

文章编号: 1671-6612 (2023) 04-519-07

光伏组件相变材料/热管耦合控温的实验研究

周璇珣 曹晓玲 刘思麟 周 旭

(西南交通大学机械工程学院 成都 610031)

【摘 要】 为控制光伏组件 (PV) 工作温度从而提高发电效率, 提出利用相变材料/热管耦合控温的方法, 对比实验研究了相变材料/热管耦合光伏组件热管理系统 (PV-PCM/HP)、纯相变材料热管理系统 (PV-PCM) 和参考组光伏组件 (PV-ref) 的发电量。结果表明: PV-PCM 和 PV-PCM/HP 系统均能起到对光伏组件控温增效的作用, 其中又以 PV-PCM/HP 效果更佳, 其峰值温度降低 5.86 °C, 平均光电转换效率增长 0.52%。纯相变材料模块在材料熔化阶段能够起到控温效果, 但在太阳辐射照度较小时会作为热阻阻碍组件的散热。相变材料与热管的协同作用在日间延长了控温时间, 进一步降低了组件温度, 在夜间加速相变材料内热量的导出。

【关键词】 相变材料 (PCM); 热管 (HP); 光伏 (PV); 控温

中图分类号 TM914.4 文献标识码 A

Experimental Study on the Performance of Photovoltaic Modules Based on Phase Change Material/Heat Pipe Coupled Temperature Control System

Zhou Xuanxun Cao Xiaoling Liu Silin Zhou Xu

(School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

【Abstract】 To control the operating temperature of photovoltaic modules (PV) and to improve the performance, this paper proposes the use of phase change material/heat pipe coupling to control temperature. The results showed that both PV-PCM and PV-PCM/HP systems can control the temperature and increase the efficiency of the PV modules, with PV-PCM/HP being more effective, reducing the peak temperature by 5.86°C and increasing the average electrical efficiency by 0.52%. The PV-PCM module was effective during the melting phase but acted as a thermal resistance when the solar radiation was low. The synergistic effect of phase change material and heat pipe extended the temperature control time during the daytime, further reducing the module temperature and accelerating the heat export from the phase change material at nighttime.

【Keywords】 Phase change materials (PCM); heat pipes (HP); photovoltaics (PV); temperature control

0 引言

能源与环境问题直接关系着人类生活的方方面面, 结合资源短缺的背景, 能源高效、清洁、可持续地开发与利用愈发关键。在一众可再生能源里, 太阳能因其资源充足、分布广、易获取、安全、清洁等特点而备受青睐。当下应用最广的晶硅光伏组件吸收的太阳辐射仅有一部分转换为电能, 一部

分耗散在环境中, 其余大部分热能积聚在光伏组件中, 造成光伏组件温度上升。光伏组件温度过高会导致其光电转换效率下降, 还会加速组件的老化^[1]。

相变材料 (PCM) 具有高潜热、能量密度高以及相变过程中温度基本不变的特性, 被广泛应用于各研究领域。将相变材料应用于光伏组件控温具有

基金项目: 四川省科技计划项目 (2021YF0271)

作者简介: 周璇珣 (1998.8-), 男, 在读硕士研究生, E-mail: xuanxunzhou@foxmail.com

通讯作者: 曹晓玲 (1984.8-), 女, 博士, E-mail: xlcao@swjtu.edu.cn

收稿日期: 2023-03-13

维护成本低、无额外能源消耗、散热均匀的优点,能够能量移峰,相变材料在日间吸收热量将光伏组件的运行温度控制在合理范围内,热量在夜间释出。Tan^[2]等在室外条件下实验验证了 PCM(RT 27)用于光伏组件控温的有效性,与无 PCM 的系统相比,电池温度最高降低了 15℃,光电效率提高了 5.39%。Waqas^[3]等采用了一种利用 PCM 进行光伏组件控温的新策略,将 PCM(RT 24)填充在 11 根直径为 14mm 的铜管内,用导热硅脂贴附在光伏电池板后表面。铜管的存在增强了对流换热,从而更好地控制了温升。这导致峰值温度下降 15℃,而光电效率提高了 3%。

热管(HP)是一种高效的导热元件,具有很高的导热性和优良的等温性,广泛应用于热管理领域。Akbarzadeh^[4]等早在 1996 年就研究了应用热管为光伏电池板散热,尺寸为 25mm×20mm 的多晶光伏电池板安装在热管蒸发段表面的两侧,热管使用 R-11 制冷剂,由于对流换热系数低,热管冷凝段的外部传热面积通过翅片扩展,测试结果显示,没有冷却的电池板的最高温度是 84℃,最大功率输出为 10.6W,而采用热管冷却的电池板的最高温度是 46℃,最大功率输出 20.6W。Anderson^[5]等使用铜-水热管用于聚光型光伏系统热管理,并在热管的冷凝段添加了铝翅片,这种热管的性能受重力或角度的影响较小。

当前相变材料/热管耦合热管理系统主要应用于电池/电子器件。Gou^[6]等研制了一种空心芯棒镍锰电池,将 PCM 和 PCM/HP 分别填充其中并进行对比实验,结果表明集成了相变材料和热管的热管理系统控温效果最佳。Jiang^[7]等研制了一个由电池、相变材料和热管组成的三明治结构的电池热管理系统,实验研究了系统在电池充放电循环下的温度响应。同时,建立了将电池产热、相变材料熔化和热管瞬态热响应耦合的集总模型,揭示了不同环境温度、冷凝段传热系数、相变材料与电池厚度比下的电池温度,以及相变过程的耦合机理。在纯相变材料的情况下,在循环中相变材料热量释放不完全,相变材料热管理系统无法形成长期有效的循环。将相变材料和热管组合,能够形成互补,保证电池长期有效循环。

本文首先制作 PCM/HP 模块,然后将其与光伏组件结合,通过对比实验研究相变材料/热管耦合

控温系统的温度响应和光电性能。

1 相变材料/热管耦合光伏组件热管理系统

PV-PCM/HP 示意图如图 1 所示, PV-PCM/HP 和 PV-PCM 剖面图如图 2 和图 3 所示。光伏组件将部分太阳辐射能转化为电能输出,部分在环境中耗散,其余部分以热能的形式积聚在光伏组件内部,致使光伏组件工作温度上升,组件光电转换效率下降。纯相变材料热管理模块(纯 PCM 模块)贴附于光伏组件后表面,依靠相变材料巨大的相变潜热吸收来自光伏组件的热量,以达到降温增效的效果。相变材料/热管耦合热管理模块(PCM/HP 模块)在纯相变材料热管理模块的基础上,将 U 型扁平热管嵌入光伏组件和相变材料之间,因此热管顶面与光伏组件接触换热,同时其余底面和侧面与相变材料换热。借助热管的高效导热性,耦合模块能够增大系统与环境换热的速率。U 型扁平热管在光伏组件厚度方向上不超过铝框范围,更便于运输、安装和运维。

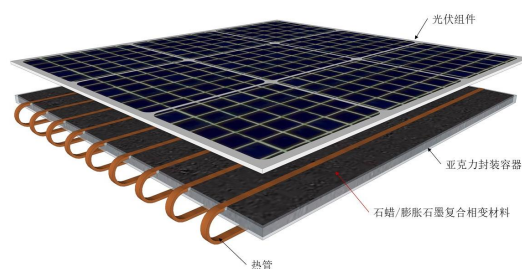


图 1 PV-PCM/HP 示意图

Fig.1 Schematic diagram of PV-PCM/HP

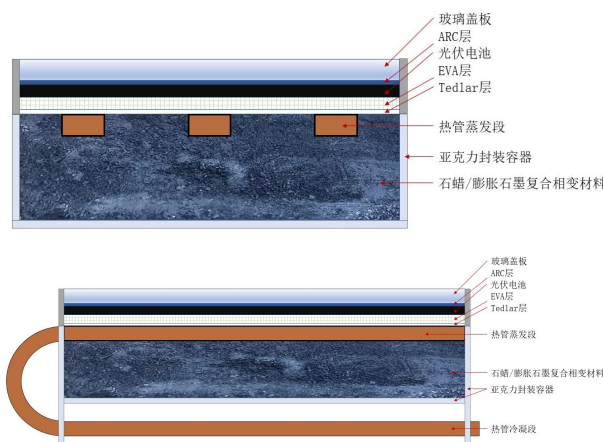


图 2 PV-PCM/HP 系统剖面图

Fig.2 Cross-section view of PV-PCM/HP system

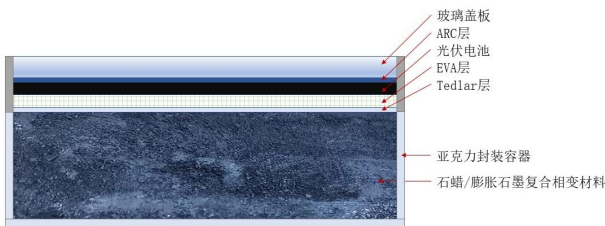


图 3 PV-PCM 系统剖面图

Fig.3 Cross-section view of PV-PCM system

利用亚克力材料制成封装容器, 容器上加工若干对矩形孔, 与扁平热管截面尺寸相同, 将相变材料装填至容器中, 而热管嵌于相变材料中。相变材料厚度为 10mm, 采用厚度为 3mm 的亚克力制成。纯相变材料热管理模块形式及尺寸与相变材料/热管热管理模块相同, 无热管和矩形孔。相变材料/热管热管理模块示意图和实物图如图 4 所示。



图 4 相变材料耦合热管控温模块 (PCM/HP) 示意图和实物图

Fig.4 Schematic and actual diagram of the PCM/HP thermal control module

1.1 相变材料制备

石蜡是一种广泛使用的烷烃类相变材料, 属于有机相变材料, 其具备许多优点: 相变潜热大、相变温度调整范围宽 (不同链长的烷烃, 熔点可在 5~80℃ 范围调整)、化学和热稳定、无毒环保、易于获取、价格低廉, 和同属有机相变材料的脂肪酸类相变材料相比无腐蚀性, 和无机盐水化合物相比无过冷现象和沉积。但是石蜡在应用过程中也存在导热系数低和泄露问题, 前者使得相变材料熔化-凝固周期变长, 材料中的热积聚无法有效导出, 后

者导致材料密封难度和成本大大增加。PV-PCM 和 PV-PCM/HP 所采用的相变材料相同。研究人员发现, 膨胀石墨 (EG) 具有疏松多孔的蠕虫状结构, 具有表面积大、吸附性能好、稳定性高、重量密度低、导热系数高、与有机相变材料相容性好等优点, 被广泛用于吸附相变材料, 制成的复合相变材料具有一定的定形效果, 能够实现有效封装, 与此同时还能够增强相变材料的导热系数。本文采用石蜡作为相变材料, 并利用膨胀石墨对石蜡进行改性。

本文采用机械搅拌混合和真空浸渍的方法, 制作 PW/EG 复合相变材料的过程如下: 选用 95% 质量分数的石蜡与 5% 质量分数的膨胀石墨的配比^[8]。实验所用材料参数如表 1 所示。制备石蜡/膨胀石墨复合相变材料的过程如下: (1) 称量 95% 的石蜡与 5% 的膨胀石墨分多层铺装, 放入烧杯中; (2) 将烧杯放入 90℃, -0.1MPa 环境的真空干燥箱中真空浸渍 48h, 每隔 6h 将容器取出搅拌均匀; (3) 将复合相变材料取出填入亚克力容器中, 得到石蜡/膨胀石墨复合相变材料。改性过后的石蜡/膨胀石墨复合相变材料, 解决了纯石蜡导热系数低的缺点, 与此同时具有一定的定形效果, 便于封装。PW/EG 复合相变材料的物理性质如表 1 所示。

表 1 PW/EG 复合相变材料热物性

Table 1 Thermal properties of PW/EG composite phase change materials

属性	单位	值
密度	kg/m ³	950
导热系数	W/(m·K)	2.7
比热容	J/(kg·K)	1800, 固态; 2200, 液态
相变温度	℃	41.5
相变半径	℃	1.5
相变焓	kJ/kg	177.7

1.2 PV-PCM/HP 系统的制备

将 PCM/HP 模块和纯 PCM 模块粘接至光伏组件后表面之前, 首先在两者接触的交界面填涂一层导热硅脂 (导热系数 2.7W/(m·K)), 以此尽可能减小由于固体表面不平整而产生的接触热阻, 增强导热效果。使用中性硅酮密封胶 (661, 成都硅宝科技股份有限公司) 可以将纯 PCM 模块和 PCM/HP 模块粘接于光伏组件后表面, 如图 5 所示即为 PV-PCM/HP 系统后表面实物图。

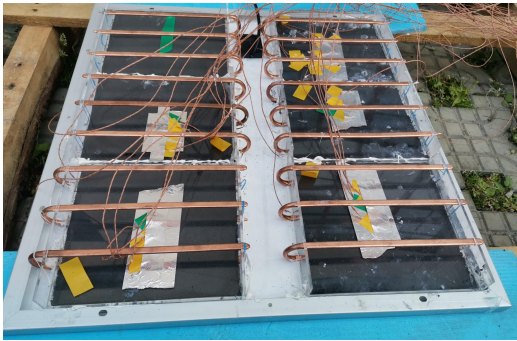


图 5 PV-PCM/HP 控温系统后表面实物图

Fig.5 Actual view of the rear surface of the PV-PCM/HP thermal control system

2 实验设置

本章搭建实验测试系统，在四川省成都市进行实地测试，实验时间为 2022 年 7 月 8 日至 9 日连续两个夏季日，数据采集的时间为每日上午 8:30 至次日上午 7:30。实验中使用了三块尺寸为 540mm*510mm*18mm 的商用单晶硅光伏组件，光伏组件的主要参数见表 2。

表 2 光伏组件参数

Table 2 Parameters PV module

参数	单位	值
最大功率	W	50
最大功率点电压值	V	18
最大功率点电流值	A	2.78
开路电压	V	21.6
短路电流	A	3.06
尺寸	mm	540×510×18
功率容限	—	+/-3%

实验过程中，三块光伏组件以同一角度安装在同一个基座上，在室外实验时，太阳辐射没有阻挡。

表 3 实验仪器信息

Table 3 The main information of the measuring apparatus

测量分类	仪器	制造商及型号	测量范围	测量精度
温度	数据采集仪	Agilent 34980A	-200 to 482℃	±0.4%
电流	I-V 特性曲线仪	EKO MP-11-SET-E	10-1000V	±1%
电压			100mA-30A	
环境温度	气象站	Davis Vantage Pro2	-40 to 65℃	±0.3℃
风速			3-241km/h	±5%
太阳辐射照度	太阳辐射照度计	Delta-T SPN1	0-2000W/m ²	5%

实验场地均为开阔空地或楼宇屋顶，无阴影、

如图 6 所示，实验系统主要由三部分组成：温度测量、电性能测量和气象数据测量。通过相应的商业软件，各部分的数据最终被汇总到计算机中进行处理。

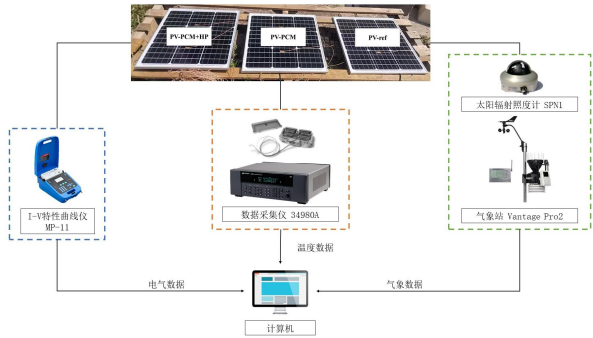


图 6 实验测试系统示意图

Fig.6 Schematic diagram of the experimental measurement system

K 型热电偶被用于监测光伏组件、相变材料和热管的工作温度。热电偶主要布置在光伏组件的后表面和热管理模块之间，以及热管理模块的中心和热管的表面。为降低实验误差，热电偶在使用前经标准温度计校准。实验中热电偶连接数据采集仪，温度测量数据由数据采集仪收集。

电气数据由 I-V 特性曲线仪测量，PV-ref、PV-PCM 和 PV-PCM/HP 三块光伏组件各连接一台 I-V 特性曲线仪，收集光伏组件电压、电流、输出功率等电气数据。

气象数据通过太阳辐射照度计、温湿度自记仪和热线风速仪测量。太阳辐射照度计采集的数据被用来计算到达光伏组件前表面的总入射辐射，它与光伏组件安装于同一角度。热线风速仪和温湿度自记仪被安装于光伏组件同一基座，与光伏组件保持同一高度。表 3 为实验仪器的主要信息。

遮挡。实验时间为 9:00 至 17:00，视当地太阳辐照

情况有所增减。每日实验流程如下:

(1) 检查实验测试系统和实验装置情况, 检查测试系统接线。

(2) 开启数据采集仪, 开启 I-V 特性曲线仪, 连接太阳辐射照度计, 开启风速仪, 设置各仪器数据采集间隔时间。

(3) 尝试启动仪器开始采集数据, 观察温度、电气、气象参数等数据是否正常采集。

(4) 上午 9:00 揭开光伏组件表面的遮盖物, 实验同时开始, 每间隔 30min 检查各仪器是否正常采集数据。

(5) 17:00 结束实验, 将温度、电气、气象参数等数据汇总至计算机中, 当日气象数据也导入计算机中。

(6) 关闭测量仪器, 将遮盖物覆盖在光伏组件表面。

3 实验结果分析

为了对比不同系统运行时的热管理效果, 本节整理了 PV-ref、PV-PCM 和 PV-PCM+HP 三种系统实际运行时的实验数据。整理的实验数据主要包括温度 (组件温度响应)、电性能 (光电转换效率、开路电压和短路电流) 和气象数据 (太阳辐射照度、气温和风速)。

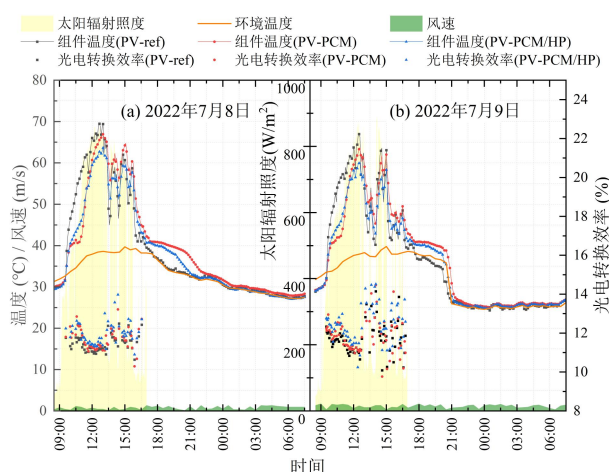


图 7 实验测量光伏组件温度、光电效率及气象参数

Fig. 7 Time evolution of the PV temperature and solar electrical efficiency of PV-ref, PV-PCM and PV-PCM/HP, solar radiation, ambient temperature, and wind speed measured

如图 7 (a) 所示, 在 2022 年 7 月 8 日照辐

射强度可以分为前后两段, 在前半段日照辐射强度由 9:00 的 $83.3\text{W}/\text{m}^2$ 稳步地增长, 在 12:40 达到峰值 $873.3\text{W}/\text{m}^2$ 。在 13:05 后, 日照辐射强度相对减弱, 并呈现波动趋势。日照辐射强度在 $700\text{W}/\text{m}^2$ 以上持续时间约为 3.48h, 全日平均值为 $497.3\text{W}/\text{m}^2$ 。气温在 27.2°C 至 39.7°C 变化, 平均气温 33.0°C , 表明该日气温较高。环境风速在 $0.2\text{m}/\text{s}$ 至 $1.4\text{m}/\text{s}$ 间变化, 平均风速 $0.8\text{m}/\text{s}$, 风速较弱。

如图 7 (a) 显示, 8 日 PV-ref、PV-PCM 和 PV-PCM/HP 全日峰值温度分别为 69.47°C 、 66.95°C 和 63.61°C , PV-PCM 和 PV-PCM/HP 分别较 PV-ref 降低了 2.52°C 和 5.86°C 。当组件温度上升至 40°C 左右时, 相变材料的积极作用开始显露, 此时 PV-ref 温度变化曲线急剧升高, 而 PV-PCM 和 PV-PCM/HP 温度增长速率明显变缓, 且 PV-PCM/HP 上升速率更缓, 这表明了相变材料利用相变潜热吸热, 发挥积极作用。PV-PCM 系统在此时期持续了约为 50min, PV-PCM/HP 系统约为 70min, 这体现了热管的积极作用。

在实验日间的后半段, 太阳辐射出现波动, 可以观察到当太阳辐射快速下降, PV-ref 温度下降速率最快, 其次是 PV-PCM/HP, PV-PCM 下降速率最慢。纯 PCM 模块在此时相当于一块巨大的热阻, 对组件温度的下降起阻碍作用。自 16:00 左右以后, 太阳辐射维持在较低水平, 组件温度开始降低。对于 PV-ref、PV-PCM 和 PV-PCM/HP 系统, 组件温度由 16:00 时的温度降低至环境温度所花费的时间约为 90min, 390min 和 300min。在有太阳辐射的日间, PV-ref、PV-PCM 和 PV-PCM/HP 平均温度分别为 53.65°C 、 52.88°C 和 51.13°C , 全日 (包含日间和夜间) 平均温度分别为 38.81°C , 39.69°C 和 38.32°C 。造成 PV-PCM 全日平均温度略高于 PV-ref 的原因是 PV-PCM 系统在冷却阶段时热量导出较慢, 仅依靠纯 PCM 模块与空气的对流换热。热管与相变材料的协同作用可以一定程度地弥补上述缺陷, 热管与空气的对流换热作用可以在日间同时导出组件和相变材料的热量, 在夜间也能导出相变材料中的热量加速冷却, 避免影响次日的下一个循环。类似的温度变化趋势可以在图 7 (b) 9 日实验结果中观察到, 两日气象条件类似, 但后者太阳辐射波动更为剧烈, 组件温度整体较低。

图 8 为两实验日测量得到的 PV-PCM 和

PV-PCM/HP 光伏组件温度和相变材料温度。相变材料温度测点为 PV-PCM 和 PV-PCM/HP 模块在厚度方向上的中心,即 5mm 处。如图 8 所示,PV-PCM 的组件温度和相变材料温度始终高于 PV-PCM/HP。当组件温度上升至相变材料相变温度范围时,因为相变潜热的作用, PV-PCM 和 PV-PCM/HP 组件温度和相变材料温度均略微有下降趋势,但随着太阳辐射照度的迅速升高,热量积累,组件温度和相变材料温度又变为原先的上升趋势。从图中还可以观察到,无论 PV-PCM 和 PV-PCM/HP,在日间其组件温度大于相变材料温度,反映了热量传递的方向,相变材料在不断发挥其控温作用。在太阳辐射照度变为 0 后的夜间, PV-PCM 组件温度和相变材料温度之间的温差很小,而 PV-PCM/HP 仍然保持着一定的温度差,但是此时相变材料温度大于组件温度,此时热量传递方向反转,表明热管在持续发挥其导热性能,将相变材料中的热量导出至环境中,体现了热管与相变材料的协同作用。

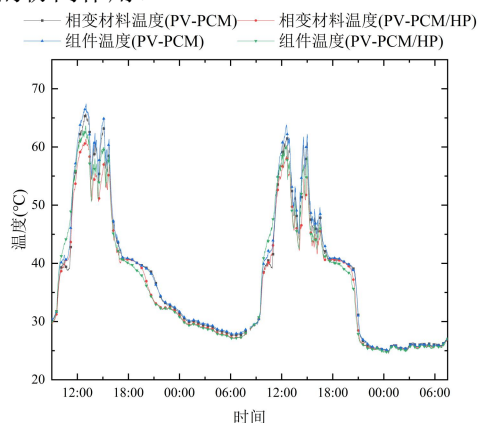
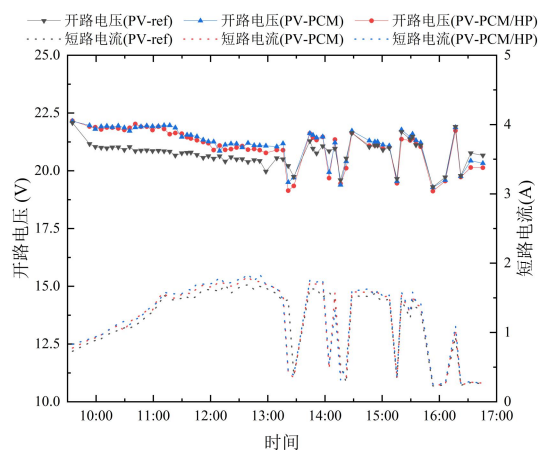


图 8 实验测量光伏组件温度和相变材料温度

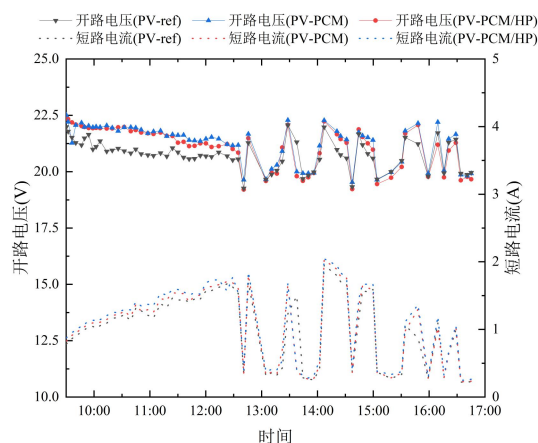
Fig.8 Time evolution of the PV and PCM temperature of PV-PCM and PV-PCM/HP

图 9 显示了开路电压和短路电流随时间变化。PV-ref、PV-PCM 和 PV-PCM/HP 三者开路电压之间的差值表明相变材料能够有效地降低组件温度,从而提高发电功率,它们的短路电流差别较小,主要受太阳辐射照度影响。结合图 7,使用热管理模块的光伏组件光电转换效率明显得到提升。在 8 日实验期间, PV-ref 光电转换效率变化范围是 10.64–12.49%, PV-PCM 为 10.29–13.22%, PV-PCM/HP 为 10.90–13.98%。与 PV-ref 系统相比, PV-PCM 和 PV-PCM/HP 系统平均光电转换效率增

长了 0.23%和 0.52%。随着组件工作温度的升高,光电转换效率降低,在太阳辐射较为稳定的时期较为明显。在 9 日的实验结果中也能观察到类似的趋势,但因为太阳辐射的关系,波动更为剧烈。根据误差分析理论^[9],输出功率和光电转换效率的不确定度分别为 1.40%和 5.19%。



(a) 2022 年 7 月 8 日



(b) 2022 年 7 月 9 日

图 9 实验测量开路电压和短路电流

Fig.9 Time evolution of open-circuit voltage and short-circuit current

4 结论

针对相变材料/热管耦合模块和纯相变材料模块对光伏组件热管理的影响,本文进行了对比实验。对比 PV-ref, PV-PCM 和 PV-PCM/HP 系统均可以降低光伏组件工作温度,延长日间控温时间,提升光电转换效率。与 PV-PCM 相比, PV-PCM/HP 控温增效效果更佳,峰值温度分别降低 2.52℃和 5.86℃,平均光电转换效率分别增长 0.23%和 0.52%。PV-PCM 在材料熔化阶段对光伏组件能够

起到控温作用,但在太阳辐射照度较小时会作为热阻阻碍组件的散热。

参考文献:

- [1] Ma T, Yang H, Zhang Y, et al. Using phase change materials in photovoltaic systems for thermal regulation and electrical efficiency improvement: A review and outlook[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015,43:1273-1284.
 - [2] Tan L, Date A, Fernandes G, et al. Efficiency Gains of Photovoltaic System Using Latent Heat Thermal Energy Storage[J]. *Energy Procedia*, 2017,110:83-88.
 - [3] Waqas A, Jie J, Xu L J. Thermal behavior of a PV panel integrated with PCM-filled metallic tubes: An experimental study[J]. *JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY*, 2017,9(5).
 - [4] A Akbarzadeh, T Wadowski. Heat pipe-based cooling systems for photovoltaic cells under concentrated solar radiation[J]. *Applied Thermal Engineering*, 1996,16(1).
 - [5] Anderson W G D P. Heat pipe cooling of concentrating photovoltaic cells: 2008 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference[C]. 2008.
 - [6] Gou J, Liu W, Luo Y. The thermal performance of a novel internal cooling method for the electric vehicle battery: An experimental study[J]. *Applied Thermal Engineering*, 2019,161:114102.
 - [7] ZY Jiang, ZG Qu. Lithium-ion battery thermal management using heat pipe and phase change material during discharge-charge cycle: A comprehensive numerical study[J]. *Applied Energy*, 2019,242.
 - [8] Xia L, Zhang P, Wang R Z. Preparation and thermal characterization of expanded graphite/paraffin composite phase change material[J]. *Carbon*, 2010,48(9):2538-2548.
 - [9] Wang D J, Liu J, Liu Y F, et al. Evaluation of the performance of an improved solar air heater with "S" shaped ribs with gap[J]. *Solar Energy*, 2020,195:89-101.
-
- (上接第511页)
- [2] FUJISHIMA N, SUGI A, SUZUKI T, et al. A highdensity, low on-resistance, trench lateral power MOSFET with atrench bottom source contact[C]. *International Symposiumon Power Semiconductor Devices and ICS. IEEE*, 2002:143-146.
 - [3] 白洁玮,张晓东,牛志刚,等.利用LNG冷能及废气余热的热电器件耦合场分析[J].*中国农机化学报*,2016,37(1):132-135.
 - [4] 余剑武,范光辉,雷吉平,等.动力电池组汇流排过载能力及电流均衡性影响因素研究[J].*中国机械工程*,2017,28(20):2426-2433.
 - [5] 张万良,王明春,夏梓朔.锂电池汇流排温度分布与载流能力的关系研究[J].*中国汽车*,2021,352(7):17-21.
 - [6] 焦敏,赵治国,陈祥.混合动力汽车用电池热管理系统的设计与研究[J].*应用能源技术*,2018,(10):1-4.
 - [7] Guiwen Jiang, Ling Zhuang, Qinghua Hu, et al. An investigation of heat transferand capacity fade in a prismatic Li-ion battery based on an electrochemical-thermal coupling model[J]. *Applied Thermal Engineering*, 2020,171(C):115080-115080.
 - [8] 李夔宁,谢运成,谢翌,等.基于电化学热耦合模型的富镍锂离子电池产热分析[J].*储能科学与技术*2021,10(3): 1153-1162.
 - [9] W Mei, H Chen, J Sun, et al. Numerical study on tab dimension optimization of lithium-ion battery from the thermal safety perspective[J]. *Applied Thermal Engineering*, 2018,142:148-165.