

# 建筑光伏系统的应用与电气设计

文 / 严晨 广州市城市更新规划设计研究院有限公司

**摘要：**相较于传统光伏系统，建筑光伏系统不仅需满足发电功能，还需兼顾建筑的安全性、美观性、耐久性等基本要求，其应用场景与技术设计更为复杂。电气设计作为建筑光伏系统稳定运行的核心环节，直接影响系统的发电效率、安全性及经济性。鉴于此，本文对建筑光伏系统展开研究，介绍光伏系统类型、组成部分、运行特点，多角度总结光伏系统应用价值，从系统应用与电气设计双重维度入手，探索建筑光伏系统应用路径，系统性阐述光伏系统电气设计内容，旨在推动建筑光伏系统顺利落地应用，推动光伏建筑一体化技术的规范化发展与实践应用。

**关键词：**建筑工程；光伏系统；应用策略；电气设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.109

## 引言

近年来，光伏发电技术在建筑行业得到广泛应用，通过利用建筑闲置空间部署光伏发电系统，持续将太阳能转换为电能，这一做法高度契合绿色可持续发展理念，还能缓解电网高峰供电压力，是打造绿色建筑的重要举措。在这一背景下，需深入研究建筑光伏系统的应用特点，明确不同场景下的电气设计要点，从而促进光伏技术与建筑行业的深度融合，推动建筑领域的能源革命。

### 一、光伏系统概述

#### （一）系统分类

建筑光伏系统类型多，目前主要以建筑集成程度、并网方式作为分类依据，不同类型光伏系统的实现方法、功能定位有着显著差别。从建筑集成程度角度来看，主要包括建筑集成光伏系统和建筑附加光伏系统，集成光伏系统是将光伏组件视为建筑结构体系的组成构件，替代普通建筑材料，同时具备构件功能与发电功能，如光伏幕墙、光伏屋顶瓦片；附加光伏系统是在建筑结构体系上，额外部署光伏阵列，利用闲置空间进行发电，如建筑屋顶部署光伏阵列，建筑外墙面上悬挂光伏板<sup>[1]</sup>。从并网方式角度来看，分为并网光伏系统和离网光伏系统，并网光伏系统接入外部电网，光伏电量优先供应本地负荷，多余电力输送至外部电网，并通过售电来获取额外经济效益；离网光伏系统也被称为独立光伏系统，光伏系统仅接入建筑供配电系统，多余电力暂时存储在储能装置，昼间执行充电任务，夜间执行放电任务。

#### （二）系统组成

一是发电组件。即为光伏组件，由若干太阳能电池片并联/串联组成，基于光生伏特效应，持续将太阳光能量转为直流电，为提高光伏发电效率和降低运维管理难度，建筑光伏系统普遍以光伏阵列作为发电组件，大量光伏组件按照统一方式组合形成。二是电气转换传输装置。包括逆变器、汇流箱和配电柜，逆变器负责把直流电转换成交流电，汇流箱负责汇总电流和提供防雷保护与过流保护功能，配电柜按照负荷需求精准分配电流。

三是支撑固定结构。即为光伏支架，多用于附加光伏系统，利用支架把光伏组件固定部署在建筑屋顶、外墙面或是其他部位。四是控制器。即为现场控制机构，用于实现电气自动化功能，控制器类型包含并网控制器和储能控制器，前者负责保证建筑光伏系统平稳接入外部公共电网，后者负责感知光伏系统运行状况，精准切换储能装置充放电模式<sup>[2]</sup>。

#### （三）运行特点

光伏系统本身具备波动性、间歇性的运行特点，发电效率取决于日照条件，随着时间推移，日照条件发生变化，光伏系统输出功率呈现无规律变化趋势，正常情况下，晴天昼间正午发电量相对最高，夜间发电量下降为0。同时，相比普通光伏系统，建筑光伏系统运行状况还受到“建筑集成”属性影响，体现出用电负荷协同性、运行环境复杂的独特运行特点。用电负荷协同性源自于就近消纳负荷规则，光伏发电量优先供应本地负载，由于光伏输出功率随机变化，如果光伏发电量无法满足建筑实际用电需求，控制储能装置向外放电，或是从公共电网取电；光伏发电量超出建筑用电需求，则将多余电能售给电网，也可选择暂时存储至储能装置。运行环境复杂是建筑光伏系统主要部署在建筑屋顶和外墙面上，所处环境复杂程度超出地面光伏系统，时常出现光伏系统遭受雷击、光伏组件被雨水浸泡和积雪堆积、光伏支架承受强风荷载等问题，光伏系统故障率有所升高。

#### （四）应用价值

一是优化能源结构。将光伏发电系统直接接入建筑供配电系统，实现近距离供电目标，如果发电规模超出负荷规模，再将多余电能上网售卖，通过缩短输电距离来减少传输损耗，避免浪费过多电力能源，同时，还能减轻建筑供配电系统对外部电网的依赖程度。二是降低用电成本。光伏系统平均发电成本低于工商业电价与居民电价，利用电价差异来节省一部分用电成本，结合相关案例来看，建筑光伏系统平均寿命约为25-30年，静态投资回报期限约为5-10年，所节省用电成本远远超出

建筑光伏系统总体使用成本。三是减少碳排放量。在光伏发电期间，不会产生二氧化碳在内的温室气体，以及二氧化硫、氮氧化物在内的污染物质，由光伏发电方式取代火力发电方式，保护生态环境不受破坏，助力实现“双碳”战略，建筑光伏系统每发1度电，约减少0.785kg二氧化碳排放量。

## 二、建筑光伏系统的应用策略

### （一）确定光伏一体化结合形式

从现实层面来看，建筑光伏一体化结合形式较多，以光伏屋顶、光伏幕墙为主，必须综合分析建筑条件、功能需求、技术难度、造价成本等多重因素，合理选择光伏一体化结合形式。

其中，光伏屋顶是选用内嵌光伏组件和具备防水功能的光伏瓦，作为建筑屋顶结构的防水材料，直接在屋顶结构上铺设光伏瓦，或是在屋顶中庭、天井等位置使用透明光伏组件，既能满足建筑室内自然采光要求，同时，还能实现光伏发电功能。光伏幕墙是把玻璃板材和光伏组件集为一体，利用内嵌光伏组件的玻璃板材，替换常规幕墙材料，或是选用新推出的半透明薄膜组件，要求光伏幕墙本身具备一定的抗风压和抗冲击能力<sup>[3]</sup>。此外，建筑企业也可按照建筑类型，直接选择光伏一体化结合形式。对于高层办公楼、公共建筑和商业建筑，对外立面造型美观性提出严格要求，优先选择光伏幕墙作为光伏系统集成形式，重点提升建筑立面科技感。对于住宅建筑和工业厂房，则以光伏屋顶作为光伏系统集成形式，有着空间利用率高、成本低廉、工艺成熟、阴影遮挡面积小的优点，单位面积光伏发电量相对最高。

### （二）估算发电效益

目前，一部分建筑企业对建筑光伏系统存在顾虑，不确定光伏发电收益水平，如果光伏发电效益不能明显超出光伏系统总体使用成本，盲目建设建筑光伏系统，将增加建筑工程施工难度和后期运维管理难度。因此，需要在建筑光伏系统应用方案内增设发电效益估算内容，根据所掌握信息和设计方案，初步估算建筑光伏系统的基础发电量，计算公式为理论发电量 = 光伏组件功率 × 所处地区等效日照小时数 × 系统综合效率，额外考虑光伏组件效率衰减、系统损耗等因素，对计算结果进行修正处理<sup>[4]</sup>。在确定建筑光伏系统的年发电量后，可结合光伏发电量的自用比例、上网比例，参考当地电价及政策补贴文件，按系统预期使用寿命测算其全生命周期的发电收益，同时计算成本回收周期。从行业常规情况来看，建筑光伏系统的投资回报周期普遍在10年以内，而平均使用寿命超过25年，因此建设该系统具有显著的经济效益。

### （三）光伏储能

光伏系统本身具备输出功率随机波动的运行特性，

建筑电气系统对供电质量和可靠性提出严格要求。为实现平稳供电目标，避免电气设备因电源波动而频繁出现故障问题，需要在建筑光伏系统内增设储能功能，按照本地负载用电需求，预先设定建筑光伏系统输出功率标准值，实时监测光伏发电状态，实际输出功率超出标准值、低于标准值的情况下，储能装置分别执行充电、放电策略，始终保持平稳输出状态。光伏储能技术应用期间，重点关注储能装置选型、峰谷套利两项问题。对于储能装置选型问题，储能装置种类繁多，包括锂离子电池、铅酸电池、超级电容器等，按照储能需求进行选择，以锂离子电池为例，有着能量密度高、充放电效率高的优势，但也存在成本高、使用寿命受环境温度影响的局限性，适用于容量需求中等的住宅建筑和商业建筑。对于峰谷套利问题，并网型光伏系统满足本地负载用电需求的前提下，储能装置在高峰时段向电网售电，在谷时向储能装置充电，以此来获得额外光伏发电效益<sup>[5]</sup>。

### （四）监测预警

建筑光伏系统运行环境较为复杂，长期暴露在室外环境当中，在昼夜温差、雨水侵蚀、积雪覆盖等因素影响下，光伏设备老化速度加快，频繁出现故障问题，存在安全隐患，还会缩短光伏系统使用寿命。对此，需要建立监测预警机制，光伏设备上部署多种类传感器，构建在线监测系统，同步设定输出功率等核心参数的警戒值，即为安全阈值，确认监测值超出警戒值后，触发报警程序，提醒工作人员前往现场核实并解决问题，必要时，暂时切除光伏设备。从现实层面来看，必须按照光伏设备的运行特点来制定监测方案，以光伏组件为例，将电压、电流、工作温度和表面清洁度作为监测内容，组串级逆变器内部署采样模块，组件级部署红外热像仪和功率优化器作为监测装置。

## 三、建筑光伏系统电气设计要点

### （一）方阵设计

第一，阵列布置。提前确定建筑光伏一体化结合形式，即为光伏系统部署区域，再按照建筑构造特点来确定光伏阵列的朝向、间距和固定形式。以光伏屋顶为例，平屋顶上倾斜安装光伏支架，倾角控制在当地纬度 $\pm 5^\circ$ ，阵列间距计算公式为 $D=H \times \cot \theta$ ，D是阵列间距，H是前排阵列高度， $\theta$ 是冬至日正午太阳高度角；坡屋顶上顺坡部署光伏阵列，阵列坡度和屋顶坡度保持一致，光伏阵列和屋顶天窗等障碍物及屋顶边缘保持一定距离，并预留宽度不小于0.8m的检修通道<sup>[6]</sup>。第二，组件选型。光伏组件主要分为晶硅组件、薄膜组件和BIPV专用组件三种类型，晶硅组件适用于光伏屋顶，光电转换效率较高，有助于增加光伏发电量；薄膜组件适用于光伏幕墙，有着柔性好、弱光性能强的优点，同时满足光伏发电需求和室内自然采光需求，但光电转换效率较低，

仅为 10%~18%；BIPV 专用组件适用于具备调光需求的建筑工程，基于建筑使用需求，在 10%~70% 范围内灵活调整透光率。第三，组件串并联。光伏组件串联步骤，要求组串电压水平和逆变器 MPPT 电压水平相互匹配，根据 MPPT 电压单块组件开路电压来确定串联数量，必须使用相同型号光伏组件构成同一组串。光伏组件并联步骤，要求组串电流偏差比例不超过 5%，全部组串上均安装熔断器，熔断电流设定为 1.12~1.5 倍组件短路电流。第四，阴影遮挡优化。存在建筑物自身遮挡、周边建筑物遮挡和季节性遮挡问题，局部区域的有效日照时间较短。可选择把光伏方阵拆分形成若干子方阵，在无遮挡区域部署子方阵。

### （二）逆变器设计

第一，拓扑选型。按照拓扑结构，把逆变器划分为集中式、组串式、微型逆变器等多种类型，按照建筑光伏系统应用场景进行选择。以集中式逆变器为例，采取 Boost 电路 + 全桥逆变电路的拓扑结构，适用于大功率建筑光伏系统，输入电压保持在 600~1500V 区间，单台逆变器功率在 50~1000kW 不等，额外部署多级滤波电路和直流防雷模块，分别起到降低并网谐波和增强环境适应能力的作用。第二，性能参数设定。逆变器核心性能参数包括输入电压、MPPT 跟踪速度、功率等级等，结合实际情况来设定各项性能参数。以输入电压为例，要求逆变器输入电压完全覆盖光伏组件工作电压，并要求最低启动电压不超过 200V。第三，逆变方式。建筑光伏系统支持集中逆变、分散逆变两种方式。早期光伏系统普遍采取集中逆变方式，有着安装简单、便于维护的优点，但故障抵抗能力不足，如果逆变器故障失效，将会导致光伏系统整体瘫痪。推荐采取分散逆变方式，如图 1 所示，适用于光伏阵列朝向、间距不一致，或是光伏方阵被阴影遮挡的建筑光伏系统。

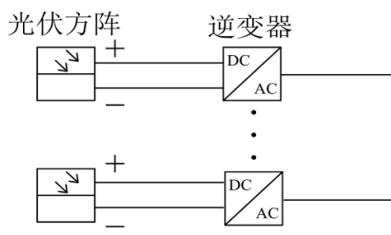


图 1 分散逆变方式

### （三）供配电设计

第一，接线箱设计。负责连接光伏阵列全部光伏组件，必须配备防护等级在 IP65 以上的光伏接线箱，自带数据采集与通信功能，箱内部署直流断路器、电涌保护器以及汇流母排端子，全部光伏组件均接入汇流母排，母排

前部设置隔离电器，母排后部设置短路保护装置。第二，配电箱设计。分为交流配电箱与直流配电箱，设计标准基本一致，均在配电箱内部署汇流铜母排，以及直流断路器、电涌保护器在内的多种类电气元件，优先把光伏配电箱部署在室内干燥房间。如果必须在室外空间部署光伏配电箱，则额外采取防水和防腐措施。

### （四）接地设计

多数建筑光伏系统优先选择光伏屋顶形式，以充分利用建筑屋顶闲置空间，其发电效率远超光伏幕墙等其他形式。但光伏屋顶处于建筑最高点，雷雨天气极易遭受雷电流打击，轻则导致光伏设备故障烧毁，严重时还可能引发电气火灾。因此，设计方案中必须补充接地内容，包含联合接地、防雷接地两部分。第一，联合接地。光伏系统所有金属导电部分均需通过接地干线接入建筑接地网，要求接地电阻值不超过  $4\Omega$ ；直流侧需根据逆变器类型，选择负极接地或悬浮接地方式，确保系统电气安全。防雷接地。光伏阵列上需部署避雷带或避雷针，保护角限制在  $45^\circ$  以内，避雷带与光伏阵列需保持 3m 以上间距，避雷针接地电阻要求不超过  $10\Omega$ 。同时，需定期检测接地装置的连接可靠性与电阻值变化，避免因腐蚀、松动等问题导致接地失效，进一步提升系统防雷安全性。

### 结语

综上所述，光伏发电技术在现代建筑工程中占据着重要地位，是推动能源结构优化转型、践行绿色可持续发展理念和降低建筑用电成本的关键举措。从业人员应提高对建筑光伏系统的重视程度，以提高系统效能为应用思路，科学制定建筑光伏系统应用方案与电气设计方案，保障建筑光伏系统平稳运行。

### 参考文献

- [1] 杨敏. 绿色建筑电气设计先进节能技术研究 [J]. 新城建科技, 2025, (04): 40-42.
- [2] 薛伟. 民用建筑太阳能光伏系统设计应用与研究 [J]. 绿色建造与智能建筑, 2025, (04): 104-107.
- [3] 余富奇. 建筑光伏系统的应用与电气设计 [J]. 光源与照明, 2023, (05): 132-134.
- [4] 叶小冬. 光伏发电系统在建筑供配电中的应用研究 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2021, (01): 101-102+109.
- [5] 袁天驰, 岳世光. 浅谈民用建筑光伏电气系统设计 [J]. 智能建筑电气技术, 2024, 18(02): 91-96.
- [6] 杨路, 黄伟东, 刘悦. 某工业园区建筑一体化光伏系统电气设计 [J]. 工程建设与设计, 2022, (23): 59-61.