

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)03-0027-06

高层建筑室内外照明设备自适应节能优化控制方法

赵静¹, 杨秀谦²

(1. 广西水利电力职业技术学院 水利工程学院, 广西 南宁 530023; 2. 广西水利电力职业技术学院 信息工程学院, 广西 南宁 530023)

摘要: 为了在满足照明需求的同时实现能源的有效节约, 提出一种基于物联网技术的高层建筑室内外照明设备自适应节能优化控制方法。通过建立物联网框架下的照明设备控制结构, 利用 ZigBee 网络实现下位机与上位机的通信; 下位机通过传感器获取照明设备数据, 经网络转发和管理后传输至上位机; 上位机依据接收到的数据和能效评价, 通过 RBF 神经网络调整照明设备的位置和亮度, 以实现自适应节能优化控制。实验以某高层建筑为对象, 测试了 ZigBee 网络的通信性能, 结果显示误码率低于 1%, 数据传输稳定可靠。通过 RBF 神经网络计算不同位置照度, 与实际值偏差不超过 10 lx, 准确性较高。节能效果方面, 优化后照明设备功耗显著下降, 夜间时段功耗降低达 50%~60%。实验结果表明, 该方法运用的 ZigBee 控制网络具有较优的通信性能; 能够准确计算出各个位置的照度, 具备较好节能效果, 照明设备各亮度档位都能达到节能目的, 实用性较好, 适用于高层建筑室内外照明的智能化节能管理。

关键词: 物联网技术; 高层建筑; 照明设备; 节能优化控制; ZigBee

中图分类号: TP273; TP202

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)03-0027-06

Adaptive energy-saving optimization control method of indoor and outdoor lighting equipment in high-rise buildings

ZHAO Jing¹, YANG Xiuqian²

(1. School of Hydraulic Engineering, Guangxi Vocational College of Water Resources and Electric Power, Nanning 530023, Guangxi, China; 2. School of Information Engineering, Guangxi Vocational College of Water Resources and Electric Power, Nanning 530023, Guangxi, China)

Abstract: In order to achieve effective energy conservation while meeting lighting needs, a self-adaptive energy-saving optimization control method for indoor and outdoor lighting equipment in high-rise buildings based on Internet of Things technology is proposed. It establishes a lighting equipment control structure under the Internet of Things framework, and uses ZigBee network to achieve communication between the lower computer and the upper computer. The lower computer obtains lighting equipment data through sensors, forwards and manages it through the network, and then transmits it to the upper computer. The upper computer adjusts the position and brightness of lighting equipment through RBF neural network based on the received data and energy efficiency evaluation, in order to achieve adaptive energy-saving optimization control. The experiment is conducted on a high-rise building to test the communication performance of the ZigBee network. The results show that the bit error rate is below 1%, and data transmission is stable and reliable. Using the RBF neural network to calculate illuminance at different locations, the deviation from actual values is not exceed 10 lx, indicating high accuracy. In terms of energy-saving effects, the optimized lighting system significantly reduces power consumption, with nighttime power usage dropping by 50% to 60%. The experimental results show that the ZigBee control network used in this method has better communication performance, being able to accurately calculate the illuminance at various positions has a good energy-saving effect, and the lighting equipment can achieve energy-saving goals at all brightness levels, with good practicality. Therefore, it is suitable for intelligent energy-saving management of both indoor and outdoor lighting in high-rise buildings.

Keywords: Internet of Things technology; high rise building; lighting; energy saving optimization control; ZigBee

中国经济发展迅速, 带动建筑业的发展, 促进高层建筑室内外照明设备市场的需求。照明设备早已深入人们的生活中, 比如建筑墙外的电子屏幕、景观照明以及室内室外的监控照明, 正常办公的各种灯具等, 上述以各种形

式照明的设备, 为人们提供了充足的照明需求^[1]。如果室内照明设备太暗, 影响人们的视觉体验; 照明设备太亮, 轻则眼干、疲劳, 重则头晕、失眠, 影响人们的身体健康。现如今高层建筑室内多为办公场所, 办公室内的照明设备为

收稿日期: 2024-07-30; 录用日期: 2024-09-19

基金项目: 广西教育厅广西青年教师科研项目(2020KY33015)

作者简介: 赵静(1979—), 女, 硕士, 工程师, 研究方向: 建筑设备技术, BIM 技术应用和项目管理系统等。

通信作者: 杨秀谦(1978—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 大数据应用技术, 物联网应用技术。

引用本文: 赵静, 杨秀谦. 高层建筑室内外照明设备自适应节能优化控制方法[J]. 自动化技术与应用, 2026, 45(3): 27-31, 88. (ZHAO Jing, YANG Xiuqian. Adaptive energy-saving optimization control method of indoor and outdoor lighting equipment in high-rise buildings[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026, 45(3): 27-31, 88.)

满足正常照明需求,所有的灯具的亮度较高,从而浪费大量的能源^[2-3]。如今,全球气候变暖,全国倡导低碳节能,怎样控制高层建筑室内外照明设备既能满足人们照明需求又达到节能目的,值得人们深入探究。

郭敬等为节约照明设备的能耗,将遗传算法和模拟退火算法相结合,首先运用神经网络得到建筑室内外照明设备的照度,评估该照明设备的舒适度,作为后续适应函数,然后运用遗传算法求出最优个体,再运用模拟退火处理最优个体,增加其搜索能力;根据遗传算法的迭代次数得到最优节能控制参数,节约照明设备的能耗^[4]。许馨尹等运用控制器分析传感器收集人们的期望照度,运用约束控制方法得到照明设备的调光值,将照明设备耗用的能源作为照明设备控制的目标函数,保证该照明设备设置的照度值可以自动调节,从而节约能源^[5]。安军利用低功耗的EnOcean无线网络、基于人员与环境感应的自适应策略以及经典的PID闭环控制有机结合,构建了无线传感与闭环控制系统,达到照明节能的目的^[6]。但上述方法获取高层建筑室内外照明设备的目标函数的方式较为复杂,获取的照明设备照度是平均照度,无法获取不同位置的照明设备的照度分布,难以实现理想的高层建筑室内外照明设备节能优化控制。

物联网是指结合互联网和信息传感设备形成的网络,以互联网为基础,运用无线通信技术连接所有物体,便于信息交换的物与物网络。物联网技术能够实时监测该网络中高层建筑室内外所有照明设备的具体状况,并控制所有照明设备^[7-10]。

为此,本文提出基于物联网技术的高层建筑室内外照明设备自适应节能优化控制方法,节约能源。

1 高层建筑照明自适应节能控制

1.1 基于物联网技术的照明设备控制结构

高层建筑室内外照明设备控制结构由上位机和下位机构成。下位机为由 ZigBee 无线通信组件和高层建筑室内外照明设备终端组成的 ZigBee 控制网络,主要负责采集及传输高层建筑室内外照明设备数据信息,以及传送上位机发送的控制命令。上位机包括控制中心以及处理软件,负责接收下位机采集的高层建筑室内外照明设备的数据,并将控制指令发送至下机位。

1.2 ZigBee 控制网络

ZigBee 是一种无线双向通信技术,具有较低的功耗和成本、较短的时间延迟等特点。ZigBee 的传输距离为 10~75 m,其传输距离可扩展至上百米甚至几公里,应用于高层建筑室内外照明设备自适应节能优化控制领域^[11-13]。

ZigBee 控制网络包括协调器节点、路由器节点以及终端节点,各个节点的作用不同。在高层建筑室内外照明设备控制结构下位机中,协调器处于 ZigBee 控制网络的控制中心,其功能主要是维护、管理整个 ZigBee 控制网络,如开启无线网络、管理该网络中的各个节点,传递网络信

号、将网络中节点信息储存、与上位机通信等^[14]。路由器节点负责向终端节点和协调器传递信息,搜索高层建筑室内外应用无线网络,扩大 ZigBee 控制网络区域,加入更多的照明设备终端节点。终端节点处于高层建筑室内外照明设备终端,有多种传感器位于终端节点处,按照上位机发送的控制指令完成照明设备数据采集工作。在高层建筑室内外照明设备控制结构正常运行时,上位机发送控制命令,协调器将控制命令转发至照明设备终端节点,终端节点接收该控制命令后,完成高层建筑室内外照明设备相关数据采集后将采集结果反向传送给上位机^[15-16]。

1.3 照明设备节能优化控制方法

1.3.1 照明设备节能控制标准

高层建筑室内外照明设备控制结构中的上位机需要对下位机采集传输的有效数据信息进行预测,获取高层建筑室内外照明需求。

首先,对高层建筑室内外照明设备所耗用的能源进行分析。高层建筑室内外照明设备的特点是光效强、使用年限长,照明设备正常照明时只需要满足高层建筑室内和室外基本照明效果即可,从而避免耗费额外的能源。将高层建筑室内室外照明设备的光效以及使用年限作为评估该照明设备的节能指标^[17],其表达式为

$$\eta = \frac{1}{p} \int \phi(t) r(t) \quad (1)$$

式中,高层建筑室内外照明设备点光源总能效为 η ,该照明设备的额定功率和电光源光效分别为 p 和 t ,照明设备的光通量为 ϕ ,使用年限为 r 。

在上位机运算高层建筑室内外照明需求的过程中,由于高层建筑室内外的照明设备发出的部分光线会被照明设备的反射面吸收,为此需分析高层建筑室内外照明设备空间位置、照明设备数量、功率、光通量、反光面对空间任意点照度的影响^[18-19],运用系数法得到各影响因素下的照明设备的系数值,该系数值应小于 1。

在确定系数值的基础上,通过假设空间点光源 n ,建立点光源辐射的强度公式来分析照明设备空间位置对 n 所对应的空间点照度 E_n 的影响,表达式为

$$E_n = \frac{I}{4\pi z^2} nt \quad (2)$$

式中,点光源的光照强度为 I ,照明设备空间位置系数为 z , $4\pi z^2$ 代表设备与点光源的距离。

根据点光源的辐照度公式可知,在已知 E_n 的情况下,与 I 和 z 呈负相关分布状态,即照度随着距离的增加而减小。由此可知,照明设备的空间位置对于照度的分布具有直接影响。距离远离照明设备的区域,光线经过传播时会遇到能量损失(衰减),该区域的照度会相对较低。而距离靠近照明设备的区域能够更容易受到附近光源的照射,该区域的照度会相对较高。

结合式(1)与已知参数 n ,通过 ϕ 和照明设备区域面积分析照明设备数量对 n 所对应的空间点照度 E_n 的影响,表达式为

$$E_n = \frac{N|\phi|}{S} \tag{3}$$

式中,正常照明设备的数量为 N ,照明设备照亮的高层建筑室区域面积为 S 。由此可知,照明设备的数量决定了照明的亮度水平和均匀度,通过增加照明设备的数量可以提供更多的光线源,并在空间中更均匀地分布光线,增加相应区域的照度。减少照明设备的数量将导致光线源较少,无法在空间中均匀地分布。因此,相应区域的照度可能较低。

基于式(2)、(3)将平面空间光源点 n 作为坐标系原点,构建平面反光面。反光面上的一点 $p(x_1, y_1)$ 趋近于坐标系 x 轴上,与原点的距离为 D ,反射率为 ρ , n 到该点照度 E_{np} 的表达式为

$$E_{np} = n \left| \frac{I}{2\pi D^2} \right|^\rho \tag{4}$$

结合 E_{np} ,考虑反光面对照度的贡献。根据反射的基本原理,反射面上的 $p(x_1, y_1)$ 可以接收到来自光源的反射光线。假设反射光线与反光面垂直入射,由于反光面的反射特性,利用 ρ 衡量光线的反射效果。

$$E_p = E_{np}(1 + \rho) \tag{5}$$

式中,反光面上光源点的照度为 E_p 。

由上式可知,适当选择和布置具有高反射率的反光面,可以提高光线的反射能力。通过反射作用来增加光线在空间中的传播路径和分布,从而改善照明效果和提高照度水平使其能够更好地到达其他区域。

其中,当光线照射到具有高反射率的反光面时,反光面可以将光线反射回空间中,并将光线重新分散和扩散。通过这种反射作用,原本只能直接照射到设备附近的光线能够被均匀地反射到其他区域,增加了更多的照明路径,使得光线能够更好地到达其他区域,达到提高整个区域的照度水平的效果。

结合式(1)~(5),通过系数法得到高层建筑室内屋顶反射系数,即整个空间照明设备的平均照度 E_{av} ,并以最大化照明设备的平均照度作为优化目标,构建目标函数。表达式为

$$\max E_{av} = (N\phi K_L \eta) \times \frac{1}{S} \tag{6}$$

式中,利用系数为 K_L ,照明设备的效率为 η 。

目标函数的最小照度约束条件为

$$E_{av} \geq E_{min} \tag{7}$$

式中, E_{min} 为照明设备最小照度。

照度范围约束条件为

$$|E'_{min}| \leq |E_{av}| \leq |E'_{max}| \tag{8}$$

式中,最小照度限制为 $|E'_{min}|$,即照度限制下界,最大照度限制为 $|E'_{max}|$,即照度限制上界。

考虑照明设备的功率和能源消耗,将总能耗限制在一个预设的上限值 κ 进行节能控制。能源消耗约束条件为

$$\phi + \tilde{\phi} \leq \kappa \tag{9}$$

式中,照明设备反射光通量为 $\tilde{\phi}$ 。

1.3.2 自适应节能优化控制方法

为适应高层建筑室内外照明设备的安装形式不同,本文通过径向基函数(radial basis function, RBF)神经网络结构计算出照明设备的总照度,根据实际照度需求 E_{av} ,通过调整照明设备的参数,使得预测出的实际总照度值逐渐接近目标照度值 $\max E_{av}$,从而实现对整个空间平均照度的优化。

首先判断高层建筑室内和室外照明设备的类型,结合该照明设备的配光曲线,得到照明设备发射出的直射光照射水平地面的照度值。

在优化过程中,通过分析建筑结构和使用空间的特点,确定照明设备的最佳位置布置 A ,该位置的照度为 E_A ,是高层建筑室内第 m 个照明设备在 A 处产生的照度的叠加。在照明设备的型号以及安装位置既定时, A 处照明设备的照度 E_A 是指照明设备的调光比 d_i 的函数,即照明设备的实际与最大光通量之比,其表达式为

$$E_A = \sum_{i=1}^m f_i(x, y) \times d_i \tag{10}$$

式中,当照明设备的调光比为1时,第 i 个照明设备在 A 处产生的照度为 $f_i(x, y)$ 。因为 $f_i(x, y)$ 是非线性函数,所以照明设备在 A 处与该处产生的照度之间关系是非线性。径向基函数(radial basis function, RBF)神经网络结构简单且具有非线性函数的所有优点。本文运用 RBF 神经网络拟合高层建筑室内外的单个照明设备的照度 $f_i(x, y)$,叠加所有的照明设备在 A 处产生的照度得到 E_A 。

RBF 神经网络由输入、输出以及隐含层组成,其具体结构如图1所示。

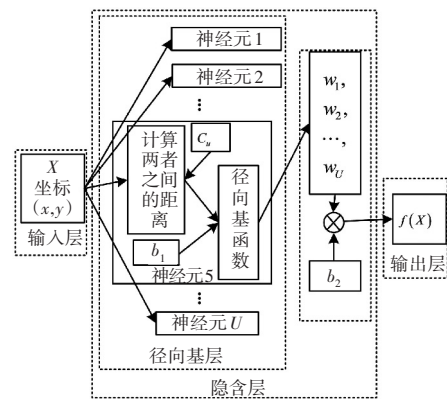


图1 基于RBF神经网络的节能优化控制结构

Fig. 1 Energy-saving optimization control structure based on RBF neural network

用 RBF 神经网络拟合单个照明设备的照度,在该网络输入层中输入 X , X 表示照明设备所在位置的坐标 (x, y) 。径向基层中的神经元计算出 X 到神经元中心之间的距离,再与给定的偏置系数 b_1 相乘, b_1 直接影响 RBF 形状。将径向基层得到的结果传递到线性层后与权值相乘,然后加上常数偏置 b_2 ,最后由输出层输出结果。

RBF 神经网络输出为该照明设备所在位置的照

度 $f(X)$, 其表达式为

$$f(X) = \sum_{u=1}^U w_u \times \exp(-(b_1 \times \|X - C_u\|_2)^2) + b_2 \quad (11)$$

式中, RBF 网络中径向基神经元 U 的中心为 C_u , 权值向量为 w_u , 常数偏置分别为 b_1 和 b_2 。

根据式 (11) 即可得到高层建筑室内外照明设备位于任意位置产生的照度和照明设备调光比之间的关系。

重复上述过程, 得到各个位置的照明设备在 A 处的照度, 叠加所有照度得到 A 处的总照度 E_A , 其具体表达式为

$$E_A = \sum_i^m f(X) \times d_i \quad (12)$$

通过上述过程得到各个位置照明设备的总照度 E_A 后, 根据实际照度需求 E_{av} , 将照明设备安装在不同位置, 满足以节能为前提的高层建筑室内外照明需求。

然后从节能、运行和实施三阶段实行照明设备自适应节能优化控制。为保证高层建筑室内外照明设备达到照明标准, 照明设备消耗能源是可再生能源, 该设备可自适应节能。运行阶段选择不同亮度档位的照明设备, 既满足不同需求的光照强度, 又能够节约能源。

通过分析高层建筑室内外照明设备自适应节能控制需求后, 在不同季节、天气、时间下, 高层建筑室内外的照明需求不同, 设置高层建筑室内外照明设备自适应节能优化控制方法, 具体流程如图 2 所示。

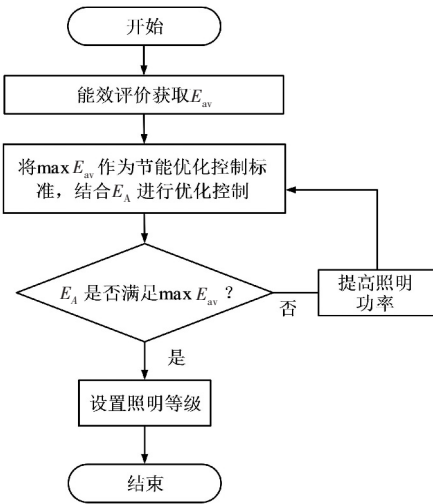


图 2 照明设备自适应节能优化控制流程

Fig. 2 Adaptive energy-saving optimization control flow for lighting equipment

能效评价是用于落实高层建筑室内外照明设备控制的能效信息, 反映出照明设备照明所耗用的能源和照明服务间的关系, 通过能效评价可获取高层建筑室内外照明需求。

通过能效评价获取照明设备的平均照度 E_{av} , 将其作为高层建筑室内外照明需求标准; 查看照明设备的实际照度 E_A 是否满足 $\max E_{av}$, 如果达不到照明需求, 则需要调节照明设备的照明功率。

在上述流程中, 上位机控制中心要从下位机 ZigBee 控制网络采集数据源中选取高层建筑室内外照明设备的相关数据、照明设备所耗用的能量数据、控制照明设备的

控制数据, 将这些数据重组后存储至上位机控制中心数据库中, 用于高层建筑室内外照明设备控制。由于节能优化控制照明设备数据不会被修改, 但采集高层建筑室内外照明设备数据过程中, 网络通信和照明设备实际开销是由控制中心数据库更新, 因此数据库的信息仍为初始信息。如果目前时刻比上一时刻数据稳定, 由于外界环境影响, 应当根据上一时刻的数据进行预测, 根据预测结果进一步实现自适应节能优化控制。在预测的过程中会产生误差率, 误差率直接影响高层建筑室内外照明设备自适应节能优化控制的有效性, 为降低误差率, 定期更新数据库中数据信息, 获取更加精准的高层建筑室内外照明设备自适应节能优化控制效果。

2 实验分析

以某栋高层建筑为实验对象, 该高层建筑共计 18 层, 每个楼层高度为 3 m, 建筑内每个房间的面积为 120 m², 房间天花板高度为 2.7 m, 每层建筑面积约为 1 243 m², 室内照明设备共计 1 084 个, 每层楼有 60 个照明设备, 均匀分布在每个房间中, 室外照明设备 38 个, 围绕建筑立面分布在建筑的外部, 照明设备控制模式为低、中、高等级的多档位控制。该建筑室内外照明设备的工作电压为 85~265 V, 光源类型主要为 LED 灯、节能灯等, 主要功率分别为 3、6、10 W。

建筑内围护结构包括额定电压为 220 V、保护等级为 IP65 的电力配电箱、触摸屏控制、输入电压为 24 V DC、输出接口为模拟信号输出的控制面板、DALI 调光模式的灯具控制系统等基础设施, 墙面的反射率为 0.8, 即有 80% 的光线被墙面反射。

在利用本文方法进行优化控制过程中, 具体优化控制变量为照明设备功率档位与照明设备数量, 采用宽度及学习率为 0.14 的高斯径向基函数进行空间照度预测。其中, RBF 神经网络输入层节点数量为 3、隐藏层神经元数量为 25 个、输出层节点数量为 1。

首先验证本文方法运用 ZigBee 控制网络的通信性能, 将上位机接收到的照明设备相关数据和下位机的 ZigBee 控制网络采集的数据相比较, 测试本文方法应用的 ZigBee 控制网络的通信情况, 测试结果如表 1 所示。

表 1 网络测试结果

Tab. 1 Network test results

测试时间/ min	发送字节数	正确接收字 节数	错误接收字 节数	误码率/%
60	6 500	6 450	50	0.76
120	13 000	12 911	89	0.68
180	18 500	18 394	106	0.57
240	26 000	25 902	98	0.37
300	32 500	32 393	107	0.32

分析表 1 可知, 运用 ZigBee 网络传输数据的误码率均小于 1%。ZigBee 网络每隔 60 min 所传输的字节数成倍数增长, 随着时间的增长该网络传输的字节越多, 误码

率越来越低; ZigBee 网络在 180 min 和 300 min 时,接收的错误字节数相差 1,实际误码率相差 25%; ZigBee 网络在 300 min 时,接收错误字节数比 60 min 时接收的错误字节数多 57,实际误码率比 60 min 时降低 44%;实验说明:本文方法运用 ZigBee 网络传输数据的抗干扰性能较好,能够稳定、准确地传输数据,其通信性能较好。

以该高层建筑 12 层中位于 A、B、C、D 4 处的照明设备为实验对象,运用本文方法计算 4 处不同位置的照度,验证本文方法获取照度的准确度,结果如图 3 所示。

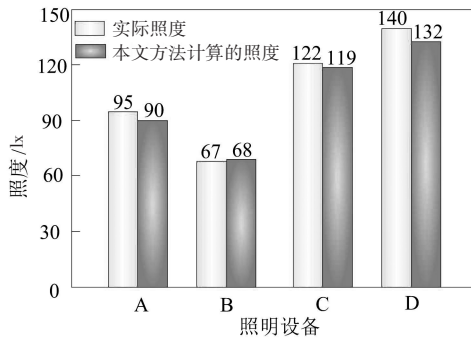


图 3 不同位置照明设备的照度

Fig. 3 Illuminance of lighting equipment at different locations

分析图 3 可知,运用本文方法计算的照度值与实际照度的偏差不超过 10 lx。本文方法计算到的 B 处照明设备的照度为 68 lx,而实际照度为 67 lx,计算照度值与实际照度的偏差最小,只有 1 lx;本文计算的 D 处照明设备的照度为 132 lx,实际照度为 140 lx,该处计算照度值与实际照度的偏差最大为 8 lx。这主要是由于本文方法利用 RBF 神经网络拟合单个照明设备的照度,最终输出为该照明设备所在位置的照度,可以有效计算照明设备发射出的直射光照射到水平地面的照度值。实验表明,本文方法能够计算出不同位置的照明设备的照度,计算结果较为准确。

验证本文方法应用后的节能效果,设高层建筑 12 层中室内 B 处照明设备每天照明时间为 18:00—次日 05:00,运用本文方法进行优化控制,优化控制后该处照明设备的功耗如图 4 所示。

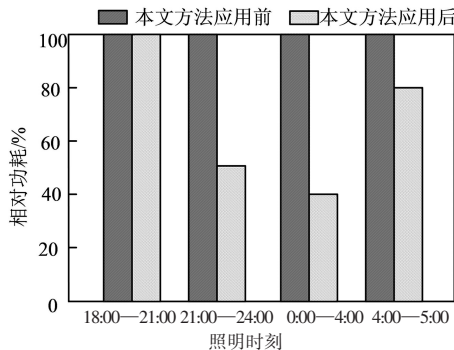


图 4 本文方法应用前后 B 处照明设备功耗

Fig. 4 Power consumption of lighting equipment at location B before and after applying the proposed method

分析图 4 可知,本文方法应用后,高层建筑室内 B 处照明设备的相对功耗降低。在 21:00—24:00,本文方法应用后高层建筑室内 B 处照明设备在 3 h 内平均功耗为

本文方法应用前的 50%,功耗降低 50%;本文方法应用后在 0:00—4:00、4:00—5:00 时,功耗分别降低 60%、20%;本文方法的应用可显著降低高层建筑室内 B 处照明设备功耗,原因在于本文方法可依据该高层建筑楼层 B 位置的实际照明需求合理布设照明设备位置,并调节照明设备亮度档位,以节能为前提达到更好的节能优化控制效果。

本文方法应用该高层建筑后 8 层照明设备的用电量的变化情况,如表 2 所示。

表 2 本文方法应用前后用电量

Tab. 2 Power consumption before and after applying the proposed method

楼层	办公室/间	人数	照明设备/个	正常电量/kWh	优化控制后电量/kWh
11	3	125	61	586.13	576.83
12	5	149	65	599.96	576.52
13	4	125	60	580.36	575.62
14	2	131	66	610.34	579.13
15	2	104	62	594.31	574.52
16	6	156	63	596.43	576.23
17	1	105	60	578.72	575.41
18	3	133	61	586.13	575.63

分析表 2 可知,运用本文方法优化控制后该高层建筑室内照明设备的用电量低于该照明设备的实际电量。该高层建筑第 12 层中,运用本文方法优化控制后照明设备的用电量比实际用电量降低 23.44 kWh;该高层建筑第 17 层中照明设备的实际用电量最低,本文方法优化控制后 17 层照明设备用电量降低 3.31 kWh。运用本文方法优化控制后的照明设备用电量均控制在 570 kWh 左右。实验表明,本文方法应用后每层平均节约 15 kWh 的用电量,适用于高层建筑的室内工作环境的节能优化控制。

运用本文方法对该栋高层建筑室内外照明设备进行自适应节能优化控制,并运用该栋建筑的能耗监测平台展示本文方法应用结果,验证本文方法的实用性,验证结果如表 3 所示。

表 3 本文方法优化控制结果

Tab. 3 Optimization control results of the proposed method

照明设备亮度	功率/W	耗电量/kWh	省电量/kWh	省电率/%	控制延时/s
1 档	18.9	0.014	0.013	47.90	<0.5
2 档	26.7	0.022	0.011	34.53	<0.4
3 档	36.9	0.029	0.008	17.86	<0.5
4 档	48.6	0.038	0.002	4.19	<0.6

分析表 3 可知,运用本文方法优化后照明设备在 4 个档位下亮度可任意变换,照明设备在任意档位的亮度,均能节约一定的电量。照明设备亮度档位越低节约的电量越多,且本文方法的控制延时较短。主要是由于本文方法利用 RBF 神经网络结构从节能、运行和实施三阶段实行照明设备自适应节能优化控制,有效保障高层建筑室内外照明设备在达到照明标准的同时,可以进行自适应节能。实验说明,本文方法可以通过优化控制变量和预测照度,根据实际需求和条件灵活调整照明设备的功率及亮度档

(下转第 88 页)