

[建筑光伏]

机场建筑光伏系统的运用及电气设计

文/陈昕 李奔

中国能源建设集团江苏省电力设计院有限公司

建筑光伏系统在机场建筑中的应用，是机场实现节能减排、提升能源利用效率和可持续发展的的重要举措。以机场建筑为研究对象，深入剖析建筑光伏系统在机场场景中的应用模式，全面探究其电气设计的核心要点，旨在为机场建筑光伏系统的高效、安全应用提供有力的技术支撑与理论依据。

在全球倡导可持续发展，积极推进“双碳”目标的背景下，机场作为能源消耗密集型建筑场所，其能源结构的绿色转型至关重要。建筑光伏系统凭借清洁、可再生的能源特性，成为机场实现节能减排的关键技术路径。本文以机场建筑为研究对象，深入剖析建筑光伏系统在机场场景中的应用模式，全面探究其电气设计的核心要点，旨在为机场建筑光伏系统的高效、安全应用提供有力的技术支撑与理论依据。

机场建筑光伏系统的组成

1. 光伏方阵

光伏方阵是机场建筑光伏系统的核心部件，主要由太阳能电池板组成。太阳能电池板利用光生伏特效应，将太阳辐射能直接转换为电能。目前市场上常见的太阳能电池板有晶硅太阳能电池（包括单晶硅和多晶硅）、非晶硅薄膜太阳能电池、硫化镉电池、多元化合物薄膜太阳能电池等。在机场环境中，由于对电池板的稳定性、转换效率和抗环境干扰能力要求较高，晶硅太阳能电池应用较为广泛。其中，单晶硅太阳能电池的转换效率最高，可达20%以上，能够在有限的安装面积内产生更多的电能，但成本相对较高；多晶硅太阳能电池转换效率

稍低，约在15%~20%之间，但成本较低，技术成熟，性价比高，在机场建筑光伏系统中也有大量应用。

2. 逆变器

逆变器在机场建筑光伏系统中起着至关重要的作用，将光伏方阵输出的直流电转换为交流电，以满足机场交流负载的用电需求和接入公共电网的要求。由于机场的用电设备对电力质量的要求严格，逆变器需要具备稳定的转换性能、高效的功率调节能力以及良好的抗干扰性能。常见的逆变器类型有集中式逆变器、组串式逆变器和微型逆变器。集中式逆变器适用于大型光伏电站，功率较大，成本相对较低，但对光伏方阵的一致性要求较高，在机场大面积光伏区域应用时具有一定优势。组串式逆变器可对每一串光伏组件进行独立的最大功率点跟踪（MPPT）控制，适应不同光照条件的能力更强，可有效提高发电效率，在机场分布式光伏系统中应用广泛。微型逆变器则直接与每一块光伏组件相连，实现组件级的最大功率点跟踪，具有更高的发电效率和安全性，尤其适用于机场建筑的复杂光照环境和对可靠性要求极高的区域。

3. 储能装置

储能装置是保障机场建筑光伏系统稳定运行的

重要组成部分，主要部件为蓄电池。常见的蓄电池类型有铅酸电池、镍镉电池、镍氢电池和锂电池等。在机场应用中，锂电池由于其能量密度高、使用寿命长、充放电效率高、响应速度快等优点，逐渐成为主流选择。虽然锂电池成本相对较高，但考虑到机场对电力供应稳定性和可靠性的严格要求，其综合优势明显。储能装置在光照充足时储存光伏方阵产生的多余电能，在夜间、恶劣天气或电网故障时释放电能，保证机场关键设备的持续运行，提高机场能源供应的稳定性和应急保障能力。

4. 其他部件

除了光伏方阵、逆变器和储能装置外，机场建筑光伏系统还有以下部件：①控制装置。负责对整个系统进行监测和控制，实现最大功率点跟踪、充放电控制、故障诊断等功能，提高系统的发电效率和稳定性。②光伏汇流箱。用于汇集多个光伏组件的输出电流，减少布线数量，降低线路损耗，方便系统管理和维护。③直流配电柜。对直流电能进行分配和保护，保证直流侧设备的安全运行。④交流配电柜。交流电能进行分配、计量和保护，满足机场不同区域的用电需求。⑤布线系统。负责连接各个部件，让电能进行可靠传输。在机场环境中，布线系统需要具备良好的防火、防潮、抗电磁干扰等性能。⑥监测系统。实时监测系统的运行参数，如发电量、电压、电流、温度等，立足于数据分析及时发现故障隐患，为系统的维护和优化提供依据，保障系统的高效运行。

机场建筑光伏系统主要设备选型

1. 光伏组件选型

(1) 选型原则

在选择光伏组件时，首先需考虑组件的功率和转换效率。对于机场建筑，由于场地面积有限且用电需求较大，应优先选择功率高、转换效率高的光伏组件，以在有限的安装空间内获得更多的发电量。同时，机场环境复杂，组件需具备良好的抗风沙、抗紫外线、抗盐雾腐蚀等性能，以确保长期稳定运行。此外，组件的可靠性、稳定性、使用寿命以及与机场建筑外观的协调性也是重要的考虑因素。

(2) 选型的计算

光伏阵列的最大断路电压和工作电压是选型与计算的核心考虑要素。为保证系统安全和效能，必须严格控制光伏阵列的峰值断路电压，确保其不超过逆变器能承受的最大直流输入电压。相关的计算公式可表示为

$$N_s \leq \frac{V_{dcmax}}{V_{oc} [1 + (t - 25) K_v]}$$

式中， N_s 为光伏组件的串联数（取整）； V_{dcmax} 为逆变器允许的最大直流输入电压； V_{oc} 为光伏组件的开路电压； K_v 为光伏组件的开路电压温度系数； t 为光伏组件工作条件下的极限低温。

在机场环境中，由于不同地区的气候条件差异较大，需要根据机场所在地的实际气象数据准确确定值。光伏组串的工作电压按规范应处于逆变器MPPT满载电压范围内，其计算涉及太阳高度角、方位角等因素，较为复杂。在实际工程中，通常借助专业的光伏设计软件，结合机场所在地的经纬度、气象数据以及建筑的具体布局进行精确计算，以确定最佳的组件串联数量和并联组数。

2. 逆变器选型

(1) 选型要点

逆变器的选型需综合考虑多个关键因素。首先是逆变器的额定容量，应根据机场光伏系统的装机容量和实际发电情况进行合理选择，以保证逆变器满足系统的功率需求。在无超配工况下，由于系统存在各种损耗，逆变器实际输出的最大容量通常为额定容量的80%~90%。因此，在设计时可适当提高容配比，提高逆变器和光伏系统的利用率。但同时要注意避免过度超配导致逆变器长期过载运行，影响其使用寿命和可靠性。

(2) 效率与质量

逆变器的转换效率也是关键指标，高效的逆变器能够减少电能转换过程中的损耗，提高系统的发电效率，降低机场的能源成本。此外，机场对电力质量要求极高，逆变器应具备良好的谐波抑制能力和功率因数校正功能，保证输出的电能符合机场用电设备的要求，避免对电网和设备造成干扰。同时，逆变器的防护等级应满足机场的环境要求，具备良好的防水、防尘和防腐蚀性能，适应机场复杂的户外环境。在通信功能方面，逆变器应支持远程

监控和数据传输，便于机场运维人员实时掌握设备运行状态，及时发现和处理故障，提高运维效率。品牌和售后服务也是重要的考虑因素，知名品牌的逆变器通常在产品品质、技术支持和售后服务方面更有保障，进而为机场光伏系统的长期稳定运行提供有力支持。

机场建筑光伏系统设备布置

1. 光伏方阵布置

(1) 安装方式与倾角设计

光伏方阵在机场建筑中的安装方式多样，常见的有屋面安装、墙面安装和地面安装等。以屋面安装为例，机场航站楼、停车场遮阳棚等建筑的屋顶为光伏组件提供广阔的安装空间。在确定安装倾角时，需综合考虑机场所在地多年的气候条件、光伏发电系统的负载特性以及商业运营模式等因素。借助专业辅助软件（如PVsyst、PVSOL等），模拟不同倾角下的发电量，确定最佳倾角。在北半球，一般情况下，光伏组件方位角朝向正南时可获得最大太阳辐射量。但在机场实际场景中，受周边建筑、地形以及航空导航等因素制约，通常需在正南 $\pm 20^\circ$ 范围内调整方位角，保证日照时长不小于4h，同时避免对航空导航信号产生干扰。例如，通过计算太阳高度角 α 和方位角 β 确定光伏组件的最佳安装角度，其计算公式为

$$\alpha = \arcsin(\sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos\omega)$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{\cos\delta\sin\omega}{\cos\alpha}\right)$$

式中， ϕ 为机场所在地纬度； δ 为赤纬角； ω 为时角。

通过这些公式能够准确计算出不同时刻太阳的位置，为光伏组件的合理安装提供依据。

(2) 间距计算与检修维护

为便于光伏组件的检修维护，无论是在屋面、墙面还是地面安装，均需预留足够的检修通道。当组件连续布置长度超过40 m时，应预留宽度不小于800 mm的通道，让维护人员及设备能够顺利通行，便于对组件进行检查、清洗、更换和维修等操作。光伏板的布置应避开建筑变形缝、伸缩缝等部位，防止因建筑结构变形对光伏板造成损坏。对于屋面布置的光伏方阵，前后排组件之间、与女儿墙或

遮光物之间的最小间距可通过计算确定，计算过程涉及太阳高度角、方位角、光伏方阵投影长度等参数。假设光伏组件高度为 h ，光伏方阵投影长度 L 计算公式为

$$L = \frac{h}{\tan\alpha}$$

光伏方阵之间不会遮挡的最小间距 D 计算公式为

$$D = L\cos\beta$$

精确计算确定合理的间距，既能避免组件间相互遮挡，提高发电效率，又能满足维护检修的通道宽度要求。具体计算示例及不同情况下的参数取值见表1。

表1 不同情况下的参数取值

计算参数	取值示例1	取值示例2
机场所在地纬度 ϕ	30°	40°
赤纬角 δ （冬至日）	-23.45°	-23.45°
时角 ω （冬至上午9:00）	45°	45°
光伏组件高度 h/m	1.5	2.0
太阳高度角 α	23.97°	14.57°
太阳方位角 β	59.47°	57.17°
光伏方阵投影长度 L/m	3.35	7.57
光伏方阵之间最小间距 D/m	1.70	4.09

2. 其他设备布置

逆变器、光伏汇流箱、直流配电柜和交流配电柜等设备的布置需依据机场建筑的布局 and 系统设计进行科学规划。逆变器应安装在通风良好、干燥且便于维护的场所，如机场的电气设备间或专门的光伏设备机房内，避免阳光直射和高温环境，保障其正常运行和良好散热。光伏汇流箱应尽量靠近光伏方阵，缩短直流线缆长度，降低线路损耗，降低成本，同时便于对光伏组件的输出电流进行汇集和管理。直流配电柜和交流配电柜适宜集中安装在电气设备间内，便于集中管理和维护，且其安装位置必须严格符合电气安全规范的要求。布线系统的设计应遵循安全、规范的原则。在机场环境中，线缆需采取防火、防潮、防电磁干扰等多重防护措施，确保线缆连接牢固、整齐有序，避免出现交叉和缠绕的现象。线缆的敷设路径应避开人员密集区域和航空活动区域，防止对人员安全和航空运行造成不利影响。监测系统的传感器应合理分布在各个关键位置，实时采集系统运行数据，并通过有线或无线通

信方式将数据传输至监控中心，以便运维人员及时掌握系统运行状态。

机场建筑光伏系统防雷接地设计

1. 防雷设计

屋面光伏方阵将组件金属边框支架作为防直击雷接闪器，以此将雷电引入大地，保护光伏组件和系统设备免受直击雷的损害。光伏方阵支架之间采用 $25\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ 镀锌扁钢进行防雷等电位连接，从而形成一个完整的防雷等电位体，保证各个部件之间的电位相等，避免因雷电引发的电位差对设备造成损坏。光伏方阵与机场建筑的屋顶接闪带应进行多处连接，连接点不少于4处，增强防雷的可靠性。连接点的布局需经过严谨的计算和设计，根据机场所在地区的雷电活动频率、强度以及建筑物的结构特点，运用相关防雷设计软件（如滚球法计算软件）确定连接点的位置和数量，确保在不同雷击情况下都能有效地引导雷电入地。同时，接闪装置和屋面设备的布置应避免遮挡光伏组件，确保光伏组件能够正常接收太阳辐射，维持发电效率。

2. 接地设计

对于未通电的设备，其金属外壳需确保稳定接地，涉及光伏板边框、支架、电缆桥架、逆变器、汇流箱外壳等。为保持接地系统的连贯与稳定，每块光伏板的金属边框通过柔性铜编织带与支架电气连接。同时，逆变器、汇流箱等设备的金属外壳也通过铜芯导线与支架连接，确保有效接地，接地电阻应符合相关规范要求，一般不大于 $4\text{ }\Omega$ 。在机场

建筑中，由于存在大量的电子设备和敏感的航空通信导航设施，对电磁环境的要求极高。为有效抑制电磁干扰，可采用多点接地、屏蔽接地等多种接地方式相结合的方法。例如，对于电子设备集中的区域，采用多点接地方式，缩短接地引线长度，降低接地电阻。对于信号线路，采用屏蔽接地的方式，将屏蔽层可靠接地，以减少电磁干扰对信号传输的影响。通过优化接地布局，降低接地电阻，以减少因接地不良导致的电磁干扰问题，保障机场各类设备的正常运行。在实际工程中，可根据土壤电阻率的测试结果，结合接地极的材质、长度和埋设深度等参数，运用该公式计算接地电阻，并根据计算结果调整接地系统的设计，以保证接地电阻满足要求。

结束语

建筑光伏系统在机场建筑中的应用，是机场实现节能减排、提升能源利用效率和可持续发展的重要举措。随着太阳能技术的不断进步和成本的逐渐降低，建筑光伏系统在机场领域的应用前景将更加广阔，但需要持续提高光伏组件的转换效率和稳定性，优化逆变器等设备的性能，降低储能装置成本，提升系统的整体经济性和可靠性。同时，在电气设计方面，需不断完善防雷接地、电磁兼容等技术措施，让光伏系统与机场复杂的电气环境相融合，保障机场的安全稳定运行。EA

（收稿日期：2025-05-26）

