

光伏系统接入建筑电气设计关键技术研究

张博玮

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]光伏系统与建筑电气融合是促进建筑领域能源结构调整以及实现“双碳”目标的有效途径。文章介绍了光伏系统接入建筑电气的重要作用,在光伏发电不稳定、并网运行安全性差、电能质量问题以及储能系统选择不当等问题的基础上探讨目前光伏接入所面临的重大难题,并提出相应的解决措施,包括优化光伏系统接入方式、提升并网系统稳定度、做好电能管理工作、建立智能化监控维护机制以及促进绿色低碳建筑能源的发展,以期对光伏系统在建筑电气中的合理应用起到一定的借鉴作用。

[关键词]光伏系统;建筑电气;并网接入;防孤岛保护;电能质量

DOI: 10.64635/ja.2026.1399

中图分类号: TU85

文献标识码: A

Research on Key Technologies for the Integration of Photovoltaic Systems into Building Electrical Design

Zhang Bowei

Hebei Architectural Design & Research Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei 050000, China

Abstract: The integration of photovoltaic systems with building electrical systems is an effective approach to promoting the transformation of the energy structure in the construction sector and achieving the goals of carbon peaking and carbon neutrality. This paper introduces the significance of integrating photovoltaic systems into building electrical systems. It discusses the major challenges currently faced by photovoltaic grid integration, including unstable photovoltaic power generation, insufficient grid-connected operational stability, power quality issues, and inappropriate selection of energy storage systems. Corresponding solutions are proposed, including optimizing photovoltaic system integration methods, improving the stability of grid-connected systems, strengthening power management, establishing intelligent monitoring and maintenance mechanisms, and promoting the development of green and low-carbon building energy systems. The study is expected to provide useful reference for the rational application of photovoltaic systems in building electrical engineering.

Keywords: photovoltaic system; building electrical engineering; grid integration; anti-islanding protection; power quality

引言

在全球能源结构加速转型、“双碳”战略不断深入的大环境下,光伏发电因其清洁、可再生的特点,在建筑绿色能源供应方面发挥着重要作用。建筑光伏一体化是将光伏组件与建筑物屋顶、外墙等外墙面相结合的一种方式,让建筑不再是单纯地消耗电能,而是可以自己发电,对于减少建筑使用过程中的碳排放量以及提高建筑自身的能源供给率有着积极作用。而电气工程则是民用建筑光伏一体化系统的核心支撑部分,在系统的规划、设备的选择、效率管理和运维等方面都起到决定性的作用。但是,光伏系统接入建筑物电力供应并不是简单地把发电设备接到电网,还需要考虑系统的结构、并网方式、安全保护以及

储能的配合等很多方面的问题,在这些方面出现设计不当都会导致系统的不能正常工作或者是发生事故。

1 光伏系统接入建筑电气的意义

1.1 节能减排与供能优化

光伏发电并入建筑电气有着明显的节能降耗、供能提升的意义。从低碳发展来看,建筑是全球主要能源消费、二氧化碳排放源之一,而光伏发电可以充分利用建筑物上的闲置屋顶、墙体等表面积,使本来无用的建筑物外表成为清洁电力生产的场所,减少了对于煤、石油以及天然气等化石燃料的消耗,降低了建筑使用过程中的碳排放量。光伏发电的一大优势在于本地发、本地用:发出的电直接供给建筑自身负荷,无需远距离传输,既减少了线路

损耗,又提升了能源的整体利用率。如果搭配一定规模的储能电池的话就可以做到调峰填谷,有备无患的作用,可以给夜晚或者遇到阴雨天气时的建筑使用电力补充作用,提升了建筑的供电稳定性和突发应对能力。另外光伏系统还可以与建筑用电负荷曲线做互补,在用电量较大时,通过发电来补充电力需求量大的时候,缓解了电网高峰期的压力,提升了建筑整个电力系统的经济效益及可靠度。

1.2 绿色建筑价值与技术发展趋势

从绿色建筑评价的角度来说,光伏系统的接入是《绿色建筑评价标准》里面的一项加分指标,在建筑的绿色星级评选上有着重要的影响,它能提高项目本身所具有的绿色属性以及市场竞争优势,还可以让建筑物获得更多来自于国家的节能减排补助,近年来,随着建筑能源技术的不断提升,光伏接入也早已不是当初简单的并网发电了,而是逐渐朝着“发电、储电、用电”的一体化的方向发展。最近兴起的光储直柔技术,就是一种针对新型电力系统需要而提出的新型的建筑能源方案,主要由光伏发电、储电装置、直流输电以及柔性负载组成。直流输电减少了能量传输过程中的损耗,而柔性负载的使用又使能源得到了更好的利用,此外随着充电桩、建筑微网、能源管控平台的发展,建筑也有了自己发自己的电,多余的电可以卖给别人、储电装置可以储存电能并且也可以根据用电需求调整用电量的能力,可以作为新型电力系统的一个主动能源体存在,既降低了建筑运行过程中产生的碳排放,也为以后的智慧能源建筑发展打下了基础。

2 光伏系统接入建筑电气存在的问题

2.1 光伏发电稳定性不足问题

光伏发电量受天气影响较大,有明显的间歇性、随机性和波动性特点。晴朗白天中午光伏发电最大,而在阴天下雨或者早上晚上光伏发电很小,这较大的变化会对建筑物配电网电压造成很大冲击,在考虑配电网电能质量问题时往往因为忽视谐波控制而达不到预期的效果。如果建筑物中安装较多光伏电板,则光伏发电量突然减少会使母线电压降低从而会影响该母线上所有电气设备工作情况;另外多个光伏逆变器并联也会产生相互作用使得情况更加严峻。

2.2 并网运行安全问题

光伏系统接入建筑电气后所面临并网安全性问题是电气设计中一大难题。“孤岛效应”是最严重的问题,在电网发生故障或者检修停电过程中,如果分布式光伏发电系统没有及时发现电网失电并且切断与电网连接,仍然给局部电网供电,则会产生一个由光伏发电装置、负载构成

独立供电回路,也就是所谓的“电力孤岛”。而在孤岛内部,电压、频率都会出现较大变化,轻微会造成电器损坏,严重会导致维护工作人员触电身亡——这也是为什么并网点要配置防孤岛保护的重要原因^[1]。另外,在光伏直流侧也有电弧拉弧的风险,对于光伏直流侧电压高于 120V 的项目所采用的逆变器必须具有防直流拉弧保护以及防孤岛保护的功能,并且要有组件级快速关断的能力以保障人身与财产的安全。而农村地区分布式光伏项目中的接地电阻测试、防雷措施等也是一些容易忽视的问题,在设计时如果没有考虑到就会给以后带来问题。

2.3 电能质量问题

光伏系统并入电网运行,在逆变器内部的电力电子开关器件以较高频率导通与关断时会产生大量的谐波电流,主要是 5 次、7 次、11 次等奇数次谐波。分布式光伏新能源由于其并网方式造成配电网的电能质量问题严重。而随着越来越多的分布式光伏系统接入配电网,电压波动以及谐波污染日益严重,对电网的安全可靠以及电能质量造成很大危害。除了谐波污染之外,由于光伏出力变化造成的电压偏差、三相不平衡等问题也十分普遍。在“双碳”目标背景下大量可再生能源被接入到配电网中,同时也带来了电压越限、谐波超标、三相不平衡等问题。目前,2025 年分布式光伏项目须安装有相应资质的 A 类电能质量在线监测设备,且该设备应达到电压有效值误差不大于 $\pm 0.2\%$,频率误差不大于 $\pm 0.001\text{Hz}$ 的要求,在规定要求下,但是由于种种原因导致许多项目未安装此类设备或者即使安装但是后期不能及时进行维护与处理问题。

2.4 储能系统配置不合理问题

储能系统用于平衡光伏功率波动以及提高建筑物的电力自给率,在现实中,储能配置普遍存在的问题是储能容量选择不合理、充放电方式过于简单等。一方面,一些设计人员为了减少前期投入而采用较小规模的储能装置,使得该储能系统不能在光伏大发时间有效存储多余电量,光伏自发自用比例较低;另一方面,也有一定数量的项目在进行储能配置时,未考虑建筑物每天负荷情况及光伏出力特点,储能充放电仅为固定时间段的操作,而无光伏出力预报和建筑侧负荷的关系。雄安新区某办公楼所使用“光储直柔”,配有 10MWh 磷酸铁锂电池储能设备,“峰谷电价差”以及“光伏出力波动补偿”相结合的方式进行工作:白天光伏出力较大时,将多余的电量储存至储能中;晚上用电负荷较大或者光伏出力较小的情况下,由储能放出电来满足用电需求,从而使得该建筑物非高峰时间段的

外来电减少约 60%，每年节省电费超过 80 万元，可见合理配置储能的重要性^[2]。但是这种做法并没有被大量的小规模、中型建筑物光伏电站所采用。

3 光伏系统接入建筑电气优化对策

3.1 优化光伏系统接入方案

优化光伏系统接入方式是光伏并网的重要工作内容，在光伏并网过程中，“并网电压等级”的选择对项目建设成本及运维造成直接影响。高压并网一般接入 10kV 及以上电压等级，适合较大规模光伏电站使用；低压并网通常采用 380V 或 220V 电压等级，主要适用于居民屋顶、小型工商业建筑等场景。高压并网可以实现大容量光伏电站建设和远距离输送电力，而低压并网由于其经济性和快速施工等特点被广泛应用于分布式光伏系统中。《户用光伏并网发电系统 第 2-5 部分：设计规范 系统接入设计》（SJ/T 12029.2.5-2025）要求，220V 电压等级单点接入容量不宜大于 8kW，380V 电压等级单点接入容量不宜大于 400kW，在具体项目上要以“尽可能采用低电压接入，实在无法实现时再考虑高电压并网”为原则比较各种方案。

表 1 常见光伏系统接入建筑电气方案对比

接入方式	电压等级	适用容量范围	设备配置	成本与特点
低压并网	380V/220V	8kW~400kW	逆变器、低压开关柜、双向电表	初期投资低，施工周期短（3~5 天），维护简单
高压并网	10kV/35kV	数百 kW~数 MW	升压箱变、高压开关柜、预制舱、SVG	初期投资高，适合大型项目，规模效益好

3.2 提高并网系统运行稳定性

提高并网系统可靠运行可以从逆变器选择及控制方法两方面着手进行改进。逆变器是光伏电站与电网之间的重要纽带，其好坏决定整个并网系统的稳定与否，必须选择具有良好宽电压范围以及较快响应速度优质逆变器来保证当电网电压发生变化的情况下也能正常工作；此外，在控制上对于大量光伏台区可以采用分层协调的方式，通过光伏逆变器自身的无功/有功调节达到降压增容的目的改善供电质量的同时提升整个配电网的经济效益以及安全性；另外，还要对每个连接点处所安装的光伏容量进行合理的分配防止由于光伏发电量过高导致电压超标的问题发生。

3.3 加强电能质量控制

加强电能质量管理对于光伏系统与建筑物内电网能

够良好配合至关重要。对于光伏并网所造成的谐波问题，在光伏接入处安装有源电力滤波器或者混合型滤波器来消除逆变器产生的高次谐波。在无功补偿上，可以部署静止无功发生器进行快速响应补偿，使得系统的功率因数大于等于 0.95，从而使光伏系统不但能够发功还能对电网有一定的支持作用。在检测方法上，分布式光伏项目需配备满足 IEC 61000-4-30 要求的 A 类电能质量在线监测设备，可以进行 63 次谐波测量并且具有微秒级暂态检测功能^[3]。高精度监测装置与静态无功发生器或者 SVG 补偿装置共同作用，在电压偏差较大情况下可使逆变器无功输出相应变化从而减少谐波传播，达到对电力系统问题“先发现、后治理、再预防”。

3.4 完善智能监测与运维体系

完善智能监控及维护系统对于保证光伏系统正常运行至关重要。国家能源局新颁布的《分布式光伏发电开发建设管理办法》对于电能质量在线监测装置、防孤岛保护装置、反孤岛装置以及防逆流保护装置等设备做出了规定，促使行业朝着“可观、可测、可调、可控”的目标前进，在监测方面需要在光伏并网柜以及每个分支线上安装数据采集器，对发电量、电压、电流、频率以及设备温度等进行时时监控，形成对整个光伏系统的全方位监控。对于孤岛防护，在并网柜上要安装满足 GB/T 35932-2024 的要求防孤岛保护模块，使用专门 DSP 处理器设计，可达到 0.5Hz/s 频率变化率检测能力，采用 AI 预测方法使孤岛检测准确率达到 99.8%，动作时间小于等于 50ms。从维护角度来看，应建立数字式维护管理系统，运用大数据分析来判断发电量情况以及设备运行状况并发出警报信息，从而改变以往只在出现问题时才去修理的被动方式而转变为主动预防的方式，减少停电时间以及维护费用。

3.5 推进绿色低碳建筑能源发展

发展绿色低碳建筑能源是光伏接入建筑电气设计最终目的。“光储直柔”是目前建筑领域能源变革主流趋势，“光储直柔”即“分布式光伏发电+储能调节+直流配电+柔性用电”，它把建筑用能由原来的“被动消耗”转变为现在的“主动优化”。在直流配电中使用柔性直流配电给建筑内部直流负载（例如 LED 灯、直流空调、电动汽车充电桩等）提供电力，避免了“交流-直流”的过程，可节约大约 10%的能量损失。相比于传统的交流配电方式，直流配电可以达到 92%的整体效率，远远超过行业平均水平 85%。柔性用电，在柔性用电上，基于智能化控制平台，在光伏出力突然下降或者电力供应不足情况下，可迅速提

高空调温度 1~2℃、停止不必要的电梯使用等, 1s 完成削峰(最高可降低 20%的用电需求), 而在光伏出力有剩余情况下, 则可以增加计算负载、启动热水制备等工作, “以需随发”, 达到柔性用电的目的^[4]。而在真实项目应用中, 雄安新区项目的相关数据显示, “光储直柔”使得办公区绿电自主率达 75%, 每年可减排约 3000t 二氧化碳。以“双碳”为目标导向, 在光伏系统电气设计上要由原来的单纯供电发展到发电、储能、配电以及用电的一体化, 使建筑物由原来的消极的用电方转变为积极主动的、智能的、能够融入城市的电力网络中的绿色能源站。

4 结语

光伏系统接入建筑电气设计是一门涵盖系统设计、并网控制、安全防护以及储能配合等多种技术内容的工作, 在此过程中必须考虑光伏自身特点的同时还应满足建筑物用电要求、电网限制以及设备工作范围等问题。本文主要针对光伏接入中所遇到的主要问题即光伏接入对电力

系统的稳定性影响、光伏接入给电网带来的安全隐患、光伏接入对电能质量的影响以及储能装置的选择与布置进行讨论并提出相应的解决方案来提高光伏接入的技术水平。未来, 在新型电力系统建设过程中以及“光储直柔”、车网互动等技术日益完善情况下, 光伏系统与建筑电气结合程度将进一步加深, 对建筑行业绿色发展起到更好推动作用。

[参考文献]

- [1]吴建新.光伏新能源在建筑电气节能中的应用[J].中国房地产业,2026(05):126-129.
- [2]陆亚萍.某地面光伏电站电气设计选型方案分析[J].广西水利水电,2026(02):89-92.
- [3]张聚伟.光伏建筑一体化系统的电气设计与安全防护技术[J].科学技术创新,2026(03):189-192.
- [4]王伟,胡利燕,罗兵.光伏项目低压直流供电电气节能设计研究[J].电气技术与经济,2025(06):11-14.