

光伏发电系统效率提升技术与光伏功率优化器的应用实践

赵植城

国电南京自动化股份有限公司 江苏南京 211100

摘要: 随着全球对清洁能源需求的不断增长,光伏发电作为重要的可再生能源发电方式,其效率提升成为行业关注焦点。本文深入研究光伏发电系统效率提升的关键技术,详细阐述最大功率点跟踪、光伏电池材料优化、散热与温度控制、系统智能运维、光伏功率优化器的应用实践等,分析各项技术在提升发电效率方面的效果与优势,为光伏发电系统的高效运行提供理论与实践参考。

关键词: 光伏发电系统效率;最大功率点跟踪;光伏电池材料;智能运维;光伏功率优化器的应用实践

引言

在全球能源结构向清洁化、低碳化转型的大背景下,光伏发电凭借其无污染、可再生等优势,成为能源领域的重要发展方向。然而,受光照强度、温度、天气等因素影响,光伏发电系统的发电效率存在波动,限制了其大规模应用。因此,研究并应用光伏发电系统效率提升技术,对于提高光伏发电的稳定性和经济性,推动能源可持续发展具有重要意义。目前,国内外学者在光伏发电效率提升技术方面开展了大量研究,涵盖从光伏电池材料改进到系统整体优化等多个层面,本文将对相关关键技术进行深入探讨与实践分析。

1 光伏发电系统效率影响因素分析

1.1 光照条件

光照强度和光照时长直接影响光伏电池的发电能力。在一定范围内,光照强度越强,光伏电池产生的电能越多。但当光照强度过高时,会导致光伏电池温度升高,反而降低发电效率。此外,不同地区的光照时长差异,也使得光伏发电系统的日发电量和年发电量有所不同。例如,高纬度地区冬季光照时长较短,光伏发电量明显低于夏季。

1.2 温度因素

光伏电池的输出功率与温度呈负相关关系。随着温度升高,光伏电池的开路电压降低,短路电流虽有所增加,但总体输出功率下降。研究表明,在标准测试条件下,光伏电池温度每升高 1°C ,其输出功率约下降 $0.3\% - 0.5\%$ 。在高温环境下,如何有效散热成为提升光伏发电效率的关键问题

之一。

1.3 光伏电池性能

光伏电池的转换效率是决定光伏发电系统整体效率的核心因素。不同类型的光伏电池,如单晶硅、多晶硅、薄膜电池等,其光电转换效率存在较大差异。同时,光伏电池的衰减特性也会影响长期发电效率,随着使用年限增加,电池的转换效率会逐渐降低。

1.4 系统配置与运行管理

光伏发电系统的组件串联、并联方式,逆变器的转换效率,以及系统的运维管理水平等,都会对整体发电效率产生影响。不合理的组件配置可能导致部分组件工作在低效状态,而逆变器的能量损耗也是系统效率损失的重要来源。此外,缺乏有效的运维管理,如组件表面积灰、设备故障未及时修复等,也会降低发电效率。

2 光伏发电系统效率提升关键技术

2.1 最大功率点跟踪 (MPPT) 技术

2.1.1 技术原理

最大功率点跟踪技术的核心目标是使光伏电池始终工作在最大功率点附近,以实现最大发电效率。其基本原理是通过实时检测光伏电池的输出电压和电流,计算出输出功率,并根据功率变化调整工作点。常见的 MPPT 算法包括扰动观察法、电导增量法、模糊控制法等。

2.1.2 算法分析

表 2.1.2

MPPT 算法	优点	缺点	适用场景
扰动观察法	原理简单、易于实现	跟踪速度慢、光照快速变化时易误判	小型光伏发电系统、光照稳定场景
电导增量法	跟踪精度高	算法复杂、对硬件要求高	中型光伏发电系统、对精度要求较高场景
模糊控制法	鲁棒性强、适应性好、跟踪速度快	模糊规则制定较复杂	大型光伏发电系统、光照变化复杂场景

2.2 光伏电池材料与结构优化技术

过优化材料的晶体结构、掺杂元素等手段，可以进一步提高电池的稳定性 and 效率。CIGS 电池具有良好的弱光性能和温度特性，适合在不同光照条件下使用，通过改进薄膜制备工艺，可提升其光电转换效率和使用寿命。

2.2.1 新型光伏电池材料研发

近年来，钙钛矿电池、铜铟镓硒（CIGS）电池等新型光伏电池材料发展迅速。钙钛矿电池具有较高的光电转换效率和较低的制造成本，其实验室转换效率已突破 25%。通

表 2.2.1

光伏电池材料类型	实验室最高转换效率	量产转换效率	主要优势	主要劣势
单晶硅电池	26.70%	23% – 24%	稳定性高、转换效率较高	成本较高
多晶硅电池	22.80%	19% – 20%	成本较低、技术成熟	转换效率相对较低
钙钛矿电池	25.70%	18% – 20%	效率高、成本低	稳定性有待提高
CIGS 电池	23.40%	16% – 18%	弱光性能好、温度特性优	工艺复杂、毒性问题

2.2.2 光伏电池结构改进

采用多结电池结构、背接触电池结构等新型电池结构，能够有效提高光伏电池的转换效率。多结电池通过将不同禁带宽度的半导体材料叠加，可吸收更宽光谱范围的光子，提高对太阳能的利用率。背接触电池将电池的正负极都设置在电池背面，减少了正面电极对光线的遮挡，降低了电池的表面复合损失，从而提高电池效率。

监测系统，实时采集光伏组件的电压、电流、温度、光照强度等数据，以及逆变器、汇流箱等设备的运行参数。通过对这些数据的分析，及时掌握系统的运行状态，为效率提升和故障诊断提供依据。

2.3 散热与温度控制技术

2.4.2 故障诊断与预测

基于大数据分析和机器学习算法，建立故障诊断模型，对光伏发电系统的故障进行快速诊断和定位。例如，通过分析光伏组件的电流 – 电压（I – V）曲线特征，判断组件是否存在故障；利用神经网络算法对历史运行数据进行学习，预测设备可能出现的故障，提前采取维护措施，减少停机时间，提高系统发电效率。

2.3.1 被动散热技术

被动散热主要通过自然对流、热传导等方式实现，如采用散热片、热管等散热装置。散热片通过增加散热面积，加快热量的散发；热管利用工质的相变传热，具有高效的导热性能，能够快速将光伏电池产生的热量传递到外界环境中。

2.5 光伏功率优化器的应用实践

2.3.2 主动散热技术

主动散热技术包括风冷、液冷等方式。风冷系统通过风扇强制空气流动，带走光伏电池表面的热量；液冷系统利用液体的高比热容和良好的导热性能，将热量带走，冷却效果更为显著。在高温环境或大型光伏发电系统中，主动散热技术能够有效降低光伏电池温度，提高发电效率。

2.5.1 光伏功率优化器

光伏功率优化器采用独特的软件算法，能实时追踪到单块组件的最大功率点 (Maximum Power Point)，用户可根据光伏系统的实际运行状况，选用不同类型的功率优化器，来解决因阴影遮挡、组件朝向差异或组件衰减不一致所造成的光伏系统发电量降低的问题，实现单块组件的最大功率输出和在线监控，提升系统效率。

2.4 智能运维与故障诊断技术

2.5.2 项目实践案例及分析结果

2.4.1 智能监测系统

在公司园区自投自建的分布式光伏发电项目中，进行了光伏功率优化器的应用实践，项目现已投运近一年。

利用传感器、物联网等技术，构建光伏发电系统智能

该项目中,车棚光伏中 N17、N18 逆变器同为 50kW 型号、同样接入 108 块 575W_p 光伏组件、组件布置朝向等一致。其中 N17 逆变器下端采用 54 套光伏功率优化器两两连接后再接入逆变器。N18 逆变器采用常规串接方式。

根据后台累计发电量统计,截至目前,N17 逆变器累计发电量 44400 度,N18 逆变器累计发电量 43680 度。采用光伏功率优化器的逆变器在近一年的周期内发电量提升了 1.65%。按常规串接方式统计,25 年平均利用小时数 966 小时,逆变器功率 50kW,直流侧功率 62100W_p,容配比 1.242,总发电量提升按 1.65% 计情况下。25 年可提升发电量约 24745 度。

当前光伏功率优化器得采购及安装成本约 400 元/套,54 套共计 21600 元,暂不考虑故障损坏等情况,计算可得综合上网电价 > 0.873 元/度时,采用光伏功率优化器才具有经济型。

以目前的性能、造价情况看,光伏功率优化器设备可适用于高电价区域的工商业分布式项目。还需进一步提升设备性能,降低设备成本,才能推广至大型集中式光伏电站应用。

3 结论

光伏发电系统效率提升技术对于推动光伏发电产业的发展具有重要意义。通过应用最大功率点跟踪技术、光伏电池材料与结构优化技术、散热与温度控制技术以及智能运维与故障诊断技术、光伏功率优化器的应用实践等,能够有效提高光伏发电系统的发电效率,降低发电成本。在实际应用中,应根据不同的项目需求和环境条件,综合运用多种效率提升技术,实现光伏发电系统的高效、稳定运行。未来,随着技术的不断创新和发展,光伏发电系统效率有望进一步提

升,为全球能源转型和可持续发展做出更大贡献。

在后续研究中,可进一步探索多种效率提升技术的协同应用,加强新型光伏电池材料的研发和产业化应用,以及深化智能运维技术在光伏发电系统中的应用,提高系统的智能化管理水平。同时,还需关注光伏发电系统与储能系统、电网的融合发展,解决光伏发电的间歇性和波动性问题,提升能源供应的可靠性和稳定性。

参考文献:

- [1] 陈清,赵植城,吴丽华,王春林,郭培育,汪四友.大型地面光伏电站中光伏方阵容量的优化设计[J].太阳能,2021(03):51-56.
- [2] 赵植城.一种大型茶光互补电站提升光伏区土地利用率和装机容量的办法[J].电力工程与管理,2025(02):95-97.
- [3] 孙立江.太阳能光伏发电技术的应用研究[J].中国设备工程,2025(03):241-243.
- [4] 张国栋,王定国,李云霞.光伏发电系统中逆变器的效率提升与优化设计研究[J].家电维修,2025(02):146-148.
- [5] 孙浩远.光伏发电系统的设计与应用[J].现代工业经济和信息化,2025,15(01):84-85+89.
- [6] 张震峰.探究新能源光伏发电技术的应用与发展前景[J].人民珠江,2024,45(S2):101-103.
- [7] 张朝,吕月飞,赵亚雄,等.BP 神经网络在光伏发电 MPPT 控制中的应用[J].节能,2025,44(01):26-28.

作者简介:

赵植城(1992-11)男,江苏太仓人,汉族,研究生,工程师,研究方向:从事新能源电站电气一次设计。