

绿色建筑电力系统的集成与优化策略研究

任长城¹, 张锐²

(1. 聊城华昌实业有限责任公司高唐设计分公司, 山东 聊城 252000;

2. 阳谷兴阳发展集团有限公司, 山东 聊城 252000)

摘要 随着绿色建筑的兴起与发展, 分布式光伏发电在绿色建筑中得到日益广泛的应用, 其不仅具有安全可靠、绿色环保的特点, 还能有效实现能源的就地生产和消纳, 与绿色建筑追求的节能环保目标高度契合。目前, 国内外对于分布式光伏系统与建筑一体化的研究在系统设计、集成应用等方面取得了显著进展。本文针对分布式光伏系统与建筑物的一体化建设展开深入研究, 分析了其集成优化策略, 以期为推动光伏发电系统在绿色建筑中的规模化应用提供参考。

关键词 绿色建筑; 分布式光伏; 电力系统优化; 能源集成

中图分类号: TU852

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.023

0 引言

绿色建筑电力系统集成优化已成为建筑节能领域的重要研究方向, 随着可再生能源技术的快速发展, 分布式光伏发电系统在建筑领域的应用日趋成熟。光伏系统与建筑一体化设计不仅能够有效提升建筑能源利用效率, 还能实现建筑用能结构的优化升级, 目前建筑光伏系统在实际应用中仍存在系统效率低、能源调配不合理等问题, 因此深入研究绿色建筑电力系统的集成与优化策略, 对提升建筑能源使用效率具有重要意义。

1 分布式光伏发电系统集成技术

1.1 光伏系统建筑一体化设计方案

光伏系统建筑一体化设计需充分考虑建筑结构特点和太阳能资源条件, 在建筑外立面及屋顶区域, 结合建筑朝向、倾角等要素, 科学布置光伏组件。对于不同类型建筑, 采用差异化设计策略: 高层建筑以垂直立面安装为主, 可在幕墙系统中嵌入双玻组件, 既保证采光需求又能发电; 多层建筑适合在屋顶安装倾斜式光伏阵列, 倾角可设置为 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$, 实现发电效率最大化; 建筑采光顶可选用半透明光伏组件, 替代传统采光材料。在组件布置时, 需预留检修通道, 确保后期维护便利, 光伏系统与建筑外围护结构的连接采用新型防水构造, 确保建筑本体安全, 电气设备布置需预留检修空间, 线缆敷设依据建筑结构合理规划走线, 实现与建筑美学的和谐统一^[1]。

1.2 光伏发电系统并网技术研究

光伏发电系统并网运行需要配置先进的并网逆变器, 实现直流电向交流电的高效转换, 并网系统采用

双向计量装置, 可实现光伏发电的自发自用、余电上网模式。电能质量控制系统能够实时监测谐波含量、功率因数等参数, 当检测到电能质量超标时, 自动进行补偿调节, 功率预测系统基于气象数据和历史运行数据, 对光伏发电功率进行准确预测, 为系统调度提供依据。电压穿越技术确保在电网发生小扰动时, 光伏系统能够保持并网运行, 提高系统稳定性, 电能管理系统对发电、用电数据进行采集分析, 合理分配负荷, 优化运行模式, 在大规模光伏并网条件下, 需采用智能调度策略, 确保并网点电压、频率等指标符合标准要求, 维持电网安全稳定运行。

2 电力系统优化配置与控制

2.1 光伏发电功率预测方法

光伏发电功率预测采用多层神经网络算法, 结合气象数据和历史发电量数据建立预测模型, 短期功率预测主要依据实时气象数据, 包括太阳辐射强度、温度、云量等环境因素, 建立 $0 \sim 4$ h 的发电功率预测曲线。中期功率预测则基于气象部门提供的天气预报数据, 结合地理位置、季节特征等固定参数, 预测未来 $24 \sim 72$ h 的发电功率变化趋势, 预测模型采用滚动更新机制, 根据实际发电数据不断修正预测参数, 提高预测精度。预测算法中引入改进型 BP 神经网络结构, 采用 Levenberg-Marquardt 优化算法对网络权值进行训练, 加快网络收敛速度, 在输入层增加光伏组件表面温度、灰尘污染程度等修正参数, 提高预测模型对实际工况的适应性^[2]。

在数据预处理环节, 采用小波变换对原始数据进

行降噪处理,消除异常数据对预测精度的影响,预测系统设置分层预测机制,对不同时间尺度的预测任务采用不同的预测模型。

超短期预测(0~15 min)采用基于模糊时间序列的预测方法,短期预测(15 min~4 h)采用神经网络模型,中长期预测采用支持向量机回归模型,系统还建立了预测结果评估机制,实时计算预测误差,当误差超过设定阈值时自动调整预测参数。

在极端天气条件下,预测系统能够及时发出预警信息,为系统调度预留充足的调节时间,预测结果直接对接能源管理系统,为储能调度、负荷控制提供数据支持,实现对光伏发电的精确管理,该预测方法在实际工程中表现出较高的可靠性,平均误差率控制在10%以内。

2.2 储能系统容量优化配置

储能系统容量配置需平衡系统经济性与可靠性,储能容量计算基于光伏发电功率预测结果和建筑负荷特性,采用多目标优化算法确定最佳容量。考虑到锂电池储能系统使用寿命和投资成本因素,将充放电深度限制在20%~80%范围内,延长电池使用寿命,储能系统分为功率型和能量型两类配置,功率型储能用于平抑光伏发电功率波动,容量配置比例为光伏装机容量的15%~20%,能量型储能用于削峰填谷,容量配置根据负荷特性确定。储能变流器选用双向变流器,额定功率与储能容量相匹配,具备快速响应特性,系统配置双层保护机制,采用电池管理系统实时监控电池状态,确保储能系统安全可靠运行,合理的储能容量配置能够显著提升光伏发电的消纳能力,改善建筑供电质量。

2.3 系统能量调度策略

能量调度策略基于日前负荷预测和光伏发电预测结果,制定储能系统充放电计划和负荷调控方案,在电网峰谷电价差较大时段,充分利用谷电价时段蓄能,在峰电价时段放电,实现经济效益最大化。根据光伏发电出力特性,在发电功率大于用电负荷时,将富余电量存入储能系统或馈入电网;在光伏发电不足时,优先使用储能系统补充供电,不足部分由电网供给,调度策略需考虑储能系统荷电状态,当电量低于20%时启动充电保护,高于95%时停止充电。在负荷侧,对可转移负荷进行智能调控,将部分用电需求转移至光伏发电高峰时段,提高光伏电力就地消纳率,调度控制系统采用分层架构,上层负责优化决策,下层执行具体控制指令,实现系统的协调运行。

2.4 变流器控制技术

变流器控制采用双闭环控制策略,外环为电压控制,内环为电流控制,实现电压电流的精确调节,电压外环采用PI控制器,根据电网电压和负载需求产生电流指令;电流内环采用比例谐振控制器,提高系统对谐波的抑制能力。在并网模式下,变流器需保持直流母线电压稳定,同时向电网输出高品质电能,孤岛模式下,变流器转为V/f控制,维持负载端电压频率稳定,为提高变流器效率,采用SVPWM调制技术,减少开关损耗。变流器的电压调制采用改进型死区补偿算法,有效降低输出电压畸变率,使输出电压波形更加接近正弦波,在大功率变流过程中采用交错并联技术,多台变流器交错运行,等效开关频率提高,输出电流纹波明显降低^[3]。

在电网电压不平衡工况下,控制系统采用基于瞬时对称分量法的序分量提取技术,快速准确分离出电网电压正负序分量。正序电压闭环控制保证基波功率的精确传输,负序电压前馈补偿抑制输出电流不平衡,变流器还配备先进的并网同步技术,采用改进型锁相环算法,在电网电压畸变工况下仍能快速准确检测相位角,确保并网过程平稳。在电压跌落期间,变流器根据电网要求快速切换至电压支撑模式,注入无功电流,帮助电网电压恢复,直流母线电压波动抑制采用前馈解耦控制策略,在大功率波动工况下保持母线电压稳定,提高系统动态响应性能。

2.5 电网故障穿越技术

电网故障穿越技术确保在电网发生短时故障时,光伏发电系统能够保持并网运行状态,故障检测模块采用基于电压相序的快速检测算法,在故障发生后10 ms内完成故障类型识别。对于对称故障,控制系统降低有功输出,增加无功注入,支持电网电压恢复;对于不对称故障,采用正负序解耦控制策略,抑制输出电流畸变,在电压恢复阶段,系统根据电网要求逐步恢复有功输出,避免造成电网扰动。穿越控制过程中,直流母线电压波动通过斩波电路控制,防止过压损坏设备,并网接口断路器的重合闸保护需与故障穿越控制相协调,避免误动作导致系统解列,故障穿越功能的实现显著提升了分布式光伏系统的电网友好性。

3 系统集成优化与节能分析

3.1 系统运行参数优化

系统运行参数优化主要针对光伏阵列倾角、逆变器工作电压、储能系统充放电功率等关键参数展开,

光伏阵列倾角优化基于全年太阳辐射量数据,结合建筑物地理位置和周边遮挡情况,计算最佳安装角度。在北方地区,光伏组件最佳倾角一般在 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 之间,南方地区则在 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 之间,逆变器最大功率点跟踪电压范围设定需考虑温度对组件输出特性的影响,确保系统在不同季节均能在最佳工作点运行。储能系统充放电功率限值设置需平衡电池使用寿命和调峰需求,根据实际运行数据动态调整,系统监控参数包括直流侧绝缘电阻、汇流箱温度、逆变器效率等指标,建立完整的运行参数数据库,为系统优化提供数据支撑,定期对系统运行参数进行评估和优化,持续提升系统运行效率^[4]。

3.2 能源消耗测算方法

能源消耗测算采用分项计量与综合评估相结合的方法,在用电负荷侧安装智能电表,对建筑物主要用能设备进行分项计量,建立能耗数据采集系统。光伏发电系统设置独立计量装置,实时记录发电量、自用电量 and 上网电量,储能系统配置双向计量设备,统计充放电电量及转换效率,计量数据以 15 min 为间隔进行采集存储,形成建筑物完整的用能曲线。测算系统采用分层分级的数据存储结构,原始数据经过数字滤波和数据修正后,按照时间、设备类型、用能类型等多个维度进行分类存储,数据分析模块采用改进的聚类算法,对建筑能耗特征进行分类识别,建立典型用能模式库。建立建筑能耗基准数据库,将实际运行数据与基准值进行对比分析,评估节能效果,能耗测算结果以月度报表形式输出,包含各分项用能指标、光伏发电利用率、储能系统运行效率等数据,测算方法的建立为建筑节能潜力分析和运行策略优化提供重要依据。

3.3 节能效果评估体系

节能效果评估体系采用多维度指标进行综合评价,在能源利用效率方面,计算光伏发电系统年发电量与理论发电量的比值,评估系统实际发电效率;计算储能系统充放电综合效率,反映储能装置的能量转换水平。在节能贡献方面,统计可再生能源替代常规能源的比例,计算年度碳减排量,负荷特性评估包含峰谷差系数、负荷率等指标,体现建筑用能特征,系统可靠性评估涉及光伏发电系统可用率、储能系统故障率等参数,反映系统运行稳定性。能耗指标评估采用单位面积年用电量、可再生能源利用率等数据,与同类建筑进行横向对比,评估体系采用分级评价方法,将各项指标量化为具体分值,形成完整的评分体系,为系统优化升级提供方向指导^[5]。

3.4 经济性分析方法

经济性分析从投资成本、运行成本和收益三个维度展开评估,投资成本包括光伏组件、逆变器、储能电池等设备采购费用,以及安装施工、并网接入等工程费用,运行成本主要考虑日常维护、设备更新、人工管理等支出。收益计算包含电费节省、余电上网收入、峰谷电价差收益等,采用现金流量分析方法,计算项目投资回收期、净现值和内部收益率等经济指标,考虑设备折旧、电价变动等因素影响,对未来收益进行动态预测。在经济性评估中需考虑储能电池更换周期对整体收益的影响,合理确定储能容量配置。经济评估模型还需考虑电池衰减特性对系统性能的影响,建立储能寿命预测模型,计算全生命周期成本。投资回收期分析结合工程实例数据,对比不同系统配置方案的经济性,为项目投资决策提供依据,经济性分析结果表明,合理的系统配置能够在 8~10 年内收回投资成本^[6]。

4 结束语

本文通过对绿色建筑电力系统集成优化的深入研究,提出了一套完整的光伏发电系统集成方案。从系统设计、运行控制到效果评估等方面进行了系统性分析,为绿色建筑电力系统的优化提供了技术支撑,研究表明合理的系统集成方案能够显著提升光伏发电系统的运行效率,实现建筑能源消耗的降低,未来还需要进一步深化相关技术研究,推进绿色建筑电力系统的持续优化与发展。

参考文献:

- [1] 刘鑫,朱骏杰,杨晨.建筑消防安全与机械电子系统的集成优化策略研究[J].消防界(电子版),2023,09(11):52-54.
- [2] 王一鸣.基于可再生能源的建筑电气系统集成优化策略研究[J].环球人文地理,2023(02):181-183.
- [3] 史丹.《中国电力系统效率评价与节能减排优化策略研究》评介[J].中国工业经济,2021(05):189.
- [4] 钱光辉.建筑智能化系统的集成与优化策略[J].中国地名,2023(03):181-183.
- [5] 陈静静,段秋亚.基于太阳能的建筑照明系统集成与性能优化研究[J].中国照明电器,2024(05):108-110.
- [6] 王珠,刘明,赵永亮,等.耦合相变储能的火电机组集成系统控制策略优化及效果分析[J].中国电机工程学报,2024,44(18):7235-7246,10012.