

## 设计与制造

## 分布式光伏板表面无水除尘装置优化设计

曹习芳

(杭州职业技术学院 310018)

**摘要:**现阶段,由于受到周围气候、环境因素的影响,光伏板作为一种长期工作于室外的发电装置,光伏板表面的灰水混合物往往会随着该装置表面向下流动,总有部分积水会无法越过组件边缘,沉积在装置表面,这些水分蒸发以后,其中留有的残余灰尘就会形成积灰带,大大降低了电力的能量转换效果。此时,为有效清洁光伏组件表面,各大中小型光伏电站在大多数情况下,就会通过方式对太阳能光伏发电系统面板进行表面除尘,如水炮喷射、喷淋系统等,但这些方法通常都会耗费大量用水,在一定程度上大大增加了工作人员的劳动强度。于是,为能够清除在光伏板表面堆积的粉尘,本研究在光伏板表面设计了一个无水除尘装置,分析了设备的结构设计,进而有效进行了光伏板表面的无水除尘。

**关键词:**分布式;光伏板表面;无水除尘装置;优化设计

**引言:**随着国内科研水平的不断提升,在国家政策的精准扶持下,各地相继开发了光伏电站。光伏电池的光生伏特效应能够将太阳辐射直接转换为电能,可为无电场所提供电源,有效降低电力能耗<sup>[1]</sup>。虽然光伏发电技术相对于常规发电技术来说具有更高的洁净性,但是光伏板的日常使用也存在一定弊端,处于暴露的环境下,容易积累灰尘,降低光伏板发电效率,若处理不及时或处理方式不当会导致热斑,使得光伏板受损。所以为了能够确保光伏板的使用效率,针对光伏板表面灰尘进行无水除尘装置的优化设计是极为必要的。

### 一、绪论

#### 1.1 研究背景与意义

在我国的光伏行业中,光伏组件的生产存在着严重的产能过剩,其宏观发展方向也发生了变化,其发展重心应该从扩大规模、提高质量、推动技术进步等方面转向。

作为光伏发电的重要组成部分,光伏板的清洁度直接影响着光伏发电的效率。通常,光伏电站对地理位置要求较高,一般选择地势平坦、光照条件较好的区域,但符合上述条件的区域往往也存在降水少、灰尘大等缺点,光伏板若不及时清理,就会造成灰尘堆积现象的产生,不仅会影响到光伏板的光电转换效率,同时还会使光伏电站所输出的电力持续下滑,造成巨大的经济损失<sup>[2]</sup>。而且灰尘通常情况下,都具备一定的酸性,会侵蚀光伏板表面,继而直接对其产生不可修复的永久性损伤。因此,为了提高光伏板发电量,就需要对光伏板表面灰尘进行及时清理。

统的清扫方式多以人工清扫为主,不仅效率低下,而且也会在一定程度上增加人力成本。甚至于辐射过于强烈的区域,高温会造成光伏板清洁工人在长时间工作下出现中暑症状,会延缓当前清扫的实施进程。基于此,本研究设计了无水除尘装置,主要目的是除去光伏板表面灰尘,其对于光伏发电有着重要的意义。

#### 1.2 光伏板除尘装置的国内外研究现状

##### 1.2.1 国内研究现状

昱臣有限公司于2014年开发了主要用于光伏板清扫的机器人,行走组件应用的是履带,清扫组件选择的是滚刷,两个组件配合能够无水状态下完成对光伏板的清扫。且机器人工作性能优良,具有极强的适应性,适用于高海拔、高温地区,不仅清扫效率高,而且能够达到理想的清洁效果,经测试无二次扬尘。

科沃斯公司在2015年开发了一种自动化机器人,型号RAYBOT,不仅保障了无水清扫,而且自动化程度高,在光伏板表面贴上吸盘,吸附于表面,伸缩式行走,滚刷与光伏板的距离可以自动化调节,并结合实际情况对行走路线进行合理规

范,较小的间隙能够顺利跨越。该自动化机器人对光伏板灰尘颗粒的清扫率能够达到99%以上,具有高效、清扫彻底等优势。

##### 1.2.2 国外研究现状

国外学者G. Divyavani等人于2018年研发了一款专门针对光伏电池板的清洗装置,主要部件包括洒水器、塑料刷、雨刷器等。在具体的清洗工作中,首先需要在洒水器瓶中倒水,经过管孔水被分裂为小水滴,低落于面板,对电池板表面的灰尘予以塑料刷清洗,然后借助雨刷的作用,将表面的灰尘颗粒、水等清除。该装置能够达到理想的清洗效果,但所需水量大,且清洗效率无法保障,无法大面积推广。

Hiroyuki Kawamoto在2019年发明了静电清洗设备,配备了平行屏幕电极,期间施加高压交流电,由此形成了一个交变电场,对光伏板表面灰尘颗粒产生干扰作用,自上屏电极开口位置排出,然后顺面板自由滑落。当电池板的灰尘量累积到一定程度,设备被放于电池板,通过左右移动,对电池板表面进行清洁。该清洗设备具有较好的效果,但费用较高,难以大面积推广。

Nurul F. Zainuddin等(2019年)发明了智能自动清洁系统,其核心部件为感测、控制与清洗。传感器是感测部分的重要元件,其主要功能为感测灰尘颗粒,计算灰尘反射平均值,对光伏电池板的表面灰尘量进行探测,通过综合评估,明确清扫时间。当感应到需要进行清扫,会向控制部分发送相关信号,然后由清洗部分完成相应的动作,清扫电池板。

### 二、除尘装置结构设计

#### 2.1 除尘装置设计需求

基于实际需求,设计光伏板除尘装置不仅要考虑清洁效果及清洁效率,而且要尽可能的降低难度、减少成本,符合绿色环保的要求,应该充分利用它的优点,确保它的使用质量,并防止它的缺陷。以下是具体的设计需求:

1)光伏板地处位置环境条件复杂,长期经受光照,受到较强的辐射,部分区域降雨量较少,所以,在这种情况下,要设计出一套无水除尘设备。因其内部环境的特殊性,必须确保无二次污染;同时,也要考虑到内部空间的限制,所需要的设备必须能够在一定的容积内保持清洁。

2)光伏板除尘装置安装时,会有一个角度,角度一般为0-60度,光伏电池板的表面较为平滑,如果将吸尘器放置在光伏电池板上进行清洁时,很可能会从光伏电池板上滑落,所以在设计吸尘器时要注意吸尘器的运动轨迹,以保证它不会顺着光伏电池板的表面滑落<sup>[3]</sup>。

3)由于大型光电板阵列中的两个相邻的光电板之间会有空隙,形成了大小不一的高度差,因此应充分考虑光电板的间隙问题,确保清洁装置能够自由移动。比如,在进行干拖排尘时,

因场地狭窄、堆放设备多,应当放弃使用粉尘推土机,改用拖把。

4)光伏板除尘装置的铝制框架通常为 10 mm,在机器人行走时,移动轮要踩着光伏电池的边缘移动,而不是完全挤压。在安装过程中,要特别注意细节,否则会对整个装置造成隐患。

5)通常的行走速度为 12~40 米/分,滚动刷的转速为 70~120 转/分,对速度精度的要求不高。清扫机器人的路线规划要达到局部覆盖,尽量减少死角,特别是户外最易积尘量的地方。在机器人的运动轨迹规划中,必须充分考虑到障碍物与机器人的间距,从而实现对机器人的实时修正。

## 2.2 除尘装置总体方案设计

目前,市面上的光伏板多为阵列形式排布,安装时应用二列相结合的方法,使得光伏板并排安装。本研究应用二列相结合的阵列形式排布光伏板,而探索出的另一种利用光伏板的有山无水的除尘技术的途径<sup>[4]</sup>。除尘装置核心部件包括除尘工艺设备、运动控制、限位系统等,借助光伏组件的能量完成发电,再成为除尘工艺装置的供单元,最后再使用超宽温-40℃~70℃的镍氢电池组贮存能量。在第一行的太阳能光电系统面板左侧,安装了一个传动转向架,并且安装在一个竖直的平台上。太阳能电池板是一系列光电组件,它们彼此相连,构成一排或一排的光电组件。而二排的太阳能电池板,就是由桥面板连接起来的。除尘设备配备了两个开关装置,包括限位开关、触电开关,当清扫至转向架沿位置,能够主动返回,从而可以完成除尘设备的来回移动。而当除尘器不工作时,它就会被装在太阳能电池板的右边的一个固定支架上,而触点开关可以把灰尘固定起来,这样可以防止在大风中除尘设备造成损坏。另外,本系统能极大地分离牵引电源和电力系统,使其与牵引电源不受干扰。

## 2.3 除尘装置结构设计

该除尘装置是使用光伏组件发电的自供电装置,使用超宽温-40~70℃的镍氢电池组贮存电能,并同时实现了对除尘装置控制,其左侧设有牵引转向架,右侧设有停车支架,借助桥联板与二排的太阳能光伏发电系统板连通。除尘装置上还提供了有限位开关和自锁开关,当除尘装置扫至转向架边缘时,就可以手动向后进行清洁操作,并完成了清洁工艺装置的往返运行。当除尘设备停机时,停放于光伏面板右侧的停车架上,在此期间没有额外的牵引装置,而设备安装地点也可自行改变<sup>[5]</sup>。在设备正常运转期间,自锁开关可以锁住除尘装置,避免了大风环境对除尘设备的损坏。

## 2.3 除尘装置轻量化设计

为了解决光伏板积灰问题,设计开发了光伏板清洁装置,并根据实际情况选用相应的方法来进行有效的处理。传动轴是传动系统中最主要的传动部件,除尘设备的行走主要依赖传动轴。传动轴的性能直接影响着除尘设备的工作状态,若出现传动轴断裂、变形,将会使除尘设备不能正常运转,从而使除尘设备不能发挥清洁作用。由于传动轴很长,如果传动轴的两端发生很大的变形,就有可能导致除尘设备的两端旋转不协调,导致卡住等问题;如果驱动轴的重量太大,会把太阳能电池板给压扁<sup>[6]</sup>。为此,必须对传动轴进行减重,以达到强度、刚性的同时,减轻其重量。其次,结构的结构设计要尽可能地使用新技术、新结构,比如新的结构形式,比如结构的耐震性能,比如芯柱结构。根据不同的设备,提出相应的结构布局方案,使机组尽量处于对结构较为有利的位置,降低设备的振动对结构的负面影响。

## 三、除尘装置工作参数优化设计

### 3.1 滚刷工作参数对除尘率的影响

作为一个复杂的系统工程,光伏板表面的灰尘颗粒清扫要在一定的条件下进行,掌握好滚刷旋转速度,这是因为灰尘颗粒的运动方式直接受滚刷旋转速度的影响,当处于较低的旋

转速度下,灰尘受到的清扫力为水平向前,顺光伏板表面滑动,与光伏板产生滑动摩擦力,对灰尘颗粒前行产生影响;当处于较高的旋转速度下,灰尘颗粒同时受到一个力矩以及水平向前的力,容易发生扬尘,速度过高还可能产生二次污染。另外,除尘率还会受到滚刷移动速度的影响,若处于较高的移动速度,会缩短滚刷与光伏板接触时间,导致光伏板上灰尘颗粒被清扫的次数减少,降低除尘效果。基于此,需要对这两项参数进行合理设置:

#### 1) 滚刷的旋转速度

滚刷的旋转速度与除尘工作效率及效果密切相关,且直接影响着是否会引起二次扬尘,同时灰尘颗粒的运动方式也取决于滚刷的旋转速度。通常,较高的旋转速度会增加单位时间刷丝与光伏板的接触次数。随着滚刷旋转速度的增加,刷丝所受离心力也会呈现出增加趋势。大部分刷丝较柔软,会减少其与光伏板表面接触的正压力与清扫力,直接对除尘率产生影响。出于上述考虑,需要合理设置滚刷的旋转速度。

#### 2) 滚刷的移动速度

若滚刷移动速度较快,会缩短刷丝与光伏板的接触时间,降低扬尘效果及除尘率。基于此需要设计合理的移动速度。本研究应用控制变量法进行清扫试验,获得试验结果后进行综合分析,最终取一组经过优化的值,作为无水除尘装置的参数设定依据。

## 3.2 试验台搭建

本发明旨在对光伏板表面无水除尘装置进行清洁,以达到对光伏板表面积存的粉尘和其他污染物进行有效地清除。所以,可以针对不同的客户要求,选择不同的除尘方式。为进一步了解这种光伏板表面的除尘性能,通过对其结构进行模拟和优化,根据设计图进行组装,然后进行除尘实验。对安装环境进行全面的分析,并针对安装环境进行合理的安装,以保证安装环境的稳定和安全。

## 四、结语

因此,本文所提出的分布式光伏板无水除尘设备,能够在遵守国家环保要求的同时,减少工作环境噪声。同时其设计也十分人性化,操作简单,安全性高,不存在安全问题,能够清扫光伏板表面沉积的灰尘,让设备能够在阳光照射的环境下长时间工作,并且经由装置的优化设计后,可以有效提高其工作效率,提高人们的生活质量,对行业的后期发展产生较为深远的影响。

## 参考文献:

- [1] 雷志奇. 太阳能电池组件自动除尘装置探讨与分析[J]. 能源与节能,2022(7):139-141.
- [2] 姜振海,张作良,谷东伟,等. 光伏板表面无水除尘装置优化设计[J]. 机械工程师,2021(2):11-14.
- [3] 王小康,龚俊. 光伏组件干式除尘刷工作参数优化[J]. 机械设计与制造,2020(4):270-273.
- [4] 宁会峰,程荣展,王伟志,等. 积灰对光伏发电的影响及除尘效果实验研究[J]. 太阳能学报,2020,41(11):120-125.
- [5] 廖智兴,刘全兵,黄斯珉,等. 基于表面改性的光伏组件冷凝除尘特性研究[J]. 太阳能学报,2022,43(11):33-40.
- [6] 杜小强,刘恩晓,武传宇,等. 基于高速气流的光伏板表面灰尘去除分析与试验[J]. 中国机械工程,2018,29(24):2959-2965.

本文系:杭州职业技术学院 2023 年度校级科研课题,课题名称:《分布式光伏板表面除尘装置结构设计及仿真优化研究》;课题编号:ky202315

作者简介:曹习芳,女,上海,锡伯族,1983 年 7 月,艺术硕士,实验师,杭州职业技术学院,产品设计、智能制造