

中小型工厂电气照明节能改造的实用技术

李冬生

中国电子系统工程第四建设有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]能源的浪费不仅增大了电力负荷，而且增加了企业的运营成本，对经济的建设和生态环境的保护都不利。为解决中小型老旧工厂照明系统普遍存在的高能耗、低能效难题，文中对照明系统的能耗特征及现存问题进行深入剖析，从高效光源替代技术、智能控制策略方面着手探索中小型工厂电气照明节能改造的实用技术，研究表明，将 LED 光源与智能感应控制进行组合应用可以降低能耗，以供参考。

[关键词]中小型工厂；电气照明；节能改造；LED 光源；智能控制

DOI: 10.33142/sca.v8i11.18693 中图分类号: TM727 文献标识码: A

Practical Technology for Energy-saving Renovation of Electrical Lighting in Small and Medium-sized Factories

LI Dongsheng

The Fourth Construction Co., Ltd. of China Electronics System Engineering, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: The waste of energy not only increases the power load, but also increases the operating costs of enterprises, which is detrimental to economic construction and ecological environment protection. In order to solve the common problems of high energy consumption and low energy efficiency in lighting systems of small and medium-sized old factories, this article deeply analyzes the energy consumption characteristics and existing problems of lighting systems. Practical technologies for energy-saving transformation of electrical lighting in small and medium-sized factories are explored from the aspects of high-efficiency light source replacement technology and intelligent control strategy. Research shows that combining LED light sources with intelligent sensing control can reduce energy consumption and provide reference.

Keywords: small and medium-sized factories; electrical lighting; energy-saving renovation; LED light source; intelligent control

引言

随着能源需求总量持续上升，能源短缺问题越来越突出，此时，解决问题的重点应放在加大照明技术研发投入上，依靠科技创新推动能效提升和资源节约，有效缓解电力供需矛盾，提高电力保障能力^[1]。根据国家电力主管部门的规范性要求，在推进照明节能技术应用的过程中，必须保证符合视觉工效学标准，维持正常作业所需的照明质量^[2]。工业生产总成本中，能源消耗占比大，电气照明作为工厂运行基础保障，能耗约占工业总能耗 15%~20%。中小型工厂照明系统因建设久、投资有限等，普遍存在光源能效低等问题。国家“双碳”战略下，其照明节能改造是降本增效重要途径。中小型工厂对节能改造技术实用性等要求更高，研究适配中小型工厂需求的照明节能改造实用技术对于降低工厂的能耗支出、提高工厂的总体经济效益意义重大。

1 中小型工厂电气照明系统能耗特征与现存问题

照明系统主要能耗构成对于工厂照明系统来说，主要的能耗部分包括灯光自身能耗、灯光控制系统能耗、配电系统能耗等。其中灯光的能耗是最大的一部分，灯光是耗电的主要设备，在其开启工作状态下会产生大量的电能消

耗，不同的灯光灯具设备其耗电量也不尽相同，比如荧光灯、高压钠灯、LED 灯等照明设备^[3]；灯光控制系统是控制灯光开启关闭的重要设备，常见的灯光控制系统包括传感器、控制器等，其自身在开启工作状态时也需要消耗一定的电能；此外，配电系统能耗也较大，电能由电缆/电线传输，在传输过程中也会产生较大的能量损耗，同时配电设施包括变压器等设施，其工作时也会消耗一定的电能。

中小型工厂照明系统呈现出以下显著的能耗特征，运行时间长，且能耗密度居高不下，多数区域的能耗水平超出国家相关标准，能耗分布极不均衡，生产车间的能耗占比高。中小型工厂现有照明系统存在以下几大核心问题，光源的选型比较陈旧，多采用白炽灯、高压汞灯、普通荧光灯等，不仅导致光效低下，能耗高，而且传统低效光源使用周期较短。控制方式单一，采用手动开关的方式，无法结合现场的光照强度、生产状况、人员流动对照明状态进行动态调整，造成能源浪费。在线路设计方面存在不合理的情况，导致线损率高，同时线路的老化问题存在一定的安全隐患。照明布局不科学，存在照明死角与过度照明现象，加之，对照明系统缺乏有效的维护管理，未及时处理光源衰减、灯具积尘等问题，导致照明效率进一步降低。

2 中小型工厂电气照明节能改造核心实用技术

2.1 高效光源替代技术

2.1.1 LED 光源替代技术

高效光源替代是照明节能改造基础，核心是用光效高、寿命长、显色性好的光源替代传统低效光源，降低单位面积照明功率。结合中小型工厂需求，LED 光源优势明显，是首选。实施要点：依场所选合适参数 LED 光源。生产车间选 30-50W、光效 $\geq 120\text{lm/W}$ 、 $\text{Ra} \geq 85$ 的 LED 工矿灯；办公区域选 10-20W、光效 $\geq 110\text{lm/W}$ 、 $\text{Ra} \geq 90$ 的 LED 面板灯；仓库选 20-30W、光效 $\geq 110\text{lm/W}$ 的 LED 投光灯。选防护等级 $\geq \text{IP54}$ 的灯具。基于原光源功率与效果，用“功率匹配法”合理确定替换比例。安装与原灯具尺寸匹配，可利用支架直接替换，不匹配则换专用支架。安装后检测照度，确保均匀度 ≥ 0.7 ，眩光值 $\text{UGR} \leq 22$ 。

2.1.2 节能荧光灯升级技术

资金预算有限的中小型工厂，可用节能荧光灯（如 T5、T8 型三基色荧光灯）替代传统白炽灯、普通荧光灯，其光效 $70 \sim 90\text{lm/W}$ 低于 LED，性价比高。在照明系统升级改造中，应精选显色指数（ Ra ）不低于 80 且光衰性能优异的三基色荧光灯管，色彩还原度高，照明质量稳定。同时建议采用电子镇流器替代传统电感镇流器，电子镇流器功耗 $\leq 3\text{W}$ 、功率因数 $\cos\varphi \geq 0.95$ ，无频闪，提升照明环境的舒适度与能效水平。为了确保在不同电网条件下的稳定运行，所选电子镇流器应具备宽电压适应能力，工作电压范围 $180 \sim 240\text{V}$ ，此特性仅需更换镇流器与灯管即可完成升级，无需对原有线路进行大规模调整，仅通过换镇流器与灯管即可，不仅简化操作流程，缩短施工周期与难

度，同时可降低改造成本。

2.2 智能照明控制系统技术

2.2.1 系统架构设计

智能照明控制系统采用数字化架构与模块化设计理念，具有多维度智能化管控的特点^[4]。各功能单元能够利用集成总线与中央控制系统进行实时数据交互，显著提高了运行稳定性和响应可靠性。其核心优势主要体现在以下方面：一方面，系统可以根据空间功能属性、时段划分和环境照度参数实现动态光环境调控，采用预设场景模式和辅助控制策略使调光目标更加精细化；另一方面，系统采用标准化串口协议，与家用配件接口规范（Accessory Interface Specification, AIS）中央控制器无缝对接，支持跨系统网络化集成扩展，实现多区域协同控制^[5]。智能照明控制系统可感知环境与生产工况，动态调光实现“按需照明”，是降能耗、提智能的关键技术。针对中小型工厂，推荐分布式智能控制系统，其架构简单、成本低、易安装维，系统架构如图 1 所示：

感知模块：系统含光照传感器（精度 $\geq 1\text{lx}$ ，量程 $0 \sim 2000\text{lx}$ ）、微波人体感应传感器（感应距离 $0 \sim 8\text{m}$ ，角度 120° ）及时间控制器，分别用于监测光照、人员活动并预设照明时段、适配工厂分班生产需求。

控制模块：采用“中央控制器+分区控制器”分布式结构，中央控制器接收感知信号生成指令，分区控制器管理特定区域照明，实现分区独立控光、避免能耗浪费。

执行模块：含 LED 驱动电源（恒流驱动，效率 $\geq 90\%$ ，功率因数 ≥ 0.95 ，可调光）与继电器开关（控制非调光光源的启停）。

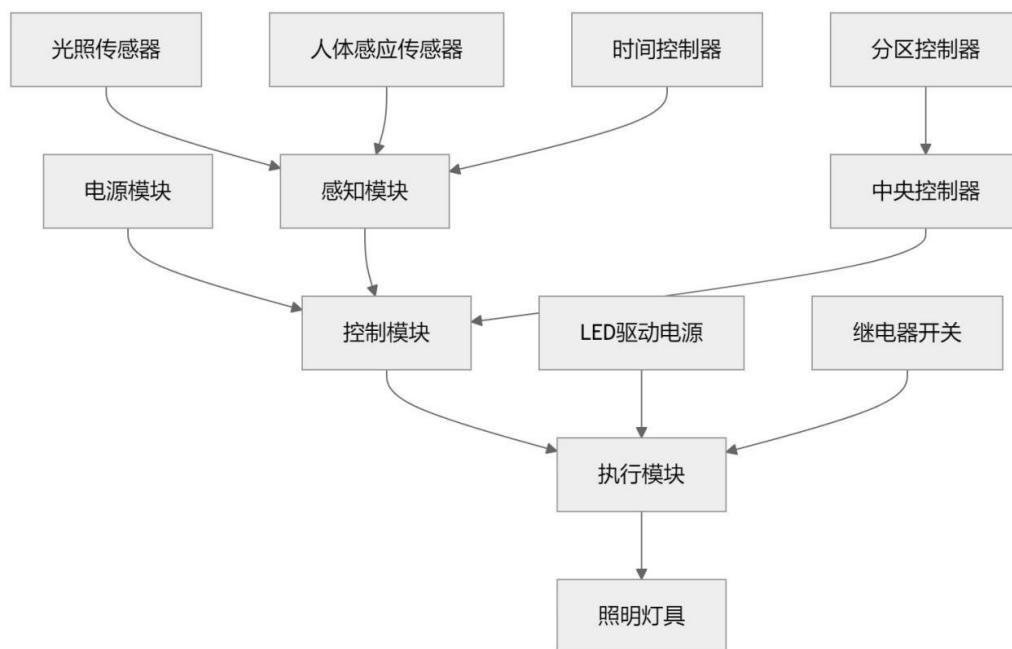


图 1 分布式智能照明控制系统架构图

电源模块：采用开关电源设计，为系统提供 12V/24V 稳定直流电，输入电压 180~240V，适配工厂电网波动。

2.2.2 控制逻辑设计

结合工厂不同区域的照明需求实施精细化的智能照明控制策略，如针对生产车间，生产时段采用“光照强度-人体感应-时间参数”三维度联动控制机制，即环境光强度低于预设阈值可以自动启动照明。在人员离场 15min 后自动调暗至 30% 照度，当光强度回升至 500lx 以上时，分级关闭 30% 灯具，维持基础照明；非生产时段关闭所有常规照明，仅保留应急照明回路。在仓库区域，采用热释电红外传感器与超声波传感器复合检测技术，对人员的移动实现精准识别，在人员进入感应区后，自动开灯，人离 10min 后关灯。在办公区域采用“光照感应+手动控制”模式。当环境光强度低于 100lx 时，系统自动开启照明；同时，为充分满足人员的个性化用光需求，人员可通过手动开关对当前照明状态进行灵活调整。

2.2.3 安装与调试要点

智能照明控制系统安装调试影响着系统的稳定性与节能效果，在安装过程中将光照传感器安装于室内无遮挡的合适位置，注意避开直射光源，避免因直射光导致传感器接收的光强度数据失真，对照明设备的智能调控造成影响。人体感应传感器安装在目标区域的入口位置或者通道侧方，可以及时准确地检测到人员进出与移动情况。时间控制器与中央控制器安装在控制室或者配电箱内，在安装的过程中要采取有效的防尘防潮等干预措施。系统线路敷设时，应选用规格不低于 RVV 1.5mm² 的铜芯导线，这种导线抗干扰、导电性能比较强，可以有效确保信息传输的准确性与稳定性。与此同时，照明控制线路必须与照明线路严格分离敷设，避免因不同线路之间的电磁干扰而对照明设备的正常运行造成影响。此外，系统的接地电阻应严格控制在 $\leq 4\Omega$ 的范围。完成传感器和执行模块的安装后，需进行单点调试，确保其处于正常工作状态。单点调试合格后，进行系统联调，验证传感器信号的采集与传输、控制器的决策与指令下达、执行模块的执行效果等环节之间的协同工作情况，基于实际情况，对系统参数进行优化调整，以确保系统可以达到最理想的节能运行状态。试运行 72h，记录数据确保无故障。

2.3 照明线路优化技术

2.3.1 导线截面优化选择

导线截面过小会导致电阻显著增大、线路损耗攀升，若导线截面过大不仅会造成材料的浪费，而且还会增加建设成本。鉴于此，以照明线路的负荷电流以及敷设距离为依据，合理选择导线截面。推荐采用“经济电流密度法”进行精确计算，公式如下：

$$S = \frac{I}{J} \quad (1)$$

其中，导线截面 S (mm²) 计算公式涉及线路负荷电流 I (A) 与经济电流密度 J (A/mm²)，铜芯导线 J 取 2.5~3.0A/mm²。同时，线路需满足电压损失要求，照明线路电压损失率应 $\leq 5\%$ ，其计算公式为： $\Delta U\% = (\sqrt{3} \times I \times R \times \cos\phi) / U_N \times 100\%$ (R 为线路电阻， Ω ； $\cos\phi$ 为功率因数；U_N 为额定电压，220V)。经计算，敷设距离超 50m 的照明线路，S 应不小于 2.5mm²；小于 50m 的线路，S 可选 1.5mm²。

2.3.2 线路敷设方式优化

不同敷设方式影响线路散热与电阻损耗，中小型工厂照明线路推荐：车间照明用阻燃桥架敷设，远离高温及强干扰源，导线整齐排列间距 $\geq 2\text{cm}$ ；办公与仓库用 PVC 阻燃管穿管敷设，导线总截面积不超管内 40%。减少接头，接头压接或焊接，定期检查，确保绝缘电阻 $\geq 0.5M\Omega$ 。

3 节能改造效果

以某中小型工厂照明改造项目为例，用本文改造技术模拟评估节能效果。该厂车间照明原用高压汞灯，改造方案为换用 LED 工矿灯，安装分布式智能照明控制系统，优化照明线路，安装光导照明系统。模拟计算显示，改造后能耗降低率较高，年节能收益可观，改造初始投资涵盖灯具、系统及线路优化等费用，投资回报周期短，具备良好推广应用价值。

4 改造技术实施规范与注意事项

4.1 实施规范

为保障中小型工厂照明显能改造顺利及工程质量，制定规范如下：改造前全面调研照明系统现状并绘图；改造设计方案结合区域需求，明确光源、智能控制、线路优化、自然光利用等，保证改造设计符合《建筑节能与可再生能源利用通用规范》(GB 55015—2021) 和《建筑照明设计标准》(GB/T 50034—2024) 等相关规范和标准的要求；施工前对人员进行培训，以确保在施工过程中人员可以严格按照设计方案进行操作，确保安装牢固、连接规范、位置合理，完工后做安全检测。验收工作将全面覆盖照明质量评估、能耗效率检测以及系统稳定性测试等多个关键维度，合格后出报告，并提供技术资料与维护手册。

4.2 注意事项

在推进照明显能系统改造过程中，严格遵循安全第一的原则，在施工的过程中应该将照明系统的电源切断，并在明显的位置悬挂“禁止合闸”标识，以免发生触电事故。改造的照明系统必须要符合国家电器的安全标准，同时要配备完善的短路保护、过载保护等安全功能，以此提高系统运行的稳定性与安全性。严格秉承照明质量优先的理念，在改造的过程中精准把控照明的均匀度，确保改造后的各个区域照明指标能够严格符合生产与办公的实际需求。同时，建立照明系统的维护制度，安排专业人员定期对照明灯具进行全面的清洁，以免因灰尘的堆积而对照明效果造

成影响^[6]。同时需要检查线路的牢固性以及传感器的灵敏度，及时发现潜在问题，及时更换，确保照明系统改造后效果长期稳定。此外，对于资金相对有限的中小型工厂在照明节能改造时建议采取分步实施改造的策略，优先改造能耗占比处于较高水平的生产车间，再逐步推广至仓库、办公区域等其他场所，通过这种循序渐进的方式降低一次性投资压力，推动改造工作有序、平稳开展。

5 结论与展望

本文聚焦于中小型工厂电气照明系统的节能改造技术研究，对当前该领域所存在的问题进行了深入剖析，并以此为依据提出了一系列改造策略，例如智能控制系统的集成、高效光源的替代应用、线路布局的优化升级，可以有效实现能耗降低的目的，并且投资回报周期缩短，彰显了其显著的经济效益与实用性。此外，本文研究对改造过程中的实施规范以及关键注意事项进行了详细的阐述，以便为中小型工厂的电气照明系统节能改造提供了全面而详尽的技术指导。

未来中小型工厂照明节能改造可融入人工智能、大数据、物联网等智能化技术^[7]，以此实现照明系统的精细化管理与智能调控。同时可以构建基于云端的综合管理平台，可以实时远程监控、故障预警、及时分析、及时干预，进一步提升节能效果与管理效率。以工厂的空间布局、生产流程、照明需求为依据，制定个性化的照明节能方案，精

准对接实际需求。此外，强化新能源的融合应用，充分利用工厂房顶等闲置空间部署光伏发电系统，从而减少对传统电网的依赖，降低碳排放，为“双碳”目标的实现提供有力支撑。

[参考文献]

- [1] 张群. 工业建筑电气节能设计研究 [J]. 建筑节能, 2020, 11(5):34-38.
 - [2] 王飞. 智能照明控制系统在工业建筑中的应用 [J]. 自动化与仪表, 2019, 11(12):67-70.
 - [3] 孙子懿. 电气照明节能设计在智能照明控制系统中的应用 [J]. 林业科技情报, 2020, 52(1):113-115.
 - [4] 毛科学. 建筑电气照明节能设计方法 [J]. 电气技术与经济, 2022(4):72-74.
 - [5] 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.
 - [6] 武文龙. 智能照明控制系统在电气照明节能设计中的应用分析 [J]. 住宅与房地产, 2021(21):92-94.
 - [7] 张浩波. 基于物联网的工厂智能照明控制系统研究 [D]. 杭州: 浙江科技学院, 2023.
- 作者简介：李冬生（1983.10—），毕业院校：燕山大学，所学专业：控制理论与控制工程，当前就职单位：中国电子系统工程第四建设有限公司，职务：化工石化工程设计院电气工程师，职称级别：高级工程师。