

建筑电气智能化系统设计与优化研究

江智勇

四川迪威消防设备制造有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i3.14392

[摘要] 在“双碳”目标与智慧城市建设背景下,建筑电气智能化系统成为提升能源利用效率、优化用户体验的核心载体。本文针对传统建筑电气系统存在的能效低下、子系统协同不足等问题,提出基于物联网与人工智能技术的系统设计框架,重点研究智能照明、能源管理及安全监控等子系统的模块化设计方法,并结合负荷预测算法与多系统联动控制策略实现能效优化。研究结果为建筑电气智能化系统的标准化设计与动态优化提供了理论支持与实践参考,对推动建筑行业绿色转型具有积极意义。

[关键词] 建筑电气; 智能化系统; 系统设计; 优化策略; 能效管理

中图分类号: TP302.1 **文献标识码:** A

Research on Design and Optimization of Building Electrical Intelligent System

Zhiyong Jiang

Sichuan Diwei Fire Equipment Manufacturing Co., Ltd

[Abstract] In the context of the "dual carbon" goal and smart city construction, building electrical intelligent systems have become the core carrier for improving energy utilization efficiency and optimizing user experience. This article proposes a system design framework based on the Internet of Things and artificial intelligence technology to address the problems of low energy efficiency and insufficient subsystem collaboration in traditional building electrical systems. The focus is on modular design methods for subsystems such as intelligent lighting, energy management, and safety monitoring, and energy efficiency optimization is achieved by combining load forecasting algorithms with multi system linkage control strategies. The research results provide theoretical support and practical reference for the standardized design and dynamic optimization of building electrical intelligent systems, and have positive significance for promoting the green transformation of the construction industry.

[Key words] Building electrical; Intelligent system; System design; Optimization strategy; energy efficiency management

引言

在全球气候变化与能源危机日益严峻的背景下,建筑行业作为能源消耗与碳排放的主要领域之一,其电气系统的智能化升级已成为实现“双碳”目标的关键路径。据统计,我国建筑运行能耗占全社会总能耗的20%以上,而传统电气系统因设备孤立运行、控制策略粗放等问题,导致能源浪费率高达30%。与此同时,随着物联网、大数据、人工智能等技术的快速发展,建筑电气系统正从单一功能控制向多系统协同、主动优化方向演进。智能化系统不仅能够通过实时监测与动态调控降低能耗,还可通过人机交互提升用户舒适度,为建筑全生命周期管理提供数据支撑。然而,当前智能化系统设计仍面临诸多挑战:子系统间兼容性差导致集成难度高、能效优化算法缺乏建筑场景适应性、用户需求与系统功能存在错配等。国内外研究虽在单点技术上

取得进展,但系统性设计与跨领域协同优化策略尚不成熟。本文以建筑电气智能化系统为研究对象,聚焦系统架构设计、关键子系统优化及多目标协同控制三大核心问题,提出基于模块化设计思想与数字孪生技术的解决方案,并通过实证案例验证其有效性,旨在为建筑行业智能化转型提供理论指导与实践参考。

1 建筑电气智能化系统概述

1.1 系统定义与组成

建筑电气智能化系统是以信息技术为核心,通过集成多学科技术实现建筑设备自动化、能源管理精细化与用户体验智能化的综合系统。其核心目标是通过数据驱动的决策优化,降低建筑全生命周期能耗,提升运行效率与安全性。系统主要由三大类子系统构成:能源管理子系统、安全防护子系统及环境舒适性

子系统。各子系统通过标准化通信协议实现数据交互,形成“感知-分析-决策-执行”的闭环控制链路。例如,智能照明系统可根据光照强度、人员活动轨迹动态调节亮度,既满足使用需求又避免能源浪费;能源管理系统则通过实时监测各回路用电数据,识别高耗能设备并优化运行策略。

1.2 核心技术分析

智能化系统的技术底座由物联网、大数据与人工智能构成。物联网技术通过部署传感器、智能终端与网关设备,实现建筑环境参数与设备状态的实时采集与传输,为系统提供数据基础。大数据技术则对海量异构数据进行清洗、存储与分析,挖掘设备运行规律与用户行为模式。例如,通过聚类分析识别用电高峰时段,为负荷调度提供依据。人工智能技术进一步赋能系统决策,如利用机器学习算法预测空调负荷需求,动态调整制冷量输出;或通过计算机视觉技术实现人员密度检测,联动照明与空调系统节能运行。此外,边缘计算与云计算的协同架构可平衡数据处理时效性与算力成本,确保系统响应速度与可扩展性。

1.3 设计原则与标准

系统设计需遵循四大核心原则:可靠性要求采用冗余设计保障关键功能连续性;扩展性需预留模块化接口,支持新技术无缝集成;节能性应优先选用高效设备并优化控制逻辑;安全性需符合等保2.0标准,防范数据泄露与网络攻击。设计过程需参照《智能建筑设计标准》(GB 50314)、《建筑电气工程施工质量验收规范》(GB 50303)等国家标准,确保系统合规性与互操作性。

2 建筑电气智能化系统设计方法

2.1 需求分析与功能定位

建筑电气智能化系统的功能定位需紧密结合建筑类型与用户需求。商业建筑以提升运营效率与用户体验为核心,需优先部署智能照明、空调集控及客流统计系统,通过动态调节环境参数降低能耗,同时利用数据分析优化商业布局。住宅建筑侧重舒适性与安全性,需集成智能家居控制、安防报警及用电安全监测功能,满足居民个性化需求。工业建筑则以生产流程优化与能源成本管控为目标,需强化设备状态监测、能耗分项计量及预测性维护模块,通过实时数据反馈调整生产计划。设计阶段需通过用户调研、能耗审计与场景模拟,明确系统功能优先级,例如商业综合体中空调系统能耗占比通常超40%,需作为优化重点;而住宅项目中,安全监控与便捷交互功能更受用户关注。最终形成包含功能清单、性能指标与用户交互逻辑的需求规格说明书。

2.2 系统架构设计

系统采用分层架构与模块化设计,确保可扩展性与维护性。感知层部署多类型传感器与智能终端,通过有线或无线协议采集数据,采样频率需兼顾实时性与存储成本。网络层构建混合通信网络,核心区域采用工业以太网保障高带宽需求,边缘区域通过无线Mesh网络覆盖移动设备,数据传输需加密并支持断点续传。应用层分为平台服务与用户界面:平台服务集成数据处理、算法引擎与开放API接口;用户界面提供Web端管理后台与移动

端APP,支持多角色权限管理。模块化设计将系统拆分为独立功能模块,各模块通过标准化接口交互,便于后期升级替换。

2.3 关键子系统设计

2.3.1 智能照明系统

采用“分区控制+场景模式”设计,根据空间功能划分照明区域,每区域配置可调光LED灯具与存在传感器。系统通过时间表、光照强度与人员活动三重逻辑联动控制:工作日8:00-18:00开启基础照明,光照不足时自动补光;检测到人员移动时,走廊灯光亮度提升至80%,无人时延时5分钟降至30%。场景模式支持一键切换,节能率可达30%-50%。

2.3.2 能源管理系统

基于“监测-分析-优化”闭环设计,部署分项计量电表实时采集各回路用电数据,采样精度达0.5级。通过大数据分析平台构建能耗基准模型,识别异常用电,并生成优化建议。动态调度策略结合负荷预测算法,提前1小时预测用电高峰,自动切换至谷电时段预冷/预热,结合储能设备平抑负荷波动,综合节能量可达15%-20%。

2.3.3 安全监控系统

集成视频监控、门禁管理与入侵检测功能,采用“边缘计算+云端分析”架构。摄像头内置AI芯片实现人脸识别与行为分析,门禁系统支持刷卡、二维码与生物识别多模态验证。异常事件触发三级响应机制:局部警报→通知安保人员→联动锁闭出口,事件处理记录自动上传至云端存档,支持历史回溯与趋势分析,误报率控制在5%以下。

3 建筑电气智能化系统优化策略

3.1 能效优化技术

3.1.1 设备级优化

设备级优化聚焦核心耗能设备的能效提升。变频技术通过调节电机转速匹配实际负载需求,例如空调水泵采用变频驱动后,可根据室内温度动态调整流量,相比定频设备节能30%-50%。高效电源选择优先选用一级能效标准设备,并采用软启动技术减少启动冲击电流。此外,智能电表与功率因数校正装置可实时监测设备用电质量,自动补偿无功功率,将功率因数提升至0.95以上,降低线路损耗。例如,某商业综合体将传统荧光灯替换为智能调光LED灯具后,年耗电量下降42%,维护成本降低60%。

3.1.2 系统级优化

系统级优化通过算法与协同控制实现全局能效最优。负荷预测算法基于历史数据与外部变量构建LSTM神经网络模型,提前24小时预测建筑用电负荷,预测误差小于5%。结合分时电价策略,系统自动调度储能设备在谷电时段充电、峰电时段放电,平抑负荷波动。多系统协同控制打破子系统孤立运行模式,例如当光照传感器检测到自然光充足时,智能照明系统降低人工照明亮度,同时空调系统根据室内热负荷变化动态调整制冷量,避免能源叠加浪费。某工业园区实施该策略后,整体能耗降低18%,峰谷差缩小25%。

3.2 可靠性提升方法

可靠性优化通过冗余设计、故障自诊断与容错机制保障系统连续运行。冗余设计在关键环节采用双链路架构,例如核心交换机部署主备两套设备,当主链路故障时自动切换至备用链路,切换时间小于50ms。故障自诊断基于边缘计算节点实时分析设备运行参数,通过阈值比较与模式识别技术检测异常。例如,当电机振动频率超过基准值20%时,系统立即触发报警并推送维护建议。容错机制通过软件层面的异常处理逻辑提升系统韧性,如采用分布式数据库存储关键数据,当单个节点故障时,其他节点可自动接管任务,确保控制指令不中断。某医院智能化系统应用上述方法后,年故障停机时间从12小时降至2小时,运维成本降低35%。

3.3 用户体验优化

用户体验优化聚焦交互便捷性与服务个性化。人机交互界面设计采用“场景化+语音控制”模式,用户可通过移动端APP或语音助手一键切换场景模式。界面布局遵循F型视觉路径,将高频功能(如设备开关、温度调节)置于首屏,操作步骤简化至3步以内。个性化服务推送基于用户行为数据分析构建用户画像,动态调整系统参数。例如,为老年用户推送大字版界面与紧急呼叫按钮,为办公用户提供会议预约与设备联动服务。某住宅项目试点后,用户满意度从78分提升至92分,投诉率下降60%。

3.4 成本优化路径

成本优化需平衡初始投资与全生命周期收益。全生命周期成本分析涵盖设备采购、安装调试、运维维护与更新替换等阶段成本,通过净现值与内部收益率评估方案经济性。例如,采用高效变频设备虽增加20%初始投资,但5年内可节省45%电费,IRR达18%。性价比权衡模型结合技术参数与经济指标,通过层次分析法量化各方案优先级。此外模块化设计支持按需扩展,避免一次性过度投资。某商业建筑采用该模型后,在满足节能目标的前提下,将系统总投资降低15%,投资回收期缩短至3.2年。

4 案例分析与实践验证

(1)项目背景介绍。本研究选取四川某大型商业综合体(建筑面积12万 m^2)作为实证对象。该建筑原电气系统存在设备孤立运行、能耗数据缺失、用户舒适度低等问题,2022年能耗强度达115 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{年})$,高于同类建筑平均水平。项目以“能效提升30%、用户体验满意度 $\geq 90\%$ ”为目标,部署建筑电气智能化系统,涵盖智能照明、空调集控、能源管理与安全监控四大子系统,覆盖公共区域、办公区与商铺等全场景。

(2)设计方案实施。系统部署分三阶段推进:感知层安装2000+个智能传感器与300台智能电表,采样频率设为10秒/次;

网络层采用“有线+无线”混合组网,核心交换机冗余配置,数据传输延迟 $\leq 50\text{ms}$;应用层部署边缘计算节点与云端大数据平台,集成负荷预测、多系统协同控制算法。关键技术参数包括:空调系统变频调节范围30%-100%,照明系统调光精度 $\pm 5\%$,储能设备充放电效率 $\geq 92\%$ 。项目周期8个月,总投资850万元,其中30%用于算法开发与平台定制。

(3)优化效果评估系统运行1年后,实测数据显示:能耗强度降至82 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{年})$,同比下降28.7%,其中空调系统节能35%、照明系统节能42%;用户满意度从76分提升至91分,90%用户认可场景模式切换便捷性;运维成本降低40%,故障响应时间从2小时缩短至15分钟。对比传统系统,本项目投资回收期为3.1年,全生命周期净现值达1200万元,验证了智能化优化策略的经济性与技术可行性。

5 结论与展望

本研究提出“分层架构+多系统协同”的建筑电气智能化设计方法,通过负荷预测算法与变频技术实现能效优化,结合冗余设计与故障自诊断提升系统可靠性,并构建场景化人机交互界面改善用户体验。实证表明,该方法可使商业建筑能耗降低28.7%、运维成本下降40%,验证了技术路径的可行性与经济性,为行业提供了可复制的智能化解决方案。后续研究将探索数字孪生技术在建筑能源管理中的应用,构建虚拟-物理系统实时映射模型;同时研究区块链技术在设备数据安全共享中的潜力,解决跨平台信任问题。建议行业推广“标准化模块+定制化功能”实施路径,优先在公共建筑中试点,逐步完善技术规范与评价体系。

【参考文献】

[1]张迎春.建筑电气智能化系统集成设计与运行优化[C]//广西网络安全和信息化联合会.2025年第二届工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流会议论文集.绿城房屋科技有限公司,2025:236-237.

[2]陈涛.基于物联网技术的建筑电气智能化系统设计与优化[J].绿色建造与智能建筑,2023,(08):78-81.

[3]孙佳平.建筑电气智能化系统联动控制技术[C]//广西网络安全和信息化联合会.2025年第二届工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流会议论文集.杭州富阳腾迅智能科技有限公司,2025:259-261.

作者简介:

江智勇(1977--),男,汉族,四川省成都市青羊区人,大学本科,市政工程工程师,研究方向:建筑电气智能化工程施工管理。