

光伏发电系统发电效率探究

卜雪兵

会泽华电道成清洁能源开发有限公司 云南 曲靖 654200

摘要：光伏发电作为清洁能源的重要组成部分，其发电效率对能源供应的稳定性和经济性具有关键影响。通过深入剖析光照、温度、组件性能及系统设计等核心因素，研究发现各因素间相互关联、协同作用，共同决定系统发电效率。针对不同影响因素，提出优化光照条件、控制工作温度、提升组件性能及合理设计系统等有效策略，为提高光伏发电系统发电效率提供理论依据与实践指导，助力推动光伏发电产业高效发展。

关键词：光伏发电；系统；效率

引言

在全球能源结构加速向清洁能源转型的背景下，光伏发电凭借清洁无污染、可再生等优势，成为能源领域的研究热点与发展重点。光伏发电系统发电效率受多种因素制约，限制其大规模推广与应用。本文系统探讨光照、温度、组件性能及系统设计等因素对光伏发电系统发电效率的影响机制，深入分析各因素间的内在联系，针对性提出提升发电效率的有效策略，旨在为优化光伏发电系统性能、促进产业可持续发展提供理论支撑与实践参考。

1 光伏发电系统概述

光伏发电系统是基于半导体的光生伏特效应，将太阳辐射能直接转换为电能的发电装置。其核心组件太阳能电池板由大量光伏电池串联、并联构成，当太阳光照射到光伏电池表面，光子撞击半导体材料，激发出电子-空穴对，在电池内部电场作用下，电子和空穴分离并定向移动，从而产生直流电。这种发电方式无机械传动部件，运行过程不产生温室气体排放，是一种清洁、可持续的能源转换技术。完整的光伏发电系统通常包含光伏阵列、汇流箱、逆变器、储能装置及负载等部分。光伏阵列作为能量转换的核心，通过合理的布局与安装，最大限度接收太阳辐射；汇流箱将多路光伏组件输出的直流电进行汇流，减少线路损耗；逆变器则将直流电转换为符合电网接入标准或负载需求的交流电，其性能直接影响系统的电能质量与转换效率；储能装置在光照充足时储存多余电能，在光照不足或夜间保障持续供电，提升系统稳定性与可靠性。根据应用场景与接入方式，光伏发电系统可分为并网型和离网型。并网光伏发电系统与公共电网相连，将多余电能输送至电网，同时在自身发电不足时从电网取电，是目前应用最广泛的类型，常应用于大型光伏电站、工商业屋顶及居民分布式项目。

离网光伏发电系统独立运行，依靠储能装置满足负载用电需求，适用于偏远无电地区、海岛及通信基站等场景，为当地提供稳定电力供应。随着光伏技术的不断发展，高效晶体硅电池、薄膜电池及新型钙钛矿电池等技术持续突破，光伏发电系统的转换效率和可靠性显著提升，成本不断降低，在全球能源结构转型进程中发挥着越来越重要的作用，逐渐成为未来能源体系的重要组成部分。

2 影响光伏发电系统发电效率的因素

2.1 光照因素

光照作为光伏发电系统实现光电转换的核心能量来源，其强度、光谱分布及日照时长直接左右发电效率。光照强度方面，在光伏组件光电转换的有效工作区间内，单位面积上接收的太阳辐射通量与发电功率呈近似线性关系，太阳辐射强度越高，光子轰击光伏材料激发的电子-空穴对数量越多，经半导体PN结分离后形成的电流也就越大。当光照强度超出组件额定工作范围，组件内部载流子复合加剧，串联电阻损耗增大，光电转换效率反而下降。光谱分布影响同样关键，光伏材料对不同波长光子的吸收效率存在差异，晶体硅电池在波长500-1100纳米光谱区间吸收效率较高，若太阳光谱中此区间能量占比不足，即便总光照强度达标，发电效率也会受限。日照时长通过累计光能输入量影响发电量，长时间连续光照可保障光伏系统稳定输出，而频繁的云层遮挡、阴雨天气导致的光照中断，会使组件频繁经历启动-稳定-关闭过程，每次启动时的瞬时损耗以及光照不足时的低效率运行，均会降低整体发电效率^[1]。

2.2 温度因素

温度对光伏发电系统的影响贯穿组件内部物理化学过程与系统运行稳定性。光伏组件的输出功率与温度呈负相关特性，其原理在于温度升高时，光伏材料

的禁带宽度减小，导致电子跃迁所需能量降低，内部载流子热运动加剧，反向饱和电流增大，从而使光伏组件的开路电压随温度升高而线性下降，降幅约为-2.2至-2.5mV/℃。温度上升会引起光伏组件短路电流微弱增加，但开路电压下降幅度远大于短路电流的增幅，最终导致组件最大功率输出降低。高温环境还会加速光伏组件封装材料的老化，背板、EVA胶膜在长期高温作用下易发生降解、脱层，破坏组件密封性，引发内部电路短路或局部热斑效应，进一步降低发电效率。极端低温环境下，光伏材料的电子迁移率下降，电池板机械性能变脆，可能出现裂纹甚至损坏，影响系统正常运行，且低温环境下组件表面易结霜、积雪，阻碍光照接收，导致发电效率显著降低。

2.3 组件性能因素

光伏组件自身性能是决定发电效率的核心内因，涵盖材料特性、制造工艺及衰减特性等多个维度。从材料角度，晶体硅电池凭借成熟的产业链与较高的光电转换效率占据市场主导地位，单晶硅电池实验室转换效率已突破26%，多晶硅电池则以成本优势在大规模应用中表现出色；碲化镉、铜铟镓硒等薄膜电池虽理论转换效率潜力大，但大面积制备时存在效率均匀性难题。制造工艺层面，电池片的切割精度、表面绒面处理质量、电极印刷工艺等直接影响光吸收与载流子收集效率，例如高质量的绒面结构可有效减少光反射，增加光在电池片内部的传播路径，提升光子吸收概率；电极的高导电性与合适的栅线设计，能够降低载流子传输电阻，减少能量损耗。组件衰减特性同样不容忽视，光伏组件在长期运行过程中，受紫外线照射、湿度、机械应力等因素影响，会出现功率衰减，初期光致衰减（LID）与长期的老化衰减（PID）现象并存，不同厂家、不同批次组件的衰减速率差异显著，衰减率高的组件在长期运行中发电效率会大幅下降^[2]。

2.4 系统设计因素

光伏发电系统的设计方案从架构层面决定能量转换与传输效率，涉及组件选型匹配、阵列布局、电气系统设计等关键环节。组件选型匹配方面，需根据应用场景的光照资源、温度环境，合理选择不同类型与规格的光伏组件，例如高纬度地区宜选用低温性能好的组件，沙漠地区则需考虑组件的耐高温与抗风沙能力；组件串联、并联数量的计算需结合逆变器的MPPT（最大功率点跟踪）范围，确保组件始终工作在高效功率输出区间。阵列布局影响光照接收与阴影遮挡，合理的组件间距设计需综合考虑当地纬度、季节变化，避免前后排组件产

生阴影遮挡，东西向布局可有效分散早晚时段的光照强度差异，提升全天发电量；支架倾角的优化设计能使组件接收更多太阳辐射，以我国大部分地区为例，光伏阵列倾角与当地纬度相近时可获得较高年均发电量。电气系统设计中，逆变器的转换效率、线缆的规格选型、汇流箱的配置等对系统效率影响显著，高效逆变器的MPPT精度高，能快速跟踪组件最大功率点，减少功率损耗；线缆规格若不匹配电流大小，会产生较大的线路电阻损耗，降低系统整体效率。

3 提高光伏发电系统发电效率的策略

3.1 优化光照条件

(1) 光伏组件的安装角度与朝向直接影响接收太阳辐射量，通过精确的天文计算和地理信息系统（GIS）分析，依据安装地的经纬度、季节变化，调整组件倾角与方位角，使光伏组件在全年各时段最大限度接收直射光，减少斜射光造成的能量损失。例如，在北半球中纬度地区，将组件朝南安装并设置合适倾角，可有效提高单位面积的发电量。(2) 定期清洁光伏组件表面是优化光照条件的关键环节。灰尘、鸟粪、落叶等附着物会显著降低组件的透光率，削弱光伏效应。采用专业的自动清洗设备，通过传感器监测组件表面的污染程度，适时启动清洗程序，确保组件表面保持高透光状态。合理规划组件间距，避免前排组件对后排的阴影遮挡，提升整体光照接收效率。(3) 运用先进的跟踪系统，可使光伏组件实时跟随太阳运动轨迹。单轴跟踪系统能根据太阳的方位角变化进行水平转动，双轴跟踪系统在此基础上还能实现倾角的动态调整，有效增加光伏组件接收太阳辐射的时间和强度，相较于固定安装方式，可提升15%-30%的发电量，显著提高光伏发电系统的发电效率。

3.2 控制工作温度

(1) 光伏组件的发电效率与工作温度密切相关，温度每升高1℃，组件的输出功率约下降0.3%-0.5%。优化组件的散热设计至关重要。在组件背部采用高效的散热材料，如导热硅胶、铝制散热片等，增强热量传导能力，快速将组件产生的热量散发到周围环境中。在组件安装时预留足够的通风空间，利用自然对流或加装散热风扇，促进空气流通，降低组件表面温度。(2) 相变材料（PCM）的应用为温度控制提供了新途径。相变材料在达到相变温度时，会吸收或释放大量潜热，从而维持组件温度在相对稳定的范围内。将相变材料集成到光伏组件的封装结构中，当组件温度升高时，相变材料吸收热量发生相变，有效抑制温度上升；当温度降低时，相变材料释放热量，防止组件温度过低，保障组件在适宜

的温度区间内高效运行。（3）采用水冷或风冷等主动冷却技术，可对光伏组件进行精准温度控制。水冷系统通过循环冷却液带走组件热量，具有冷却效率高、控温稳定的特点；风冷系统则利用风机强制空气流动，带走组件表面热量，具有结构简单、成本较低的优势。根据实际应用场景和需求，深入分析各冷却技术特性后合理选择主动冷却技术，能够显著降低组件工作温度，提升发电效率^[3]。

3.3 提升组件性能

（1）选择高性能的光伏电池材料是提升组件性能的基础。当前，单晶硅、多晶硅和薄膜太阳能电池是主流的光伏电池类型。单晶硅电池转换效率高、稳定性好；多晶硅电池成本较低、适合大规模应用；薄膜太阳能电池具有轻薄、柔性好等特点，适用于特殊安装场景。根据项目需求和应用场景，合理选择电池材料，并不断研发新型电池材料，如钙钛矿电池，以进一步提高光电转换效率。（2）优化光伏组件的封装工艺，可有效提升组件的可靠性和使用寿命。采用高透光率、耐候性强的封装材料，如EVA（乙烯-醋酸乙烯共聚物）胶膜和钢化玻璃，能够保护电池片免受环境因素的侵蚀，同时减少光反射损失。改进焊接工艺，确保电池片之间的电气连接可靠，降低接触电阻，减少功率损耗。通过优化组件的电路设计，提高组件的输出功率和稳定性。（3）实施组件的智能监测与维护，有助于及时发现并解决组件性能下降的问题。利用传感器实时监测组件的工作电流、电压、温度等参数，通过数据分析和故障诊断算法，快速定位故障组件并进行维修或更换。定期对组件进行性能检测和评估，根据检测结果对组件进行优化调整，如清洗、重新接线等，确保组件始终保持良好的工作状态，提升整体发电效率。

3.4 合理设计系统

（1）科学配置光伏系统的容量是合理设计系统的核心。根据用电需求、安装场地面积和太阳辐射资源，精确计算所需的光伏组件数量和逆变器容量。避免容量过大导致投资浪费和资源闲置，或容量过小无法满足用电

需求。考虑系统的冗余设计，以应对光照条件变化和设备故障等情况，保障系统的稳定供电。（2）优化逆变器的选型与配置对系统效率影响显著。逆变器作为将光伏组件产生的直流电转换为交流电的关键设备，其转换效率、最大功率点跟踪（MPPT）精度直接影响系统的发电效率。选择具有高效转换效率和高精度MPPT功能的逆变器，并根据组件的数量和排列方式合理配置逆变器的数量和容量，确保逆变器与光伏组件之间实现最佳匹配，减少能量转换损耗。（3）完善的系统布线和电气设计能够降低线路损耗，提高系统可靠性。采用低电阻、耐高温的电缆和电线，合理规划布线路径，减少线路长度和弯曲次数，降低线路电阻造成的功率损耗。做好系统的防雷接地设计，安装合适的防雷装置，防止雷击对系统造成损坏。优化系统的监控和管理系统，实现对系统运行状态的实时监测和远程控制，及时发现并解决系统运行中出现的问题，保障光伏发电系统高效、稳定运行^[4]。

结语

综上所述，光照、温度、组件性能及系统设计等因素对光伏发电系统发电效率有着显著影响。通过对各影响因素的深入研究，明确了其作用机理与相互关系，并提出了一系列切实可行的优化策略。未来，随着技术的不断进步与创新，需进一步探索多因素协同优化方案，持续提升光伏发电系统发电效率，降低发电成本，推动光伏发电在全球能源结构中占据更重要的地位，助力实现“双碳”目标。

参考文献

- [1] 张双力.光伏发电系统发电效率探析[J].电脑校园,2020(7):3631-3632.
- [2] 张屹然.光伏发电系统效率优化策略与实践研究[J].通信电源技术,2025,42(2):134-136.
- [3] 刘从领,薛建平,彭宏亮,等.提高光伏发电系统效率技术实践[J].石油石化节能与计量,2024,14(2):44-48,53.
- [4] 曹晓君.光伏发电系统的效率优化与性能提升研究[J].通信电源技术,2024,41(9):118-120.