# 基于粒子群优化算法的建筑电气照明系统节能控制

马有新

（浙江工贸职业技术学院，浙江 温州 325000）

**摘要：常规的建筑电气照明系统节能控制方法主要使用 DIALux 软件构建 Room Element 建筑节能模型，但该方法易受照明计算光通量密度影响，导致节能控制指标不佳。因此提出了一种基于粒子群优化算法的建筑电气照明系统节能控制方法。利用粒子群优化算法构建照明系统节能控制模型，设计节能模糊控制器，生成节能时钟芯片控制流程，从而实现了节能控制。实验结果表明，在不同节能控制时间段内，所提方法的各项控制指标良好，具有可靠性和应用价值，为满足能源使用要求、推动建筑绿色可持续发展作出了贡献。**

**关键词：粒子群优化算法；建筑；电气；照明系统；节能控制**

## Energy saving control of building electrical lighting system based on particle swarm optimization algorithm

MA Youxin

(Zhejiang Industry and Trade Vocational College, Wenzhou 325000, China)

**Abstract:** The conventional energy saving control method of building electrical lighting system mainly uses DIALux software to build a Room Element building energy saving model, which is easily affected by the light density of lighting calculation, resulting in poor energy saving control index. Therefore, an energy saving control method of building electrical lighting system based on particle swarm optimization algorithm was proposed. That is, the energy-saving control model of the lighting system is constructed by particle swarm optimization algorithm, the energy-saving fuzzy controller of the building electrical lighting system is designed, and the energy-saving clock chip control process of the building electrical lighting system is generated, so as to realize the energy-saving control of the building electrical lighting system. The experimental results show that in different energy-saving control periods, the energy-saving control method designed in this paper has good control indicators, has reliability and application value, and has made contributions to meet the requirements of energy use and promote the green and sustainable development of buildings.

**Keywords:** particle swarm optimization algorithm; buildings; electrical; lighting system; energy saving control

## 0 引言

建筑电气照明系统是一种满足建筑内外部照明使用要求的特殊集成系统，主要由不同类型的光源、线路和灯具组成。建筑照明系统的类型较多[1]，包括正常照明系统、事故照明系统、障碍照明系统和装饰照明系统等，遵循的设计原则有

三点[2]：①需要满足电能合理化设计要求，不能影响建筑的使用功能，保持建筑通道畅通；②需要满足经济效益要求，降低节能消耗风险，选取合理的节能设备材料；③需要降低无效消耗，采取有效的能源节约措施[3]。受科技化发展影响，各个电气照明系统的智能化水平越来越高，可持续性越来越强，涉及的运行因素较多。因此，需要对建筑电气照明系统节能控制进行深入研究。

事实上，建筑电气照明系统节能控制需要满足智能化要求[4]，即利用信息化数字控制技术调整设备的运行状态，实现集中或分组调度控制。除此之外，还需要进行光线或人体感应融合，生成定时控制程序，在特定的时间段调整照明设备运行状态[5]。相关研究人员针对建筑电气照明系统的运行特点，设计了几种常规的控制方法。文献[6]以STC12C5A60S2单片机为核心，集成人体感应、光照强度感应及LCD显示模块。人体感应模块用于检测教室内是否有人，光照强度感应模块则实时测量室内光线强弱。当检测到无人且光线足够时，系统自动关闭电灯；若有人且光线不足，则根据光线强度智能调节灯光亮度。LCD显示屏实时显示当前光照强度及节能状态，便于监控和管理。整个过程由单片机程序自动控制，实现教室照明的高效节能。该系统虽能有效节能，但在复杂场景下可能存在误判，如人体感应模块在多人快速移动时可能漏检，导致灯光误关。文献[7]构建了遗传模拟退火算法框架，将照明系统的控制参数作为遗传算法的个体进行编码。首先，通过遗传操作（如选择、交叉、变异）生成新一代种群，并对优秀个体进行模拟退火处理，以增强局部搜索能力；然后，根据迭代次数和种群适应度自适应调节遗传概率，确保算法前期种群的多样性，避免早熟收敛；接着，利用人工神经网络构建照度模型，计算室内照度分布，评估照明舒适度，为优化算法的适应函数提供依据；最后通过迭代优化，获得全局最优的照明控制参数。该算法虽能有效提高照明系统的节能效果，但计算复杂度较高，可能导致优化过程耗时较长。

为适应绿色建筑发展要求，本文基于粒子群优化算法设计了一种有效的建筑电气照明系统节能控制方法。

## 1 建筑电气照明系统粒子群优化算法节能控制方法设计

### 1.1 基于粒子群优化算法构建节能控制模型

粒子群优化算法是一种智能优化算法，可以不断更新搜索空间中的最佳位置，获取最优解。本文基于粒子群优化算法构建了节能控制模型，需要明确节能的目标和约束条件。在建筑电气照明系统中，节能的目标包括降低照明能耗、提高照明质量和舒适度；约束条件包括照明系统的物理特性、使用需求以及环境条件等[8]。

根据建筑信息搜索得到了大量的原始数据，为后续的优化过程提供了基础。引入了粒子种群适应度的概念，以评估每个粒子（即可能的解决方案）在节能控制方面的优劣。通过混沌映射阈值的设定，使得粒子活动范围不同，为后续的多样性探索提供了条件。此时可以根据建筑信息进行搜索，得到的原始数据量$P$为

$$P = P_i(1-p) \tag{1}$$

式中，$P_i$为粒子种群适应度；$p$为混沌映射阈值。

由此，通过原始数据的获取和适应度的评估，为后续的节能控制优化过程奠定了数据基础。

在确定了粒子种群适应度之后，构建了节能控制目标函数。该函数通过映射区间边缘值和节能控制比例等参数，量化了每个粒子在节能控制方面的性能。通过评估每个粒子的潜在解，可以进行能耗倒数与照明质量的权衡，从而找到既节能又满足照明需求的解决方案。此时的粒子活动范围不同，生成的节能控制目标函数$p_{\text{in}}$为

$$p_{\text{in}} = a_n + (b_n - a_n)P_i \tag{2}$$

式中，$a_n$、$b_n$为不同的映射区间边缘值；$P_i$为节能控制比例[9]。

通过目标函数的构建，明确了优化的具体目

标，并为后续的粒子更新和搜索提供了指导。

在确定了节能控制目标函数之后，进行粒子位置与速度的更新。为了获取局部最优或全局最优位置，引入了全局随机更新的机制。通过不断更新粒子的位置和速度，进一步探索更多的解决方案空间，并有可能找到更优的解。同时，全局随机更新的引入增加了搜索的多样性，降低了陷入局部最优的风险。更新式sig($v$)为

$$\mathrm{sig}(v)=1/(1+\exp(v_i)) \tag{3}$$

式中，$\exp(v_i)$为节能控制限制。

在粒子更新过程中，存在局部早熟的风险，即粒子最优解趋向同一性。为了解决这个问题，生成了一个混沌序列，并随机生成不同维度空间进行空间映射。混沌序列的引入使得粒子能够在不同的维度空间中进行搜索[10]，从而增加了搜索的多样性和全面性。混沌粒子序列$v_k$为

$$v_k=\omega v_i+c(t) \tag{4}$$

式中，$\omega$为控制权重极值；$v_i$为粒子迭代变化的状态；$c(t)$为粒子迭代更新位置。

由此，通过生成混沌序列和空间映射，缓解了局部早熟的问题，提高了搜索的效率和准确性。

考虑到自然光照状态对建筑电气照明的影响，在不考虑自然光照的状态下进行了照度叠加。通过参考给定位置生成的点照度函数，计算出灯具在某点产生的照度以及非线性光通量等参数[11]。由此，通过照度叠加和点照度函数的生成，更准确地评估建筑电气照明的节能效果，并为后续的节能控制提供了更精确的数据支持。参考给定位置生成的点照度函数$E_A$为

$$E_A=\sum f(x,y)d_i \tag{5}$$

式中，$f(x,y)$为灯具在某点产生的照度；$d_i$为非线性光通量。

最后，构建建筑电气照明节能控制模型。该模型通过输入满足控制维度要求的径向基函数，实现了神经元距离判别，并获取了建筑任意点的照度与调光比。通过GASS编码和集中约束等手段，提高了节能控制的适应度，保证了控制个体的一致性关系，实现了对建筑电气照明节能控制的全面优化，提高了能源利用效率，并降低了能耗成本。构建的建筑电气照明节能控制模型$F(X)$为

$$F(X)=\sum w_u\exp(b\|X-C_u\|)+b \tag{6}$$

式中，$w_u$为节能神经元中心；$b$为控制偏置值；$X$为径向基单位；$C_u$为照度分布函数。

该模型可以获取建筑任意点的照度与调光比[12]，在保证照明舒适度的基础上进行集中约束，既提高了节能控制的适应度，又保证了控制个体的一致性关系。

### 1.2 设计建筑电气照明系统节能模糊控制器

为了满足建筑电气照明系统节能控制的自动化处理要求，本文将控制规则表示为模糊语言规则，并利用模糊推理设计了模糊控制器。该控制器能够实时判断不同照度下的能耗关系，并进行优化调整，从而提高节能控制的可靠性。

在模糊控制器的设计中，首先需要将输入变量从精确量转化为模糊集合。这通过隶属函数来实现，隶属函数能够表示输入变量的模糊程度。在本文中，将节能控制差值和控制变化率作为输入变量，并设计了相应的隶属函数。这些隶属函数能够根据输入变量的具体值，将其转化为模糊集合中的元素，便于后续的模糊推理。

模糊控制规则是模糊控制器的核心部分，它决定了输出变量的具体值。根据建筑电气照明系统的实际情况和节能控制的要求，制定了相应的模糊控制规则。如果输入变量满足某种模糊条件，那么输出变量就取某个模糊值。通过模糊控制规则的制定，实现对建筑电气照明系统节能控制的精确调控。将模糊推理得到的模糊集合转换为精确的输出量，此时设置的模糊控制规则$U_F$为

$$U_F=E_AE_SC \tag{7}$$

式中，$E_A$为节能控制差值；$E_S$为控制变化率；$C$为模糊值域。

设计的模糊控制器存在不同的输入输出变量，均需要满足正态函数变化与电压反馈关系，以完成二维控制。由此可以将电压值作为输入测量值，生成模糊控制器输入量$E_i$，即

$$E_i = O_s - O_i \tag{8}$$

式中，$O_s$为照明电压设定值；$O_i$为实际照明电压值，结合该输入量可以进行连续采样，根据偏差量变化关系进行输入输出调整，得到的节能模糊控制器如图1所示。

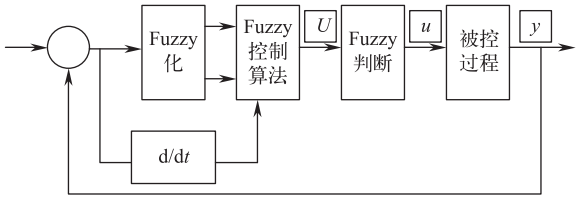


**图 1　建筑电气照明系统节能模糊控制器**

**Fig. 1 Energy saving fuzzy controller for building electrical lighting system**

在模糊控制器的运行过程中，根据输入变量的模糊集合和模糊控制规则，推导出输出的模糊集合。然后，通过解模糊化方法将模糊集合转化为精确的输出量。这个输出量就是建筑电气照明系统节能控制的参数。通过不断调整控制参数的值，实现对建筑电气照明系统能耗的优化控制。同时，还可以根据实际需求对模糊控制规则进行修正和优化，以提高节能控制的准确性和可靠性。

### 1.3　生成建筑电气照明系统节能时钟芯片控制流程

建筑电气照明系统的节能控制是一个复杂而关键的问题。传统的控制方式往往基于固定的时间表或简单的光照强度感应，无法充分考虑时间周期变化对节能控制条件的影响。因此，本文引入了时钟芯片，通过实时更新当前时间信息，为节能控制提供更加精确的依据。

本文设计方法中选取RTC芯片，这是一种能够提供实时时间和日期信息的芯片。通过IIC通信接口，RTC芯片可以与照明控制器有效连接，实现时间的同步更新。在节能控制过程中，RTC芯片的作用是提供精确的时间信息，使得照明控制器能够根据预设的节能时段状态进行相应的调节。

节能控制流程的第一步是更新和同步时间信息。通过IIC通信接口，RTC芯片将当前的时间信息发送给照明控制器。照明控制器接收到时间信息后，将其与内部的时间基准进行比对，确保时间的准确性。这一步是后续节能控制的基础，只有时间信息准确，才能根据预设的节能时段进行准确的控制。在时间信息同步之后，照明控制器会根据预设的节能时段状态进行判断。即判断当前时间是否处于预设的节能时段内，照明控制器是否启动节能控制策略。在确定了节能时段状态之后，照明控制器需要获取并处理相关的控制参数。这些控制参数包括环境光照强度与建筑电气使用参数等。环境光照强度可以通过光敏传感器进行实时监测，建筑电气使用参数可以通过对建筑电气系统的监测和记录获得。照明控制器根据这些控制参数，计算出当前需要的照明亮度和能耗水平。在获取了控制参数并计算出当前需要的照明亮度和能耗水平之后，照明控制器会根据预设的节能控制策略进行实施。这些策略包括调整照明系统的亮度、开启或关闭部分照明设备、调节照明系统的工作模式等。通过实施这些策略，照明控制器可以实现对建筑电气照明系统的准确控制，从而保证照明舒适度，同时降低能耗。

控制流程如图2所示。

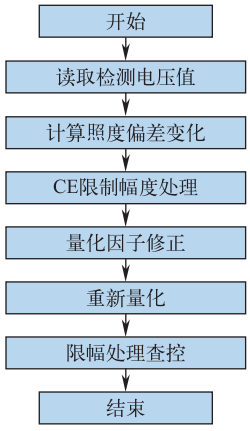


**图 2　建筑电气照明系统时钟芯片控制流程**

**Fig. 2 Clock chip control process for building electrical lighting system**

由图2可知，时钟日历芯片可以通过SDA数据线连接通信接口，转换节能控制状态，此时设置的读写地址为OB3H，节能控制寄存器的外围电路显示数据均等。在控制过程中，若出现了

发送方与接收方对调问题，可以统一进行信号处理，计算校验单位，与最后一次照明状态进行比对，此时的节能控制比例$M$为

$$M = ox - (1+\alpha)^2 \gamma \tag{9}$$

式中，$o$为建筑节能单元标准值；$x$为建筑照明损耗；$\alpha$为建筑能量转换权重；$\gamma$为建筑基础照明系数。

使用上述生成的节能控制流程，可以有效判断电气照明系统的开关状态。还可以根据环境光照强度和人员活动情况，动态调节照明系统的亮度，利用光敏传感器和人体感应传感器实现自动调节，确保照明舒适度，同时降低能耗，满足特定场景需求，实现电气照明运行能耗最低。

## 2 实验

为了验证设计的基于粒子群优化算法的建筑电气照明系统节能控制方法的控制效果，本文配置了有效的实验环境，将其与基于STC12C5A60S2的建筑电气照明系统节能控制方法，以及基于遗传模拟退火算法的建筑电气照明系统节能控制方法进行实验对比。

### 2.1 实验准备

根据建筑电气照明系统节能控制实验要求，本文选取ZigBee WA作为实验平台，该实验平台主要由监控中心、处理中心和采集中心等组成，结构如图3所示。

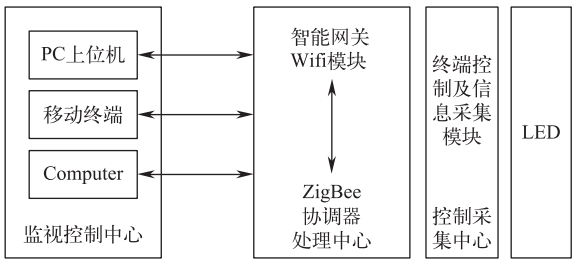


图 3 实验平台结构

Fig. 3 Structure of experimental platform

由图3可知，在实验过程中，可以通过双向通信PC上位机进行传输，分析提取实验数据，发送实验指令，再由ZigBee协调器辅助处理数据。采集控制中心设置了RS 232串口，能稳定集控管理，避免实验数据冗余。实验WiFi模块芯片为RT5350F芯片，LED恒流驱动芯片为AH2003，红外传感器芯片为BISS001，光敏电阻为GL5549，微处理器为CC2530。

微处理器是实验平台的核心器件，主要由ZigBee PRP支持，互操作性较强，可以调整实验节点密度，降低实验数据负荷，使其更满足低功耗要求。将实验原始传输速率设置为150 Mbit/s，无线标准为IEE 802.11n，开始进行网络介质传输。为了满足实验的互通信条件，本实验利用USR-WiFi进行嵌入处理，通过Smart-Link添加实验路由，支持UARTPWM数据接口。本实验需要获取高质量光照数据，使用的照度光敏传感器$I$为

$$I = KLU \tag{10}$$

式中，$K$为比例系数；$L$为照度；$U$为外加电压。

该传感器主要通过GL5549光敏电阻与微处理器端口相连，读取实验照度值，再由ZigBee网络上传至PC中心。

在部分电气照明时间段内，实验组网执行的命令难度较高，无法有效完成寻址，因此需要进行LED终端控制，选取有效的组网寻址机制。即添加维护连接基准站，利用Z-STACK协议栈进行开发，借助OSAL操作系统完成开发编写，此时的寻址机制提供了不同层次的API，支持多任务调节，应用入口函数为Init，初始化结构体为BEL Broadcost DstAddr，实验消息处理函数为void BELSystem_ MessageMSGCB。

本文将某建筑作为研究对象，构建了节能控制模型，该建筑的照明设计照度标准值见表1。

表 1 建筑照明设计照度标准值

Tab. 1 Standard illuminance values for architectural lighting system

| 场所 | 参考平面高度 | 照度标准值 /lx | UGR | $R_a$ |
|---|---|---|---|---|
| 大堂 | 地面 | 500 | - | 80 |
| 会客厅 | 水平面 | 200 | - | 80 |
| 扶梯 | 地面 | 150 | 22 | 80 |
| 通道 | 地面 | 200 | 22 | 80 |
| 地下停车场 | 地面 | 200 | 22 | 80 |
| 弱电机房 | 水平面 | 150 | 19 | 60 |
| 变电室 | 地面 | 200 | 28 | 60 |

由表1可知，待上述准备完毕后，即可选取GB50034作为实验标准，输出有效的节能控制实验结果。

### 2.2 实验结果与讨论

结合上述实验准备，可以进行建筑电气照明系统节能控制实验，即利用DIALux软件模拟实验场景，设置某有效建筑空间环境与照明工作面。在MATLAB中训练实验模型，设置不同时间段的实验测量点。此时，对建筑原始电量进行初始化处理，优化感应信号系数，避免其出现高低等级波动。选取的实验主控模块需要满足LCD显示关系。分别使用本文设计的基于粒子群优化算法、基于STC12C5A60S2以及基于遗传模拟退火算法的建筑电气照明系统节能控制方法进行节能控制，利用LHI感应工具获取的实验结果见表2。

表 2 实验结果

Tab. 2 Experiment result

| 方法 | 时间段 | 照明功率密度 LPD/（W/m²） | 光源效率（%） | 灯具效率（%） |
|---|---|---|---|---|
| 本文基于粒子群优化算法的建筑电气照明系统节能控制方法 | A | 65.5 | 95.2 | 95.6 |
| | B | 62.6 | 92.6 | 92.9 |
| | C | 64.2 | 93.5 | 93.8 |
| 基于 STC12C5A60S2 的建筑电气照明系统节能控制方法 | A | 118.3 | 76.8 | 76.7 |
| | B | 105.8 | 79.4 | 69.5 |
| | C | 110.4 | 68.6 | 68.2 |
| 基于遗传模拟退火算法的建筑电气照明系统节能控制方法 | A | 118.5 | 77.2 | 64.3 |
| | B | 115.2 | 75.3 | 75.6 |
| | C | 109.9 | 72.7 | 72.7 |

由表2可知，基于粒子群优化算法的节能控制方法在所有时间段内均表现出较低的LPD值，表明其能有效降低照明系统的功率密度，节能效果良好。光源效率和灯具效率均保持在较高水平，证明该方法在提升照明系统能效方面的显著优势。基于STC12C5A60S2的节能控制方法相比基于粒子群优化算法的方法LPD值较高，表明其节能效果不如前者。光源效率和灯具效率在不同时间段内有所波动，但整体而言，均低于基于粒子群优化算法的方法。基于遗传模拟退火算法的节能控制方法的LPD值与基于STC12C5A60S2的方法相近，同样高于基于粒子群优化算法的方法。光源效率相对稳定，但灯具效率在时间段A内较低，在特定时间段内可能存在能效不足的问题。由此可知，本文设计的建筑电气照明系统节能控制方法具有明显优势，且有应用价值。

## 3 结束语

在社会发展与能源消耗量激增的背景下，节能逐渐成为一个全球性的问题。建筑电气照明作为建筑能耗的重要组成部分，其节能控制对于减少能源消耗、保护环境具有重要意义。研究建筑电气照明系统节能控制技术，可以有效降低建筑照明能耗，减少温室气体排放。随着物联网、人工智能等技术的不断发展，建筑电气照明系统节能控制技术也在不断进步，但大多数常规的节能控制方法的复杂度较高，控制效果不佳，因此本文基于粒子群优化算法设计了一种有效的建筑电气照明系统节能控制方法。通过实验验证所提节能控制方法的控制效果较好，具有可靠性，且有应用价值，能够为推动绿色建筑和可持续发展目标实现作出贡献。

### 参考文献

[1] 傅佳韵．夏热冬暖地区中小学建筑节能设计和探讨——以广州花都区某新建九年一贯制学校为例[J]．城市建设理论研究(电子版)，2024(28)：97-99．

[2] 曹辉，鞠瑞馨，刘子宁．寒冷地区超低能耗建筑设计策略研究——以泰丰科技超低能耗展示中心为例[J]．智能建筑与智慧城市，2024(9)：110-113．

[3] 胡斌，高波，管雪．天津既有公共机构建筑节能改造项目投融资模式分析——以天津市东丽区建筑低碳节能改造项目为例[J]．天津经济，2024(9)：95-97．

[4] 王涛，金旺丰，罗晓予．夏热冬冷地区近零能耗建筑技术——以台州数字科技园科技秀场、产业服务中心为例[J]．建筑与文化，2024(9)：31-34．

[5] 李家杰，李浪．既有学校绿色改造的零能耗实践研究——深圳龙岗区坪地六联小学零能耗建筑实

践[J]．住宅与房地产，2024(26)：37-42．
[6] 孙国荣，任炳昊，乔凌霄，等．基于STC12C5A60S2的教室照明节能控制系统设计[J]．电子质量，2023(10)：21-24．
[7] 郭敬，张玉杰．基于遗传模拟退火算法的室内照明节能控制方法研究[J]．应用光学，2022，43(5)：879-885．
[8] 张敬琦，呼斯乐，徐国伟，等．推广应用建筑保温与结构一体化材料助力建筑业高质量低碳发展探析[J]．建设科技，2024(17)：80-83．
[9] 陈蔚，胡欣媚．基于BIM技术的重庆传统木构民居围护结构节能改造研究——以杨家槽传统民居为例[J]．华中建筑，2024，42(9)：70-73．
[10] 郭汉丁，张印贤，郑悦红，等．既有建筑节能改造项目融资管理的价值实施路径：平台运行、模式选择与结构优化研究总括[J]．项目管理技术，2024，22(9)：30-39．
[11] 王茜，石谦飞，史树一．基于节能导向的寒冷地区医院建筑形态多目标寻优技术研究[J]．西安建筑科技大学学报(自然科学版)，2024，56(4)：604-612．
[12] 麻明可，吕庆雪，关法春．东北地区农村能源生态农宅改造模式分析——以太阳能+空气能+节能建筑改造为例[J]．能源研究与利用，2024(4)：25-28．

**作者简介**

马有新（1973—），男，工程师，研究方向为工程管理。

（收稿日期：2024-10-23）