

# 光伏发电系统高效设计与运维管理探讨

付 伟

中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司 北京 100024

**摘 要：**随着我国经济持续增长，电力供应的稳定可靠性，已成为衡量一个国家基础设施水平的重要标志。与此同时，能源与环境问题备受关注，特别是碳排放问题，目前已逐步演变为全球性环境挑战。为更好的应对这一挑战，人们需要积极探寻更为高效的光伏发电系统设计方式。其中，建筑光伏发电系统（BIPV）的运用，将太阳能电池板与建筑表面或结构融合在一起，一方面，为建筑提供电力，另一方面，还可以进一步增强建筑实用性。因此，本文将对光伏发电系统高效设计与运维管理措施进行探讨，以供参考。

**关键词：**光伏发电系统；高效设计；运维管理

前言：建筑光伏发电系统，作为清洁可再生能源解决方案，在当代社会，有广阔应用前景。建筑电气工程设计人员，需要科学规划设计，并实施有效的维护管理措施。通过这些努力，为低碳环保建筑环境贡献，全面推动全球能源转型与气候变化挑战提供，有力支持。

## 1 项目介绍

某单层结构的工业建筑项目，其高度为15m。总建筑面积约为2790m<sup>2</sup>，其中屋顶面积稍小，为2727m<sup>2</sup>。在该地区，水平面上的太阳年总辐射量达46.651×10<sup>8</sup>J/m<sup>2</sup>·年，相当于1295.85kW·h/m<sup>2</sup>·年。该地区年日照时长介于1200至2200小时之间，年平均峰值日照时长为3.59小时。

## 2 光伏发电系统高效设计要点

### 2.1 年发电量与安装容量

太阳能光伏发电系统主要包括光伏电池板、逆变器、交流与直流配电箱等关键组件。该系统的工作原理是将太阳光能转换为直流电能，然后逆变器将其转换为与电网兼容的交流电，具有相同频率与相位的正弦波交流电<sup>[1]</sup>。为估算工业厂房屋顶上光伏发电系统的发电量，需要考虑当地气象条件。光伏发电系统的预期发电量可以通过特定公式进行估算：

$$E_p = H_A(P_A / E_a)K$$

公式中， $E_p$ 表示年发电量； $H_A$ 表示水平面年太阳能总辐射量； $P_A$ 表示光伏组件安装容量； $E_a$ 表示标准条件下辐照度； $K$ 表示综合效率系数，如转换效率修整系数、组件位置修正系数等。

在此项目中，光伏电池板的最佳安装倾角为约29.3°，朝向正南。经计算，每行电池板间的安装间距应为1.87m，实际取2m。系统共有512块光伏电池板，总安装功率约为276kWp。

### 2.2 光伏组件方阵设计

#### 2.2.1 串并联设计

在建造太阳能光伏发电系统过程中，为更好的满足特定的安装要求，该项目选择并网系统作为其运行方式。并网系统可以将光伏发电所产生的电能直接输送到电网中，以此实现电能的有效利用。光伏组件的串联设置在光伏系统设计中至关重要，直接影响系统的性能<sup>[2]</sup>。在串联匹配过程中，需要主要考虑逆变器的最大直流输入电压与在最大功率点跟踪（MPPT）模式下的工作电压范围。为保证系统的安全，光伏组件串联后的最大开路电压不得超过逆变器的最大直流输入电压限制。此外，串联后组件的最大工作电压也须在逆变器的MPPT电压输入范围内，进而保证逆变器能够持续在最佳工作状态下运行。

确定光伏组件的串联数量后，接下来需要考虑组件的并联设置。这一步的目标是保证多个光伏组件串能够同时工作，而不超过逆变器的最大直流输入电流与最大输入功率限制。逆变器的最大直流输入电流决定可并联的光伏组件串数，而最大输入功率则限制整个系统可以处理的电能总量。通过精确计算与合理设置，能保证光伏发电系统在不超过逆变器性能限制的前提下，实现最大的电能输出。在光伏发电系统的设计安装中，还需要考虑其他多种因素，如环境条件、组件的物理特性、系统的整体布局等。例如，光伏组件的倾角、朝向与安装位置都会对系统的发电效率产生影响。此外，系统的电缆布局、接地设计与防雷措施也是保证系统安全稳定运行的重要因素。为更好的改善光伏发电系统的效率，一般情况下，需要运用一些先进的技术，如智能监控系统、故障诊断技术与预测性维护策略。

#### 2.2.2 并网逆变器设计

在该方案中,太阳能发电系统的容量可以设定为276kWp,这是通过对项目要求与预期发电效率的全面评估得出的结论。首先,采用4台70kW的并网逆变器,进而保证系统的可靠运行与高效转换电能。每台逆变器将连接128块太阳能电池板,这种配置的目的是为了优化系统的电能产出并减轻单台逆变器的负载<sup>[3]</sup>。通过仔细计算,每台逆变器连接的128块太阳能电池板将形成一个总功率为69.12kW的太阳能阵列。

整个太阳能方阵由8个这样的串联电路构成,通过智能型防雷直流汇流箱接入逆变器,这种配置可以有效地保护系统免受雷击等自然因素的危害,同时也提高系统的安全性与可靠性。4台逆变器共计32个串联电路,总共连接512块太阳能电池板,这种配置保证整个系统的安装容量达到276kWp。在太阳能电池板的串联与并联配置过程中,需要特别注意逆变器的最大直流输入电压与最大功率点跟踪(MPPT)电压范围,进而保证不超过逆变器的性能限制。此外,还需要考虑逆变器的最大直流输入电流与最大输入功率,进而保证系统的稳定运行。在设计太阳能发电系统过程中,还需要考虑电池板的物理特性,如尺寸、重量与耐候性,以及电气特性,如开路电压、短路电流与最大功率点。这些因素都会影响系统的综合性能与电能产量。

### 2.3 并网要求与接入方式

#### 2.3.1 并网要求

在光伏发电系统的布置中,可以根据系统的产能及并网电压等级的具体要求,选择单点并网或多点并网策略。单点并网适用于小规模系统,而多点并网适用于大规模或需要在多处接入电网的系统。并网点的设置至关重要,应位于易于操作与维护的位置,并配备可锁定的机制与清晰可见的断开点。保证在维护时工作人员的人身安全,易操作的点可减少维护时间,进而提高效率。可闭锁设计能防止意外闭合,保持系统安全,清晰的断开点可提供直观反馈,保证操作人员解系统连接状态。

规划与设计阶段,需要严格遵守相关安全规范与标准,主要包括电气安全、机械安全与环境保护等方面要求。并网点设计需要考虑技术实现与操作便捷性及安全性。并网点应配备必要的保护装置,如过载、短路与接地故障保护,保证能及时切断电源以防事故扩大。实时监控并网点状态与数据采集,可及时发现并处理问题。

#### 2.3.2 接入方式

在规划与实施分布式光伏发电系统过程中,接入电网的功率大小不容忽视。其通常情况下,需要根据接入点的电压等级与具体情况进行准确控制<sup>[4]</sup>。为确定最大

安全接入功率,必须对电网实际运行情况、电能质量要求以及防止孤岛效应的措施等进行全面评估。一般来说,光伏发电系统接入总功率容量不得超过所连接主变压器或配电变压器接入侧线圈额定容量的30%。此外,系统总容量也不得超过上一级变压器额定容量的25%,进而保证电网稳定运行且避免给现有电力设施造成过重负担。

对于容量较大的光伏发电系统,还需要深入分析系统输出功率变化可能引起的线路功率波动与节点电压变化。根据光伏发电系统的装机容量,可初步选择并网电压的接入等级。例如,装机容量在8kW以下的系统可接入220V电网;8kW至500kW的系统适合接入380V电网;500kW至6000kW的系统应接入10kV电网;装机容量超过6000kW的系统则考虑接入35kV电网。在接入方式上,常见有专线接入、T接接入与用户侧接入三种方法。专线接入指为光伏发电系统单独设置电力线路,适用于对电能质量有特殊要求的情况。T接接入将系统接入现有电力线路,成本较低,适用于小规模系统。用户侧接入是直接接入用户电力设施,可减少电力输送损失,提高电能利用效率。

在当前项目的实施中,鉴于光伏发电系统的装机容量,选择自发自用余电上网的运行模式。这种模式可以使光伏电站在满足自身用电要求的同时,将多余的电能输送至电网,实现能源的优化配置与高效利用。光伏电站的设计安装容量为276kWp,而变压器容量为2000kVA,为系统的并网提供充足的容量空间。在这种情况下,采用单点接入策略,选择在变电室的低压母线侧作为接入点。这种布局简化系统的接入流程,提高电能传输效率与系统的稳定性。实施并网系统过程中,需要重视电能计量的准确性与可靠性。因此,在光伏发电侧与电能计量点分别安装专用的电能计量装置非常重要。这些装置的配置与安装对于准确计量电能、监控电能流向以及合理分配电能至关重要。

### 2.4 光伏荷载

在光伏组件布置完成后,对建筑屋顶结构的荷载问题进行细致评估至关重要。屋顶光伏系统的结构荷载主要主要包括支架总荷载(T)与基础荷载(J)。支架总荷载的计算需要综合考虑多方面因素,计算公式根据风向不同而变化。顺风情况下,支架总荷载计算公式为

$$T = G + W + S + K$$

逆风情况下,计算公式为:

$$T = G - W + S + K$$

在这些公式中,G代表固定载荷,主要包括光伏组件自身重量及其他附加重量。固定载荷可进一步分解为:

$$G = GM + GM_1 + GM_2$$

其中GM是组件的质量,主要包括组件边框;GM<sub>1</sub>是支架自身重量;GM<sub>2</sub>主要包括其他附加重量,如逆变器、汇流箱等设备。

W表示风压载荷,由作用在组件的风压(WM)与支撑物的风压(WK)构成。S代表积雪载荷,即积雪对垂直面的垂直荷载。K是地震载荷,水平作用在支撑物上的地震力。支架总荷载大小与安装地点环境条件密切相关,同时受支架材质影响。

### 3 光伏发电系统运维管理措施

#### 3.1 建设技术档案

技术档案的首部分涉及设备的基础数据,这些数据对于掌握设备的运行特性与维护要求至关重要<sup>[5]</sup>。具体内容主要包括设备的技术参数,包含设备的性能指标与工作范围;设备型号,用于标识设备规格与制造商信息;电气原理,描述设备的电气连接与电路设计;工作原理,解释设备将太阳能转换为电能的方式;使用注意事项,提醒操作人员在设备运行中需要遵守的安全规则与操作限制;操作步骤说明,提供设备启动、运行与关闭的详细指引;以及故障处理方案,为可能出现的故障提供诊断与解决策略。技术档案的第二部分着眼于发电设备的日常维护与定期检修记录,为保证记录的准确性,需要指派专门人员定期检查设备并详细记录检查结果。这些记录,不但包括设备的日常运行状态,还需要包含任何发生的事故或故障。

#### 3.2 做好细节维护

在光伏发电系统的维护工作中,提高维护水准是保证系统建设成效的重要保证。第一,保证光伏组件具有适当的朝南倾角,是最大化太阳光吸收量的关键。其有利于组件全天候接收直射阳光,从而提高发电效率。在实际安装过程中,应根据地理位置与季节变化精确计算并调整组件的最佳倾角。第二,遮挡是提高光伏发电效率的另一个重要因素。应将光伏组件布置在无遮挡的宽阔地方,保证阳光直射到组件表面。在城市环境中,可

考虑将光伏组件安装在建筑顶层,减少周围建筑物或树木的遮挡。第三,保持光伏组件清洁是维护工作不可或缺的一部分。不同环境下的设备需要,制定相应的清洁计划。清洁过程中,应避免踩踏组件面板,采用科学的清洁方法,如软刷与清水清洗,去除污垢与灰尘。务必注意保护光伏组件,避免因清洁操作不当影响性能。第四,完善发电设备的组件及检修工作对系统稳定运行至关重要。定期检修可及时发现并解决潜在问题。光伏发电系统中某些部件易损坏,因此需要备足易损部件,发现损坏时及时更换,保证工作效率与系统得稳定运行。另外,维护工作还包括对光伏发电系统性能的监测。通过收集并分析系统运行数据,评估系统性能,识别潜在问题,采取相应措施优化。监测组件温°、电压、电流等参数,评估系统整体效率。在维护过程中,需要留意环境因素对光伏发电系统的影响。极端天气可能损害组件,设计与维护时须考虑,并采取必要防护措施。

结语:随着“双碳”目标政策实施,建筑光伏一体化发电系统应用将更加普及。为保证系统高效稳定运行,科学维护与管理必不可少。准确维护持续技术改进,可进一步提高光伏发电系统性能,更好实现我国碳排放目标。

#### 参考文献

- [1]裴文浩,贾鸿源,闫孟哲,等.光伏发电与固体储热联合供暖系统开发与应用[J].河北水利电力学院学报,2024,34(02):49-53.
- [2]李世豪.地铁高架车站太阳能光伏发电系统设计研究[J].光源与照明,2024,(05):105-107.
- [3]任继刚,黄靓,王乔晨,等.光伏发电系统在露天矿山中的应用[J].机电产品开发与创新,2024,37(03):60-63.
- [4]张露心,颜加龙,何秋喜,等.精细控制智能化光伏大棚的设计[J].太阳能,2024,(05):83-88
- [5]杜军,房建军.光伏建筑一体化项目发电与直流配电系统设计实践[J].建筑科技,2024,8(05):83-86+90.