

建筑电气照明系统节能设计策略分析

杜 路

四川宏基原创建筑设计有限公司 四川 成都 610000

【摘 要】：绿色低碳发展理念全面铺开，建筑电气照明能耗管控成为建筑节能领域绕不开的关键环节，当前照明系统问题集中在负荷占比不合理、设备选型未达标、管控模式粗放这几方面，本文结合建筑空间工况与采光条件，从负荷规划、设备选型、智能管控三个方向推行优化，科学调配照明负荷、选用节能灯具及配套组件、搭建精细化智能管控体系，可有效降低配电与终端能耗，实现照明能耗动态管控，整套思路有助于推动照明系统提质降耗，助力建筑行业绿色转型。

【关键词】：建筑电气照明；节能设计；负荷配比；智能管控；节能设备

DOI:10.12417/2811-0536.26.09.018

引言

双碳目标下建筑能耗管控已上升为行业硬性指标，相关规范针对公共建筑照明用电限定单位面积功率密度值，照明用电区别于空调、给排水系统，具有全天候分散用电特征，传统设计仅以照度达标为目标，缺少负荷均衡、自然光联动及智能调控的一体化设计思维，本文从配电负荷精细化计算、高效照明器材选型与物联网智能控制系统搭建三个维度构建完整节能方案，结合公建项目实例验证方案落地成效，为新建建筑照明施工图设计及既有建筑节能改造提供完整可落地的技术体系。

1 建筑电气照明节能设计发展基础阐述

在国内绿色低碳发展持续推进的背景下，建筑领域逐步转变传统照明建设思路，电气照明系统节能设计已成为工程建设环节中的核心内容，当下照明控制技术不断迭代，感应、调光、智能三类主流模式广泛运用于不同功能属性的建筑空间，可依据使用场景灵活调节灯光运行状态^[1]。灯具品类持续丰富，各类高光效光源逐步替代传统高能耗灯具，太阳能等清洁能源也开始融入照明体系，行业在设计中坚守安全、实用、经济与环保并行的准则，在保障 220V 标准供电稳定、满足室内基础照明需求的前提下，依托技术升级与方案优化减少电能消耗，推动建筑电气照明朝着低能耗、高效率、智能化的方向稳步前行。

2 建筑电气照明系统节能设计现存短板剖析

(1) 照明负荷配比规划缺乏合理性：现阶段多数照明前期设计未采用分区负荷测算模型，直接按统一单位面积功率指标全域配置，未区分办公区、走廊、地下车库、会议室等空间在使用时长与采光条件上的差异，人流密集区域照度不达标，后台储物间、设备走廊等长期闲置区域灯具总功率过剩，传统荧光灯与

金卤灯均为感性负载，未配套无功补偿时系统功率因数低于 0.7，线路无功损耗大幅上升，设计阶段未加装稳压装置，市政电网电压波动±5%时光源光效同步下降，只能依靠增加灯具数量弥补照度，形成恶性循环，不合理的配电布局不仅抬高日常电费支出，还增大配电箱及线缆规格，提升前期土建机电造价。(2) 照明设备选型适配度达不到节能标准：现阶段不少建筑照明设备选型未能结合空间特征与节能要求统筹考量，达标难度较大，很多项目仍大量沿用传统气体放电类灯具，这类产品发光效率低、能耗指标偏高，难以适配当下绿色建筑的发展要求，不同层高、不同使用场景对灯具性能要求存在明显差异，实际选型中常出现灯具类型与空间工况不匹配的情况，高空间选用普通灯具、低矮空间盲目使用大功率光源的问题屡见不鲜，配套附属配件若未同步选用节能款型，也会削弱灯具本身的节能效果，设备选型只注重基础照明功能，忽略光效、能耗、使用寿命这些核心指标，使得照明系统从硬件层面就存在节能短板，长期运行下电力消耗居高不下。(3) 照明管控体系设计精细化程度不足：当前多数建筑的照明管控体系设计较为粗放，精细化管控能力存在明显短板，传统管控模式多采用统一开关控制，缺少分区、定时、感应等灵活调控手段，无法根据人员活动、自然光强弱去动态调整灯具启停与亮度，部分场所虽配备基础控制装置，但各类控制系统相互独立，未能形成集成化智能管理模式，整体统筹调度难以实现^[2]。管控逻辑设置简单，没有按照使用时段、区域功能去划分运行模式，灯具长时间空载运行的情况十分常见，管控体系还缺乏对线路损耗、设备运行时长的实时监测与干预手段，无法及时发现并解决能耗异常问题，这种粗放的管理方式让节能设计难以落地，大幅拉低了照明系统整体的能源利用效率。

3 建筑电气照明系统节能优化设计实施路径

3.1 优化照明负荷配比完善前期规划设计

(1) 分区核定建筑照明负荷数值: 开展建筑电气照明节能设计, 首要环节依托标准化计算模型开展分区负荷核定, 摒弃全域统一功率的粗略估算方式, 设计人员参照《建筑照明设计标准》所列空间照度限值、室内饰面反射系数及人员驻留时长差异, 对走廊、办公室、会议室等区域逐点验算照度, 按人流活跃程度划分三级负荷标准, 针对传统灯具感性负载偏高的问题, 在各分区配电箱增设分路无功补偿, 均衡回路负荷, 使系统功率因数提升至 0.95 以上, 削减线缆无功发热损耗, 严格控制单区域负荷上限, 避免大功率灯具集中敷设引发压降超标, 同时缩减闲置区域冗余配电容量, 精细化核算使配电容量匹配采光与使用需求, 系统持续运行于经济区间, 从规划层面减少线路传输损耗, 筑牢照明节能根基。(2) 结合采光条件调配配电容量: 天然采光作为降低照明能耗的低成本手段, 配电容量规划需结合采光模拟结果统筹考量, 前期借助仿真软件测算四季典型日南向办公区、内廊、地下室及中庭等区域逐时自然光强, 按采光条件优劣差异化配置配电规模, 采光充足区域适当降低配电功率并预留调光回路与光照传感器接口, 依靠自然光替代人工照明以减少满负荷工作时间, 无窗及弱采光区域选用小功率高光效灯具分散布设, 从源头控制整体负荷规模^[3]。方案同步配套配电稳压设计, 利用分区均衡配电削弱电网电压波动影响, 避免额外耗电并延缓灯具光衰进程, 自然光与人工照明协同配合, 在保证室内光环境舒适度及照度标准前提下减少无效用电, 提高天然光与电能综合利用率。

3.2 择优选用节能照明设备匹配建筑工况

(1) 普及高效节能光源灯具: 光源作为决定照明系统能耗上限的核心载体, 分场景差异化选用新型节能光源已成为机电节能设计的重要环节, 设计与施工阶段应全面淘汰老式气体放电灯具, 此类光源光效偏低且常年运行耗电量巨大, 难以满足绿色建筑能耗管控要求, 低层办公室及小型功能室可选用柔光型 LED 面板灯, 依托室内自然光协同补足基础照度, 中庭、多层大堂等高层开阔空间配置高光效线性 LED 光源, 搭配高反射反光罩提升光能利用率^[4]。针对吊顶过高、检修不便的区域选用一体化长寿命工业照明灯具, 减少频繁拆装更换带来的维护负担, 新型 LED 光源电气特性优良且自带较高基础功率因数, 能够削减线路无功损耗并缓冲电网电压波动引发的频闪与光衰问题, 通过分空间精准选型优化硬件配置, 在满足规

范照度指标基础上长期压低照明基础用电负荷。(2) 配套适配节能附属配件: 照明系统的节能效果不仅取决于主光源, 各类附属配件的选型与搭配同样发挥着重要作用, 必须做到与主灯具精准适配, 在选用节能光源的基础上同步匹配性能达标的驱动、镇流器、线路组件等配套产品, 杜绝因配件性能不达标而抵消光源本身的节能优势, 劣质配件会加剧系统感性负荷、拉低整体功率因数, 增大电力传输过程中的损耗, 还会放大电压波动带来的负面影响从而加速灯具老化, 按照节能设计标准统一配置适配配件, 能够稳定照明设备运行工况, 保障供电电压始终处于合理区间, 减少电能传输与转换环节的流失, 优质配套配件同时可以延长整套照明设备的使用寿命, 降低后期运维成本, 软硬件协同优化才能构建完整的节能照明体系, 充分释放节能光源的应用价值。

3.3 升级照明管控模式提升系统精细管控能力

(1) 搭建智能感应照明控制系统: 依托现代传感技术搭建一体化智能感应照明控制系统, 能够实现照明设备的自动化启停与调控、大幅减少无效用电, 系统搭载红外、超声波等传感装置实时监测区域内人员活动状态, 根据现场人员进出情况自动完成灯具的开启与关闭, 彻底解决无人时段灯具常亮造成的能源浪费, 同时搭配光线感应模块持续采集环境自然光亮度, 结合室内照度标准动态调节灯具工作状态, 自然光充足时自动降低照明负荷、光线不足时再按需启动照明设备, 该系统可与整体照明电路深度融合以稳定设备运行工况, 弱化电压波动带来的损耗问题、改善系统整体运行效率, 感应控制适配走廊、卫生间等人员流动不固定的区域, 依靠自动化运行替代传统人工操作, 在保障正常照明需求的前提下持续压缩不必要的电力消耗, 提升系统整体节能水平。(2) 分级设置照明运行管控模式: 依托建筑分区特征与全时段使用特点搭建分级照明管控体系, 是精细化能耗管理的关键举措, 结合空间功能及节假日人流变化规律划分运行层级, 设置日间高峰、午间低谷与夜间待机三类工况并匹配相应开灯数量与亮度, 会议室、报告厅配备 0-100% 无级调光回路以适应各类场景照度需求, 避免灯具长期满负荷耗电, 系统内置多套定时程序区分工作日、周末及节假日自动切换模式, 采用中控集中管控与现场就地操作并行的双重架构, 兼顾整体调度与局部灵活调节, 分级管控弥补了传统统一开关控制的不足, 使照明输出贴合实时使用需求, 设备损耗随之降低, 全时段节能体系贯穿运行始终。如图 1。

华南某 12 层政务办公楼改造可佐证方案效果, 建

筑总面积 13180m²,改造前使用 T8 荧光灯与简单开关,年照明电费 28.3 万元,项目同步实施负荷分区核算、LED 灯具更换、智能分级管控三项优化措施,实测功率因数由 0.67 升至 0.96,照明功率密度降至 5.0W/m²,年节电 14.1 万 kWh,电费降至 11.1 万元,两年即可收回改造成本,充分验证整套节能方案的实践价值。

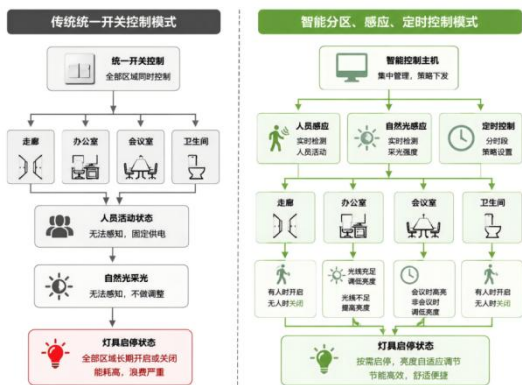


图1 传统照明控制模式与智能照明控制模式对比示意图

4 建筑电气照明节能设计落地应用效益梳理

(1) 合规配比负荷有效降低配电能耗损耗: 基于空间差异开展分区负荷配比, 可从配电架构源头削减线路多重损耗, 综合区域功能、人员使用频率与全年采光条件重新分配负荷, 解决传统统一配电的供需失衡问题, 使各区配电容量匹配实际照明需求, 均衡布局搭配分路无功补偿装置以优化回路负载结构, 提升功率因数并减少无功电流损耗^[5]。该设计有助于稳定供电工况, 弱化电压波动对线缆及灯具的损害, 避免因照度不足额外增加灯具而抬高能耗, 配电系统长期运行于经济区间, 线缆发热等隐性损耗减少, 配电箱、电缆负载降低, 后期运维更换成本相应缩减, 在满足建筑照明规范基础上持续压减线路传输能耗, 实现照明配电环节的基础节能目标。(2) 适配选用节能设备长效减少灯具耗能: 成套照明器材组合可拉长系统全周期节能收益, 辅件匹配度直接决定光源节能优势能

否充分发挥, 照明电源、稳压模块、专用线缆等辅件须与光源额定参数相匹配, 规格不匹配的劣质辅件会提升回路无功占比, 加剧线路电能损耗, 同时加速光源光老化进程, 抬高长期用电与维保支出, 成套节能照明设备电压耐受区间更广且运行工况稳定, 长期连续使用条件下能耗曲线平缓, 设备平均使用寿命显著优于传统灯具, 完成全套硬件升级改造后, 建筑照明终端基础用电负荷得到本质性管控, 项目运营阶段可同步实现月度电费压降与设备更换频次降低, 兼顾长期运营经济效益与建筑绿色降耗双重目标。(3) 精细化管控运行实现照明能耗动态管控: 构建精细化的照明运行管控体系, 可根据现场环境与使用状态完成能耗动态调节、让能源利用更加灵活高效, 依托智能感应、分时控制、分级调光等多种管控手段打破传统固定运行模式的局限, 系统能够实时感知人员活动与自然光强弱等外界条件, 自动调整灯具启停状态及光照强度, 不同功能区域按使用时段划分运行模式, 高峰时段保障照明标准、低谷时段降低运行负荷, 闲置区域及时切断供电以杜绝灯具空转耗电, 精细化管控将人工管理转化为智能化自主调节, 实现照明能耗随实际需求动态变化、避免固定运行模式下的能源浪费, 管控系统同时可实时维持电路运行稳定, 减少运行过程中的隐性损耗, 让整个照明系统始终保持最优能耗水平, 完成全时段全方位的动态节能管理。

5 结语

照明节能是建筑全生命周期降碳的关键分项, 负荷测算粗放、灯具选型落后、控制逻辑单一三类问题构成照明用电浪费的核心诱因, 通过分区负荷精细化规划、高效照明成套设备选型与物联网智能分级调控的组合设计, 可同步削减配电传输损耗及终端光源耗电, 实现照明能耗随场景、时段及自然光条件动态调节, 整套设计方案兼顾前期设计落地可行性与后期长期运维节能收益, 能够在保障室内照明舒适度与照度标准前提下持续压减建筑用电总量, 为绿色建筑、低碳公建的机电照明专项设计提供完整技术思路。

参考文献:

- [1] 赵小素.建筑电气照明系统智能化调光与节能设计[J].电工技术,2025,(11):202-205.
- [2] 袁力,盛开,王永光,等.建筑电气照明系统节能优化设计[J].光源与照明,2024,(9):207-209.
- [3] 邓永茂.基于照明节能技术的民用建筑电气设计[J].工程建设与设计,2024,(18):28-30.
- [4] 曹文娟,刘吉兆.建筑电气照明系统智能化及节能化研究[J].光源与照明,2024,(5):50-52.
- [5] 刘凤勇,徐国伟,肖凯强.建筑电气照明系统节能优化设计技术要点分析[J].光源与照明,2024,(2):207-209.