

建筑电气节能技术研究

王世英, 张伟*

临沂大学基建处, 山东 临沂

收稿日期: 2025年8月11日; 录用日期: 2025年9月3日; 发布日期: 2025年9月12日

摘要

随着我国经济的快速发展, 能源紧缺问题也更加突出, 节约能源和提高能源利用率将关系到经济的可持续发展。我国建筑业的持续稳定的发展, 建筑能源浪费越来越大, 但对建筑而言, 无论是用电设备还是照明系统, 都存在着巨大的节能潜力。因此研究建筑电气节能具有重要的意义。文章首先分析了建筑电气节能的研究背景和意义, 提出目前建筑电气节能中存在的问题以及电气节能应遵循的原则。然后在国内外研究的基础上分析了建筑电气节能的主要措施, 得出建筑电气节能的具体方案, 文章介绍了变压器、输电线路和照明系统的节能方案和技术措施。

关键词

建筑电气, 节能, 照明系统, 技术方案

Research on Energy Saving Technology in Building Electrical Engineering

Shiying Wang, Wei Zhang*

Infrastructure Department, Linyi University, Linyi Shandong

Received: Aug. 11th, 2025; accepted: Sep. 3rd, 2025; published: Sep. 12th, 2025

Abstract

With the rapid development of China's economy, the problem of energy shortage has become more prominent. Saving energy and improving energy utilization will be related to the sustainable development of the economy. The sustained and stable development of China's construction industry has led to increasing energy waste in buildings. However, for buildings, both electrical equipment and lighting systems have enormous energy-saving potential. Therefore, studying building electrical energy efficiency is of great significance. The article first analyzes the research background and significance

*通讯作者。

文章引用: 王世英, 张伟. 建筑电气节能技术研究[J]. 电气工程, 2025, 13(3): 72-80.
DOI: 10.12677/jee.2025.133008

of building electrical energy conservation, proposes the problems currently existing in building electrical energy conservation, and the principles that electrical energy conservation should follow. Then, based on domestic and international research, the main measures for energy conservation in building electrical systems were analyzed, and specific energy-saving plans for building electrical systems were derived. The article introduced energy-saving plans and technical measures for transformers, transmission lines, and lighting systems.

Keywords

Building Electrical, Energy Conservation, Lighting System, Technical Solutions

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 建筑电气节能技术的研究背景和意义

能源紧缺是当前世界面临的一个重要问题,随着工业化程度的提高,必须消耗大量自然资源,能源在促进社会经济快速发展的同时,它对经济发展的约束作用也日益显现。节能是社会生存和发展的大事。据统计,在发达国家,建筑能耗通常占全国总能耗的百分之三十到四十。我国的建筑节能的研究和应用起步较晚,还处于初步发展的阶段,建筑能耗的比率比发达国家要高很多,建筑电气节能是指通过对建筑电气设备的配置、管理和控制,在保证能够满足建筑物基本功能的情况下,尽可能地提高能源利用率,降低能耗[1]。也就是在不降低建筑物功能和标准的前提下,在变压器的选择、电缆及线路选择、照明节能、功率因数等方面采取相应的措施。

1.2. 国内外研究现状

1.2.1. 国外研究现状

在 20 世纪 70 年代,爆发了全球性能源危机,各国开始了对本国能源结构和利用情况进行了统计分析,达成了一个共识,建筑耗能是重要的能耗组成部分,要根据实际情况对建筑节能设计、施工、维护的制度进行规范和完善,各国分别制定了不同建筑节能规范。从 1979 年开始,美国能源信息机构(Energy Information Administration, EIA)为了掌握国家商用建筑物的能源特性信息,对国内的建筑物的能源消耗和支出进行了详细的统计,涉及建筑物的人员、分类、所属关系、照明、燃料、太阳辐射状况、年总能耗、维护成本等,并根据这些数据建立了建筑能耗统计数据库。1995 年,美国绿色建筑委员会(U. S Green Building Council, USGBC)建立了一套用于评估可持续性绿色建筑的国家标准(Leadership in Energy and Environmental Design, LEED),其涉及了以下六个方面:材料与资源 27%、能源与环境 27%、室内环境质量和革新设计 20%、可持续的场地设计 18%、有效利用水资源 8%。2000 年 10 月,由加拿大自然资源部(Natural Resources Canada)发起和组织,19 个国家积极参与,建立了绿色建筑挑战(Green Building Challenge, GBC2000),建立了一套性能指标,用以专业评价建筑的环境性能。英国建筑研究绿色建筑评估体系(Building Research Establishment Environmental Assessment Method, BREEAM),涵盖管理、能源、原材料、运输、水、健康和舒适、土地使用、地区生态和污染等九大方面。现阶段,发达国家已经有了一套相对较为完善的建筑能耗评价体系和性能指标。

1.2.2. 国内研究现状

在我国, 建筑节能仍属于新兴产业, 但是, 建筑行业的高能耗问题已经在全国范围内得到了重视, 有关部门也开始纷纷出台相关政策予以支持。现在, 我国已经通过并实施的建筑节能标准有: 《绿色建筑评价标准》《普通照明用自镇流荧光灯能效限定值及能效等级》《三相配电变压器能效限定值及节能评价值》《普通照明用双端荧光灯能效限定值及能效等级》《建筑节能施工质量验收规范》等。随着我国加入世贸组织, 我国与国际社会交流也更加深入, 这使得我们更容易看到自己的不足, 并通过学习和研究国外的已经相对成熟的技术和设计理念, 将其应用到我国的发展中来。例如我国现在基本上已经淘汰了体积大、性能差且不防火的油断路器, 而采用更为先进的六氟化硫断路器或真空断路器。开始在电动机中使用变频技术, 并在电力设备控制中逐渐加入自动和智能控制技术[2]。在新能源方面, 我国也在加大力度对太阳能发电、风力发电等的投入, 新兴的可再生能源的利用与研究已是大势所趋。在照明工程方面, 智能照明控制技术也已经逐步应用在建筑电气中了。

虽然建筑电气节能在我国备受关注, 也取得了一定的成果, 但由于我国是一个发展中国家, 对建筑节能的研究起步也较晚, 尚存在一些问题亟待解决。

(1) 建筑电气设计缺陷。建筑电气的设计对整个工程的节能有决定性的意义。由于设计单位和设计人员的重视不够, 设计周期较短以及设计费用与经济效益不挂钩等客观因素, 加上许多设计人员主观上不追求节能效果, 盲目追求采用新技术, 而实际上潮流技术未必是最合适、最节能的, 因为每一种技术方案都有适用范围和约束条件。

(2) 标准、规范不够全面、系统。目前, 尚没有标准、规范或者规定将电气节能进行全面系统的阐述, 从而导致不少的工程实际选型不合适, 如变压器容量过大, 运行效率低; 导线、电缆选择不合适, 线损大; 照明光源选择不当, 造成照明浪费。

(3) 变频设备投入过量, 给供电系统引入了大量的谐波。

2. 建筑电气节能措施

建筑电气节能, 从优化设计入手, 对设计阶段和运行阶段的节能措施分别进行研究, 可以通过以下几个方面来提高建筑电气的节能水平。

2.1. 优化设计建筑电气系统

在进行电气设计时, 设计人员要了解工程的具体情况, 应对每个部分工程进行详细的电气负荷计算, 并采取相应的节能措施, 根据负荷的特点以及建筑物的结构特征等因素对设计进行全面的经济技术分析, 制定符合实际情况的设计方案。设计人员及时了解、掌握各种节能技术的发展, 在技术经济都满足的前提下, 尽可能多地采用社会效益高的相关节能措施。有关的政府部门也应通过相关领域的学会等研究单位行使部分设计图纸的审查权利, 增强对建筑节能设计的审查, 使其严格按照国家的有关节能标准实施, 各电气分项应根据实际情况制定合适的节能措施。在供配电系统设计中应充分考虑负荷容量、负荷特点及分布情况、供电距离等因素, 而且要使系统保证供电可靠性的前提下尽量合理简单, 在设计的时候一般将变配电所设计在负荷的中心或靠近中心处, 这样可以缩短配电距离, 以减少线损[3]。

2.2. 选择合适的配电电压等级

根据电能损耗特点, 供电电压等级越高, 电能传输损耗越小, 因此应根据相关准则选用较高的配电电压等级, 并使电源处于负荷中心位置。一般情况下, 当变压器容量在 50 kVA 及以下或用电设备的总容量在 100 kW 及以下时, 可采用 380/220 V 供电, 如有特殊要求, 也可用 10 kV 供电; 当用电设备容量较大时应采用 10 kV 电源供电; 还应根据当地的实际供电条件来选择单台大容量用电设备的供电电压, 同

时也应该考虑电动机启动时对变压器的影响; 对于低压普通照明负荷, 当负荷为低压普通照明时, 如果流过线路的电流超过 40 A 的时候, 宜采用 380/220 V 供电, 反之宜采用 220 V 单相供电[4]。

2.3. 选择合适的电源位置

为了使供电过程中尽可能地减少线路损耗, 应当将电源设置在系统的负荷中心处, 此时产生的输电线路损耗最小, 亦能达到节能的效果。低压的供电半径为 250 米, 取室内配电线路为 50 米, 低压供电半径为 200 米, 是指变电所的供电半径。

电流在线路中传输时会产生电能损耗, 其大小一般与线路单位长度电阻、线路电流和输电线路长度有关, 其表达式为(2.1) (2.2):

$$P = I^2 R \quad (2.1)$$

$$R = R_0 L \quad (2.2)$$

其中, P 为输线路损耗; R 为输电网线路电阻; R_0 为输电网线路单位长度电阻; L 输电网输电线路长度; I 为输电网输电电流;

由上式可知, 随着供电半径的增大, 输电线路的增长, 输电网线路损耗就越大, 因此为了减少线路损耗, 达到节能目的, 要尽量减少线路的长度和供电半径, 使建筑物的电源易于放在负荷的中心, 减小供电半径和输电网线路长度。

若负荷均匀地分布在建筑内, 则负荷圆的圆心即为负荷中心, 当负荷分布不均匀时, 负荷中心应该在负荷集中的一侧。

下面是由负荷功率矩法确定负荷中心的计算方法:

设有负荷 P_1 、 P_2 、 P_3 (都为有功计算负荷), 他们在直角坐标系中的坐标分别为 $P_1(x_1, y_1)$ 、 $P_2(x_2, y_2)$ 、 $P_3(x_3, y_3)$, 现假设总负荷 $P = \sum P_i = P_1 + P_2 + P_3$ 的负荷中心位于坐标 $P = (x, y)$ 处, 可得式(2.3) (2.4)

$$x \sum P_i = P_1 x_1 + P_2 x_2 + P_3 x_3 \quad (2.3)$$

$$y \sum P_i = P_1 y_1 + P_2 y_2 + P_3 y_3 \quad (2.4)$$

可得负荷中心坐标为式(2.5) (2.6):

$$x = \frac{P_1 x_1 + P_2 x_2 + P_3 x_3}{\sum P_i} \quad (2.5)$$

$$y = \frac{P_1 y_1 + P_2 y_2 + P_3 y_3}{\sum P_i} \quad (2.6)$$

由此可以计算出负荷中心的位置, 即电源安装的位置。

2.4. 提高功率因数

配电系统中, 有功功率与视在功率之比叫功率因数, 用 $\cos \varphi$ 表示, 如式(2.7), 其直接表征电源利用的效率。

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (2.7)$$

功率因数越大, 说明视在功率中的有功功率越大。但是由于非线性负荷的投入, 大量的电感性设备的无功功率很大。如果通过提高自然功率因数的方法还是达不到要求时, 应进行人为无功补偿, 实际应用中可采用在感性负载上并联电容器、枢纽变电站装设同步调相机、远距离输电末端的大用户装设无功

静止补偿器等措施改善功率因数。

2.5. 减少三相不平衡

三相不平衡是指在电力系统正常运行时, 由于元件的三相参数不对称, 导致三相电流或电压幅值不一致, 幅值差超过规定要求。具体数值用三相不平衡度来衡量, 其值为三相系统中电压、电流负序基波分量或零序基波分量与正序基波分量的均方根比值。当三相不平衡时, 电力系统的损耗将会增大, 因此必须控制三相不平衡度。

3. 建筑电气节能技术方案研究

建筑电气节能技术方案设计的原则, 首先必须要在满足建筑内各电气系统正常运行所需动力的基础上, 依据供电可靠性、保证优质的供电质量等方面来优化建筑内的供配电系统, 使建筑电气系统充分利用电能资源, 以达到系统的经济运行。其次技术方案应结合工程的实际情况, 考虑实际中的经济效益, 合理地选择节能电气设备及相关材料, 使其增加的费用能在最短的时间内, 通过节约电能等手段来抵消, 以此提高建筑电气系统运行的经济性能。再次要充分考虑建筑内部用电电压等级、用电设备、输电线路等因素, 通过相应技术措施尽可能消除或减少电能的损失[5]。

3.1. 配电变压器节能技术方案研究

3.1.1. 变压器损耗

变压器在运行的过程中要产生有功功率损耗 ΔP (kW) 和无功损耗 ΔQ (kVar), 有功损耗包括空载损耗和负载损耗两部分组成。无功损耗是变压器在运行中通过电磁感应来完成变压的, 在运行的过程中变压器自身的无功功率损耗将远大于其有功损耗。变压器的综合功率的损耗是由变压器自身的有功损耗和无功损耗而增加的有功功率损耗。其计算公式为(3.1) (3.2) (3.3):

$$\Delta P_z = \Delta P + K_Q \cdot \Delta Q \quad (3.1)$$

或

$$\Delta P_z = P_{0z} + \beta^2 \cdot P_{kz} \quad (3.2)$$

$$\Delta P_z \% = (P_{0z} + \beta^2 \cdot P_{kz}) / (\beta \cdot S_N \cdot \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_k) \times 100\% \quad (3.3)$$

其中 K_Q 为无功经济当量, 其大小与变压器在系统中位置相关, 因为它表示当变压器每减少 1kVar 无功功率消耗时, 引起连接系统下降的值;

$P_{0z} = P_0 + K_Q \cdot Q_0$ 为空载综合功率消耗;

$P_{kz} = P_k + K_Q \cdot Q_k$ 为额定负载综合功率消耗。

3.1.2. 合理选择变压器的容量

由于变压器的容量随着变压器负荷率的增大而减小, 而变压器容量越小, 一次性投资就越低, 因此变压器的容量可以按照使变压器的效率最大时的负荷率来选择, 变压器的负荷率用 β 表示, 式(3.4):

$$\beta = \beta_m = \sqrt{\frac{1}{R}} = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}} \quad (3.4)$$

式中: β 变压器的负荷率;

β_m : 变压器效率最高时的负荷率, 一般在 0.5~0.6 之间;

R : 变压器损耗比;

P_0 : 变压器的空载损耗;

P_K : 变压器的铜损, 其大小与通过负荷的电流平方成正比, 是代表变压器绕组上的电阻损耗;
变压器的额定容量用公式(3.5)计算

$$S_e = \frac{P_{js}}{\beta \times \cos \varphi} \quad (3.5)$$

其中: S_e : 变压器的额定容量(KVA);

P_{js} : 设计前的有功功率(KW);

$\cos \varphi$: 其大小一般不能低于 0.9, 为平均功率因数;

由此也可以得出, 变压器的负荷率在 65%~90%时, 其有功电能损耗率最小。此种变压器选择方法对于不同企业性质和生产班制及负荷曲线的情况是较节能的。要想最经济合理地选择变压器的型号, 变压器在运行过程中的年电能损耗必须最小, 其投资也最小, 运行费用也要达到最低[6]。

3.1.3. 变压器经济运行方式的优化

建筑电气系统的节能要同时考虑有功功率节能和无功功率节能的特性; 因此在分析比较变压器节能经济运行方式优化时, 选择综合功率损耗最小时的节能经济运行方式。

以两台双变压器 A 和 B 并列运行时, 由公式(3.6) (3.7)得变压器 A 和 B 的综合功率损耗计算公式分别为:

$$\Delta P_{ZA} = P_{0ZA} + (S_1/S_{NA})^2 P_{KZA} \quad (3.6)$$

$$\Delta P_{ZB} = P_{0ZB} + (S_1/S_{NB})^2 P_{KZB} \quad (3.7)$$

并列运行后总的综合功率损耗为(3.8):

$$\Delta P_{ZAB} = P_{0ZA} + P_{0ZB} \left[S_1 / (S_{NA} + S_{NB}) \right]^2 (P_{KZA} + P_{KZB}) \quad (3.8)$$

假设两台变压器并列运行时其综合损耗相同, 对此处来说即假设 $\Delta P_{ZA} = \Delta P_{ZB}$, 则代入(3.6) (3.7) (3.8) 求解, 可以得到双绕组变压器并列运行时判断其综合功率运行工况技术特性最优的临界条件为(3.14):

$$S_{1LZ}^{A-B} = S_N \sqrt{\frac{P_{0ZA} - P_{0ZB}}{P_{KZB} - P_{KZA}}} = S_N \sqrt{\frac{P_{0A} - P_{0B} + K_Q (Q_{0A} - Q_{0B})}{P_{KA} - P_{KB} + K_Q (Q_{KA} - Q_{KB})}} \quad (3.9)$$

同样可以假设 $\Delta P_{ZA} = \Delta P_{ZAB}$, 同理得到变压器 A 单独运行和 AB 并列运行时 判断其综合功率运行工况技术特性最优的临界条件为(3.10):

$$S_{1LZ}^{A-AB} = \left\{ P_{0ZB} / \left[P_{KZA} / S_{NA}^2 - (P_{KZB} + P_{KZA}) / (S_{NA} + S_{NB})^2 \right] \right\}^{0.5} \quad (3.10)$$

因此在建筑电气系统中, 为达到节能经济运行的目的, 需要经济地分配各变压器间的负载, 从而使各变压器都处于最优经济节能运行模式下, 进而使得变压器总有功和无功损耗降低到最低值。

3.2. 线路节能技术方案研究

建筑电气系统中, 电力电缆由于存在导线电阻, 在其输送电能的过程中会以热的形式消耗一部分功率, 引起电能损耗, 电缆线路的损耗约占发电量的 4%左右, 电缆线路节能也是建筑电气节能的一个重要部分[7]。损耗大小 W 为(3.11):

$$W = I^2 R \quad (3.11)$$

其中, I 为流过导线的电流, 其值随着负荷大小的变化而变化:

R 为单位长度导线电阻。

沿电缆的全部损耗为(3.12):

$$W_l = I^2 R N_p L / 1000 \quad (3.12)$$

其中 L 为电缆传输距离; N_p 为载体导体芯数。

在建筑设计中, 电缆的选择, 要考虑两个方面的费用, 一部分是初始投资, 另一部分是寿命期运行费用, 是评价电缆能源效率费用的有效方法, 其表达式为(3.13):

$$C_T = C_I + C_J \quad (3.13)$$

其中 C_T 为电缆导体的总成本(单位: 元);

C_I 为电缆导体的初始费用;

C_J 为电缆导体在 N 年寿命期内所发热损耗电能费用现值。

电缆导体截面的选取应依据《电力工程电缆设计规范》, 满足工作过程中导体的温升及热稳定性要求, 在实际的工程运用中, 设计人员出于发展的需要, 会放大一至两级的容量来确定电缆截面。经济电流密度法的原理是: 在给定的运行状态下, 通过找出最优的导体截面, 使经济效益最好。

电缆导体经济截面 S_{ec} 为(3.14):

$$S_{ec} = [I_{\max}^2 \times F \times 0.0199 / A]^{0.5} \quad (3.14)$$

3.3. 照明系统节能技术方案研究

建筑电气节能过程中一个非常重要的部分是照明系统的节能, 所以为大幅度降低建筑电气的电能损耗, 就必须采取相应的措施以提高照明系统的节能效果。照明系统作为建筑电气的最大电能消耗单元, 其损耗与诸多因素有关, 其表达式为(3.15):

$$P = T(P_r + P_l + P_s) \quad (3.15)$$

其中 P 为照明电气设备的总耗电量; T 为照明设备使用的时间; P_r 为照明设备的损耗; P_l 为与照明设备配套线路与开关设备的总损耗; P_s 为照明设备电能转换为光能所损失的电能。

照明设备在建筑物中, 要满足光通量的要求, 光通量计算公式为(3.16):

$$F = \frac{EKSZ}{PN} \quad (3.16)$$

其中 E 为室内最小照度; K 为补偿系数; S 为室面积; Z 为照明设备数量; N 为光通量的综合利用小时数。

由上分析可知, 建筑电气中照明系统的综合损耗与 P_r 、 P_l 、 P_s 、 E 、 K 、 S 、 Z 等因素有关, 可以得出在照明系统节能分析设计中, 要充分考虑这些信息结合实际情况, 通过合理有效的搭配和设置, 就可能使照明系统节约大量的电能。

通过改变影响计算照度的因素来提高配光效果, 在建筑电气照明中通常利用系数法来计算, 其计算公式为(3.17)

$$E = \frac{N\phi K_l K_j \eta_D}{S} \quad (3.17)$$

其中 E 为被照面平均强度; K_l 利用系数; K_j 减光系数; η_D 灯具效率; N 灯具个数; ϕ 每个灯具产生光的光通; S 被照面面积。

同时还要选择高效率节能灯具及附件，这是实现建筑电气节能的有效措施，当前，随着 LED 光源的不断发展，其发光效率和显色指数不断提高，其已经取代了传统的荧光灯和白炽灯作为主要的照明光源。它有节能高效、寿命长、安全可靠、响应时间快、环保、体积小、色彩丰富等突出的优点，因此被认为是未来照明技术的发展方向，所以在设计过程中优先选用 LED 光源，能够节约大量电能。

4. 应用实例分析

以一般室内悬挂照明为例，对照明节能作一下分析。房间面积为 55 平方米，环境温度为 35℃。技术指标需求：光源的照度值最小为 50 lux，按平均值 75 lux 考虑，灯具安装高度为 5 米，采用宽光束照明，光照射效率为 60 lm/w (流明/瓦)，照明色彩为中性白，色温 4000 K，每周运行 7 天，每天运行 10 小时，照明器件使用寿命为 50000 小时，照明系统输入交流电压等级为 220 V，功率因数为 0.9。

采用 LED 照明和传统灯具照明两种方式进行试验，其中 LED 照明采用 17 颗 LED 组成的封闭式灯具，LED 的驱动电流为 700 mA；传统照明采用交流电压为 220 V 的金属卤素灯。电力参数与光能参数试验结果如表 1 所示。

Table 1. Comparison of performance between LED lighting and traditional luminaires
表 1. LED 照明和传统灯具照明的性能比较

项目	LED 照明方式	传统照明方式传统照明方式
照明光源与器件数量	17 颗 LED 发光二极管	金属卤素灯
照明器件功率	3W/每颗 LED	150 W
总功率	L7 颗 LED 的总功率是 50 W	150 W
考虑发热损耗，实际消耗功率	57.77 W	187.5 W
光源的光输出总量(流明)	1790 Lm	12500 Lm
考虑损耗，实际光输出	4311 Lm (流明)	6875 Lm
照明器件的平均能效	97.54 Lm/w	83.33 Lm/
考虑损耗实际平均能效	74.62 Lm/w	36.67 Lm/W
系统平均寿命	60000 小时	15000 小时
结温	LED 的平均结温为 61℃	

结果表明，当 LED 的驱动电流为 700 mA 时，LED 组成的封闭式节能灯具就能满足用户应用环境对光量输出、功效和寿命的技术要求，并能有效控制结温在合适值，值得一提的是，LED 系统的总功耗是 57.77 W，而传统灯具照明系统的总功率消耗是 187.5 W，是 LED 的 3.25 倍，所以节能效果显著。LED 的能效为 74.62 Lm/w，而传统灯具照明的能效为只有 36.67 Lm/w，LED 系统的使用寿命可达 60000 小时，而传统灯具照明只有 15000 小时，这些结果表明 LED 照明在节能、提高光能效、运行的可靠性等方面取得了具有显著意义的进步[8]。

对于变压器节能和电缆节能，由于篇幅限制，不再赘述。

5. 结语

在对国内外建筑节能研究的基础上，通过对建筑电气节能措施和具体节能技术方案的研究，提出了对变压器、输电线路、照明系统的节能技术方案，为建筑节能提供了理论基础。同时，随着当前新能源技术的广泛应用，随着光伏、风电的不断普及，建筑节能将会有更广阔的发展空间。

参考文献

- [1] 周佳佳, 相有鑫, 李宾. 建筑节能技术推广应用研究[J]. 现代工程科技, 2025, 4(3): 109-112.
- [2] 田灵江. 关于建筑节能技术路线的思考[J]. 住宅产业, 2024(6): 11-14.
- [3] 方小风. 建筑节能技术与应用[J]. 工程技术, 2023(11): 105-110.
- [4] 徐攀. 建筑节能技术的现状与发展方向[J]. 东方陶瓷, 2024(6): 247-249.
- [5] 董建飞. 住宅建筑节能技术研究与应用[J]. 工业 A, 2024(1): 130-133.
- [6] 汪海忠. 绿色建筑节能技术在建筑电气设计中的应用[J]. 住宅与房地产, 2024(4): 102-104.
- [7] 吴新锋. 建筑节能技术的研究与应用[J]. 城市周刊, 2023(21): 72-74.
- [8] 张宇. 医疗建筑电气节能设计要点分析[J]. 光源与照明, 2025(5): 220-222.