

建筑电气系统中光伏并网技术的应用与能源互补策略研究

霍立民

九易庄宸科技（集团）股份有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]本研究针对建筑电气系统中光伏并网技术的集成应用进行了系统分析，重点探讨了光伏并网系统的运行原理、控制策略以及与储能和其他可再生能源的互补协同机制。通过研究光伏发电在建筑能源系统中的运行特征及能量管理模式，揭示了光伏并网系统在实现建筑节能、优化电力结构、促进低碳发展的关键作用。研究结果表明，采用智能化光伏并网控制技术与多能互补策略，能够有效提升建筑电能利用率，降低系统能耗，并实现建筑电力系统的稳定、高效与绿色运行。文中提出的策略可为未来建筑能源系统的规划设计和运行管理提供理论依据与技术支撑。

[关键词]建筑电气系统；光伏并网；能源互补；智能控制；可再生能源

DOI: 10.33142/aem.v7i11.18401 中图分类号: TU85 文献标识码: A

Research on the Application of Photovoltaic Grid Connection Technology and Energy Complementary Strategies in Building Electrical Systems

HUO Limin

Jiuyi Zhuangchen Technology (Group) Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: This study systematically analyzes the integrated application of photovoltaic grid connected technology in building electrical systems, focusing on the operating principles, control strategies, and complementary and collaborative mechanisms with energy storage and other renewable energy sources of photovoltaic grid connected systems. By studying the operational characteristics and energy management modes of photovoltaic power generation in building energy systems, the key role of photovoltaic grid connected systems in achieving building energy efficiency, optimizing power structure, and promoting low-carbon development has been revealed. The research results indicate that adopting intelligent photovoltaic grid connected control technology and multi energy complementary strategy can effectively improve the utilization rate of building electrical energy, reduce system energy consumption, and achieve stable, efficient, and green operation of building power systems. The strategies proposed in the article can provide theoretical basis and technical support for the planning, design, and operation management of future building energy systems.

Keywords: building electrical system; photovoltaic grid connection; complementary energy; intelligent control; renewable energy

当前，能源转型与碳排放控制已成为全球发展的重要议题。建筑领域作为能源消耗大户，其电力系统的节能与清洁化改造尤为关键。光伏发电技术以其可再生、分布式、零排放的特点，在建筑领域得到了广泛应用。光伏与建筑的结合不仅能实现自发自用、余电上网，还可通过与储能、电网以及其他能源形式的协同，实现能源的高效利用与系统的稳定运行。然而，由于光伏发电的间歇性、随机性以及并网技术复杂性，建筑电气系统在光伏并网运行过程中面临功率波动、电能质量下降和能量调控困难等挑战。研究如何优化光伏并网系统结构、提高控制精度并构建高效的能源互补体系，成为推动绿色建筑发展的重要方向。本文通过对建筑电气系统中光伏并网技术的运行机理、控制策略与能量互补路径进行深入研究，提出切实可行的优化思路，以期为建筑节能与智能化发展提供新参考。

1 建筑电气系统中光伏并网技术的应用背景与现状

1.1 建筑光伏系统的应用模式

建筑光伏系统主要包括屋顶光伏、立面光伏及建筑光

伏一体化（BIPV）三种模式。屋顶光伏是最早应用的形式，安装简便、发电效率高；立面光伏更注重建筑美学与功能结合；BIPV 则将光伏组件直接嵌入建筑材料中，实现结构、功能与能源的统一。近年来，随着技术进步，建筑光伏系统已从单一供电功能向多能源协同和智能管理方向发展。

1.2 光伏并网系统的结构与特点

建筑光伏并网系统由光伏组件、汇流箱、逆变器、并网保护装置及能量管理系统组成。光伏组件将太阳能转化为直流电，经逆变器转换为交流电后接入建筑电网。系统具有灵活性强、分布式运行、能量可调度等特点。并网运行可实现自发自用、余电上网，从而减轻公共电网的供电压力，实现经济与环保的双重效益。

1.3 发展现状与存在问题

我国光伏装机容量位居世界前列，但建筑光伏并网系统仍存在应用比例低、技术集成度不足、能量管理不完善等问题。部分建筑在设计阶段未充分考虑光伏系统与建筑电气结构的匹配性，导致系统运行效率低、并网波动性大。

特别是在高密度城市建筑中,受限于建筑朝向与光照条件,光伏系统发电能力波动明显,亟需通过技术优化实现高效并网与稳定输出。

2 光伏并网系统的运行机理与控制策略

2.1 光伏发电的基本原理与并网控制要求

光伏发电通过半导体材料的光电效应将太阳能转化为直流电。并网运行时,逆变器通过控制输出电流的相位、频率与电压,使光伏电能与电网电能实现同步。并网控制不仅要确保输出功率稳定,还要满足电能质量要求,防止谐波与电压波动对电网造成影响。

2.2 最大功率点跟踪 (MPPT) 技术

光伏组件的输出功率受光照强度和温度影响较大。MPPT 技术可实时调节逆变器输入电压,使光伏系统在不同环境条件下都能运行在最大功率点。常用算法包括扰动观察法、增量电导法以及基于人工智能的模糊控制算法。其中,模糊控制法响应快、稳定性高,更适合复杂气候条件下的建筑光伏系统。

2.3 并网控制与保护策略

光伏并网系统需具备电压、频率调节功能以及防孤岛保护机制。孤岛效应会导致电网断电后系统继续运行,造成电气安全隐患。防孤岛装置通过检测电压频率变化实现快速切断。近年来,智能并网逆变器结合了多模式控制功能,能在并网和离网状态间无缝切换,提升系统的安全性和可靠性。

3 建筑能源系统中的光伏与储能协同机制

3.1 储能系统在光伏并网中的作用

由于光伏发电的不稳定性,储能技术成为提升系统稳定性的重要手段。储能设备可在发电高峰时储能,在低辐照或夜间释放能量,实现供需平衡。常用的储能形式包括锂电池、液流电池及超级电容。储能系统还能降低峰值负荷,改善电能质量,提高建筑自用率。

3.2 光伏与储能协同控制策略

建筑电气系统通过能量管理系统 (EMS) 的集成,可实现光伏发电与储能系统之间的高效协调与动态调度。EMS 能够实时监测建筑的负荷变化、电价波动及光伏发电量,并基于优化算法进行智能决策,使储能装置在低电价时段自动充电,在高电价时段合理放电,从而实现能源利用的经济性最大化。系统在运行过程中会不断分析能源供需关系,对发电、储能与用电环节进行自适应调节,确保电能供给的稳定与高效。通过建立数学优化模型,EMS 可在成本与能效之间实现动态平衡,既保障建筑内部的用电需求,又降低整体运行费用。其智能控制模块还能根据历史数据与预测模型优化储能策略,使系统在不同运行场景下保持最佳能量分配状态。能量管理系统的应用标志着建筑电气系统向智能化、经济化与可持续化方向迈进,为实现建筑能源结构优化和低碳运行提供了可靠的技术路径。

3.3 智能能量管理与负荷预测

智能能量管理系统通过融合大数据分析与人工智能技术,为建筑能源运行提供了更高层次的预测与决策能力。系统可实时采集气象、光照、风速及用电负荷等多维数据,并基于历史规律与环境变化趋势建立动态模型,对天气状况、光照强度和用户用电需求进行精准预测。通过负荷预测算法,系统能够提前制定发电与储能计划,合理分配光伏、风能及储能设备的运行策略,确保能源供需平衡。预测结果还可用于优化能量流向,实现峰谷调节与用电负荷的自动平滑,从而减少能源浪费并提升整体能效。人工智能算法具备自学习能力,能够在运行过程中不断修正模型参数,使调度策略更加灵活与前瞻。智能能量管理系统的应用,使建筑能源系统从被动响应转向主动控制,实现对复杂能源网络的智能协同管理,为实现建筑低碳化、节能化与智能化运行提供了坚实的技术支撑。

4 光伏与其他可再生能源的互补策略

4.1 光伏与风能互补运行

风能与太阳能在时间分布上的互补特性,使二者的协同应用成为提升建筑能源利用率的重要方向。白天光照强、太阳能资源丰富,而夜间风速较高、风能稳定,通过构建光伏-风能混合供能系统,可实现昼夜互补、全天候发电。建筑群或园区中可在屋顶、立面及空旷区域布设光伏阵列,并在高层建筑顶部或周边安装小型风力发电机,形成多点分布的综合能源网络。系统通过能量管理平台对风能与光伏发电进行实时监控与协调调度,根据气象变化和负荷需求智能分配发电功率,确保供能连续与电能稳定。储能设备的引入可进一步平滑能源输出波动,提高系统可靠性和能源自给率。光伏-风能混合系统不仅能减少建筑对市电的依赖,还能有效降低碳排放,提升可再生能源在建筑能源结构中的占比,为实现绿色建筑与低碳城市提供技术支撑和实践范例。

4.2 光伏与热能系统的耦合应用

光伏系统与建筑中的太阳能热水或地热系统相结合,可构建电热双输出的综合能源模式,实现多能协同与高效利用。光伏发电部分为热泵、加热装置或地源循环系统提供清洁电能,使能源转换过程更加稳定可靠。在运行过程中,光伏系统产生的余热可通过热交换装置进行回收,用于生活热水供应或室内采暖,从而实现能源的循环再利用。该耦合模式不仅减少了对外部电力与燃料的依赖,还提升了系统的整体能效与可持续性。通过智能控制系统的集成,可实现电力与热能的实时协调与负荷优化,根据建筑用能需求动态调整输出比例,确保能源供应的平衡与效率。光伏-热能耦合系统充分体现了绿色建筑的节能理念,在节电、节热与减排方面具有显著成效,为建筑能源系统的综合优化提供了可行路径,也为实现低碳、可持续发展的城市能源体系奠定了坚实技术基础。

4.3 多能协同下的智能调度与优化

在光伏、储能、风能与热能等多种能源并行运行的建筑能源系统中,建立统一的能量协调与管理平台,是实现系统高效运行与低碳转型的关键。该平台可利用优化算法对不同能源的发电特性、储能容量与用能需求进行实时分析与调度,实现能量的动态分配与协同平衡。通过合理调控各能源之间的供需关系,系统能够有效削减峰谷差,减少能源浪费,确保建筑在不同负荷条件下的稳定供能。能量协调平台不仅具备监测与预测功能,还可结合人工智能技术进行自学习优化,使系统逐步形成最优运行策略。多能互补的综合能源模式打破了单一能源依赖的局限,通过光伏发电、风能供电、储能调峰与热能回收的协同作用,大幅提升能源利用率。该系统在节能减排方面表现突出,可显著降低建筑运行过程中的碳排放,为实现绿色建筑与智慧能源管理提供技术支撑,推动城市能源体系向清洁、高效与智能化方向发展。

5 建筑光伏并网系统的优化与发展方向

5.1 系统设计与结构优化

建筑光伏系统的设计应以建筑特征与环境条件为基础,综合考虑朝向、屋顶形状、遮挡因素及气候特征,以实现能源利用效率最大化。光伏组件的倾角设计需依据当地纬度、太阳辐射强度与季节变化进行优化,使其在全年范围内获得最佳日照角度与最大发电量。屋顶或立面结构的承载力与空间布局也应在设计阶段充分评估,确保光伏安装的安全与合理性。逆变器的容量配置需与组件功率相匹配,以避免过载或功率冗余造成的能效损失。布线系统应尽量缩短传输路径,减少导线阻抗与能量损耗,从而提升整体转换效率。对于高层建筑,采用柔性光伏材料具有较强的适应性与装饰性,可实现光伏发电与建筑外观的融合,既满足结构安全与美学需求,又拓展了建筑表面的能源利用空间。通过科学的设计优化与技术集成,建筑光伏系统能够兼顾美观、实用与高效,为绿色建筑的发展提供可持续的能源解决方案。

5.2 智能控制与能效提升

智能控制系统在建筑光伏并网中发挥着核心作用,通过对电流、电压、功率等关键参数的实时监测,实现动态调节与远程控制。系统可根据外部环境变化、负载需求和电网状态,自动优化发电与用电之间的匹配关系,确保能源利用的高效与稳定。结合人工智能技术,控制系统具备自学习与模式识别能力,能够在运行过程中自动识别潜在故障,如组件衰减、线路异常或逆变器失效,并根据分析结果进行智能调整与修正。AI 算法的引入不仅提升了系统的运行可靠性,还显著增强了能量管理的精准性与前瞻性。研究表明,采用自学习算法的光伏系统能效可提高

10%以上,发电量更趋稳定,系统响应速度与负载协调性也得到优化。智能控制技术的深化应用,使建筑光伏系统从传统的被动运行转向主动优化管理,为建筑能源系统的数字化转型与低碳发展提供了坚实的技术基础。

5.3 未来技术趋势与政策支持

未来建筑光伏并网系统将与智能电网深度融合,逐步构建以建筑为节点的分布式微电网体系。建筑光伏系统不仅承担清洁能源发电功能,还将通过储能装置、能量管理系统与电网实现双向互动,形成“自发自用、余电上网、智能调度”的运行模式。新型光伏材料的应用将进一步提升能量转换效率,其中钙钛矿电池和叠层光伏组件凭借高光吸收率与可灵活集成的特性,成为推动光伏建筑一体化发展的关键技术。建筑表面的幕墙、屋顶、遮阳结构等都可成为发电单元,使能源利用与建筑设计实现深度融合。

6 结论

建筑电气系统中光伏并网技术的应用是推动绿色建筑与可再生能源利用的重要途径。通过优化光伏系统结构、提升智能控制水平、构建储能与多能源互补体系,建筑能源系统能够实现高效、安全与低碳运行。研究表明,光伏并网系统不仅可降低建筑运行能耗,还能促进电网负荷平衡,实现能源结构的优化调整。未来,随着新材料、人工智能及能源互联网技术的持续突破,建筑光伏系统将呈现更高水平的智能化、模块化与集成化发展趋势。高效电池材料与轻量化组件将提升单位面积发电能力,为屋顶、幕墙等多场景应用提供更大设计自由度; BIPV 一体化技术将光伏发电与建筑围护结构深度融合,实现“发电功能+建筑功能”的协同优化。人工智能算法可用于发电预测、负荷识别与故障诊断,结合数字孪生与云边协同,实现运行状态的在线评估与维护策略的自动生成,降低运维成本并提高可靠性。能源互联网与微电网技术则推动光伏、储能、充电桩与楼宇负荷的联动调度,提升就地消纳水平与系统韧性,使建筑逐步从“能源消费者”转变为“产消者”和灵活调节资源,从而为建筑领域碳中和目标提供持续、稳定的技术支撑。

【参考文献】

- [1] 李明,陈志强.建筑光伏并网系统运行特性与优化控制研究[J].电气技术,2022(8):56-62.
- [2] 王凯,周伟.光伏建筑一体化系统的能量管理与互补策略研究[J].建筑科学,2023(4):74-80.
- [3] 刘欣,张建.智能控制技术在光伏并网系统中的应用[J].可再生能源,2021(12):88-93.

作者简介: 霍立民 (1997.9—), 男, 汉族, 毕业学校: 河北水利电力学院, 现工作单位: 九易庄宸科技(集团)股份有限公司。