

建筑电气系统中智能照明控制技术研究

蔡金锋 高青 许良成 李家福

中建七局（安徽）建筑有限公司 安徽合肥 230000

DOI: 10.12238/ems.v7i10.15761

[摘要] 本文围绕建筑电气系统中的智能照明控制技术展开研究，系统分析了现代建筑对照明节能与智能化管理的需求，深入探讨了照度自动调节、日光感应补偿、物联网远程控制、人因照明及场景预设等关键技术原理与实现方法；提出了系统设计流程、核心参数配置及控制策略制定要点，并结合工程实施中的典型问题，提出具体解决措施，形成一套具有实用价值的智能照明系统设计与实施策略，为绿色建筑照明控制提供理论与技术支持。

[关键词] 建筑电气系统；智能照明；照度自动调节；物联网；人因照明；系统设计

1 建筑电气系统中的照明控制需求分析

建筑照明系统控制需求多方面又繁杂，包含能效管理、照明质量保障，还包含安全性与灵活性。在实际应用中，办公室建筑通常要求照明满足 500lx 工作面水平照度，公共区域如走廊要确保不低于 100lx，按使用时段自动调节。节能要求方面，建筑照明设计标准（GB/T 50034-2024）规定，借助智能控制系统实现照明节能率不能低于 30%。此外，建筑不同区域人员密度变化不小，控制系统需有实时感知的本事，实现人离灯灭、人到灯亮的智能反应，减少能源浪费。安全需求展现在应急照明与火灾报警联动控制方面，保证关键时刻照明持续供给，灵活性需求就要求控制系统支持多种场景预设以及用户个性化调整，提升使用体验。

2 智能照明控制体系概述

智能照明控制系统基于总线结构，构成集成化、模块化的控制架构，该系统靠系统电源供能，借主总线连各类控制与管理单元，实现照明器具的分区调光、开关操控以及智能感应等功用。系统上层含调光控制模块、开关控制模块，能分别实现灯具亮度调节与通断控制，适用不同空间需求。控制端含控制面板、时钟管理器、液晶触摸屏、智能传感器与遥控器等构成，支持定时管控、手动操控以及自动感应三种工作模式。核心通信与控制依靠编程接口、编程器以及网关模块，经协议解调器与后台上位机实现配置参数下载、运行状态监测以及数据记录，打印机能用来产生运行报告以及维护日志。各功能模块借 DALI 或 RS485 协议互联，确保系统拓展性和兼容性；传感器实时传环境照度、人体活动等信息，

经逻辑判定后驱使灯具做相应动作，构成高效闭环的智能控制体系。

3 智能照明控制的关键技术

3.1 照度自动调节与日光感应补偿技术

在具体实施中，要选用有 01000001x 宽测量范围、±3lx 精度的数字光照传感器，推荐型号如 BH1750 或者 TSL2561，且在建筑空间中设于窗边、天花板中线与重点照明区域处，实现空间平均照度检测以及边界照度监控。传感器布置间距通常控制在 68 米以内，确保无盲区覆盖，布设时避开直接光照干扰，提高测量精准度，传感器信号经光照数据采集模块汇总，传输至主控系统，经采样周期不超 1 秒的周期性处理，实现实时响应。

控制系统用闭环反馈逻辑，一般部署在嵌入式照明控制器内，读取环境光数据与设定照度值间的差异，发出调光控制信号，控制算法当中常运用模糊控制以及增量式 PID 控制，前者适用于外面光照变频繁的地区，后者更适配响应精度要求高的办公空间。调光信号能用 DALI（数字可寻址照明接口）协议来输出，精度能支持 254 级调光，驱动电压通常是 0~10V，照明设备需与控制协议兼容，用有恒流驱动及调光响应能力的 LED 灯具，驱动电流稳定性要控制在 ±5mA 以内，保证灯具光输出线性变，防止频闪。

实现日光感应补偿功能，要在控制策略中嵌入“自然光贡献计算模块”，该模块依照窗边光照传感器测到的自然光强度，估量其在目标照度内的贡献数值，且借配比系数动态调控人工照明输出，比如在靠窗地方设定照度是 400lx，如果

自然光贡献了 280lx, 则系统控制人工照明只需补偿 120lx 的照度差值就行。

3.2 基于物联网的远程控制与系统集成

物联网架构在智能照明系统中主要借助“感知-通信-平台-控制”四级结构实现, 核心涵盖数据采集终端、边缘网关、通信模块以及云端控制平台, 在系统部署初期, 要给每个照明区域配备可寻址终端控制器(如 ZigBee 模块 CC2530、NB-IoT 模组 BC26), 经 MAC 地址做编号绑定。各控制节点借由 Mesh 组网或者星型结构连入边缘网关, 数据上传频次通常设定为每 10 秒或者 30 秒, 按照系统响应需求来定, 通信频段依照环境能选用 2.4GHz (ZigBee)、Sub-G (NB-IoT) 或者双频 Wi-Fi, 要保证节点间通信误码率不超过 10^{-6} , 时延控制到 200ms 以内。

远程控制模块安放在 BMS 平台或者专用智能照明控制软件系统, 通常依据 ModbusTCP/IP 或者 BACnet 协议实现数据交换, 平台需有灯具状态监测、回路能耗记录、报警信息推送与批量策略管理的功能, 控制指令经 MQTT 或者 HTTP 协议传至网关, 且转成设备识别的 DALI 指令或者 PWM 调光信号, 实现远程开关灯、亮度定或色温调等操作。软件界面给出自定义的界面, 允许设置定时控制规则(如每天 08:00 自动打开办公区照明)、回路优先级以及联动策略, 每个子系统需支持起码 128 个控制地址, 符合大型楼宇分区管理需要。

系统集成要把照明控制平台与建筑能源管理系统(BEMS)、楼宇自动化系统(BAS)还有安防、消防系统做标准化接口对接, 具体能用 OPCUA 协议来搞跨平台数据交换, 或布置统一的中间件(如 NiagaraFramework)实现协议转换和数据映射。联动控制中, 要设置触发条件与响应动作, 如火灾报警时照明系统自动开启应急通道灯光, 系统进到手动优先控制模式中; 在夜间安防系统布防情形中, 把走廊照明亮度自动降到安全数值, 系统部署完成后, 需对通信链路做压力测试, 模拟 100 路同时一块并发时数据稳定性状况, 保证实际运转中控制回应精准、数据无丢失。

3.3 人因照明与智能场景预设

人因照明控制设计关键是光色调节控制逻辑以及其和时间、生理节律、使用场景的映射关系, 实施进程中要运用能

支持色温调节的 LED 灯具, 常用双通道或者三通道调光 LED 模组, 控制信号输入方式是 PWM 或者 DALI/DMT8 协议。实现从 2700K~6500K 的连续色温调节, 灯具要有双色温芯片组合(如暖白与冷白), 调光电路能支持 20kHz 之上的 PWM 频率来防止频闪产生影响, 照度与色温调节需依照时间段去自动设定。比如工作日早上 8 点设定 5000K 冷光来增强清醒感, 下午 5:30 慢慢切换成 3500K 柔光, 模仿自然光变化进程。

控制策略设计引入生物节律模型, 依照使用者活动时间表与生理反应参数做照明参数匹配。例如, 在教育建筑或者写字楼中, 依照 CIES026/E:2018 标准中定义的昼夜节律因子, 搭建 CS 大于 0.3 的光照环境来促使白天清醒程度提升。系统控制器中有照明节律曲线模板, 且准许人工设定与实时优化, 借助人体感应器与使用习惯学习算法, 系统能判断区域使用情形, 匹配相应照明曲线或者场景模板。

场景预设功能在控制平台以配置文件形式存在着, 每场景定义含照度值、色温值、调光比例、开启回路以及持续时间等参数, 具体配置如会议模式设置。主灯照度 450lx、色温 4000K、打开中央照明和讲台灯带; 演示模式调成侧灯开、亮度降到 300lx、色温提到 5500K 来强化投影效果。平台支持多场景自动轮换以及触发条件设定, 若日历中安排了会议就自动切换对应照明模式, 预设情景存在本地控制器内, 断网情形下也能运转, 确保系统独立性与稳定性, 系统调试阶段要借光照计对每个场景实际照明参数做实地验证与校准, 保证所设参数实际符合用户感觉。

4 智能照明控制系统设计与实施策略

4.1 系统设计流程与主要参数配置

智能照明系统设计先从建筑功能与使用需求着手, 进行用能分析以及照明需求评估, 按照《建筑照明设计标准》(GB/T50034-2024), 明确各区域照度目标(如办公室是 500lx、走廊是 100lx)以及色温、显色指数等视觉质量参数。项目开始阶段搞现场调研, 着重辨认自然采光状况、建筑朝向、楼层空间区分和用户行为习性等要素, 当成传感器布置与照明分区的依据, 方案规划需细化到每个功能区, 制订单独的控制策略与分组逻辑, 防止“一刀切”控制办法致使资源浪费。

在设备配置方面,光照传感器建议安装间距是6~8米,保证采集数据均匀与代表性;人体红外传感器要覆盖整个活动区域,避免感应盲区,提议每30平米安排一套,控制器要选能支持DALI、0-10V或者KNX协议的模块化控制主机,有RS485、以太网口等多种接口,利于与别的系统集成。照明驱动电流设定范围处于350mA~700mA内,要求把控精度实现±5mA,保证调光线性回应,智能照明灯具选型要留意其调光曲线、启动时间(≤1秒)以及最低工作电压(典型值12V),保证和控制系统相兼容。

系统设计还需符合BMS集成要求,采用BACnet、ModbusTCP/IP等标准通信协定,利于与能耗监测、安全报警、通风空调等子系统做数据共享以及联动控制,增强系统稳定和容错,要设置冗余备份机制,如主控单元双机热备、关键节点UPS供电保障,系统掉电恢复用时不超10秒。同时,设计时期明确系统运行负载能力以及扩展容量,如控制器最多接入节点数量不少于128个,系统整体能支持灯具数量不少于500个,契合中大型建筑运用规模,给后面系统运行与扩展留出足够空间。

4.2 工程实施中的问题与解决措施

在智能照明系统工程实施进程中,设备挑选、信号传送及系统调试阶段易现干扰与故障情况,要制定针对性解决策略。首先,传感器误差属较常见问题,起因于环境光干扰、安装角度偏差或器件自身精度不稳定。建议选有环境适应作用的数字光照传感器,量程设定成0至100,000lx,测量精准度好于±3lx,施工安装要保证传感器轴线和工作面垂直,躲开装在空调出风口、窗帘挡着等特别区域去安,现场调试时,用照度计逐点去校核,对偏差超规定范围(如±5lx)的设备做重新标定或者更换。

其次,通信中断问题主要因布线杂散干扰、节点数超载或者无线信号衰减所致,建议采纳ZigBee与Wi-Fi双冗余架构,当中ZigBee网络最多能支持256节点的自愈型星状拓扑,主节点与中继间距离不超15米;Wi-Fi接入点带宽建议不少于150Mbps,保证高并发指令执行能力。针对关键区域或者弱信号地带,添加通信中继器或者布置5dBi增益天线,以提升信号覆盖,全部通信模块要支持AES-128加密与网络断线

自己恢复功能,保证控制链路长久平稳运转,为避免布线干扰,强电与控制线需分开槽来布设,控制信号线屏蔽层要接地,走线长度控制在100米以内。

系统兼容性问题常在多品牌设备协同运行阶段出现,特别是和原有建筑控制系统对接期间。为解决该问题,实施前要建设设备兼容性清单,选用支持开放协议(如DALI-2、KNX、ModbusRTU)的产品,躲开用封闭性厂商私有协议的做法。中间件网关能当作多协议设备间的中转桥梁,设置转换逻辑再确定数据映射表,实现信息同步与指令下发的统一,调试阶段要做跨系统联调验证,保证控制逻辑没有冲突,借着预先规划标准接口、运用协议转换设备以及构建统一数据平台,能大幅提高系统集成效率以及后期运行可维护性。

结语

本文围绕建筑电气系统智能照明控制技术做了系统研究,包含需求分析、技术体系、关键技术以及设计实施策略,实践证明,智能照明借助照度自动调节、物联网远程控制以及人因照明等技术办法,明显提高了建筑照明能效与用户体验。虽然实施时有传感器误差、通信稳定性以及系统兼容性等挑战,不过借助技术选型、设计优化以及工程管理能够有效战胜。

[参考文献]

- [1]张智能.民用建筑电气中智能照明控制系统应用解析[J].智能建筑与智慧城市,2022,(03):152-154.
- [2]安立雨.智能照明控制系统在公共建筑中的应用[J].安装,2024,(04):44-47.
- [3]徐培杰,常乐.智能照明控制系统在建筑工程中的应用研究[J].灯与照明,2025,49(02):45-47.
- [4]刘景德.建筑电气照明系统的节能优化与智能控制技术研究[J].中国照明电器,2025,(05):148-149+165.
- [5]邓兰.建筑电气工程中智能照明系统的应用研究[J].房地产世界,2024,(20):125-127.

第一作者简介:蔡金锋,男,生于1980年9月20,汉族,湖北省麻城市,大专学历,职称,工程师,研究方向,建设水电安装。