

# 光伏组件在戈壁滩极端环境下的可靠性研究

孙元鹏

中电建宁夏工程有限公司 宁夏 银川 750000

**摘要:** 本文旨在探讨光伏组件在戈壁滩极端环境下的可靠性问题,分析高温、强风、沙尘暴等极端气候条件对光伏组件性能及寿命的影响。通过理论分析与模拟实验相结合的方法,评估光伏组件在不同极端环境下的适应性和稳定性,提出相应的优化策略,以期光伏电站的设计、运维及可靠性提升提供参考。

**关键词:** 光伏组件; 戈壁滩; 极端环境; 可靠性; 高温; 强风; 沙尘暴

## 引言

随着全球能源结构的转型,太阳能作为一种清洁、可再生的能源形式,其重要性日益凸显。戈壁滩地区因其丰富的太阳能资源和广阔的土地面积,成为光伏发电的理想场所。然而,戈壁滩极端的气候条件,如高温、强风、沙尘暴等,对光伏组件的可靠性构成了严峻挑战。因此,研究光伏组件在戈壁滩极端环境下的可靠性具有重要意义。

### 1 光伏组件在戈壁滩极端环境下的影响因素

#### 1.1 高温

戈壁滩地区夏季高温环境对光伏组件构成严峻挑战。气温常达40℃以上,且日照强烈,导致光伏组件表面及内部温度急剧上升。这种长期的高温暴露不仅会使光伏电池的光电转换效率显著下降,因为高温会加速半导体材料中载流子的热运动,增加非辐射复合,从而降低电池的开路电压和短路电流。同时,高温还会加速组件封装材料的老化过程,如EVA(乙烯-醋酸乙烯共聚物)胶膜可能因热氧老化而变黄、龟裂,背板可能出现热降解,导致水汽渗透和组件性能下降。此外,高温还可能引发电池内部结构的微观变化,如焊接点的退化,进一步增加组件的失效风险,缩短其整体使用寿命。

#### 1.2 强风

戈壁滩地区风力强劲,对光伏组件及其支架系统构成显著挑战。强风不仅可能引发支架结构的振动,长期作用下可能导致金属疲劳,甚至造成支架变形或断裂,影响光伏阵列的稳定性。同时,强风还可能引起相邻光伏组件间的相互碰撞,特别是在安装间隙不当或支架设计不合理的情况下,这种碰撞可能导致组件边缘出现裂纹、表面破损等问题,进而影响组件的密封性能和电气连接<sup>[1]</sup>。此外,强风还会加速空气中的灰尘和沙粒在光伏组件表面的沉积,形成遮挡层,降低光照吸收效率,从而减少光伏组件的发电输出。因此,在设计和运维光伏

电站时,必须充分考虑强风环境的影响,采取有效措施以增强光伏组件及支架系统的抗风能力。

#### 1.3 沙尘暴

沙尘暴作为戈壁滩地区的常见自然灾害,对光伏组件的性能和寿命构成严重威胁。沙尘颗粒细小且尖锐,易于附着在光伏组件表面,形成一层遮挡层,显著降低组件的透光率,从而减少光照吸收,影响发电效率。此外,沙尘暴带来的强风和沙尘颗粒的冲刷作用,还可能对组件表面造成物理磨损,长期作用下会导致组件表面粗糙化,甚至可能出现划痕和微裂纹,进一步加速组件的老化过程,缩短其使用寿命。沙尘中的盐分和其他化学物质还可能对组件材料产生腐蚀作用,加剧组件的性能衰退。因此,在戈壁滩地区部署光伏电站时,必须采取有效措施,如选用耐磨损、易清洁的组件材料,以及定期清理组件表面,以减轻沙尘暴对光伏组件的不利影响。

## 2 光伏组件可靠性评估方法

### 2.1 环境适应性测试

环境适应性测试是针对光伏组件在戈壁滩极端环境下可靠性和稳定性的重要评估方法。该测试通过精确模拟戈壁滩的高温、低湿度、强风及沙尘暴等极端环境条件,全面考察光伏组件在这些极端环境下的耐受能力和性能表现。测试内容具体涵盖以下几个关键方面:

#### 2.1.1 温度响应

使用高温环境模拟箱,将光伏组件置于设定的高温环境中,通常模拟戈壁滩夏季极端高温,如45℃至50℃。使用温度传感器测量组件的表面和内部温度,并记录温度变化数据。通过光伏电池测试仪测量不同温度下的光电转换效率,评估温度变化对效率的影响<sup>[2]</sup>。对组件封装材料进行热老化测试,评估其在高温条件下的稳定性和耐久性。

#### 2.1.2 机械强度

使用风洞实验室模拟强风条件,对光伏组件施加静

态和动态风压,测量组件的变形和应力分布。通过沙尘冲击测试仪模拟沙尘暴的冲击作用,使用高速喷射沙尘颗粒冲击组件表面,评估组件的耐冲击性。对支架结构进行力学分析,使用有限元分析方法计算其在极端风力和沙尘条件下的应力和变形情况,确保结构的稳固性。

### 2.1.3 透光率变化

在模拟沙尘暴环境中,将沙尘颗粒均匀喷洒在光伏组件表面,测量沙尘附着前后的透光率。使用光谱仪测量透光率的变化,评估沙尘对组件透光性能的影响。在模拟沙尘暴环境结束后,观察组件表面的自清洁能力,记录透光率的恢复情况,并评估长期沙尘覆盖对发电效率的影响。

通过这些详细具体的环境适应性测试方法和步骤,可以全面评估光伏组件在戈壁滩极端环境下的适应性和稳定性。测试结果将为光伏组件的选型、设计优化以及光伏电站的运维策略提供科学依据,确保光伏系统在极端环境下的长期可靠运行。

## 2.2 加速寿命测试

加速寿命测试是一种重要的评估方法,用于模拟光伏组件在戈壁滩极端环境下长期运行的情况,并通过加速老化过程,快速获取组件性能衰减数据。该方法旨在缩短测试周期,提前预测组件在实际应用中的寿命,并为组件设计与材料选择提供科学依据。加速寿命测试的具体方法和步骤如下:

### 2.2.1 测试环境模拟

利用环境模拟设备,如高温老化箱、湿度控制箱等,模拟戈壁滩的高温、低湿度等极端环境条件。设置模拟环境的参数,如温度、湿度、光照强度等,以匹配戈壁滩实际环境的长期平均条件或极端条件。

### 2.2.2 加速老化过程

将光伏组件置于模拟环境中,进行长时间连续运行或周期性运行,以加速组件的老化过程。通过增加温度、湿度、光照强度等应力因素,加速组件材料的老化速度,模拟长期运行下的性能衰减。

### 2.2.3 性能监测与数据采集

在加速寿命测试过程中,定期监测光伏组件的关键性能参数,如发电效率、电压、电流等。使用数据采集系统记录性能参数的变化,以便后续分析和评估组件的性能衰减情况。

### 2.2.4 寿命预测与材料评估

根据加速寿命测试获取的性能衰减数据,利用统计分析和建模方法,预测光伏组件在实际应用中的寿命。评估不同材料和设计对组件寿命的影响,选择具有较长

寿命和较高稳定性的材料和设计方案。

通过加速寿命测试,可以快速获取光伏组件在戈壁滩极端环境下的性能衰减数据,为预测组件寿命和指导组件设计与材料选择提供科学依据<sup>[3]</sup>。这将有助于优化光伏系统的可靠性和经济性,推动太阳能产业在戈壁滩地区的可持续发展。

## 2.3 可靠性评估模型

在戈壁滩极端环境下,光伏组件的可靠性评估模型的建立对于确保光伏系统的长期稳定运行至关重要。该模型需要综合考虑温度、风速、沙尘浓度等多种环境因素对组件性能的影响,通过数值模拟和数据分析来准确评估组件的可靠性水平。

### 2.3.1 模型构建基础

首先,明确影响光伏组件可靠性的主要环境因素,包括高温、强风、沙尘暴等,并量化这些环境因素的具体指标,如温度范围、风速大小、沙尘浓度等。其次确定用于评估光伏组件可靠性的关键性能参数,如发电效率、功率输出、温度响应、透光率变化等。这些参数将作为模型输出,用于衡量组件在不同环境条件下的表现。

### 2.3.2 模型构建步骤

#### (1) 数据收集与预处理

收集光伏组件在戈壁滩环境下的实际运行数据,包括环境参数和组件性能参数的历史记录。对数据进行清洗和预处理,剔除异常值和噪声数据,确保数据的准确性和可靠性。

#### (2) 环境因素影响分析

利用统计分析和相关性分析方法,研究温度、风速、沙尘浓度等因素与光伏组件性能参数之间的关系。确定各环境因素对组件性能的具体影响程度和机制,为后续建模提供理论基础。

#### (3) 可靠性评估模型构建

基于环境因素影响分析结果,选择合适的数学模型或算法(如回归分析、机器学习算法等)来构建可靠性评估模型。将环境参数作为输入变量,组件性能参数作为输出变量,通过模型训练和优化,建立环境参数与组件性能之间的映射关系。

#### (4) 数值模拟与验证

利用构建的可靠性评估模型进行数值模拟,预测光伏组件在不同环境条件下的性能表现。将模拟结果与实际运行数据进行对比验证,评估模型的准确性和可靠性。

### 2.3.3 模型应用与优化

根据可靠性评估模型的预测结果,为光伏组件的设计和材料选择提供科学依据。优化组件结构、封装材料

和散热设计等,以提高组件在戈壁滩极端环境下的可靠性和寿命。结合可靠性评估模型,制定合理的光伏系统运维策略,包括定期清洗组件表面沙尘、加强支架结构检查等。提高光伏系统的运维效率和维护质量,确保光伏组件在极端环境下的长期稳定运行。随着光伏技术的不断发展和应用环境的变化,定期对可靠性评估模型进行更新和优化<sup>[4]</sup>。收集新的运行数据,分析新的环境影响因素,不断提高模型的准确性和适用性。

### 3 优化策略与建议

#### 3.1 材料与结构设计优化

针对戈壁滩极端环境的特点,对光伏组件的材料选择与结构设计进行优化是至关重要的。首先,在材料选择方面,应优先考虑耐高温、耐磨损、自清洁性能好的封装材料。这些材料能够有效抵御戈壁滩高温环境下的热老化和紫外线辐射,同时减少沙尘颗粒对组件表面的磨损,保持组件的透光率和发电效率。其次,在结构设计方面,需要设计合理的支架结构,以增强光伏组件的抗风能力。这包括选用高强度的支架材料,确保其在强风条件下的稳定性和耐久性。同时,支架结构的设计应考虑易于清洁和维护,以便在沙尘暴后迅速清除组件表面的沙尘。最后,采用易清洁的表面处理技术也是优化策略之一。通过在光伏组件表面应用特殊的涂层或处理技术,可以减少沙尘的附着,提高组件的自清洁能力。这将有助于保持组件的透光率,减少因沙尘覆盖而导致的发电效率下降。通过材料与结构设计的优化,可以显著提升光伏组件在戈壁滩极端环境下的可靠性和使用寿命。

#### 3.2 智能运维系统

为了提升光伏电站在戈壁滩极端环境下的运维效率和可靠性,建立智能运维系统是至关重要的。该系统应具备实时监测功能,能够连续跟踪光伏电站的运行状态,包括光伏组件的温度、风速以及沙尘浓度等关键参数。通过高精度的传感器和数据采集设备,实时获取这些参数的信息,并将其传输至数据中心进行分析。在数据分析方面,智能运维系统应运用先进的数据处理算法和机器学习技术,对收集到的数据进行深入挖掘和分析。通过识别数据中的异常模式和趋势,系统可以及时发现潜在的问题,并触发预警机制。这样一来,运维人员可以迅速响应并处理这些问题,避免事态进一步恶化,从而确保光伏电站的稳定运行<sup>[5]</sup>。智能运维系统的建立将极大提升光伏电站在戈壁滩极端环境下的运维效率

和可靠性。通过实时监测、数据分析和预警机制,该系统能够及时发现并处理潜在问题,确保光伏电站的长期稳定运行。

#### 3.3 选址与布局优化

在光伏电站的选址与布局阶段,充分考虑戈壁滩地区的气候特点至关重要。为了降低风力过大或沙尘暴频发对电站运行的影响,应避免将这些区域作为电站的建设地点。通过详细的气象数据分析和实地考察,选择气候相对温和、风沙较小的区域进行电站建设,可以有效减少外部环境对光伏组件的损害,提高电站的整体运行稳定性。同时,在电站布局方面,也需要进行细致的优化设计。应合理规划光伏组件的排列方式和间距,确保组件之间不会相互遮挡,以充分利用太阳光照资源。此外,还应考虑地形和地貌因素,选择合适的安装角度和朝向,以最大化光伏组件的受光面积,提高发电效率。通过充分考虑戈壁滩地区的气候特点,并进行合理的选址与布局优化,可以有效降低外部环境对光伏电站的影响,提高电站的整体发电效率和运行稳定性。这将为光伏电站的长期可靠运行奠定坚实的基础。

#### 结语

光伏组件在戈壁滩极端环境下的可靠性研究是一个复杂而重要的课题。通过环境适应性测试、加速寿命测试及可靠性评估模型等方法,可以全面评估光伏组件在不同极端环境下的适应性和稳定性。针对高温、强风、沙尘暴等影响因素,提出材料与结构设计优化、智能运维系统建设及选址与布局优化等策略,有助于提高光伏电站的可靠性和发电效率,推动太阳能产业在戈壁滩地区的可持续发展。

#### 参考文献

- [1]李少帅.基于性能退化影响因素地理区域聚类的光伏组件现场可靠性评估[D].南昌大学,2023.
- [2]李学健,高发电量光伏组件可靠性测试关键技术研究及应用.河北省,英利能源(中国)有限公司,2022-05-27.
- [3]孔文琪.基于逆高斯退化过程的光伏组件可靠性评估[D].南昌航空大学,2021.
- [4]姜小华.基于光伏组件现场可靠性影响因素区域聚类及其应用研究[D].南昌航空大学,2020.
- [5]光伏组件长期可靠性及发电能力分析研究.青海省,青海黄河上游水电开发有限责任公司光伏产业技术分公司,2018-12-14.