

# 覆膜无损伤光伏板清洁系统的研究及设计

刘一璇, 周扬驰, 王 桢, 彭允悦, 吴 锋\*

(徐州工程学院物理与新能源学院, 江苏 徐州 221018)

**摘要** 定期清洗光伏板上的灰尘是保持其发电效率的关键。然而, 在清洁光伏板时, 灰尘颗粒与光伏板表面会发生摩擦, 产生不可逆磨损, 降低光伏板的使用寿命和发电量。受到手机贴膜保护使手机屏免受磨损的启发, 设计开发了覆膜无损伤光伏板清洁系统, 由远程操作模块、智能控制模块和清洁模块组成, 在清扫时, 系统两侧的清洁滚筒同步转动, 积灰的膜面被收入一侧的滚筒加以清洁, 另一侧滚筒中的膜面将随着同步的滚动, 逐渐展开覆盖在光伏板上, 在积灰膜面被清洁的同时继续保护光伏板。将直接清扫光伏板表面转换为清扫膜表面, 可实现无损伤清洁, 同时, 覆膜作为光伏板表面的保护层, 避免了灰尘附着在玻璃盖板表面, 保护其免受侵蚀, 有望延长光伏板的使用寿命。

**关键词** 光伏板清洁; 覆膜; 无损伤; 使用寿命

**基金项目:** 徐州工程学院高等教育科学研究课题资助, “双碳”背景下新工科人才创新能力培养的探究, (项目编号: YGJ2321); 徐州工程学院大学生创新训练计划项目资助, 新型柔性微流控的制备及性能研究 (项目编号: xc2023125)。

**中图分类号:** TM61

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2097-3365(2024)08-0004-03

## 1 研究背景

随着社会经济的发展, 人类对自然资源的开采力度越来越大, 全球的能源危机愈发严重, 越来越多的国家开始寻求新型能源去填补能源产业的空缺<sup>[1]</sup>。目前, 各种新能源的开发与利用正逐步进入能源系统。风能、太阳能、生物能、地热能、潮汐能等可再生能源为能源的再利用提供了可能<sup>[2]</sup>。其中, 由于太阳能的便捷性与丰富性, 已成为应用最为广泛的新型能源, 太阳能光伏行业成为国家大力支持战略性新兴产业。如全国首个100万千瓦光伏“领跑者”示范基地山西大同国家先进技术光伏示范基地。同时, 广袤的戈壁荒滩为发展大规模发电产业提供了得天独厚的条件, 如在青海建造的全球装机容量最大的海南州生态光伏园, 目前年均发电量达到100亿千瓦时, 年节约标准煤311万吨, 减排二氧化碳780万吨, 为当地带来新的经济增长点。

然而, 随着光伏电站的大量建设, 光伏板的运行与维护问题也在逐步凸显。其中, 光伏板表面积灰问题日益严重, 灰尘的覆盖大大降低了光伏板的发电效率, 严重影响了光伏产业的发展<sup>[3]</sup>。同时表面的灰

尘具有反射、散射和吸收太阳辐射的作用, 使得透光率降低, 显著降低了其发电效率。因此, 开发光伏板清洁系统, 保持光伏发电效率具有重要的意义, 对光伏板表面的清洁问题已成为光伏产业的热门课题。

目前, 对光伏板的清洁方式主要有人工清洗和机械清洗两种, 人工清洗为最简单, 但是效率低、清洗周期长、人力成本高, 存在人身隐患。机械清洗方式由于清洁效率高, 应用越来越广。国内外学者纷纷发明设计出各种光伏板清洁机器人对光伏板进行清洁, 大多采用“毛刷加吸尘”的方式发明生产光伏板清洁机器人<sup>[4-5]</sup>。

然而, 在清洁光伏板时, 灰尘颗粒与光伏板表面会发生摩擦, 极易产生不可逆磨损, 严重降低其使用寿命<sup>[6]</sup>。同时, 光伏面板表面为玻璃材质, 主要成分是二氧化硅, 当湿润的酸性或碱性灰尘附在玻璃盖板表面时, 玻璃盖板成分物质易与酸或碱反应, 发生侵蚀腐蚀。腐蚀后的玻璃面板容易形成漫反射(见图1), 使得太阳辐射的传播均匀性受影响, 导致光伏电池发电量减小。因此, 研究一种无损伤光伏板清洁系统, 对于保持光伏面板光电转化效率和延长光伏面板使用寿命具有重要意义。

\*本文通讯作者, E-mail: wuf@xzit.edu.cn.



图 1 光伏板受损前后对太阳辐射接收情况的差异

## 2 设计内容

### 2.1 覆膜无损伤光伏板清洁系统的设计思路

常规的太阳能板清洁方式大都采取清洁刷直接清洁板面，时间一久对其表面造成的损伤不可避免，受到手机贴膜保护手机屏免受磨损的启发，设计开发了覆膜无损伤光伏板清洁系统。在清扫时，从直接清扫光伏板表面转换为清扫膜表面，可实现无损伤清洁，同时，覆膜作为光伏板表面的保护层，也避免了灰尘附着在玻璃盖板表面，保护其免受侵蚀。

### 2.2 覆膜无损伤光伏板清洁系统的组成

该系统主要由三个模块组成，如图 2 所示，分别为清洁模块与远程操作与智能控制模块，可实现远程操作、智能控制、无损清洁。

清洁模块由保护膜、直流驱动电机、静电除尘毛刷和清洁滚筒三部分组成。清洁系统采用直流电机直接驱动滚筒，滚筒长度与直径、毛刷刷丝长度、清洁时的下压距离根据光伏板尺寸而定；转速可用驱动系统人为控制。

装置运行模式可分为本地模式和远程网络模式，其中本地模式通过四个轻触开关调节装置的运行周期。远程网络控制终端与本地终端通过 ESP8266 WiFi 芯片

连接，在开机前选择使用远程控制模式后，本地终端将检测与 ESP8266 连通性。

远程控制模式同样有两种模式：Station 和 AP 模式，即芯片连接附近路由器的 WLAN 和发出自身的 WiFi 信号。连接成功后将在液晶屏上显示设备的 IP 地址和端口号。

基于控制系统的整体设计以及成本考虑，选用单片机开发板，远程 WiFi 连接芯片为 ESP8266-01s，时钟信号由 DS1302 芯片产生。电机控制部分主要由继电器和电机驱动电路构成，当倒计时结束后，本地终端发出信号，继电器吸合，电机带动薄膜转动，当红外检测电路检测到膜上预先标记的黑斑时，继电器断开，电机停止运行，并反转进入下一周期的清洁。

## 3 工作性能分析

### 3.1 覆膜无损伤光伏板清洁系统的透光率

光伏板作为能量转换的平台，高透光性是其高效光电转换效率的关键因素。如图 3 所示，当光伏板覆膜后，覆膜和未覆膜的光伏板在可见光和部分近红外光的透光率均超过 95%，表明其高透明性，同时也证实覆膜法的可行性，保证可见光和部分近红外光可以无障碍地穿过覆膜，到达光伏板表面，从而在不增加任何

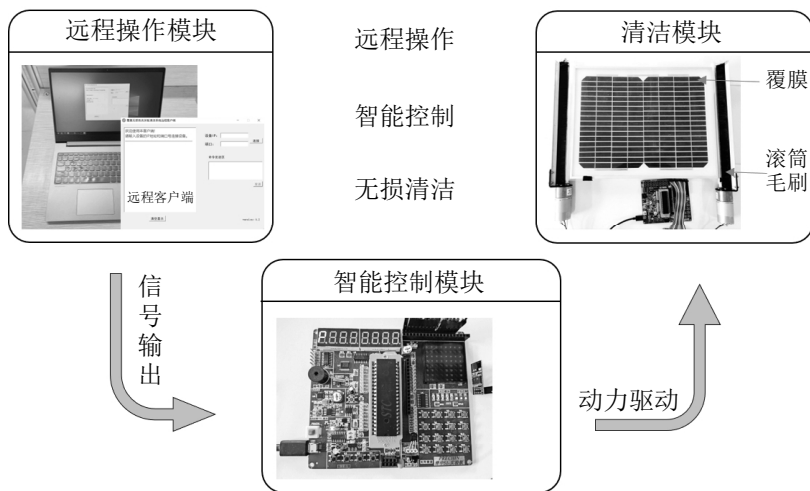


图 2 覆膜无损伤光伏板清洁系统的组成模块

显著遮挡的情况下,使得光电转换过程得以高效进行。

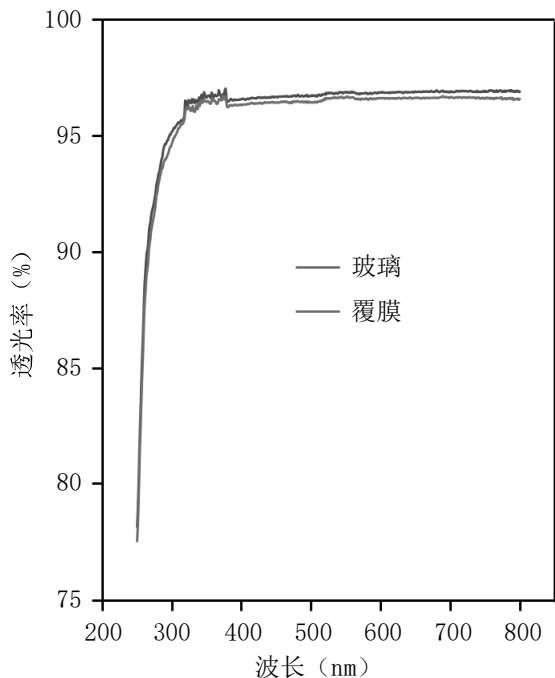


图3 覆膜和未覆膜的光伏板的透光率随波长变化曲线

### 3.2 覆膜无损伤光伏板清洁系统的清洁性能

系统两端配备的电机同步运转,推动离型膜在光伏板表面进行周期性移动。如图4所示,在移动过程中,固定于两侧的毛刷与离型膜上的积聚灰尘发生线性摩擦接触,通过往复清扫动作温和而高效地去除污物。这种清洁方式既保证了不会对光伏板造成损害,又确保了所有遮挡阳光的污垢被彻底清除。同时,离型膜在一个转动周期内能完成两次对膜面的清洁工作,极大地提高了清洁效率。



图4 覆膜无损伤光伏板清洁系统的清洁性能

### 3.3 覆膜对光伏板使用寿命的提高

在清洁光伏板的过程中,沙粒和积灰的摩擦会对光伏板产生不可逆磨损。如图5所示,未加覆膜保护的光伏板表面在清理时受到颗粒物摩擦,容易产生擦痕,易形成漫反射导致光伏电池发电量减小,同时降低其使用寿命。而采用覆膜无损伤的光伏板清洁系统,将直接清扫光伏板表面转换为清扫膜表面,避免了与光伏板直接接触,光伏板表面光滑未观察到擦痕,实

现无损伤清洁,有利于提高光伏发电板的使用寿命。

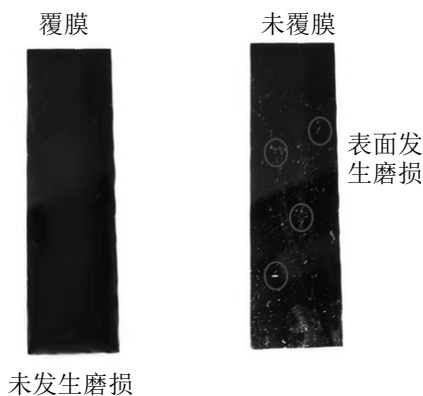


图5 光伏板表面覆膜与未覆膜清洁后的受损对比

## 4 结束语

研究设计的覆膜无损伤光伏板清洁系统具有良好的适应性,能够根据不同大小的光伏板定制不同的规格且不受地形地势的局限,不仅能够应用于城市光伏发电板的清洁,更适合在我国的光伏产业内大规模推广应用。覆膜无损伤光伏板清洁系统所采用的覆膜为PET离型膜,其本身对尘土吸附性较低,抗污性良好,且同时具备优良的光学性质以及耐划伤、防反射、防眩、防污、防静电、自修复等功能,为太阳能光伏发电提供较好的发电环境。与受损后更换光伏板相比,对覆膜进行清洁的方式更大程度上节约了成本,且PET离型膜成本较低,使得对该覆膜无损伤光伏板清洁系统的规模量产具有优越的成本优势。

## 参考文献:

- [1] 王凯璐,李子强,端木维禹,等.光伏板清洁装置的优缺点分析与前景展望[J].上海节能,2024(01):139-142.
- [2] 麻学琛,王腾飞,李庆庆,等.基于柑橘种植的分布式光伏板发电场景设计[J].装备制造技术,2023(05):51-53.
- [3] 高敬业,孙慧平,汪金芝.太阳能光伏板清洁机器人自适应路径规划控制系统设计[J].机械设计与制程,2023,52(06):87-90.
- [4] 钟勇,李方舟,邱煌乐,等.一种适合大面积清扫的光伏板清洁机器人设计[J].科技与创新,2023(11):129-131,134.
- [5] 高楠.一种新型光伏板清洁系统的设计与实现[D].吉林市:东北电力大学,2022.
- [6] 李枫.一种新型光伏板清洁机器人设计[J].机电信息,2020(23):128-129.