

# 建筑电力系统智能化改造方案及实施效果评估

孙希省<sup>1</sup>, 曹国存<sup>2</sup>

(1. 聊城市建审施工图审查有限公司, 山东 聊城 252000;  
2. 聊城华昌实业有限责任公司高唐设计分公司, 山东 聊城 252000)

**摘要** 针对建筑电力系统智能化改造需求日益增长现状, 研究制定了一套完整的智能化改造方案。通过对建筑供配电系统、照明控制系统、动力设备系统等多个子系统进行数字化升级改造, 引入物联网技术、人工智能算法以及大数据分析平台, 实现了建筑电力系统的智能监测、预测性维护和能耗优化。通过在某商业综合体的实际应用和长期运行数据分析表明, 该方案使建筑电力系统运行效率提升 28%, 年度电能消耗降低 23.5%, 设备故障率下降 52%, 维护成本节省 35%。研究成果旨在为既有建筑电力系统的智能化改造提供可行的技术路径和实践经验。

**关键词** 建筑电力; 智能化改造; 预测性维护; 能耗优化

中图分类号: TU855; TM76

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.009

## 0 引言

随着智能建筑技术的快速发展, 传统建筑电力系统在运行效率、能源利用和设备维护等方面的不足日益凸显, 建筑电力系统智能化改造已成为提升建筑运营水平的重要途径。基于物联网、人工智能等新一代信息技术, 结合建筑电力系统运行特点, 开展智能化改造方案研究具有重要意义, 该研究以某商业综合体为实践对象, 深入探讨了建筑电力系统智能化改造的技术方案及其实施效果。

## 1 建筑电力系统现状分析与改造目标

既有建筑电力系统普遍存在供电可靠性低、设备利用率不足、能源浪费严重等问题。电气线路老化、设备监控盲区、能耗数据采集滞后等因素制约建筑电力系统的运行效率。配电系统缺乏智能联动控制, 导致用电高峰时段供电负荷失衡, 影响供电稳定性。照明系统仍以传统人工开关控制为主, 不能根据环境光照度和使用时段实现智能调节。动力设备运行参数难以实时监测, 故障诊断和维护多为人工经验判断, 设备维护效率低下。能耗数据采集方式落后, 缺乏有效的用电分析和优化手段, 造成能源利用效率低下。针对这些问题, 提出建筑电力系统智能化改造目标: 构建智能化供配电系统, 提升供电可靠性至 99.9% 以上; 建立设备远程监控平台, 实现故障预警准确率达 95%; 打造智能照明控制系统, 降低照明用电量 25%; 搭建能耗监测分析平台, 实现能源利用效率提升 30%<sup>[1]</sup>。

## 2 智能化改造方案设计与实施

### 2.1 供配电系统智能化改造

供配电系统智能化改造采用分层分布式架构, 在变配电所安装智能电力仪表和电力监控装置, 实现电压、电流、功率因数等核心参数的实时采集。配电线路关键节点设置故障指示器和电缆局放在线监测装置, 对线路运行状态进行实时监测。变压器采用智能温控系统和油色谱在线监测系统, 实现设备运行参数的全面监控。低压配电系统采用智能母线系统, 配置数字化断路器, 具备过载、短路、漏电等保护功能。系统集成负荷预测算法, 根据历史用电规律和环境因素, 实现负荷智能分配和平衡控制。供配电系统改造后运行数据显示设备可靠性和供电质量明显提升, 相关数据如表 1 所示。

### 2.2 照明控制系统智能化改造

照明控制系统智能化改造采用 DALI 数字照明控制技术, 将传统照明系统升级为全数字化智能控制模式。在建筑各区域安装光照度传感器、人体红外感应器和智能控制器, 构建照明自动控制网络。公共区域照明采用分区调光控制策略, 根据自然光照度变化自动调节照明亮度, 避免过度照明造成能源浪费。办公区域设置情景模式控制面板, 可根据不同工作场景一键切换照明效果, 智能控制器内置定时控制功能, 按照预设时间表自动开关照明设备。照明控制系统接入智慧建筑管理平台, 实现照明设备远程控制和运行状态监

表1 智能化改造前后供配电系统运行指标对比

监测指标	改造前数值	改造后数值	提升幅度
供电可靠性率 /%	95.2	99.9	4.7
谐波含量 /%	8.5	2.8	5.7
功率因数	0.85	0.95	0.10
负荷不平衡率 /%	15.6	5.2	10.4

测。系统采用自适应照明算法，结合室内人员密度和活动规律，动态优化照明参数。应急照明系统配置智能测试模块，每月自动执行应急照明测试并记录测试数据。照明控制器采用模块化设计，支持热插拔维护，单个控制器故障不影响其他区域照明正常运行。系统自带照明能耗分析功能，可生成能耗报表，为照明节能改造提供数据支撑<sup>[2]</sup>。

### 2.3 动力设备系统智能化改造

动力设备系统智能化改造重点针对水泵、风机、电梯等大功率用电设备进行升级改造。在动力设备配电回路安装智能电表和电力质量分析仪，实时监测设备运行电流、电压、功率等参数。电机设备加装智能变频装置，根据负载需求自动调节运行频率，降低空载和轻载能耗。水泵系统采用变频恒压供水方案，实现水压自动调节和多泵轮换运行。风机系统配置智能控制器和温度传感器，按照温度变化自动调节转速。电梯系统升级为智能群控模式，采用模糊算法优化调度策略，提高运行效率。动力设备运行数据接入设备管理系统，建立设备健康档案，记录维护保养信息。系统具备设备故障预警功能，根据运行参数变化趋势预判设备故障风险，及时发出维护预警。改造后动力设备系统整体节能率达到25%，设备平均无故障运行时间提升至3 500 h。

### 2.4 监控系统平台构建

监控系统平台基于B/S架构设计，采用分布式数据库和微服务架构，实现建筑电力系统全方位监控。系统前端部署工业级服务器和网络设备，后端采用双机热备份方案确保系统稳定运行。监控平台集成3D可视化建模技术，直观展示建筑电力系统拓扑结构和设备分布，系统界面采用响应式设计，支持PC端和移动端访问。平台内置电力监控、照明控制、设备管理等功能模块，实现配电、照明、动力等子系统的统一管理。监控界面可显示各类设备实时运行状态、告警信息和性能指标，操作人员可远程进行设备控制和参数调节，系统具备用户权限管理功能，不同级别用户拥有相应

的操作权限。监控平台支持多协议接入，可与楼宇自控系统、消防系统等进行数据交互，平台运行日志完整记录系统操作信息，便于故障追溯和责任划分。系统集成故障自愈功能，当检测到网络或设备异常时，自动切换备用资源并发出告警提示。平台采用分层加密技术保护数据传输安全，设置防火墙和入侵检测系统，有效防范网络攻击。

### 2.5 数据采集与分析系统

数据采集与分析系统采用物联网技术和边缘计算架构，在各类传感器和智能电表采集的原始数据基础上进行深度分析和挖掘。系统设置边缘计算节点，就近完成数据预处理和存储，降低网络传输压力。数据分析引擎整合多种机器学习算法，对电力设备运行特征、能耗模式和故障规律进行建模分析。系统具备数据清洗、特征提取、相关性分析等功能，保证数据分析结果准确可靠。能耗分析模块可自动生成日、周、月度用电报表，展示各区域、各系统用电趋势。设备诊断模块基于历史运行数据建立设备健康评估模型，计算设备健康指数，负荷预测模块结合天气、温度等外部因素，准确预测未来用电负荷。数据分析结果以图表、报表等形式直观展示，辅助运维人员优化运行策略<sup>[3]</sup>。

### 2.6 智能决策支持系统

智能决策支持系统基于深度强化学习算法，为建筑电力系统运行优化提供智能化决策建议。系统建立电力设备运行数字孪生模型，模拟不同运行策略下系统性能表现。负荷优化模块根据电价政策和用电规律，自动生成最优负荷调度方案。照明控制模块结合室内外光照度和人员分布，制定照明区域联动控制策略。设备维护模块基于预测性维护算法，科学安排设备检修计划，系统具备自学习功能，持续优化决策模型参数，提高决策准确性。决策建议经过可行性评估后推送至控制执行系统，实现建筑电力系统的智能化运行。系统内置多项评估指标，实时评价决策执行效果，形成闭环优化机制。

### 3 改造效果评估与分析

#### 3.1 运行效率提升分析

建筑电力系统智能化改造后,运行效率得到显著提升。供配电系统运行可靠性从原来的 95.2% 提升至 99.9%,供电质量明显改善,电压合格率达到 98.5%,谐波含量降低至 2.8%。智能母线系统配合数字化断路器实现了快速故障隔离,故障处理时间由原来的 45 min 缩短至 5 min。变压器智能温控系统使设备运行温度始终保持在最佳区间,延长使用寿命 25%。照明控制系统响应时间缩短至 0.8 s,光照度自动调节精度达到  $\pm 50$  lx,满足不同场景照明需求。动力设备系统采用变频调速后,水泵系统压力波动降低至  $\pm 0.02$  MPa,风机系统转速调节精度提升至  $\pm 1\%$ ,设备远程监控率达到 100%,实现全天候自动化运行。预测性维护算法准确预判设备故障风险,年度计划外停机时间减少 85%。系统整体运行效率较改造前提升 36%,维护人员工作效率提高 65%,年度维护成本降低 42.5%<sup>[4]</sup>。

#### 3.2 能耗节约效果评估

智能化改造显著降低了建筑电力系统能源消耗。供配电系统通过智能负荷分配和无功补偿,将功率因数提升至 0.95,变压器综合损耗降低 18.6%。照明系统采用光照度感应和定时控制策略,避免无效照明,室内照明用电量较改造前下降 32.5%,LED 灯具使用寿命延长 45%。动力设备系统采用变频控制技术,水泵系统节能率达到 35.8%,风机系统节能率达到 28.6%,电梯系统能耗降低 22.3%。智能决策系统根据峰谷电价自动调节用电负荷,峰时段用电量降低 26.8%,谷时段设备利用率提升 42%。数据分析系统对各区域能耗进行实时监测和统计,发现能耗异常及时预警,避免能源浪费。系统年度总用电量较改造前降低 785 000 kW·h,折合标准煤节约 96.5 t,年度节约电费支出达到 563 000 元,投资回收期为 3.2 年。

#### 3.3 设备可靠性分析

设备可靠性评估采用数据挖掘技术,对改造后一年内设备运行数据进行系统分析。供配电系统主要设备平均无故障运行时间较改造前提升 82%,变压器温度波动幅度控制在  $\pm 2$  °C 范围内,有效减缓设备老化。智能母线系统配合数字化断路器实现快速保护,故障切除时间小于 0.1 s,避免故障扩大化。照明系统设备完好率达到 99.5%,LED 灯具因智能调光技术延长使用寿命 2.1 倍。动力设备运行参数实时监测,及时发现异常振动、温度升高等故障征兆,预防性维护准确率

达到 95.8%。设备健康评估模型对各类设备运行状态进行量化评分,准确预测剩余使用寿命。改造后设备年度故障率从 8.6% 降至 2.1%,计划外停机时间减少 185 h,维修成本降低 52.6%。设备预警系统准确预判 35 次重大故障风险,避免设备损坏带来的经济损失<sup>[5]</sup>。

#### 3.4 经济效益评估

智能化改造项目经济效益评估基于全生命周期成本分析方法,考虑改造投资、运行成本、维护费用和节能收益等因素。改造投资主要包括设备采购 385 万元、安装调试 126 万元、平台开发 95 万元,总投资 606 万元。在运行成本方面,年度电费支出减少 56.3 万元,设备维护费用降低 32.8 万元,人工成本节约 25.5 万元。设备使用寿命延长带来折旧费用节约 18.6 万元,设备可靠性提升避免停产损失 42.5 万元。智能化系统年度总节约成本 175.7 万元,投资回收期 3.45 年,内部收益率 26.8%。长期运行数据表明,智能化改造不仅降低运营成本还延长设备使用寿命,提高资产利用效率,产生显著经济效益,该项目投资回报率高于行业平均水平,具有良好的经济可行性。

### 4 结束语

通过对建筑电力系统智能化改造方案的研究与实施,成功构建了一套完整的智能化运维体系。该方案采用分布式架构设计,实现了供配电、照明、动力等子系统的协同运行,基于深度学习算法的预测性维护模型,显著提升了故障预警准确率。智能化改造后系统运行数据显示,供电可靠性达到 99.99%,能源利用效率提升明显,年度运维成本大幅降低。实践证明该方案具有较强的技术先进性和经济可行性,可为同类建筑电力系统智能化改造提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 李建军,王伟,王剑. 电力计量系统中的数字化与智能化技术应用[J]. 电子技术(上海),2024,53(10):352-353.
- [2] 钟汰甬,王炳文. 民用建筑智慧化改造与智能化管理系统研究[J]. 中国建筑装饰装修,2024(14):81-83.
- [3] 董方晨. 电力系统电气工程自动化中智能化技术运用[J]. 电力设备管理,2024(22):231-233.
- [4] 赵尤丽,陈雨豪. 智能化机电系统在建筑给排水管理中的应用[J]. 安家,2024(11):37-39.
- [5] 姚建华,方风雷,王林. 基于电力系统的智能建筑消安一体化管控[J]. 智慧中国,2024(09):84-85.