

照明节能技术在建筑电气设计中的创新应用

郭晓伟

(青岛华堂建筑设计有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要 为解决建筑照明系统中能源利用效率低、运行成本高等问题,本文对照明节能技术在建筑电气设计中的创新应用进行了研究,提出了以高效光源、智能控制、日光利用与仿真技术为核心的系统化节能策略。在电气设计各阶段引入负荷优化、模块化布局及多系统集成,强化照明系统的动态响应与运行效率,构建全过程节能控制体系。同时,通过典型建筑项目的实证分析,验证相关技术路径在实际工程中的节能效果与应用价值。研究内容涵盖设计前期策略制定、系统构建技术、智能运维体系及多场景应用,实现了照明系统从设计端到运行端的整体节能优化,以期为建筑电气设计人员及相关工程实践提供理论支撑与技术参考。

关键词 照明节能技术; 建筑电气设计; 智能控制系统; 日光利用技术; 照明仿真技术

中图分类号: TU85; TU113.66

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.040

0 引言

随着城市化进程加快与建筑规模扩大,建筑能耗持续增长,其中照明系统占据显著比重。传统照明设计普遍存在光源效率低、控制手段单一与运行管理粗放等问题,导致能耗浪费与使用体验下降。在绿色建筑与智慧城市理念推动下,照明节能技术不断向智能化、集成化方向发展,成为建筑电气设计的重要组成部分。深入探讨照明节能技术与建筑电气设计的融合路径,对于推动建筑能效提升与电气系统高质量发展具有重要意义。

1 建筑电气照明系统概述

建筑电气照明系统作为建筑电气工程的重要组成部分,直接关系到建筑空间的功能实现、视觉舒适度及能耗水平。其构成主要包括照明电源配电系统、灯具配置方案、控制系统及相关布线结构。照明系统需依据建筑用途、功能分区、照度标准与使用频率进行差异化设计,并结合光源类型、安装位置、配光曲线等参数实现高效配光与能效控制。在技术实施过程中,需综合考虑照度均匀度、眩光限制、显色指数及功率密度等关键指标,确保满足《建筑照明设计标准》等规范要求。现代照明系统普遍采用LED作为主流光源,通过与智能化控制终端结合,实现分区控制、调光调色及动态响应机制,有效提升能效比与光环境质量。同时,照明回路的电气负荷需与建筑配电系统整体协调,保障系统运行的可靠性与安全性^[1]。

2 照明节能技术的分类与原理

2.1 高效光源与灯具技术

高效光源与灯具技术是建筑照明系统节能优化的基础,其关键在于提高光源的发光效率和灯具的配光性能。当前主流的LED光源具备较高的发光效率和较低的功率密度,典型发光效率已达到130~160 lm/W,相较于传统荧光灯(60~90 lm/W)和白炽灯(10~15 lm/W)具有显著节能优势。LED光源具有启动速度快、色温可调、寿命长等特点,平均使用寿命可达30 000~50 000小时,远高于高压钠灯或金属卤化物灯,有效降低更换频次与维护成本。在灯具设计方面,通过优化反射器结构、采用高透光率扩散罩及改进散热模组,可显著提高系统总光效和热稳定性。配光曲线的合理选择有助于改善照度均匀度与垂直照度,实现空间光环境的均衡分布。此外,采用高显色指数($R_a > 80$)的LED模组可有效保障视觉舒适性,特别适用于对色彩还原度要求较高的场所。通过高效光源与先进灯具的协同配置,照明系统不仅显著降低单位面积能耗($\leq 9 \text{ W/m}^2$),同时为后续智能控制系统的负载响应提供技术支撑。

2.2 智能控制系统

智能控制系统通过实时调节照明运行状态以匹配使用需求,是实现建筑照明节能的核心机制之一。系统基于传感器反馈与算法决策,实现自动调光、区域控制及用户行为响应。常见控制技术包括基于DALI (Digital Addressable Lighting Interface) 协议的

地址控制、KNX 总线的多系统集成控制及基于 ZigBee 的无线照明网络。以光照传感器为例,当室内照度高于设定阈值时,控制器可自动调暗灯具输出,实现与自然光的动态补偿;而红外与微波感应器则用于实现人来即亮、人走即灭的状态切换,显著降低无效运行时长。通过定时控制、场景预设与负载分组管理,系统可在满足使用需求的前提下降低约 30%~50% 的照明能耗。在大型建筑中,智能照明系统常与 BAS (Building Automation System) 集成,通过数据总线实时传输运行状态,支持能耗监控与远程诊断。此外,控制策略可依据建筑使用特性进行定制化编程,实现照明曲线的动态适应与能效最大化^[2]。

2.3 日光利用与照明仿真技术

日光利用技术通过建筑设计与工程手段引导自然光进入室内空间,以实现照明负荷的有效削减。关键手段包括合理设置开窗面积与位置、采用高透光率建筑材料、布设光导管系统及增加反射面设计。例如:通过在建筑南向设置大面积低辐射玻璃幕墙,可在保证热工性能前提下提升日光采集效率,平均日光照度可达 300~500 lx。光导管系统通过采光罩采集室外自然光,经内壁高反射率管道 ($\rho \geq 0.98$) 传输至建筑内部,有效提高深层空间照明均匀度。为实现自然光与人工照明的协同控制,常采用光感与时控联合策略,在照度不足时由智能系统自动补光,从而实现系统动态调节与节能运行。

照明仿真技术作为日光利用的设计与评估工具,可以通过建筑信息模型 (BIM) 与专业软件 (如 DIALux、Relux、Radiance) 对光环境进行数字建模与分析。仿真可输出垂直照度分布、眩光指数 (UGR) 与日照时长等关键指标,为光环境设计提供定量依据。通过日光利用与仿真技术的集成应用,可使建筑整体照明能耗降低 15%~30%,并优化视觉舒适性与空间体验,成为绿色建筑照明设计的重要支撑手段。

3 照明节能技术在建筑电气设计中的融合路径

3.1 电气设计阶段的节能策略

在建筑电气设计阶段,照明节能策略应贯穿于方案设计、初步设计与施工图深化的全过程,依据建筑功能与使用特性进行分区负荷建模与节能控制逻辑构建。首先在方案设计阶段,应利用光环境分析技术对自然采光潜力进行评估,依据空间朝向、层高与使用频率制定照明需求曲线,确保最大限度的匹配光源布局与照度标准。初步设计阶段需对照明负荷进行精细化预测,结合建筑照明功率密度控制要求 (如办公建筑不高于 9 W/m^2 ,商业建筑不高于 11 W/m^2),选取适配的灯具

类型与配电方式,实现负载均衡配置与供电系统高效协同。在施工图设计阶段,通过构建模块化照明回路与智能终端控制结构,明确回路划分、控制分区及线缆路径,提高施工可操作性与系统可维护性。同时引入逻辑编程与数据总线设计方案,确保照明控制系统可兼容多协议并具备拓展性,为后期节能运行提供稳定的技术平台。通过全过程嵌入式节能策略实施,建筑照明系统可在设计阶段实现能耗水平的前置控制,配合智能管理系统,整体照明能耗削减率可达 30% 以上^[3]。

3.2 模块化与集成化设计

模块化照明设计通过标准化单元的组合作方式提高系统构建效率与运维灵活性,其核心在于将照明系统划分为多个功能单元,包括光源模块、控制模块、驱动模块及通信模块,各模块之间通过预设接口实现快速连接与互操作。在建筑电气设计中,模块化设计有助于实现回路分区精细化管理与故障快速定位,尤其适用于大型办公楼、商业综合体与多功能公共建筑。模块结构中普遍采用 DC-DC 恒流驱动技术,支持宽输入电压 (典型值为 100~240 V) 与恒定电流输出,提升灯具兼容性与稳定性。在空间布局上,通过 DIN 导轨或嵌入式模块安装方式实现布设标准化,避免传统系统中控制线路复杂、维护难度大的问题。系统设计还需满足 IEC 62386、EN 60669 等国际标准要求,以确保不同模块间协议统一与信号传输稳定。

集成化设计侧重于将照明系统与建筑内其他弱电系统 (如空调、新风、遮阳、安全等) 进行功能融合,实现多系统协同运行与能源共享管理。在控制架构上,常采用基于 IP 或 RS485 总线的多层级组网结构,实现楼宇自动化系统 (BAS)、照明管理系统 (LMS) 与能源管理平台 (EMS) 的互联集成。通过统一的控制平台,照明系统可根据环境参数与用户设定指令实现跨系统响应,如根据温度变化自动调节照度水平或联动遮阳系统优化自然光利用效率。控制逻辑通过集中控制器与本地智能节点协同执行,系统响应时间低于 200 ms,保障控制的实时性与精确性。数据层面通过 MODBUS、BACnet 等协议实现能耗数据的集中采集与分析,为节能策略的动态调整提供数据支撑,显著提升建筑电气系统的运行效率与智能化水平。

3.3 智能化运维体系建设

智能化运维体系建设是提升照明系统能效与运行可靠性的重要保障,其核心在于通过传感器网络、控制终端与数据平台构建覆盖全过程的监测与管理机制。系统依托实时数据采集与边缘计算能力,实现对照度水平、开关状态、功率因数、能耗数据等多维度参数

的动态感知与分析。在基础架构中,采用多节点分布式布置的智能网关可支持 ≥ 100 路照明回路同时接入,并具备边缘计算功能,实现本地化策略执行与数据冗余保护。平台层通过能耗可视化系统对照明运行状态进行图形化呈现,结合历史数据回溯与算法模型,实现负荷预测、异常预警与故障定位,系统响应时间控制在1 s以内。智能化运维体系还集成生命周期管理功能,可根据光源使用时长与亮度衰减曲线生成维护计划,优化人力资源配置与备品备件管理。此外,基于人工智能的自学习控制模块可通过分析人员活动模式与环境变量自动调整照明策略,进一步提升能效水平与空间适应性。经实测,成熟的智能化照明运维平台可将整体运维成本降低20%以上,并将系统节能潜力提升至35%左右,充分体现其在建筑电气系统中的关键价值^[4]。

4 典型应用案例分析

4.1 商业综合体照明节能设计实践

上海某大型商业综合体在照明系统设计中引入多项节能技术,实现了建筑电气系统的高效运行与绿色运营。该项目总建筑面积约18万 m^2 ,照明设计依据区域功能分区采用不同照明方案:公共走廊区域选用高光效LED线性灯,光效达145 lm/W;商铺区域采用轨道射灯与智能调光系统结合的方式,根据营业时段和客流密度进行动态调节。在控制系统配置方面,采用基于KNX协议的分布式智能照明控制系统,具备分区控制、时段管理与感应联动功能。系统内嵌环境传感器用于实时监测照度和人员活动,并联动BAS系统实现多系统融合响应。建筑照明功率密度控制在 $7.2 \text{ W}/\text{m}^2$,低于国家标准限值 $13 \text{ W}/\text{m}^2$,年综合节电量达约42万千瓦时,年碳排放减少约350吨。项目采用能耗监测平台对照明负荷进行实时分析,并设有能效诊断模块用于长期运行优化。

4.2 公共建筑智能照明系统改造工程

北京某市级政务服务中心于2021年实施照明系统智能化改造工程,目标为在不改变原有建筑结构的前提下降低照明能耗并提升管理效率。建筑总面积约5.6万 m^2 ,原系统以荧光灯为主,平均照明功率密度为 $11.5 \text{ W}/\text{m}^2$,照明年能耗超过65万千瓦时。改造过程中全面替换为高显色指数($R_a \geq 90$)、低蓝光危害的LED灯具,并引入基于DALI总线协议的智能控制系统。各照明区域依据功能属性设定独立控制策略:服务窗口区采用光照传感联动控制,会议区域采用场景控制与定时策略,辅助区域采用红外感应与日光调节结合机制。系统通过本地控制器与中心平台双向通讯,实现状态同步、

策略下发与数据采集功能,系统平均响应时间小于150 ms。改造后平均照明功率密度下降至 $6.3 \text{ W}/\text{m}^2$,节电率达到45.2%,年度电费节约了约35万元。智能控制系统平台还设有远程诊断与预警功能,支持异常运行自动告警与能耗异常趋势识别,为建筑长期节能管理提供技术支撑。

4.3 高校建筑照明设计中的节能创新

南京某高校新建理工科综合教学楼项目在照明设计中全面引入节能与智能化协同理念,建筑面积约3.2万 m^2 ,功能涵盖实验室、教室、报告厅及学生自习区等多类型空间。设计阶段通过DIALux软件模拟日照与照明覆盖,优化灯具布置方案,实现教学空间照度均匀度 ≥ 0.7 且无眩光干扰。项目采用定制化高光效LED面板灯(光效 $\geq 150 \text{ lm}/\text{W}$),结合无线ZigBee控制系统实现分区调光与场景记忆控制,照明控制模式依据课表动态编程设定。实验室区域引入人因照明调控逻辑,根据时段及任务需求调整色温(范围为3 000~6 500 K),增强作业效率与视觉舒适性。系统集成至校园能耗管理平台,与空调、新风系统协同控制,实现跨系统负荷调节与节能联动。实际运行数据显示,该建筑照明系统年综合能耗约下降32%,自适应控制策略使得高频使用区照明利用效率提高约28%^[5]。

5 结束语

照明节能技术在建筑电气设计中的应用不仅优化了能源使用结构,也提升了空间环境的功能品质与运行效率。从高效光源的选型到智能控制系统的集成,再到自然光的引入与精细化运维,各环节均体现出技术手段与设计策略的协同创新。通过合理融合节能理念与电气设计流程,建筑照明系统在保障使用需求的同时实现了显著的能耗降低与管理智能化。未来,随着人工智能与建筑信息技术的不断发展,照明节能将在智能建造与绿色建筑体系中发挥更加关键的作用。

参考文献:

- [1] 吴祖军.照明节能技术在建筑电气设计中的应用[J].住宅与房地产,2025(04):123-125.
- [2] 郑小林.基于智能化技术的建筑电气照明节能系统[J].中国照明电器,2025(01):165-168.
- [3] 唐玉莲.照明节能技术在建筑电气工程中的应用探究[J].建材发展导向,2024,22(17):130-132.
- [4] 贾文海.照明节能技术在建筑电气工程中的应用研究[J].中国照明电器,2024(06):22-24.
- [5] 王庆美.照明节能技术在建筑电气工程中的应用探析[J].中国高新科技,2023(17):119-121.