

沙漠沙尘粒径对太阳能光伏组件性能影响的实验研究

赵明智¹, 苗一鸣¹, 张 旭², 孙 浩¹

(1. 内蒙古工业大学能源与动力学院, 呼和浩特 010051; 2. 华润电力华东大区新能源运维公司, 威海 264200)

摘 要: 通过选用不同粒径的沙漠沙尘颗粒沉积于太阳能光伏组件表面, 对太阳能光伏组件的背板温度变化及输出特性进行实验研究。结果表明: 随着沉积在光伏组件表面的沙尘粒径(0.05~0.3 mm)变化, 组件的开路电压变化较小, 其最大差值为0.25 V, 变化幅度约1.2%; 对短路电流和输出功率有较大影响, 短路电流的最大差值大约为13%, 输出功率的最大差值约为17%。

关键词: 沙尘粒径; 光伏组件; 沙漠地区; 温度变化; 输出特性

中图分类号: TM615

文献标识码: A

0 引 言

随着新能源在能源结构中的比重越来越大, 太阳能作为一种可再生能源, 拥有清洁、环保等优势。合理利用太阳能对于缓解全球能源短缺、温室效应等问题具有重要意义^[1]。沙漠地区拥有丰富的太阳能资源和廉价的土地资源, 为光伏电站的建设提供了优越条件。但这些地区是风沙活动和沙尘暴的多发区, 而光伏组件表面的积沙会严重影响其输出效率。因此, 研究沙漠地区积沙对光伏组件的性能影响是不可忽略的问题。

Walwil 等^[2]在研究了石灰、水泥和碳颗粒在光伏组件表面附着对其输出特性的影响, 发现颗粒的粒径越小对光伏组件的影响作用越明显。这个结果也得到其他研究学者的验证^[3]。Kazem 等^[4]在阿曼北部选取 6 个不同地区的灰尘对光伏组件的输出特性影响进行实验研究, 经分析所选取的灰尘颗粒直径大部分(64%)集中在 2~63 μm 之间。Javed 等^[5]在卡塔尔地区进行实验研究, 分析不同积尘时间下沉积到光伏组件表面的灰尘特性, 通过为期 10 个月的测试发现, 光伏组件表面积尘的平均粒径大小随着暴露时间的增加而下降, 并且随着暴露时间

的增长而达到相对稳定状态; 而随着暴露时间的增加, 积聚在光伏组件表面的尘埃粒子会凝聚。Mani 等^[6]总结了灰尘对太阳能光伏组件性能的影响, 给出不同气候带和气候特点条件下光伏组件的清洁周期。由上述研究可知, 不同地区的沙尘特性不同, 对光伏组件性能的影响也不同, 但针对在不同粒径的沙尘覆盖下, 光伏组件性能的影响研究较少。

决定光伏组件性能最重要的因子包括短路电流、开路电压、输出功率。它们都受到入射辐照度和光伏组件温度的影响, 而积尘则通过影响辐照度和温度来影响这些因子^[7]。太阳能光伏组件表面积沙直接影响组件的温度, 而温度又是影响组件输出特性的重要因素, 实质上, 太阳能光伏组件的性能变化是在粒径和温度这 2 个因素的共同影响下产生的。众多学者研究了组件表面温度对组件性能的影响, 但背板温度对组件输出性能的影响尚未展开。因此, 本文以内蒙古库布齐沙漠为研究背景, 先分析在不同沙尘粒径覆盖的情况下, 太阳能光伏组件背板的温度变化, 而后根据不同粒径及背板温度变化情况分析其对太阳能光伏组件输出特性的影响。

收稿日期: 2018-11-07

基金项目: 国家自然科学基金(51466011); 内蒙古自治区科技创新引导奖励资金(2017); 内蒙古自治区科技计划

通信作者: 赵明智(1976—), 男, 博士、教授、硕士生导师, 主要从事太阳能利用技术方面的研究。zhaomingzhi2020@163.com

1 实验布置

沙漠地区地域空旷、环境多变,沉积在光伏组件表面的沙尘易被风吹落,因此,自然条件下沉降在光伏组件表面的沙尘粒径范围充满不确定性。实验室测试能更好地控制光伏组件表面的沙尘粒径范围,定量化分析沙尘粒径对光伏组件性能的影响。

1.1 实验装置和实验测试仪器

该实验以额定功率为 10 W 的多晶硅光伏组件为实验样品,实验样本参数如表 1 所示。为了更清晰、直观地观察积沙对组件的输出功率的变化情况,利用 Fluke Norma 5000 功率分析仪和 PROVA 200A 分别记录积沙前后光伏组件的工作参数变化情况。利用 TP700 多路数据记录仪外接 Pt100 热电阻来测量光伏组件表面积沙时组件背面的温度变化情况。

表 1 光伏组件参数

Table 1 PV component parameters

工作参数	数值
最大工作功率/W	10.00
最大功率工作点电压/V	17.20
最大功率工作点电流/A	0.59
开路电压/V	21.50
短路电流/A	0.88
最大系统电压/V	1000.00
尺寸($L \times W \times D$)/mm	340×280×17

1.2 沙尘的来源

沙尘颗粒是本课题研究的重要材料,为保证实验的准确性和实用性,在实验室实验进行过程中沙尘的选取极为重要。本实验所用沙尘样品是从内蒙古库布齐沙漠某光伏电站内光伏组件附近的地表收集,周围无工厂,远离道路和城镇,动物很少出没,不受人为因素影响。

1.3 实验方法

沙尘颗粒是由大小各异的粒径所组成,不同的粒径覆盖在光伏组件表面对组件造成的遮挡效应和温度效应会有所不同。本文所用的方法是筛分法,用标准孔径的分筛器对沙物质进行分筛归类,记为不同粒径的沙物质。取每个粒度范围的右端点值作为每个粒度范围的粒径,这样就把每个粒

度范围内的粒径标准化,从而为做数据分析创造条件。经筛选分析发现,所用沙尘样本的粒径大小主要集中在 0.30~0.05 mm 之间,因此选取 0.05~0.06 mm、0.06~0.07 mm、0.07~0.08 mm、0.08~0.09 mm、0.09~0.10 mm、0.10~0.20 mm、0.20~0.30 mm 共 7 组粒径作为实验材料。7 种粒径各称取 2.5 g 分别覆盖在编号为 01、02、03、04、05、06、07 的光伏组件表面,08 号光伏组件表面清洁(图 1)。但在实际实验过程中由于 0.05~0.06 mm 沉积质量较少,在与清洁组件对比时基本无差别。所以将 0.05~0.06 mm、0.06~0.07 mm 这 2 组粒径放在一起讨论。利用太阳能电池分析仪记录光伏组件的瞬时输出情况,记录时间间隔为 30 s。光伏组件的安装倾角为 30°。将 Pt100 热电阻贴在光伏组件背面中心位置,利用 TP700 多路数据记录仪记录光伏组件表面积沙时组件背面的温度变化情况。实验时间为 2017 年 11 月 19 日 12:50~15:40。

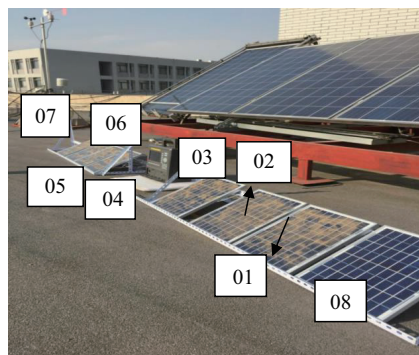


图 1 不同沙尘粒径的光伏组件

Fig. 1 Different diameters of sand on PV module surface

实验当天的风速如图 2 所示,环境温度与辐照度如图 3 所示。风速较小,使沙尘无法被吹起,且实验期间温差较小,所以对实验的准确性影响小。

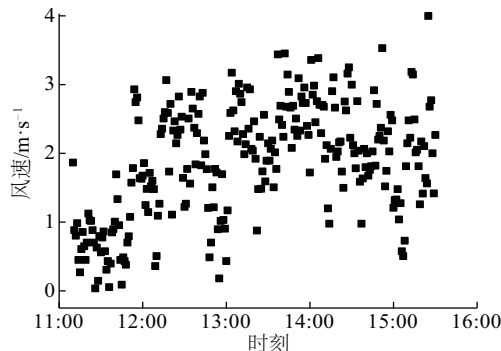


图 2 风速散点图

Fig. 2 Wind speed scatter diagram at test site

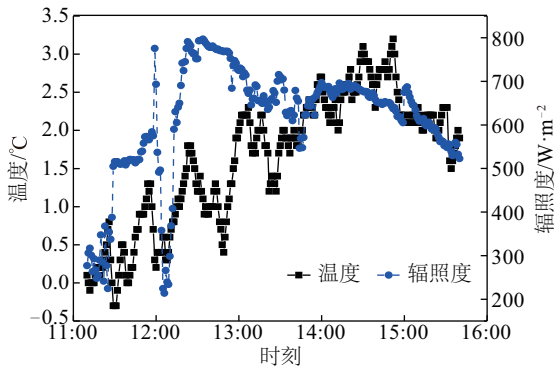


图3 环境温度、辐照度变化

Fig. 3 Variation of solar radiation and ambient temperature with time

2 实验结果分析

2.1 不同粒径对光伏组件的温度影响

在定质量条件下,将已筛分好的各组粒径均匀铺洒在组件表面,并对组件背板温度进行实时测量记录。图4为相同沙量不同粒径沙尘覆盖下的光伏组件的温度随时间的变化。

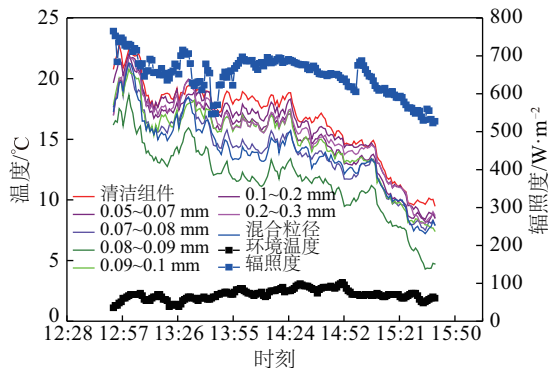


图4 不同沙尘粒径覆盖下光伏组件的温度变化

Fig. 4 Variations in temperature of photovoltaic modules under different sand diameters

由图4可知,积沙的光伏组件的温度变化与太阳的辐照度和环境温度呈正相关性。不同粒径沙尘覆盖下的光伏组件温度均小于清洁组件的温度。这是因为当阳光照射到光伏组件表面时,部分光热被覆盖在组件表面的沙尘所吸收,而沙物质本身的导热率小,导热性能弱,并且沙漠中的流沙石英^[8,9]占主要成分,其导热率更低,被组件表面的沙尘所吸收的那部分热量向下传递缓慢,大多滞留于沙尘颗粒内部,致使沙尘颗粒表面的温度迅速上升;与此同时,沙物质本身的热容量也小,消除层次

间的温差能力弱。从组件背面进行测量时积沙组件的温度低于清洁组件,因此组件表面积沙有利于降低组件的背板温度,而当粒径为0.08~0.09 mm时,组件的温度明显低于其他各组粒径,在文中将结合图5作具体解释。图5为2017年11月19日13:00、13:30、14:00、14:30、15:00、15:30这6个时刻在相同沙量不同粒径覆盖条件下光伏组件的温度变化。

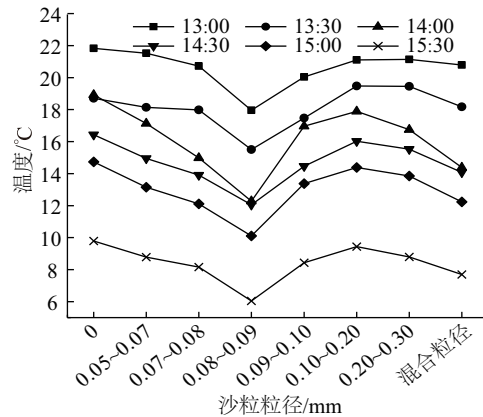


图5 不同时刻光伏组件温度随粒径的变化

Fig. 5 Photovoltaic module temperature changes with sand diameters at a different time

图5显示,在有沙尘覆盖的条件下,随着沙尘粒径的增大,光伏组件的温度先降低后升高,其中粒径为0.08~0.09 mm时组件的温度达到最低,粒径为0.10~0.20 mm时组件的温度最高,混合粒径时组件的温度介于二者之间。沙尘覆盖在光伏组件表面时,通过遮挡太阳辐射和减缓组件散热两种方式影响组件的温度。在沙尘质量相同的条件下,沙尘颗粒的粒径越小其所含有的沙尘颗粒数目越多,颗粒间的缝隙也越小;且在2.2.3节中提到,随着积尘颗粒的增多,积尘不再是均匀地分布,而是出现叠加或成簇的情况。因此在2种影响方式的共同作用下,光伏组件的温度出现了最低值。

太阳能光伏组件表面积沙直接影响组件的温度,而温度又影响组件的输出特性,实质上太阳能光伏组件的性能影响是在粒径和温度的共同作用下产生的,这两者属于关联关系。结合上文粒径对组件背板的温度变化的影响,接下来对组件的输出特性进行分析。

2.2 不同粒径对组件输出特性的影响

2.2.1 不同粒径对组件开路电压的影响

图6为2017年11月19日13:00、13:30、14:00、

15:30 这 4 个时刻在相同沙量不同粒径覆盖条件下光伏组件的开路电压变化。

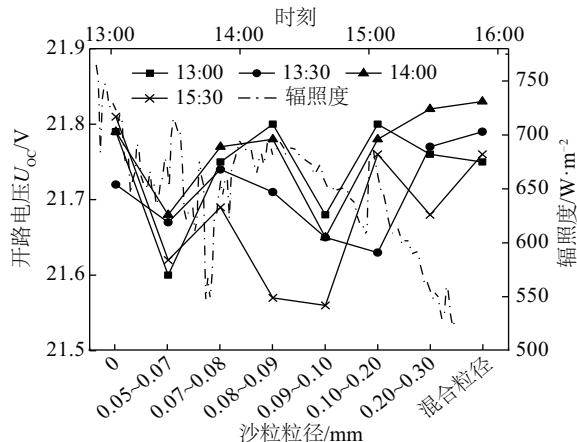


图6 光伏组件的开路电压随沙尘粒径的变化

Fig. 6 Open circuit voltage of photovoltaic module changes with sand diameters

由图 6 可看出当光伏组件表面所覆盖的沙尘粒径从 0 (即组件表面清洁) 至 0.3 mm 不同粒径的情况时, 组件的开路电压变化较小, 其最大差为 0.25 V, 变化幅度约 1.2%。同时, 开路电压受辐射强度影响也较小, 且同一粒径下, 不同辐射强度下的开路电压变化不大。Hassan^[10]在研究积灰密度与透过率的关系时, 也得到相似结果。

2.2.2 不同粒径对组件短路电流的影响

图 7 为 2017 年 11 月 19 日 13:00、13:30、14:00、15:30 这 4 个时刻在相同沙量不同粒径覆盖条件下光伏组件的短路电流变化。

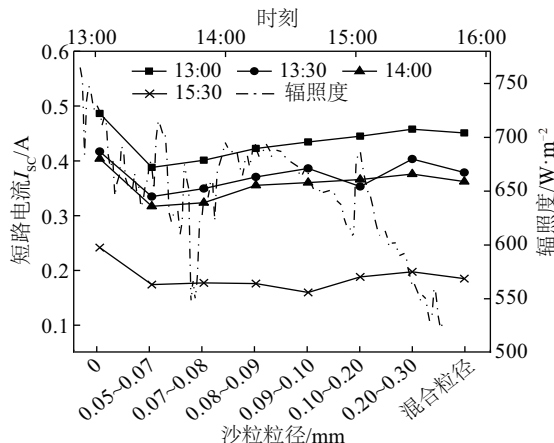


图7 光伏组件的短路电流随沙尘粒径的变化

Fig. 7 Short circuit current of photovoltaic module changes with sand diameters

图 7 显示, 短路电流与辐照度成正比, 当辐照度减小时, 光伏组件的短路电流也随之减小。当光伏组件表面由清洁至组件表面被 0.05~0.07 mm 的沙粒覆盖时, 组件的短路电流骤降, 降幅大约为 20%; 然而当光伏组件表面被其他不同粒径的沙尘覆盖时, 其短路电流未发生明显变化, 最大差值约为 13%, 其中被粒径为 0.05~0.07 mm 覆盖的组件短路电流略低于其他粒径。这是由于在相同质量的条件下, 单位面积上的沙尘颗粒的粒径越小, 其沙尘颗粒越多, 对光伏组件的遮挡面积就越大^[11,12], 而积沙减弱了入射到组件表面的辐照度, 也就相应的减弱了短路电流。因此被粒径为 0.05~0.07 mm 覆盖的组件短路电流相对于其他粒径覆盖的组件要小。

2.2.3 不同粒径对组件输出功率的影响

图 8 为 2017 年 11 月 19 日 13:00、13:30、14:00、15:30 这 4 个时刻相同沙量不同粒径覆盖下光伏组件的输出功率变化。

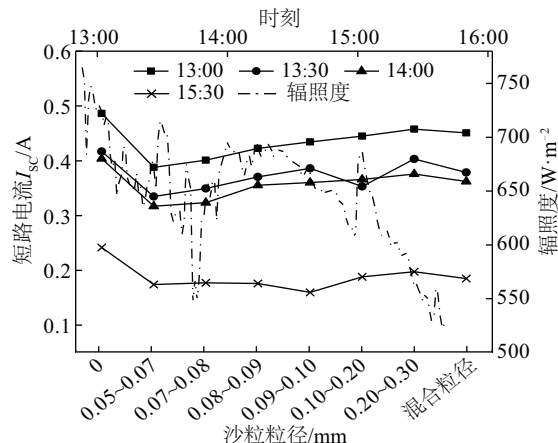


图8 光伏组件的输出功率随沙尘粒径的变化

Fig. 8 Output power of photovoltaic module changes with sand diameters

由图 8 可知, 积沙光伏组件的输出功率明显低于清洁光伏组件的输出功率。粒径越小, 对输出功率影响越大, 最大差值约为 17%。随着沙尘粒径的增大, 光伏组件的输出功率总体呈上升趋势, 但在混合粒径处功率下降, 这主要是因为: 相同质量条件下, 单位面积上的沙尘颗粒的粒径越小, 其沙尘颗粒越多, 对光伏组件的遮挡面积就越大^[11,12], 且随着积尘颗粒的增多, 积尘不再是均匀分布, 而是出现叠加或成簇的情况^[13], 而混合粒径的范围正好处

在 0.08~0.30 mm 之间, 所以出现了功率下降的趋势。其中, 沙尘粒径从 0.08~0.09 mm 增大到 0.09~0.10 mm 时, 光伏组件的输出功率明显下降。由之前学者研究可知, 光伏组件随着温度的升高其输出功率下降。且在图 5 中看出粒径从 0.08~0.09 mm 到 0.09~0.10 mm 时, 温度明显上升。而后, 随着粒径继续增大, 虽然温度还在升高, 但增幅较小, 不足以对组件的输出功率产生较大影响, 所以功率会继续上升。

3 结 论

1) 光伏组件的温度变化与太阳辐照度和环境温度呈正相关性, 积沙的光伏组件背板温度小于清洁组件的背板温度。组件表面积沙有利于降低组件的背板温度。随着沙尘粒径的增大, 光伏组件的温度先降低后升高。粒径为 0.08~0.09 mm 时组件的温度达到最低, 粒径为 0.01~0.20 mm 时组件的温度最高。

2) 改变沙尘粒径, 对组件的开路电压影响较小, 其最大差值为 0.25 V, 变化幅度约 1.2%, 开路电压受辐射强度影响也较小。

3) 短路电流与辐照度成正比, 当辐照度减小时, 光伏组件的短路电流也随之减小, 光伏组件表面被沙尘覆盖时, 组件的短路电流骤降, 其最大差值约为 13%, 在相同质量的条件下, 单位面积上的沙尘颗粒的粒径越小, 其沙尘颗粒越多, 对光伏组件的短路电流影响越大。

4) 积沙光伏组件的输出功率低于清洁光伏组件的输出功率。粒径越小, 对输出功率影响越大, 其最大降幅约为 17%。随着沙尘粒径的增大, 光伏组件的输出功率呈稳步上升的趋势。

[参考文献]

- [1] 赵明智. 槽式太阳能热发电站微观选址的方法研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古工业大学, 2009.
- [1] Zhao Mingzhi. Method research of parabolic trough solar thermal power plant site selection[D]. Hohhot: Inner Mongolia University of Technology, 2009.
- [2] Walwil H M, Mukhaimer A, Al-Sulaiman F A, et al. Comparative studies of encapsulation and glass surface modification impacts on PV performance in a desert climate[J]. Solar Energy, 2017, 142: 288—298.
- [3] Tanesab J, Parlevliet D, Whale J, et al. The contribution of dust to performance degradation of PV modules in a temperate climate zone[J]. Solar Energy, 2015, 120: 147—157.
- [4] Kazem H A, Chaichan M T. Experimental analysis of the effect of dust's physical properties on photovoltaic modules in Northern Oman[J]. Solar Energy, 2016, 139: 68—80.
- [5] Javed W, Wubulikasimu Y, Figgis B, et al. Characterization of dust accumulated on photovoltaic panels in Doha, Qatar[J]. Solar Energy, 2017, 142: 123—135.
- [6] Mani M, Pillai R. Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations[J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2010, 14(19): 3124—3131.
- [7] 崔永琴, 冯 起, 孙家欢, 等. 积尘对光伏电站发电功率的影响研究综述[J]. 中国沙漠, 2018, 38(2): 270—277.
- [7] Cui Yongqin, Feng Qi, Sun Jiahuan, et al. A review on the influence research of dust accumulation on the solar PV power stations[J]. Journal of Desert Research, 2018, 38(2): 270—277.
- [8] Chaichan M T, Alshammaa B A, Kazem H A. Effect of pollution and cleaning on photovoltaic performance based on experimental study[J]. International Journal of Scientific & Engineering Research, 2015, 6(4): 594—601.
- [9] Kazem H A, Chaichan M T. Experimental analysis of the effect of dust's physical properties on photovoltaic modules in Northern Oman[J]. Solar Energy, 2016, 139: 68—80.
- [10] Hassan Q. Effect of accumulated dust on the performance of photovoltaic modules[D]. Loughborough, UK: Loughborough University, 2013.
- [11] Al- Hasan A Y, Ghoneim A A. A new correlation between photovoltaic panel's efficiency and amount of sand dust accumulate on their surface[J]. International Journal of Sustainable Energy, 2005, 24(4): 187—197.
- [12] Beattie N S, Moir R S, Chacko C, et al. Understanding the effects of sand and dust accumulation on photovoltaic modules[J]. Renewable Energy, 2012, 48: 448—452.
- [13] 王赞红. 大气降尘监测研究[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(1): 54—59.
- [13] Wang Zanhong. The research on the aerolion dust deposition monitoring[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2003, 17(1): 54—59.

EXPERIMENTAL STUDY ON INFLUENCE OF DIFFERENT DUST PARTICLE SIZES ON PERFORMANCE OF PV MODULES

Zhao Mingzhi¹, Miao Yiming¹, Zhang Xu², Sun Hao¹

(1. School of Energy & Power Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China;

2. China Resources Power East China New Energy Operation and Maintenance Company, Weihai 264200, China)

Abstract: Surface of PV modules in desert areas have sand can cause changes in the temperature of components, which seriously affects their output efficiency. In this paper, Studying the backplane temperature changes of modules and the output characteristics of PV modules by choosing different particle size of dust. The results show that different dust particle sizes(0.05-0.30 mm) have little effect on the open circuit voltage of the module, the maximum difference is 0.25 V, the variation range is about 1.2%; but the short circuit current and output power have a great influence. The maximum difference of short circuit current is about 13% and the maximum difference of output power is about 17%.

Keywords: particle size; photovoltaic module; desert; temperature change; output characteristics