的定义与分类

建筑电气工程智能化技术基于物联网、大数据及人工智能构建“感知－分析－决策”闭环架构，依托多源异构感知网络实时

采集设备状态与环境参数，通过 5G/LoRa 协议实现低延时数据传输，结合 AI 算法完成能效动态优化与决策生成^[1]。系统按功能层级整合设备控制、能源调度及用户交互场景，形成从边缘计算终端到 BIM 管理平台的垂直技术体系，支撑设计、施工与运维全流程协同，实现能源流与信息流的深度耦合及系统级优化^[2]。

（二）智能化技术的核心应用场景

智能配电系统依托 AI 算法与数字孪生技术实现负荷动态调节与故障自愈功能，通过虚实交互机制优化设备诊断流程。智慧照明系统集成多光谱传感网络与用户行为分析模型，建立动态照度适配机制以平衡能耗与视觉舒适性。国际实践中，集成化管理系统通过多系统协同控制提升能效，而国内项目侧重模块化部署策略以降低实施成本^[3]。当前技术应用需统筹技术迭代、经济约束及政策导向，跨系统协议标准化缺失导致异构平台协同效率下降，成为跨国经验本土化的主要瓶颈。研究表明，动态负荷预测偏差与边缘计算响应延迟问题亟待通过多维度建模优化解决^[4]。研究指出，需构建全域数据治理体系并开发自适应决策算法，以破解技术集成度不足与管理框架割裂的深层矛盾，推动建筑电气系统向智能化与低碳化方向系统性演进^[5]。

二、建筑电气智能化管理模式的创新需求

（一）传统管理模式的问题分析

在传统建筑电气管理模式，各个子系统所采用的协议异构现象极为严重，不同子系统间的数据犹如陷入孤立境地，形成一座座难以逾越的数据孤岛。跨平台数据整合工作严重依赖人工手动操作，这一过程不仅繁琐耗时，还极易出错，使得故障定位效率极其低下，故障排查往往耗费大量时间与人力成本。静态管理框架仅依据固定阈值与预设逻辑开展工作，面对复杂多变的动态负荷波动，显得力不从心。同时，对于如 AI 预测性维护这类先进技术需求，传统管理模式无法有效适配，大量的能效潜力白白浪费，技术债也不断积累。设计、施工、运维等不同阶段之间还存在明显的断层，进一步加剧了跨专业协同的壁垒^[6]。这种状况使得全生命周期成本显著攀升，管理模式的僵化更是成为技术迭代的绊脚石，严重阻碍建筑电气系统朝着智能化、可持续化方向顺利转型。

（二）管理创新的关键方向

管理创新在建筑电气领域具有至关重要的意义，需多管齐下推进。构建标准化技术应用体系迫在眉睫，通过开发能够兼容多品牌设备的本土化协议接口，可大幅降低系统集成的复杂度，使得不同来源、不同规格的设备能顺畅对接，减少因接口不兼容导致的调试难题与成本增加。动态化管理模式要依托实时数据流对决策链路进行全面重构。借助数字孪生技术精准模拟系统运行状态，搭配边缘计算快速响应，实现故障的自动诊断与自愈，同时灵活调整能效策略，适应不同工况。组织架构方面，变革势在必行，建立跨部门协同平台，以 BIM 模型作为贯穿全生命周期数据流的核心载体，让设计、施工、运维等各阶段信息无缝衔接，彻底消除信息断层。另外，全生命周期管理应创新性地引入碳排放因子动态评估机制，将技术迭代对可持续发展产生的价值予以量化，推动管理决策从以往单纯依赖经验，逐步转向数据驱动模式，全方位支撑建筑电气系统实现高效且低碳的运行。

三、智能化技术在建筑电气工程中的关键应用

（一）智能配电系统的技术突破

AI 技术通过历史负荷数据与实时工况融合分析，构建动态负

荷预测模型，优化配电系统运行策略。某超高层建筑采用 LSTM 神经网络算法，依据建筑功能区划、时段用电特征及环境变量（如温湿度），动态调整变压器负载率与无功补偿参数，实现配电网能效提升。该技术突破传统阈值控制模式，通过自学习机制适应季节性负荷波动，减少人为干预偏差，延长关键设备寿命周期。基于数字孪生构建配电系统虚拟镜像，同步映射物理层设备状态，结合边缘计算节点实时解析异常信号。当监测到绝缘劣化或短路风险时^[7]，系统自动触发拓扑重构指令，隔离故障区间并切换备用回路，保障供电连续性。该技术将故障定位精度提升至设备级，并通过自愈逻辑库预置多场景恢复策略，大幅降低人工排查依赖性，增强复杂配电网的鲁棒性。

（二）智慧照明系统的优化实践

自适应照明算法整合光感传感器与空间占用数据，通过机器学习解析用户行为与视觉舒适阈值，动态调控 LED 照度与色温。强化学习框架优化照度-能耗函数，平衡工作面达标与非必要区域光抑制。边缘计算本地处理数据流，降低云端依赖与延迟；数字孪生模拟场景切换，预判眩光风险并动态调整配光策略，实现人因工程与能效协同优化，增强系统自适应性与多场景兼容性^[8]。智慧照明通过多目标优化算法平衡节能与舒适性：低人流时段切换基础模式降低静态能耗，高人流场景按活动类型适配动态策略。用户行为聚类分析识别高频路径与热点，精准调控照明方案以减少无效时长。边缘计算与数字孪生耦合支持策略实时仿真修正，确保节能指标与用户体验协同。系统通过动态场景切换与光环境精准调控，达成能效目标与用户感知双向优化。

四、建筑电气智能化创新实践

（一）智能化技术应用标准制定

智能化技术标准体系需以 IEC 60364-8-1 等国际规范为基础，针对国内建筑电气场景进行本土化适配，重点解决设备接口异构性与协议兼容性问题。标准制定需涵盖技术选型准则、数据交互格式及安全冗余要求，例如明确边缘计算节点的通信协议最小带宽阈值，确保多品牌设备无缝集成^[9]。本土化过程中需纳入区域能源政策与气候特征变量，如高湿度地区电气绝缘标准的强化条款，避免国际标准直接移植引发的水土不服。标准化框架的实施可降低技术碎片化风险，为规模化推广提供可复用的技术路径。基于 BIM 的协同管理平台整合建筑电气、暖通、结构等多专业数据模型，通过冲突检测算法预判管线交叉与空间干涉问题。某三甲医院项目中，平台将电气桥架路由与医疗气体管道布局同步建模，自动识别并修正 16 处设计冲突，减少施工返工成本约 12%。运维阶段，平台集成设备参数、维护记录与实时传感器数据，生成可视化运维工单并推送至责任方移动终端。BIM 模型的全生命周期应用打破信息孤岛，实现从设计深化到故障追溯的数据连续性，为智能配电、照明等系统的动态优化提供统一数据底座。

（二）全生命周期管理创新

数字孪生技术在设计阶段构建电气系统虚拟模型，模拟极端

负荷与设备老化对配电网的影响，优化拓扑结构与冗余配置。通过导入气象数据与用户行为参数，预演系统全周性能衰减趋势，识别潜在过载风险。某案例中，模型提前发现地下配电室散热缺陷，指导增加强制通风装置，规避后期改造。技术将经验驱动设计升级为数据验证模式，提升方案可靠性^[10]。基于大数据的设备健康度评估体系实时采集电气参数与环境变量，构建设备退化预测模型。边缘计算节点提取变压器温度、断路器动作频次等特征，结合云端数据库训练故障预警阈值。动态监测触发异常时，系统生成维护建议并同步校准数字孪生模型。某数据中心通过该机制提前预判 UPS 电池容量衰减，规划预防性更换策略。反馈闭环实现运维从被动响应向主动干预转型，支撑全生命周期成本最优。

（三）人才培养与团队建设

建筑电气智能化需整合电气工程、数据科学及技术管理三领域能力，形成复合型技术团队。电气工程师主导系统架构设计与安全规范适配，数据科学家开发负荷预测算法与故障诊断模型，项目管理专家协调资源分配与风险控制。团队需通过联合沙盘推演模拟配电网故障链式反应，建立跨学科技术语言体系，例如将电气参数映射为算法输入特征，确保技术方案兼具工程可行性与管理适配性。

校企联合实验室通过“理论－实践”闭环加速技术转化。某高校与智能设备企业共建实验室，聚焦边缘计算架构优化：高校团队开发自愈控制算法并仿真验证，企业提供真实场景数据与工程反馈。双导师制下，研究生参与开发智能断路器通信协议与照明控制算法库，成果直接导入企业产品线。该模式破解学术研究与工程需求脱节问题，形成“研发－验证－商用”全链条创新生态。

五、总结与展望

建筑电气工程智能化转型通过技术应用与管理创新的协同效应，系统性提升工程效能。技术层面，数字孪生与边缘计算实现配电系统自愈控制与动态负荷调节，智慧照明算法平衡节能与舒适性需求；管理层面，标准化体系与全生命周期动态监测框架破解数据孤岛与静态运维瓶颈。实际案例表明，技术－管理双维协同可降低全生命周期成本约 15%–20%，同时减少碳排放强度，推动建筑从能源消耗主体转向低碳节点。协同效应本质在于将技术迭代转化为可量化管理指标，形成闭环优化机制。数字孪生技术将进一步与元宇宙深度融合，构建虚实交互的建筑电气运维空间，支持远程虚拟巡检与故障预处置训练。碳中和目标驱动智能化技术向能源结构优化方向迭代：光伏－储能－负荷协同控制算法、建筑微电网动态调度模型将成为研发重点。技术标准化进程加速，国际协议（如 IEC 60364–8–1）本土化适配将推动跨国技术兼容，而 AI 伦理与数据主权问题需同步纳入技术框架设计。未来建筑电气系统将呈现“泛在感知－自主决策－全域协同”特征，成为智慧城市能源网络的关键节点。当前研究对中小型项目智能化推广的经济性适配不足，需开发轻量化技术方案与分阶段实施路径。数据安全方面，边缘计算节点的本地化隐私保护机制尚不完善，异构系统间数据传输加密标准亟待统一。后续研究可聚焦低成本传感器网络、联邦学习框架下的跨项目数据共享模型，以及政府－企业－学术联盟驱动的普惠化推广政策，以突破技术落地的规模经济壁垒。

参考文献

- [1] 孙爱芬，张之枫. 智能化技术在电气工程自动化控制中的应用探究 [J]. 机械与电子控制工程, 2023, 5(1).
- [2] 王震，申曰江. 智能化技术在电气工程自动化控制中的应用 [J]. 工程技术与管理, 2023, 7(17).
- [3] 谢俊娥. 电气工程及其自动化中智能化技术的应用分析 [J]. 工程技术研究, 2023, 5(12): 91–93.
- [4] 庞耀. 电气自动化技术在电气工程中的应用 [J]. 城镇建设, 2023(15): 244–246.
- [5] 任则同. 电气工程及其自动化中智能化技术的运用分析 [J]. 数字化用户, 2023, 29(12): 213–215.
- [6] 李文贺. 电气自动化技术在电气工程中的应用研究 [J]. 电脑校园, 2023(22): 71–73.
- [7] 吴双平. 电气工程及其自动化智能化技术在建筑电气中的应用研究 [J]. 建筑与装饰, 2021(6): 148.
- [8] 刘玲. 建筑电气工程的智能化技术应用 [J]. 建筑工程技术与设计, 2017(8): 2659.
- [9] 周伟. 建筑电气工程的智能化技术应用 [J]. 商品与质量, 2017(46): 83.
- [10] 罗永炜. 智能化技术在建筑电气工程中的应用 [J]. 户外装备, 2019(1): 300.