

Discussion on key technologies of electrical engineering in photovoltaic integrated system of civil buildings

Yao Bo

Shenzhen Leyuan Design Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

Electrical engineering plays a core supporting role in the integrated photovoltaic system of civil buildings, running through the entire process of system design, equipment selection, energy efficiency management, and operation and maintenance. With the development of distributed energy technology, the application of photovoltaic integration in green buildings is becoming increasingly widespread, which puts higher demands on the professionalism, systematicity, and safety of electrical engineering. Through the scientific layout, intelligent control, and energy scheduling of electrical systems, not only can the energy utilization efficiency of buildings be improved, but also the balance of electricity load and safe operation of grid connection can be effectively achieved. This article focuses on the key aspects of electrical engineering in photovoltaic integrated systems, and conducts technical analysis from multiple perspectives such as architecture design, grid control, energy storage configuration, and safety assurance. It sorts out the key technical logic and explores the path of system collaborative optimization, aiming to provide theoretical basis and practical reference for improving the operational efficiency and safety of photovoltaic building electrical systems.

Keywords

Electrical Engineering; Photovoltaic integration; Civil buildings; Energy efficiency management; grid-connected control

电气工程在民用建筑光伏一体化系统中的关键技术探讨

姚博

深圳乐源设计有限公司, 中国 · 广东 深圳 518000

摘 要

电气工程在民用建筑光伏一体化系统中起着核心支撑作用, 贯穿于系统设计、设备选型、能效管理与运行维护的全过程。随着分布式能源技术的发展, 光伏一体化在绿色建筑中的应用日益广泛, 对电气工程的专业性、系统性和安全性提出了更高要求。通过电气系统的科学布设、智能控制与能量调度, 不仅可以提升建筑能源利用效率, 还可有效实现用电负荷平衡与并网安全运行。本文围绕电气工程在光伏一体化系统中的关键环节, 从架构设计、并网控制、储能配置、安全保障等多个角度展开技术分析, 梳理关键技术内容, 探讨系统协同优化路径, 旨在为提升光伏建筑电气系统运行效率与安全性提供理论依据与实践参考。

关键词

电气工程; 光伏一体化; 民用建筑; 能效管理; 并网控制

1 引言

随着可再生能源应用的不断拓展, 民用建筑中光伏一体化系统的推广已成为建筑节能减排的重要方向。光伏建筑一体化不仅强调建筑结构与发电系统的融合, 还对内部电气系统的稳定性与适配性提出更高要求。在此背景下, 电气工程作为连接能源转换、储能管理与负载用电的核心技术支撑, 承担着系统集成与运行保障的重要任务。电气设计的科学性直接影响光伏系统的能效水平、使用寿命与安全性能。

因此, 系统梳理电气工程在该类系统中的应用路径, 研究其关键技术节点及优化措施, 已成为实现建筑低碳化、智能化发展的关键切入点。

2 电气工程在光伏一体化系统整体架构中的定位与作用

2.1 电气工程对光伏系统集成方式的支撑逻辑

民用建筑中的光伏一体化系统融合了光伏发电装置与建筑本体结构, 其运行依赖于电气工程对电能转换、传输和分配的全流程支撑。电气工程通过对发电模块、控制模块和负载模块的联动设计, 构建一个具备高度协调性的电力系统架构。在系统集成层面, 电气工程不仅提供了光伏阵列的接线布局与电缆走向设计方案, 也确保了电能在不同电压等级

【作者简介】姚博 (1993-), 男, 中国广西百色人, 本科, 助理工程师, 从事建筑电气一次设计及二次装修深化设计研究。

间的有效转换与安全隔离。电气工程的介入能够保证电流路径清晰、功率损耗最小，提升光伏系统的转换效率与传输稳定性。

2.2 电气工程在建筑与光伏融合设计中的介入方式

建筑与光伏系统的融合不仅体现为构造层面的整合，更涉及能量系统的协调运行，而这一过程的核心在于电气工程对电能流程的全局统筹与精细调控。在设计初期，电气工程需根据建筑屋面朝向、倾角、采光条件及负载需求合理的光伏组件布置图，并同步完成线路规划与接入路径设定。电气工程对建筑电力系统进行结构性分析，规划出发电侧与用电侧之间的高效耦合路径，并利用配电箱、断路器、汇流箱等设备构建完整的电气通道。

3 电气工程在光伏发电与并网设计中的技术实现

3.1 电气工程对光伏组件与配电网接入的设计控制

光伏组件作为直流电源，其输出需经逆变器转换为交流电再接入建筑配电系统，因此接入设计成为电气工程的关键技术环节。电气工程通过计算组件输出电压、电流及功率，设定最佳接入点及接线方式，确保电源侧与负载侧电压等级的匹配与过载能力的容纳。在实际布线过程中，电气工程需要合理划分光伏阵列单元，配置汇流箱以降低线路复杂度，并控制电缆长度以减小电能损耗。接入点的设计须避开负荷中心过于集中的区域，防止局部电压波动引发系统不稳定。对于与电网并联的建筑系统，电气工程必须确保接入处具备断路器、隔离开关和防反灌装置，以避免系统异常反向电流影响电网安全。在评估系统接入对配电网的影响时，电气工程还需进行短路电流分析、故障电压分析与配电拓扑优化，提升系统稳定性和负载响应能力，为后续的并网运行打下技术基础。

3.2 电气工程在逆变转换与并网控制中的参数配置

逆变器作为连接直流光伏组件与交流电网的核心设备，其运行参数直接决定系统效率与并网质量。电气工程需依据组件最大功率输出、日照变化范围以及负载波动特性设定逆变器的输入参数范围及动态调整机制。逆变器输出频率与电网同步能力要求极高，电气工程需对其进行并网同步设计，包括电压同步、频率跟踪、相位锁定等控制逻辑的精调，以保障系统稳定运行。电气工程还会对逆变器进行最大功率点跟踪参数设定，优化在不同光照强度下的能量转换效率。在并网模式中，逆变器需具备防孤岛效应功能、无功功率补偿能力以及短路电流支撑能力，这些功能的参数配置由电气工程结合建筑负载模型与配电系统特性确定。逆变器控制系统的通信接口设计、功率因数设置与系统协调策略也需由电气工程整体统筹，确保设备间协调运行，在保证电能质量的同时增强系统抗扰能力。

3.3 电气工程在系统保护与防雷接地方面的规范化应用

光伏一体化系统处于户外环境，其电气安全面临着雷击、电弧、短路等多重风险，电气工程在系统保护与防雷接地方面的设计显得尤为关键。系统保护设计中，电气工程依据回路容量与设备额定值选用匹配的断路器与熔断器，在每个支路和汇流点部署过流、过压保护装置，实现分区隔离与快速切断功能。针对可能出现的电弧故障，电气工程通过设置电弧检测器与故障报警系统提升系统响应速度，减少火灾隐患。在防雷设计方面，电气工程会将光伏组件框架与支架构成等电位连接体，并将其接入专用防雷引下线，再与建筑物主接地网连接，构建低阻抗雷电泄放路径。接地系统需满足接地电阻小于4欧姆的国家标准要求，电气工程通过计算地网结构、土壤电阻率和引下线布局实现接地系统优化。所有电气设备外壳均应接地并设置漏电保护装置，防止意外触电事故发生，确保系统长期安全稳定运行。

4 电气工程在建筑内部电气布设与能效管理中的技术路径

4.1 电气工程引导下的分布式能源布局优化

分布式能源系统在民用建筑中的推广对电气布设提出了精准化、模块化和高效化的要求，电气工程以建筑空间结构、电负荷密度和日照资源分布为基础，合理划分光伏阵列的布设位置，明确各区域能源供需特性。通过对建筑立面、屋顶及附属构件的电气适配性分析，电气工程确定不同区域的布线走向与布设模式，使光伏组件与配电系统实现最短路径连接，降低电能传输过程中的损耗。电气工程还需充分考虑电缆通道对建筑结构的影响，结合管线综合设计与设备安装位置，实现系统布局的建筑融合性与电气合理性双重目标。在多能互补系统中，电气工程需明确电源优先级，设计负载切换逻辑，保障系统在多电源条件下的动态协调运行，提升能源系统在建筑整体中的响应能力与适应性能。

4.2 电气工程支撑下的低压配电与能量调度管理

建筑内部的低压配电系统作为连接光伏电源与终端负载的关键环节，其结构合理性及运行效率直接影响光伏一体化系统的整体性能。电气工程通过合理分区、分层设计配电网，优化配电干线、分支线路与终端回路的布设路径，在保证电压等级稳定的同时降低线路损耗。在负载侧管理方面，电气工程制定负荷分级控制策略，根据不同回路的用电性质设置独立的调度逻辑与保护配置，提升系统运行的灵活性与安全性。为实现能量调度的智能化，电气工程将负荷数据采集设备嵌入配电系统，通过通信总线将实时信息传输至上位控制单元，实现对各回路负荷的实时监控、趋势分析与调度指令下达。系统在运行过程中可根据天气预测、负载变化和电价策略动态调整能量流向，最大程度实现自发自用与余

电上网的优化切换。

4.3 电气工程在能效监测与智能控制中的集成应用

能效监测与智能控制技术在建筑光伏系统中发挥着关键作用,电气工程通过构建分层分布的监测网络,实现对各个发电单元、储能模块和用电回路的能耗状态全面掌控。在系统硬件层面,电气工程部署电压、电流、功率因数及谐波检测装置,实时获取系统运行数据,并传输至能效管理平台。在软件系统中,电气工程通过数据采集与分析算法构建建筑能耗画像,识别高能耗区域与异常运行节点,为能效优化提供量化依据。通过智能控制终端,电气工程实现对照明系统、空调系统、电梯系统的远程控制、定时开关与负载优先级调度,提升用能的精准性与响应速度。在控制策略上,电气工程结合时段电价、天气数据与用户行为预测,建立动态调度模型,实现节能目标与用户舒适度之间的平衡,使建筑光伏系统在节能减排方面具备持续提升的技术基础。

5 电气工程在储能配置与用能调控中的系统协同机制

5.1 电气工程在储能系统选型与电气接口设计中的核心任务

在光伏建筑一体化系统中,储能系统的合理配置关系到电力系统的稳定性与能源利用效率,电气工程在其中承担关键角色。选型过程中,电气工程需根据光伏发电出力曲线、建筑负载曲线及并网条件,确定储能容量、电压等级与放电倍率等核心参数,确保储能系统能够有效平衡光伏发电与实际用电之间的时差问题。在电气接口设计方面,电气工程要明确储能系统与逆变器、配电柜及监控系统之间的电缆连接方式、保护配置与信号交互方式,确保电能传输路径安全可靠。为实现快速充放电响应,电气工程优化储能系统的开关控制逻辑与控制器参数设定,保障系统具备高频率响应能力与故障自恢复能力。接地保护、短路防护、温度监控与消防联动也是电气工程在设计中必须考量的关键环节,以全面提升储能系统的电气安全性能。

5.2 电气工程推动下的负荷预测与用能优化逻辑

用能预测在提升建筑能源管理水平中发挥着基础作用,电气工程以系统负载数据为依托,通过时间序列分析、周期性规律提取与建筑行为模型构建,实现对短期与中长期用能趋势的预测分析。在预测逻辑中,电气工程通过采集用户用电习惯、外部气象信息及建筑运行状态,构建多因子协同模型,提升预测准确率。根据预测结果,电气工程制定用能优化策略,调整光伏发电、储能放电与市电采购的时间窗口,

平衡峰谷负载差异,降低运行成本。在具体执行过程中,电气工程结合建筑负荷优先级设定控制参数,动态切换关键负载与非关键负载的供电方式,控制峰值负荷水平,防止系统过载。在需求响应机制支持下,电气工程还可将预测信息同步至电力运营平台,参与电网调度,实现用能行为与电网运行的协同优化。

5.3 电气工程在响应机制与能量回馈中的策略实现

现代建筑光伏系统日益趋向双向互动与智能响应,电气工程在构建响应机制与能量回馈策略方面起着系统调控核心的作用。在负载侧响应方面,电气工程依据用电需求弹性与响应等级制定优先级调度策略,将部分可调负载如照明、空调与储能系统绑定于响应指令,提升系统在负载突变时的适应能力。在能量回馈机制上,电气工程通过配置双向逆变器与智能电表,实现发电多余部分向电网回送的高效路径,满足并网协议中对电能质量与同步性能的要求。系统运行中,电气工程还需构建闭环控制系统,实时调整回馈功率水平,避免对公共电网造成冲击。在能量管理平台上,电气工程将建筑用能、发电与储能数据进行融合分析,输出调控指令至各模块,实现响应执行与能量流动的精细化匹配,推动建筑能源系统向主动互动、高效联动的方向持续演进。

6 结语

电气工程作为民用建筑光伏一体化系统的核心支撑力量,贯穿于系统设计、能量转换、调控运行与安全保障的全过程。在推动绿色建筑发展的背景下,其在系统集成、智能控制、能效提升与储能优化等方面发挥着不可替代的作用。通过科学的电气规划与精密的技术实现,可有效提升光伏系统的运行稳定性与经济效益。未来,电气工程将继续在构建低碳、高效、安全的建筑能源体系中发挥关键作用,为光伏建筑一体化的深化发展提供坚实的技术基础与创新动力。

参考文献

- [1] 周正桂.基于太阳能光伏发电技术的建筑电气系统建设研究[J].低碳世界,2025,15(07):58-60.
- [2] 江总,李美琴.建筑电气节能中光伏新能源技术的应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2025,(07):107-109.
- [3] 王礼龙.建筑电气负荷与分布式新能源协同调度关键技术研究[J].石材,2025,(07):171-173.
- [4] 刘佳.建筑光伏一体化下照明电气方案探究[J].照明工程学报,2025,36(03):93-98.
- [5] 贺琳.光伏建筑一体化电气设计案例分析[J].智能建筑电气技术,2025,19(03):34-38.