

# 光伏发电系统发电效率探究

黄志豪 王 廓 宋 桐

华能新能源股份有限公司辽宁分公司 辽宁 沈阳 110000

**摘 要：**本论文围绕光伏发电系统发电效率展开深入研究，系统分析了影响发电效率的关键因素，涵盖光伏组件性能、环境条件、系统设计与运维等方面。通过理论分析、案例研究与实验数据对比，探讨提升发电效率的有效策略，包括采用新型光伏材料与组件技术、优化系统设计、改进运维管理等。研究旨在为提高光伏发电系统的整体性能与经济效益提供理论依据和实践指导，推动光伏发电行业的可持续发展。

**关键词：**光伏发电系统；发电效率；探究

**引言：**随着全球能源需求的不断增长以及对环境保护的日益重视，可再生能源在能源结构中的地位愈发重要。光伏发电作为一种清洁、可再生的能源利用方式，具有广阔的发展前景。近年来，全球光伏发电装机容量持续快速增长，我国也在大力推进光伏发电项目的建设。但问题是，光伏发电系统的发电效率直接影响其经济效益和能源供应能力，如何提高发电效率成为行业关注的焦点。目前，虽然光伏发电技术取得了显著进步，但在实际应用中，发电效率仍受到多种因素的制约，因此，深入探究光伏发电系统发电效率具有重要的现实意义。

## 1 光伏发电系统的基本原理

光伏发电系统作为一种将太阳能转化为电能的重要技术，其核心原理基于半导体的光伏效应。在自然界中，太阳光蕴含着巨大的能量，当这些光子照射到光伏组件上时，奇妙的变化便开始发生。光伏组件通常由半导体材料制成，这些材料具有独特的电学性质。光子携带的能量被半导体吸收后，会激发出电子-空穴对。

在半导体内部，存在着一个关键的PN结结构，它内部存在内建电场。这个内建电场就像是一个无形的“推手”，在它的作用下，激发出的电子和空穴会被迅速分离<sup>[1]</sup>。电子受到电场力的影响，向N区移动；而空穴则朝着P区移动。电子和空穴的定向移动，使得光伏组件的两端产生了电动势，也就是我们常说的电压。

当外部电路闭合时，就如同搭建起了一座能量传输的桥梁，电子会在电场力的驱动下持续定向移动，从而形成电流。至此，太阳能就成功转化为电能，实现了能量的转换。

而光伏组件无疑是光伏发电系统的核心部件，为尽量满足不同的发电需求，多个光伏组件会利用串联或并联的方式组成光伏阵列。除了光伏组件，光伏发电系统还包含众多辅助设备。逆变器在其中扮演着至关重要的

角色，它能够将光伏组件产生的直流电转换为交流电，以适应电网的要求或满足用户的用电需求。汇流箱则负责汇集多个光伏组件产生的电流，起到集中管理和传输的作用。变压器则用于实现电压的变换，确保输出的电压符合电网接入的标准。而监控系统则如同系统的“眼睛”，实时监测着系统的运行状态和发电数据，为系统的稳定运行和高效发电提供保障。

## 2 影响光伏发电系统发电效率的因素

### 2.1 光伏组件性能

#### 2.1.1 光伏材料

不同的光伏材料具有不同的光电转换效率。目前，市场上应用最广泛的是晶体硅光伏材料，包括单晶硅和多晶硅。单晶硅光伏电池具有较高的转换效率，实验室效率可达25%以上，工业生产中的效率也能达到20%-23%；多晶硅光伏电池成本相对较低，转换效率一般在18%-20%左右。除此之外，薄膜太阳能电池也是近年来发展迅速的光伏材料，常见的有碲化镉（CdTe）、铜铟镓硒（CIGS）薄膜电池等。碲化镉薄膜电池的实验室效率已超过22%，大规模生产的组件效率可达15%-17%；铜铟镓硒薄膜电池实验室效率超过23%，但生产工艺复杂，成本较高。虽然新型光伏材料如钙钛矿太阳能电池，具有更高的理论转换效率，实验室效率已突破30%，展现出巨大的发展潜力，但在稳定性和规模化生产方面仍面临挑战。

#### 2.1.2 组件制造工艺

光伏组件的制造工艺对其性能和发电效率有着重要影响。电池片的切割、焊接质量，封装材料的选择和封装工艺的优劣等都会影响组件的电性能和使用寿命<sup>[2]</sup>。如，电池片焊接过程中，如果焊接温度过高或焊接时间过长，可能会导致电池片损坏，降低发电效率；而封装材料的透光率、耐候性等性能不佳，也会影响组件对太

阳光的吸收和转换能力。

## 2.2 环境条件

### 2.2.1 光照强度

光照强度是影响光伏发电系统发电效率的关键因素之一。在一定范围内,光伏组件的输出功率与光照强度成正比。当光照强度较弱时,光伏组件产生的电流和电压较低,发电效率也随之降低。反之,当光照强度过高时,光伏组件会出现“光饱和”现象,发电效率增长趋于平缓,甚至可能因温度升高而导致效率下降。

### 2.2.2 温度

光伏组件的输出功率对温度较为敏感。随着温度的升高,光伏组件的开路电压会下降,短路电流略有增加,但总体上输出功率会降低。一般来说,晶体硅光伏组件的温度系数约为 $-0.3\%-0.5\%/^{\circ}\text{C}$ ,即温度每升高 $1^{\circ}\text{C}$ ,组件的输出功率会下降 $0.3\%-0.5\%$ 。尤其是在高温环境下,如沙漠地区,光伏发电系统的发电效率会受到明显影响。

### 2.2.3 灰尘和污垢

光伏组件表面的灰尘和污垢会阻挡太阳光的照射,降低组件的透光率,从而影响发电效率。研究表明,灰尘和污垢可使光伏组件的发电效率降低 $5\%-30\%$ <sup>[3]</sup>。灰尘的积累速度与环境因素有关,在风沙较大的地区,组件表面更容易积灰,需要更频繁地进行清洁维护。

### 2.2.4 大气质量

大气中的颗粒物、气体污染物等会对太阳光产生散射和吸收作用,削弱到达光伏组件表面的光照强度。比如,在雾霾天气或工业污染严重的地区,大气透明度降低,光伏发电系统的发电效率会受到显著影响。

## 2.3 系统设计与安装

### 2.3.1 光伏阵列的朝向和倾角

光伏阵列的朝向和倾角直接影响其接收太阳辐射的量。在北半球,一般光伏阵列朝南安装能获得最大的太阳辐射量。对于不同纬度地区,存在一个最佳倾角,使光伏阵列在一年中接收的太阳辐射总量最大。例如,在我国北方地区,光伏阵列的最佳倾角一般在 $30^{\circ}-45^{\circ}$ 之间;而在南方地区,最佳倾角相对较小,约为 $15^{\circ}-30^{\circ}$ 。如果光伏阵列的朝向和倾角设置不合理,会导致发电效率降低。

### 2.3.2 组件串并联方式

光伏组件的串并联方式会影响光伏阵列的输出电压和电流。在设计时,需根据逆变器的输入参数和系统的实际需求合理选择组件的串并联数量。如果组件串并联不合理,可能会导致部分组件工作在非最佳状态,出现

“失配”现象,降低整个光伏阵列的发电效率。

### 2.3.3 逆变器选型与配置

逆变器的效率和性能对光伏发电系统的整体发电效率有着重要影响。高效的逆变器能够将光伏组件产生的直流电更有效地转换为交流电,减少能量损耗<sup>[4]</sup>。因此,在选择逆变器时,需要考虑其额定功率、转换效率、MPPT(最大功率点跟踪)精度等参数。另外,逆变器的配置数量和布局也需要根据光伏阵列的规模和系统要求进行优化,以确保系统运行在最佳状态。

## 2.4 运维管理

### 2.4.1 故障检测与修复

光伏发电系统在运行过程中,可能会出现组件损坏、线路故障、逆变器故障等问题。及时准确地检测到故障并进行修复,对于保持系统的发电效率至关重要。众所周知,传统的人工巡检方式效率较低,难以发现一些潜在的故障。而采用智能监控系统,通过实时监测系统的运行参数和状态,可以快速定位故障点,缩短故障修复时间,减少发电量损失。

### 2.4.2 清洁维护

如前所述,光伏组件表面的灰尘和污垢会影响发电效率,因此定期进行清洁维护是必要的。合理的清洁周期和清洁方法可以在保证发电效率的同时,一定程度上能够有效降低维护成本。如,在灰尘较多的地区,可以适当缩短清洁周期;在清洁过程中,应尽可能避免使用硬质工具刮擦组件表面,防止损坏组件。

### 2.4.3 性能监测与数据分析

对光伏发电系统进行性能监测和数据分析,能够及时了解系统的运行状况和发电效率变化趋势。通过分析发电数据、环境数据等,能够及时发现系统存在的问题,如组件性能衰减、系统效率低下等,并采取相应的改进措施。

## 3 提升光伏发电系统发电效率的策略

### 3.1 采用新型光伏材料与组件技术

#### 3.1.1 研发和应用新型光伏材料

加大对新型光伏材料的研发投入,如钙钛矿太阳能电池、有机太阳能电池等。钙钛矿太阳能电池具有高转换效率、低成本、可溶液加工等优点,未来有望实现大规模应用。与此同时,探索多种材料的复合应用,如将钙钛矿与晶体硅结合,制备叠层太阳能电池,进一步提高转换效率。

#### 3.1.2 改进光伏组件制造工艺

不断优化光伏组件的制造工艺,提高电池片的质量和组件的封装水平。具体可采用先进的切割、焊接技

术,提高电池片的利用率和焊接可靠性;选用高性能的封装材料,提高组件的透光率和耐候性,能够显著延长组件的使用寿命。

### 3.2 优化系统设计

#### 3.2.1 合理选择光伏阵列的朝向和倾角

根据项目所在地的纬度、气候等条件,通过精确的计算和模拟,确定光伏阵列的最佳朝向和倾角。可以利用专业的太阳能资源分析软件,如PVsyst、RETScreen等,对不同朝向和倾角下的太阳辐射量进行计算和比较,选择最优方案。

#### 3.2.2 优化组件串并联方式

在设计光伏阵列时,充分考虑组件的性能参数和实际运行情况,合理选择组件的串并联方式。采用智能组件或优化的电路设计,减少组件之间的“失配”损失。如,使用具有独立MPPT功能的微型逆变器,每个组件都能独立工作在最大功率点,提高整个光伏阵列的发电效率。

#### 3.2.3 选择高效的逆变器并合理配置

优先选用转换效率高、MPPT精度高的逆变器。在配置逆变器时,根据光伏阵列的规模和功率分布,合理确定逆变器的数量和容量,确保逆变器能够充分发挥其性能,提高系统的整体效率。并且,考虑逆变器的冗余配置,以提高系统的可靠性。

### 3.3 加强运维管理

#### 3.3.1 建立智能监控系统

利用物联网、大数据、人工智能等技术,建立智能化的光伏发电系统监控平台。实时监测光伏组件、逆变器、汇流箱等设备的运行参数和状态,实现故障的自动诊断和预警。通过对大量运行数据的分析,预测设备的故障发生概率,提前进行维护,最终降低故障率。

#### 3.3.2 制定科学的清洁维护计划

根据项目所在地的环境条件,制定合理的光伏组件清洁维护计划。采用先进的清洁设备和方法,提高清洁效率和质量。如,使用无人机进行组件清洁,既可以提高清洁速度,又能减少人工清洁的安全风险。在此基础上,对清洁效果进行评估,不断优化清洁方案。

#### 3.3.3 加强性能监测与数据分析

定期对光伏发电系统的性能进行监测和评估,分析发电数据、环境数据、设备运行数据等,找出影响发电

效率的因素<sup>[5]</sup>。通过对比不同时间段、不同设备的运行数据,发现系统存在的问题,并及时采取改进措施。

### 3.4 其他策略

#### 3.4.1 采用跟踪系统

安装太阳能跟踪系统,使光伏阵列能够实时跟踪太阳的位置,最大限度地接收太阳辐射。常见的跟踪系统有单轴跟踪系统和双轴跟踪系统。其中,单轴跟踪系统可以跟踪太阳的方位角或高度角,双轴跟踪系统则可以同时跟踪太阳的方位角和高度角。研究表明,采用跟踪系统可使光伏发电系统的发电效率提高10%-30%,但跟踪系统的成本较高,需要综合考虑项目的投资和收益。

#### 3.4.2 发展光伏建筑一体化(BIPV)

将光伏组件与建筑相结合,实现光伏发电与建筑功能的一体化。光伏建筑一体化不仅可以提高光伏发电系统的安装面积,还能减少建筑的能耗,具有良好的经济效益和社会效益。像是,在建筑物的屋顶、墙面等部位安装光伏组件,既可以发电,又能起到遮阳、隔热的作用。

结语:光伏发电系统的发电效率受到光伏组件性能、环境条件、系统设计与安装、运维管理等多种因素的综合影响。通过采用新型光伏材料与组件技术、优化系统设计等策略,可以有效提高光伏发电系统的发电效率,提升其经济效益和能源供应能力。在实际项目中,需要根据具体情况,综合考虑各种因素,制定合理的解决方案。未来,随着光伏技术的不断发展和创新,光伏发电系统的发电效率有望进一步提高,在全球能源结构中发挥更加重要的作用。

### 参考文献

- [1]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.
- [2]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.
- [3]吴晨旭,杨恒英,魏士博,等.某分布式光伏项目实际发电效率影响因素分析及系统优化研究[J].建设科技,2024(15):23-26.
- [4]龚俊.高效率逆变器在光伏发电系统中的应用研究[J].通信电源技术,2024,41(20):56-58.
- [5]张佳平.光伏系统发电效率的影响因素[J].上海节能,2022(1):56-61.