

绿色建筑与智慧照明系统协同节能 效能评估及优化路径研究

王双凤 山东英才学院

摘要：双碳战略与智慧城市建设推进过程中，建筑运营能耗偏高、机电系统独立运行的问题，严重阻碍建筑低碳转型发展。智慧照明作为绿色建筑的核心智能耗能子系统，与建筑本体、环境系统协同适配不足，极易造成照明能耗冗余，导致建筑节能效益流失。针对绿色建筑与智慧照明存在的设计脱节、数据壁垒、调控粗放、节能效能难以量化等行业共性问题，本文基于系统耦合与精细化管理理论，剖析两大系统协同运行机理，梳理工程应用短板，构建多维度协同节能效能量化评估体系，从一体化设计、数据赋能、算法优化、运维管控、制度保障层面建立成套协同优化策略。研究表明，建筑与智慧照明深度协同运行，可有效降低照明无效能耗、提升建筑用能效率、减少运营碳排放，可为绿色建筑智能化改造、智慧照明精细化调控、建筑低碳运维体系建设提供理论支撑与工程实践参考。

关键词：绿色建筑；智慧照明；协同节能；效能评估；优化策略

1. 引言

在我国双碳目标稳步推进与新型智慧城市高质量建设的行业背景下，建筑产业作为国民经济支柱产业，同时也是全社会能源消耗与碳排放的重点领域，其精细化、智能化、低碳化节能管控已成为行业研究热点与工程转型核心方向。据住建部权威统计，我国建筑全生命周期碳排放占全社会碳排放总量比重超 40%，其中建筑运营阶段能耗占比最高，是建筑领域降碳减排的核心攻坚环节。随着绿色建筑评价标准持续升级、绿色建筑规模化落地，以及物联网、人工智能、大数据、边缘计算等智能技术的迭代普及，传统固定式、人工管控式照明系统逐步向全自动、可感知、可调控的智慧照明系统转型升级，成为建筑运营阶段节能降耗、优化室内光环境、提升建筑智能化水平的核心抓手。

现阶段国内多数绿色建筑在实际运营过程中，普遍存在机电电子系统碎片化、独立化运行的问题，建筑主体规划、设备运维管理与智慧照明系统相互割裂，未形成稳定的联动耦合与协同适配机制，直接导致智能照明设备的技术节能优势无法充分释放。多数已投用的智慧照明系统仅实现基础智能化功能，未能结合建筑空间特征、自然采光规律、人员活动特性开展精细化适配调控，普遍存在过度照明、无人耗能、时段性冗余耗电、设备运行利用率偏低等不合理用能现象。从现有学术研究与工程实践来看，国内外学界当前研究多集中于单一绿色建筑围护结构节能改造、照明硬件设备升级、单一照明控制算法迭代优化，针对绿色建筑与智慧照明两大系统的协同耦合内在机理、多维度量评估体系、成套系统化优化方案的整体性研究较为匮乏，难以适配当下建筑低碳精细化运维、智慧化提质升级的行业发展需求。基于上述行业现状与研究缺口，本文开展绿色建

筑与智慧照明系统协同节能优化专项研究，旨在系统性破解多系统割裂运行的行业难题，深度挖掘建筑照明领域隐藏节能潜力，为建筑行业绿色低碳、智慧化高质量发展提供理论与实践双重支撑。

2. 系统协同机理与理论基础

2.1 核心概念

绿色建筑：指建筑全生命周期内实现资源节约、环境友好、低耗低碳的建筑形态，核心优势集中于运营阶段的能耗精细化管理，是建筑节能降碳的主要载体。

智慧照明系统：依托传感器、物联网、大数据与智能控制技术，可根据环境光照、人员状态、场景需求动态调节运行参数的照明系统，具备智能感知、按需供能、能耗统计、远程运维等功能。

协同节能：区别于单一设备节能，通过打通建筑各子系统数据与运行壁垒，实现绿色建筑与智慧照明的联动适配、统筹调控，达成建筑整体能耗最优的节能模式。

2.2 核心理论支撑

本文核心依托三类基础理论：一是系统耦合理论，绿色建筑与智慧照明属于建筑能源系统的互补子系统，通过信息交互、运行联动可产生“整体大于局部之和”的协同节能效应；二是精细化管理理论，依托智能监测数据细分用能场景、精准管控能耗漏洞，解决传统照明粗放式供能弊端；三是建筑全生命周期理论，将协同管控贯穿建筑设计、运营、运维全过程，从源头保障长效节能效果。

2.3 系统协同运行机理

绿色建筑与智慧照明系统呈现双向赋能、互补适配、动态耦合的协同运行特征，二者相辅相成、相互制约，共同决定建筑照明能耗水平与整体节能效益。其中，绿色建筑作为基础载体，其固定的空间结构、开窗朝向与开窗面积、建筑层高、外立面设计与室内自然采光条件，直接决定了建筑室内自然光的分布规律、光照时长与光照均匀度，同时界定了智慧照明系统的整体布局方案、灯具点位布设、设备功率选型与基础运行场景，是智慧照明系统设计、安装与运行的基础前提。而智慧照明系统作为建筑智能化节能的核心终端，通过智能化动态调控策略，能够有效弥补自然采光时空分布不均、阴雨天气光照不足、夜间完全无光等场景短板，在保障室内光环境舒适度、满足建筑使用功能的前提下，精准调节人工照明输出功率，大幅降低人工照明能耗与设备运维损耗。二者的协同运行本质是三维深度耦合体系，即环境数据协同、设备运行协同、能耗管控协同。通过多维度深度耦合适配，能够实现自然光与人工照明的高效互补、设备运行状态与建

筑场景需求的精准动态匹配、局部照明能耗与建筑整体能耗的统筹管控，彻底改变传统单一照明系统粗放式运行模式，最终实现建筑整体节能效益最大化。

3. 协同运行现状及关键问题分析

3.1 行业发展现状

当前，我国新建绿色建筑已基本实现智慧照明系统全覆盖，既有存量建筑的智能化节能改造工作持续推进，智慧照明的节能价值与应用优势已得到行业广泛认可。部分智慧城市试点项目已初步实现照明系统与环境监测设备的浅层联动调控，有效改善了传统照明能耗过高的问题。同时，国家及地方相继出台相关政策规范，明确要求建筑智能化系统与建筑主体工程一体化设计、同步施工、同步投用，为多系统协同发展提供了政策支撑。但从行业整体发展来看，绿色建筑与智慧照明的协同运行仍处于初级阶段，多数项目仅实现智能设备的简单堆砌，多系统深度联动不足、精细化调控缺失，建筑深层节能潜力未得到充分释放。

3.2 现存关键问题

（1）设计体系割裂，前期协同规划缺失。行业普遍沿用“先建筑、后照明”的分段设计模式，建筑结构与智能照明设计工作相互独立、沟通不足。建筑设计阶段未统筹考量自然采光与人工照明的适配关系，照明系统设计忽略建筑空间特征与使用场景需求，导致照明设备布局不合理、调控参数适配性差，从设计源头形成节能短板。

（2）数据壁垒突出，信息孤岛现象显著。建筑环境监测、暖通空调、能耗统计、智慧照明等各子系统设备品牌、数据接口、管控平台标准不统一，系统间无法实现数据实时互通与共享。照明系统无法获取室内光照、人员密度、环境温度等实时运行数据，难以实现动态适配调控，多系统协同调控缺乏核心数据支撑。

（3）智能调控模式粗放，精细化节能水平不足。现阶段多数智慧照明系统仅具备定时开关、基础人体感应等简易调控功能，缺乏多系统联动智能算法支撑，无法适配季节更替、气候变化、人员流动的动态变化规律，普遍存在无人亮灯、过度照明、时段性能耗冗余等问题，智能化节能技术优势难以充分发挥。

（4）运维体系不完善，协同管控能力薄弱。建筑各子系统采用独立运维管理模式，岗位职责划分分散，未建立一体化协同运维管理制度。运维人员专业能力单一，缺乏多系统协同管控与节能优化意识，未形成常态化能耗监测、效能评估与参数优化机制，导致系统长期处于低效运行状态。

（5）量化评估体系缺失，节能效能难以精准衡量。现有建筑节能评价体系多聚焦于照明单一能耗指标，未涵盖系统协同适配度、多系统联动效率、低碳减排效益等核心

维度，无法精准识别多系统协同运行短板、量化真实节能价值，制约了系统迭代优化与节能改造工作的精准推进。

4. 协同节能效能评估体系构建

4.1 构建原则

本文构建的评估体系遵循四项核心原则。科学性原则，严格依托行业标准与建筑实际运行规律筛选指标、制定评价标准；系统性原则，全面覆盖能耗效益、系统协同、技术运行、运维管理、低碳效益五大维度；可量化原则，所有指标均设置明确量化计算方法，实现数据化对比与精准评价；导向性原则，紧扣双碳发展目标与协同节能核心，为系统优化改进提供明确方向。

4.2 指标体系构建

本文构建“目标层——准则层——指标层”三级量化评估体系，以绿色建筑与智慧照明系统协同节能综合效能为核心目标层，设置一级准则指标、二级量化指标，全面覆盖协同节能运行全维度评价内容。

（1）能耗效益指标：包含建筑照明单位面积能耗、照明能耗占建筑总能耗比重、协同节能降幅三项指标，直观量化多系统协同运行的核心节能成效。

（2）协同适配指标：包含系统数据互通覆盖率、多系统联动响应效率、建筑自然采光利用率三项指标，科学衡量绿色建筑与智慧照明的联动适配能力。

（3）技术运行指标：包含智能调控精准度、设备运行稳定率、能耗监测数据准确率三项指标，客观反映智慧照明系统的智能化运行质量与技术稳定性。

（4）运维管理指标：包含协同运维制度完善度、设备故障响应时长、运维人员专业适配度三项指标，综合体现系统长效节能管控能力。

（5）低碳效益指标：包含照明系统年碳减排量、建筑单位面积碳排放强度、节能改造成本产出比三项指标，贴合双碳低碳发展要求，量化系统低碳运行价值。

4.3 权重确定与评价等级

本文采用层次分析法（AHP）完成各指标权重赋值，数据分析结果显示，能耗效益、协同适配、低碳效益三项指标权重占比最高，是影响系统协同节能效果的核心因素。结合综合评分结果，将系统协同节能效能划分为优秀、良好、合格、不合格四个等级，可精准判定建筑项目多系统协同运行水平，精准定位运行短板与优化重点。

5. 系统协同节能优化策略

（1）推行一体化协同设计，源头规避协同缺陷

打破传统分段设计模式，建立建筑与照明一体化协同设计机制。在方案设计阶段组建多专业联合设计团队，统筹建筑空间布局、开窗采光、通风工况与照明系统布局，优化灯具点位、设备选型与基础调控参数。统一各子系统数据接口标准，最大化利用自然光资源，从设计源头解决系统适配性差、能耗冗余等问题。

（2）搭建全域数据平台，破除系统信息壁垒

基于物联网、云计算技术搭建建筑全域智慧能耗管控平台，整合智慧照明、环境监测、暖通空调、能耗统计等子系统数据，实现数据统一采集、实时共享、联动分析。依托平台实时获取室内光照、人员密度、环境温度等数据，动态生成最优照明调控方案，实现数据驱动的精细化协同节能。

（3）优化智能调控算法，提升精细化节能水平

引入机器学习与自适应优化算法，升级传统固定调控模式，构建动态智能调控模型。结合季节气候变化、人员活动规律、自然光强弱变化，实现预判式、自适应调光，杜绝无人亮灯、过度照明等问题。新增能耗预测、故障智能预警、节能效果分析功能，针对办公、商业、住宅等不同场景定制专属调控策略，兼顾照明舒适度与节能效益。

（4）构建一体化运维体系，强化长效节能管控

建立多系统协同运维管理制度，统一运维标准与岗位职责，打破独立运维格局。开展复合型运维人才专项培训，提升人员智能设备管控、数据分析与协同优化能力。将协同节能成效、碳减排效益纳入运维考核，定期开展效能评估与参数迭代优化，保障系统长期高效节能运行。

（5）完善行业标准体系，强化政策制度保障

完善绿色建筑与智慧照明协同设计、施工运维、效能评估的行业规范，填补行业标准空白。政府层面加大低碳节能改造扶持力度，通过资金补贴、政策优惠激励企业开展系统协同优化改造。将协同节能效能纳入绿色建筑评级与智慧城市考核体系，倒逼行业标准化、低碳化、协同化发展。

6. 结论

本文通过剖析绿色建筑与智慧照明系统的协同耦合机理，明确了当前行业普遍存在的设计体系割裂、数据壁垒突出、智能调控粗放、协同运维薄弱、量化评估缺失五大核心问题。基于多维度评价原则，构建了涵盖能耗、协同、技术、运维、低碳的五级协同节能效能评估体系，并针对性提出一体化协同设计、数据平台搭建、智能算法升级、长

效运维管控、政策标准保障的成套优化策略。研究证实，推动绿色建筑与智慧照明系统深度协同运行，可有效破除系统运行壁垒，消除照明能耗冗余，显著提升建筑能源利用效率与低碳减排效益，可为绿色建筑智能化改造、建筑低碳运维体系建设提供重要的理论与工程实践参考。

- [1]吴迪. 双碳目标下智慧建筑照明能效评估与优化策略[J]. 照明工程学报, 2024, 35(01):102-107.
- [2]李娟, 王浩. 双碳目标下绿色建筑能耗协同控制策略研究[J]. 建筑科学, 2023, 39(02):156-162.
- [3]张明, 刘阳. 智慧照明系统与绿色建筑能耗耦合优化技术[J]. 照明工程学报, 2022, 33(04):89-95.
- [4]陈亮. 智慧城市建筑多系统协同节能效能评估体系构建[J]. 城市建筑, 2023, 20(18):78-81.
- [5]吕梦娜. 智能照明系统用户能耗行为优化与节能策略研究[J]. 中国照明电器, 2024(02):69-71.
- [6]王宏, 李丹丹. 基于物联网的绿色建筑智能系统协同节能管控研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2022, 56(03):412-417.