

建筑电气智能化节能优化设计

赵晶晶

中天建筑设计院 浙江 杭州 310000

摘要: 建筑电气系统是建筑能耗的关键所在,其节能成效对建筑绿色发展目标的达成影响重大。本文聚焦建筑电气智能化节能研究,全面剖析电气系统的构成、能耗特性及影响因素,构建合理的能耗数学模型。深入探究物联网技术、人工智能算法和能源管理系统在节能优化中的应用方式,从供电、照明、空调和动力设备四个方面提出智能化设计办法。研究发现,智能化技术能精准调控电气系统能耗,优化后建筑电气能耗可显著降低。研究成果为建筑电气节能提供理论和实践方案,助力建筑行业实现“双碳”目标,应用价值突出。

关键词: 建筑电气;智能化;节能优化;物联网;人工智能

引言:全球能源危机与“双碳”战略促使建筑行业向低碳方向转型,建筑电气系统作为建筑能耗大户,其节能优化是绿色建筑发展的关键。传统建筑电气系统靠人工控制,存在能耗监测不及时、设备运行效率差、能源浪费多等问题,无法满足现代建筑节能要求。随着物联网、人工智能等技术的发展,建筑电气智能化升级成为必然趋势,可实现能耗实时监测与高效管理。为此,本文构建相关节能框架,整合技术与设计方法,提升节能效能。

1 建筑电气系统能耗分析与建模

1.1 建筑电气系统组成与能耗特点

建筑电气系统由供电系统、照明系统、空调系统及动力设备四部分构成,各子系统能耗占比差异显著。供电系统包括变配电设备、输电线路等,能耗主要源于设备损耗与线路损耗,具有连续性与稳定性特点,损耗量与负载率密切相关。照明系统涵盖各类照明灯具,能耗受使用时间、照度需求及灯具效率影响,公共建筑照明能耗占电气总能耗的20%-30%,存在白天过度照明、无人区域长明灯等浪费现象。空调系统是能耗大户,占比达40%-50%,其能耗随季节、室外温湿度及室内负荷波动明显。动力设备包括风机、水泵、电梯等,能耗与运行时长、负载强度相关,部分设备存在“大马拉小车”的低效运行问题。整体而言,建筑电气能耗具有动态性、关联性 & 区域性特征,需针对性管控。

1.2 能耗影响因素识别

建筑电气系统能耗受多重因素综合影响,可分为系统自身因素与外部环境因素。系统自身因素包括设备性能、系统设计及运行管理水平,高效节能设备可降低固有能耗,如LED灯具能耗仅为传统白炽灯的1/5;系统设计不合理,如线路截面选型过小会增加线路损耗;运行

管理粗放,如设备启停不及时易造成能源浪费。外部环境因素中,气象条件直接影响空调与照明系统能耗,夏季高温与冬季严寒会导致空调负荷骤增,阴雨天气则增加照明需求^[1]。建筑使用特性也至关重要,公共建筑的人员流动密度、办公时长与住宅差异显著,导致能耗峰值时段不同;建筑朝向与围护结构保温性能,会通过影响室内热环境间接作用于电气系统能耗,保温性能差的建筑将增加空调系统负担。

1.3 能耗数学模型构建

构建能耗数学模型是分析和预测建筑电气系统能耗的重要手段。通过对能耗影响因素的量化分析,建立能耗与各因素之间的数学关系。可以采用回归分析、神经网络等方法构建模型,利用历史模型数据进行验证,确保模型的准确性和可靠性。能耗数学模型能够为节能优化提供定量依据,帮助设计人员制定合理的节能策略和措施。

2 智能化节能优化关键技术

2.1 物联网(IoT)技术应用

物联网技术为建筑电气能耗精准管控提供感知基础,通过“感知层-网络层-应用层”架构实现全流程数据采集与传输。感知层部署各类传感器,包括智能电表监测用电负荷,温湿度传感器采集环境参数,人体红外传感器检测人员存在,光照传感器实时监测自然光照度,所有传感器节点采用低功耗设计,确保长期稳定运行。网络层采用“5G+WiFi+LoRa”多网融合模式,5G实现高清数据与控制信号高速传输,LoRa适用于低速率、远距离的传感器数据传输,降低网络部署成本。应用层构建数据共享平台,将采集的设备运行数据、环境数据与能耗数据进行整合分析,实现设备状态实时监控、能耗异常预警及数据可视化展示,为后续优化决策提供精准数

据输入,解决传统系统“感知盲区”问题。

2.2 人工智能算法优化

人工智能算法在建筑电气节能中承担决策优化角色,通过数据驱动实现系统运行参数动态调整。采用“预测-优化-控制”的算法应用逻辑,首先利用LSTM(长短期记忆网络)构建模型,对能耗进行预测,基于历史能耗数据、环境数据及使用需求,精准预测未来24小时各子系统能耗变化趋势,预测精度达90%以上。优化阶段采用遗传算法与粒子群优化算法结合的混合算法,以“能耗最低、舒适度最优”为目标,对空调温度设定值、照明亮度、设备运行模式等参数进行优化求解,生成最优运行方案。控制阶段通过强化学习算法实现自适应调控,算法根据实时反馈数据不断调整控制策略,如人员离开后自动关闭灯具与空调,光照充足时降低灯具照明功率,使系统始终处于最优运行状态,提升节能响应的及时性与精准性^[2]。

2.3 能源管理系统(EMS)集成

能源管理系统(EMS)是智能化节能优化的核心载体,实现多系统协同与集中管控。系统采用分层架构设计,设备层连接各类智能控制器与执行机构,如智能断路器、变频控制器、智能照明模块等,实现对电气设备的精准控制;控制层以工业级PLC为核心,执行优化算法生成的控制指令,确保设备按最优参数运行;监控层构建上位机管理平台,具备能耗统计分析、设备状态监控、故障诊断、报表生成等功能,管理人员可通过平台实现远程操控与管理。系统集成时重点解决多协议兼容问题,通过OPCUA标准协议实现不同品牌设备与系统的互联互通,打破“信息孤岛”。同时,EMS与建筑其他系统联动,如与安防系统共享人员位置信息,与消防系统联动实现应急供电控制,提升建筑整体能源管理效率。

3 建筑电气智能化节能优化设计方法

3.1 供电系统优化

供电系统智能化优化以“降损增效”为核心,从设备选型、运行模式及线路设计三方面发力。设备优化采用智能变压器,其具备负载率自适应调节功能,可根据用电负荷变化自动调整运行档位,降低轻载时的铁损与铜损;通过安装智能无功补偿装置,使用物联网(IoT)监测功率因数变化,实时投入或切除补偿电容,将功率因数维持在0.95以上,减少无功功率损耗。运行模式优化基于负荷预测数据,采用“错峰用电+动态调压”策略,在用电高峰期优先保障重要负荷供电,对非必要负荷进行限荷或错峰运行;通过智能调压装置实时调整供电电

压,使电压稳定在额定值 $\pm 5\%$ 范围内,避免电压过高导致的设备损耗。线路优化利用参数化设计工具,结合用电负荷分布优化线路走向,选用低电阻导电材料,减少线路传输损耗,同时通过在线监测系统实时监测线路温度与电流,预防线路过载引发的能耗增加与安全隐患。

3.2 照明系统优化

照明系统智能化优化实现“按需照明、自然光最大化利用”,构建“智能控制+节能灯具”的优化体系。灯具选型全面采用LED节能灯具,结合不同区域功能需求选用不同色温与照度的灯具,办公区域选用4000K中性光,提升视觉舒适度;走廊、卫生间等区域采用人体感应式LED灯,实现“人来灯亮、人走灯灭”。控制策略采用“自然光优先+智能调光”模式,通过光照传感器实时采集室内自然光照度,当光照度满足需求时,自动关闭或调暗人工照明;在大型公共区域,结合人员定位系统实现分区照明控制,仅在有人区域开启照明,无人区域保持关闭状态^[3]。此外,构建照明能耗联动控制平台,将照明系统与建筑作息时间绑定,自动执行上下班照明开关计划,同时支持手机APP远程控制,方便管理人员灵活调整,经优化后照明系统能耗可降低40%以上。

3.3 空调系统优化

空调系统智能化优化聚焦“负荷精准匹配+运行参数优化”,解决传统系统“大马拉小车”问题。负荷调控采用“分区监测+动态负荷预测”,通过温湿度传感器与人体红外传感器,精准监测各区域室内温度、湿度及人员密度,结合LSTM算法预测各区域空调负荷变化,为系统运行调整提供依据。设备运行优化采用变频控制技术,为空调主机、水泵、风机配备变频控制器,根据实时负荷变化调整运行频率,避免设备恒速运行造成的能源浪费;优化空调水系统运行参数,通过智能阀门调节各区域供水量,实现水力平衡,减少因水力失调导致的局部过冷或过热。控制策略上,夏季将空调设定温度提高至26℃,冬季降低至20℃,同时引入CO₂浓度传感器,当室内CO₂浓度超标时,自动增大新风量,兼顾节能与室内空气质量,优化后空调系统能耗可降低30%左右。

3.4 动力设备优化

动力设备智能化优化以“按需运行、状态检修”为核心,覆盖水泵、风机、电梯等各类设备。运行模式优化采用“负载自适应控制”,通过传感器监测设备负载变化,智能调整运行参数,如根据管网压力变化供水水泵自动调节转速,避免恒速运行导致的压力过高与能耗浪费;电梯系统引入智能群控算法,根据人员流量变化优化电梯运行调度,减少空驶与候梯时间,降低电梯

启停能耗。设备维护优化采用“预测性维护”模式，通过物联网监测设备振动、温度、电流等运行参数，结合故障诊断算法分析设备健康状态，提前预判设备潜在故障，避免因设备故障导致的低效运行与能源浪费。另外，对长期低效运行的老旧设备进行节能改造或更换，选用高效节能型动力设备，从源头降低设备固有能耗，整体优化后动力设备能耗可降低25%以上。

4 未来发展方向

4.1 数字孪生技术在建筑节能中的应用

数字孪生技术将推动建筑电气节能向“全生命周期精准管控”转型，通过构建建筑电气系统的虚拟数字镜像，实现物理系统与虚拟系统的实时映射。数字孪生模型整合建筑电气系统设计数据、施工数据、运行数据及维护数据，基于物联网实现物理设备状态与虚拟模型的同步更新。在节能优化中，可通过虚拟模型进行能耗模拟与优化方案验证，在不影响物理系统运行的前提下，测试不同优化策略的节能效果，筛选最优方案；利用数字孪生进行故障模拟与应急演练，提升系统故障处理效率，减少故障导致的能耗损失^[4]。未来，数字孪生将与BIM技术深度融合，实现从建筑设计阶段就开展电气系统节能优化，构建“设计-施工-运行-维护”全流程节能体系，进一步提升节能精度。

4.2 区块链赋能的分布式能源交易模式

区块链技术为建筑分布式能源高效利用与交易提供新路径，构建去中心化的能源交易平台。在建筑电气系统中，结合光伏、储能等分布式能源设备，实现能源的本地生产与消费，多余能源可通过区块链交易平台对外出售。区块链的去中心化特性避免了传统能源交易中的中间环节，降低交易成本；其不可篡改与透明化特点，确保能源交易数据的真实性与安全性，实现交易双方的信任共建。交易模式采用“点对点”交易，建筑内各用电单元可作为能源消费者或生产者参与交易，如某区域光伏发电多余时，可直接交易给用电负荷较高的区域。此外，区块链智能合约可自动执行交易条款，根据实时能耗数据与电价信息，自动完成能源交易与结算，提升

交易效率，推动建筑从“能源消费者”向“能源产销者”转型。

4.3 人工智能与绿色建筑标准的深度融合

绿色建筑标准为节能优化提供明确目标，人工智能技术则为目标实现提供高效手段。一方面，将绿色建筑标准中的能耗指标、环保要求转化为人工智能算法的约束条件，使优化算法在追求节能效果的同时，满足绿色建筑认证需求，如在算法中嵌入绿色建筑评价标准中的照明功率密度限值、空调能耗指标等。另一方面，利用人工智能技术构建绿色建筑标准动态评估体系，实时监测建筑电气系统能耗与环保指标，自动生成绿色建筑评价报告，为标准达标提供数据支撑。未来，将形成“标准引导算法、算法支撑达标”的良性循环，同时结合建筑碳中和目标，构建基于人工智能的碳足迹追踪与减排优化系统，推动绿色建筑标准向低碳化、智能化升级。

结束语

建筑电气智能化节能优化设计是实现建筑低碳发展的核心路径，本文通过系统分析建筑电气能耗特点与影响因素，构建能耗数学模型，阐述物联网、人工智能及能源管理系统等关键技术的应用，从四大子系统提出具体优化设计方法，并展望了数字孪生、区块链等前沿技术的应用前景。未来，随着多技术融合发展与绿色建筑标准升级，建筑电气系统将实现从“被动节能”向“主动优化”的转变，为建筑行业碳达峰、碳中和目标的实现提供坚实支撑。

参考文献

- [1]韩中杰.智能化建筑电气节能优化设计的相关探讨[J].模型世界, 2024(20): 155-157.
- [2]王晓彤,朱经敏,朱经鑫.智能化建筑电气节能优化设计解析[J].建筑与装饰, 2024(19): 19-21.
- [3]龚永庆.智能化建筑电气节能优化设计研究[J].建筑技术开发, 2021, 48(2):138-139.
- [4]李俊峰.关于智能化建筑电气节能优化设计分析[J].河南建材, 2022(11): 83-85.