

光伏组件积灰对发电效率的影响及清洗策略研究

黄嘉秋

中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司 四川 成都 611130

【摘要】：光伏组件作为光伏发电系统的核心部件，其表面清洁度直接关系到发电效能的稳定发挥。积灰会通过遮挡光照、改变组件表面光学特性等方式干扰光电转换过程，导致发电效率下降，影响光伏发电项目的经济效益与能源利用效率。本文结合实际应用场景，分析积灰对光伏组件发电效率的影响机制，探讨不同环境下积灰的形成规律，提出科学合理的清洗策略，为提升光伏组件运行稳定性、保障发电效益提供实践参考。

【关键词】：光伏组件；积灰；发电效率；清洗策略

DOI:10.12417/2811-0528.26.08.101

光伏能源作为清洁、可再生能源的重要组成部分，在能源结构转型中发挥着关键作用，其发电效能的稳定性直接决定了光伏项目的可持续发展。光伏组件长期暴露在户外环境中，不可避免会受到灰尘、颗粒物等污染物的附着，形成积灰层。积灰问题看似微小，却会持续影响组件对太阳辐射的吸收与转化，长期积累不仅会降低发电效率，还可能加速组件表面老化，缩短使用寿命。本文聚焦光伏组件积灰与发电效率的关联，深入剖析积灰的影响路径，探索适配不同场景的清洗方法，衔接摘要核心观点，为后续正文对该问题的深入研究与解决方案探讨奠定基础，助力光伏产业高质量发展。

1 光伏组件积灰对发电效率的影响

光伏组件积灰对发电效率的影响主要体现在光照遮挡与光学特性改变两个核心层面。积灰颗粒附着在组件表面后，会直接阻挡太阳辐射光线穿透玻璃盖板到达光伏电池片，导致电池片接收的辐照强度降低，进而减少光生载流子的产生量，最终造成发电效率下滑。这种遮挡作用具有累积性，随着积灰厚度的增加和覆盖面积的扩大，发电效率的下降幅度会逐渐加剧，尤其在多尘、干燥的户外环境中，这种影响更为明显。积灰颗粒的物理性质也会影响遮挡效果，细颗粒物易形成致密的积灰层，对光线的散射和吸收作用更强，相比粗颗粒积灰，其对发电效率的抑制作用更为显著。

除直接遮挡外，积灰还会改变光伏组件表面的光学特性，进一步削弱光电转换效率。光伏组件玻璃盖板原本具有较高的透光率，而积灰层会增加光线的反射和折射损耗，使得进入电池片的有效光线减少^[1]。积灰中可能含有油脂、污染物等杂质，这些物质会吸收部分太阳辐射能量，不仅无法转化为电能，还可能导致组件表面温度升高，引发热斑效应。热斑效应会进一步降低组件的发电效率，严重时还会损坏电池片，影响整个光伏系统的稳定运行，形成“积灰-升温-效率下降”的恶性循环。

积灰对光伏组件发电效率的影响还具有明显的环境关联

性和时间差异性。在工业厂区、交通要道等粉尘浓度较高的区域，组件积灰速度快，对发电效率的影响更为突出；而在湿润、多降雨的区域，自然降水会对积灰起到一定的冲刷作用，积灰的影响相对较弱。从时间维度来看，积灰的影响呈现季节性变化，干燥少雨的季节积灰累积速度快，发电效率下降更为明显，而降雨季节则能在一定程度上缓解积灰带来的负面影响，这种差异性为后续清洗策略的制定提供了重要依据。

2 光伏组件积灰的形成特征及影响因素

光伏组件积灰的形成是环境因素与组件自身特性共同作用的结果，其形成特征具有明显的规律性。户外环境中的粉尘来源广泛，包括工业排放、交通扬尘、自然扬尘以及大气中的悬浮颗粒物等，这些粉尘在风力、重力等作用下，逐渐沉降并附着在光伏组件表面，形成积灰层。积灰层的厚度、密度和分布均匀性，与粉尘浓度、风速、降水等环境因素密切相关，粉尘浓度越高、风速越小、降水越少，积灰层越厚、分布越不均匀，对组件的影响也越大。

组件安装角度和安装环境是影响积灰形成与分布的关键因素。倾斜安装的光伏组件，受重力作用影响，表面附着的部分积灰会自然滑落，积灰厚度相对较薄且分布更均匀，能在一定程度上减轻积灰对发电效率的影响；而水平安装的组件，积灰无重力导向支撑，不易滑落，易长期累积形成较厚的积灰层，且积灰分布不均，对组件透光率的遮挡更为明显^[2]。组件安装区域的植被覆盖情况、周边建筑物分布等环境条件，也会直接影响粉尘沉降，植被覆盖率低、周边有高大建筑物的区域，粉尘易被阻挡积聚，组件积灰问题更为突出。组件表面粗糙度与积灰附着能力密切相关，表面越粗糙，粉尘颗粒的吸附力越强，越易附着且不易脱落，形成的积灰层也更为稳定。

积灰的成分也会影响其对光伏组件的危害程度，不同区域的积灰成分存在明显差异。工业区域的积灰可能含有大量的金属颗粒、化学污染物等，这些物质不仅会遮挡光照，还可能与

组件玻璃盖板发生化学反应,腐蚀玻璃表面,降低盖板透光率,长期下来会永久性影响组件的发电效率。而自然扬尘形成的积灰,成分以土壤颗粒、砂石为主,主要危害集中在光照遮挡,对组件的腐蚀性相对较弱,了解积灰成分特征是制定针对性清洗策略的重要前提。

3 光伏组件科学清洗策略及实践应用

光伏组件清洗策略的制定需结合积灰形成特征、环境条件以及组件运行状态,遵循科学合理、经济高效的原则,实现积灰清除与组件保护的双重目标。清洗策略的核心是选择适配的清洗方式,根据积灰厚度、成分以及组件安装场景,合理选择人工清洗、高压水清洗或机械清洗等方式,避免因清洗方式不当对组件造成损坏。人工清洗适用于小型光伏电站或组件安装较为分散的场景,清洗过程中可精准清除积灰,同时能及时发现问题,便于及时维护。

高压水清洗适用于积灰厚度较大、面积较广的光伏电站,其借助高压水流的冲击力,能快速剥离组件表面附着的厚层积灰、顽固污渍及油污,清洗效率高、耗时短,可在短时间内恢复组件透光率,保障发电效能稳定。但该清洗方式对操作要求较高,需严格控制水压和水温,水压过高易冲击组件玻璃盖板,造成盖板破裂、崩边,水温过高或过低则可能损坏组件表面涂层,同时需避免高压水流渗入组件接线盒,防止密封胶老化、密封性能下降,引发组件进水故障^[3]。机械清洗则适用于大型光伏电站,通过自动化清洗设备搭载的毛刷、高压喷嘴等部件,

实现组件表面的批量、连续清洗,无需大量人工参与,能有效降低人工成本,且清洗过程受力均匀、覆盖全面,可减少人为操作带来的组件划伤、破损等损伤,适配规模化光伏电站的高效运维需求,是目前大型光伏项目中应用最广泛的优选清洗方式。

清洗时机的选择和清洗后的维护也是清洗策略的重要组成部分。需结合环境条件和积灰累积情况,合理确定清洗周期,避免过于频繁清洗增加成本,也避免清洗不及时导致发电效率持续下降。在干燥少雨、粉尘浓度高的季节,可适当缩短清洗周期;在降雨较多的季节,可结合自然降水情况,适当延长清洗周期。清洗后需对组件表面进行检查,确认积灰已彻底清除,同时检查组件玻璃盖板、密封胶等是否存在损坏,及时进行修复,确保组件清洗后能稳定运行,充分发挥发电效能。

4 结语

本文围绕光伏组件积灰对发电效率的影响及清洗策略展开研究,明确了积灰通过光照遮挡、光学特性改变等路径对光伏组件发电效率产生的负面影响,分析了积灰的形成特征及主要影响因素,提出了适配不同场景的科学清洗策略。研究表明,合理的清洗策略能够有效清除积灰,恢复组件发电效能,保障光伏系统的稳定运行。光伏组件积灰治理是一项长期持续性工作,需结合实际环境条件优化清洗方案,后续可结合具体应用场景进一步完善清洗技术,为光伏产业的高效、可持续发展提供更有力的支撑。

参考文献:

- [1] 李杰瑞.光伏组件表面积灰影响分析及清扫策略研究[D].内蒙古科技大学,2025.
- [2] 胡珊.光伏组件灰尘沉积预测与动态清洁策略研究[D].南昌大学,2025.
- [3] 闻海浪.光伏组件表面灰尘沉积判定准则与数值模拟研究[D].南昌大学,2025.