

晶体硅太阳能电池热电集成组件的集热特性*

高向明¹, 王 硕¹, 冉宏霞¹, 刘瑞峰¹, 苑进社^{1,2}

(1. 重庆师范大学 物理与电子工程学院, 重庆 401331; 2. 光电功能材料重庆市重点实验室, 重庆 401331)

摘要:【目的】研究晶体硅太阳能电池作为集热芯实现热电集成的可行性。【方法】基于硅基太阳能电池的输出特性, 通过优化设计组件结构和层压工艺技术条件, 研制出晶体硅太阳能电池光伏光热一体化集成组件。【结果】对组件集热性能进行了室外实地实验测试和对比试验, 发现热电集成单组件发电峰值功率达到 100 Wp, 同时可平均日产 40~60 °C 热水 50 kg, 综合利用效率达到 50% 以上。【结论】试验表明将太阳能电池片作为热水系统吸热板芯片是可行的, 且组件的热电性能均能得到有效改善。

关键词: 晶体硅太阳能电池; 热电集成; 集热特性

中图分类号: Q175

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2018)01-0107-04

理论研究表明单晶硅太阳能电池在 0 °C 时的最大理论转换效率只有 30%。在光强一定的条件下, 当硅电池自身温度升高时它的输出功率将下降, 其他因素如光强的变化也会影响硅电池的能量转换效率。在实际应用中, 标准条件下硅电池转换效率为 20% 左右^[1-3], 照射到电池表面上的太阳能约 80% 未能转换为电能, 其中相当一部分能量转化为热能^[4], 并使光伏电池温度升高。如果这些吸收的热量不能及时排除, 电池温度就会逐渐升高, 发电效率降低(据统计电池组件温度每增加 1 K 输出电量减少 0.2%~0.5%), 光伏电池长期在高温下工作还会因迅速老化而缩短使用寿命^[5-6]。为尽可能使太阳能电池光电转换效率保持在较高水平, 可以在电池背面敷设流体通道带走热量以降低电池温度^[7-8], 这种既能发电又能提供热能的系统即为光伏光热(PVT)系统。PVT 综合利用优势在于: 1) 降低太阳能电池温度, 提高电池光伏转化效率和使用寿命^[9]; 2) 在同一装置上实现热电联供, 降低系统成本^[10]; 3) 提高单位面积太阳光辐射能量的利用效率, 对于综合开发利用太阳能具有突出的优势^[11-12]。PVT 综合利用技术是实现热电联产节约空间资源的关键, 平板型太阳能发电热水一体化集成是实现 PVT 综合利用关键部件之一。本研究通过实验研究市场上各种硅太阳能电池的输出特性, 筛选出适用的光伏电池单体。在优化组件结构的同时, 完善改进层压工艺技术。研究设计发电热水一体化集成组件材料和整体结构, 并在实验研究的基础上, 测试分析多晶硅太阳能电池和单晶硅背电极太阳能电池的伏安特性; 将其与蓝钛吸热板芯的热性能进行对比试验研究, 探索将太阳能电池片作为热水系统吸热板芯片的可行性。

1 PVT 的结构

PVT 组件采用了如图所示的特殊结构, 第 1 层采用太阳能专用玻璃以增加阳光的透过率; 第 2 层为 0.3 mm 厚的 PET 膜, 用以保护太阳能光伏电池, 隔绝它与空气接触; 第 3 层为太阳能光伏电池, 是 PVT 组件的核心层, 起到光伏与光热转换的作用; 第 4 层是 0.1 mm 厚的 PET 膜, 主要作用是绝缘, 防止晶体硅太阳能电池与后面的铝制导热板发生短路; 第 5 层是 0.7 mm 的铝合金导热板, 将太阳能电池产生的热量传导给导热铜管; 第 6 层是聚氨酯发泡保温层, 防止热量散失。在第 5 层导热铝合金板与第 6 层聚氨酯发泡保温层之间是通有冷却液的铜管, 太阳能光伏电池产生的热量通过铜管里的冷却液传递出去, 实现光伏与光热的同时转换利用。

图 2 为晶体硅太阳能电池温度 25 °C 条件下伏安特性测试曲线。从图中可以得到组件填充因子 $F_F = 0.7837$, 最大功率 P_m 达到 153 W 以上。理论和实验结果表明晶体硅太阳能电池随着温度的升高, 填充因子 F_F 将会线性下降, 开路电压 V_{oc} 线性下降的幅度为 $2.3 \text{ mV} \cdot \text{°C}^{-1}$, 开路电压 V_{oc} 随温度的下降对 PVT 组件的电性能参数的

* 收稿日期: 2016-12-05 修回日期: 2017-10-14 网络出版时间: 2018-01-18 15:21

资助项目: 重庆市科技攻关项目(No. cstc2012-yyjs90010)

第一作者简介: 高向明, 实验师, 研究方向为能源动力与工程, E-mail: csgxm@163.com; 通信作者: 苑进社, 教授, E-mail: jesyuan@cqu.edu.cn

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20180118.1521.028.html>

变化占主导地位,进而影响组件的光电转换效率。如果没有良好的冷却措施,太阳能电池在相对高温的条件下工作,效率损失会非常明显^[13]。

2 PVT 组件的测试

基于上述结构,通过工艺优化制作了 PVT 组件,并进行了室外实地集热特性实验测试。在此基础上,进行了 PVT 组件与平板式蓝钛太阳能热水采集组件热转换效率的比较试验。测试时将 PVT 组件与平板式蓝钛太阳能热水采集组件放置在相同环境中,采用 2 个温度控制器控制,当达到预设温度时控制电磁阀开启,放出设定温度的热水,比较 PVT 组件与平板式蓝钛太阳能热水采集组件在相同条件下热水产量,从而比较评价 PVT 组件光热转换效果。

实验测试采用 PVT 组件与平板式蓝钛太阳能热水采集组件并排放在一个朝南与水平面夹角约 40°实验架上,控制器的温度传感器探头放置在组件的出水端,设定温度为 (50±2) °C,及出水口温度为 52 °C 时控制器开启电磁阀,组件里面被加热到 52 °C 以上的水从出水口流出,进入到一个储水箱里,当出水口的温度下降到 48 °C 时,关闭电磁阀,停止输出温度低于 48 °C 的热水。最后收集测量 1 d 时间内 PVT 组件与平板式蓝钛太阳能热水采集组件所产热水的数量,定量测试评价 PVT 组件的光热转换效果。

3 PVT 组件的测试结果分析

图 3 为 7 月某日测得的 PVT 组件和平板式蓝钛太阳能热水采集组件各特征点温度数据和太阳光光照相对强度的关系。表 1 为实验结果数据。

根据图 3 和表 1 可以得出 PVT 组件的光热转换效率与平板式蓝钛太阳能热水采集组件相当。在组件尺寸及光照条件,环境参数都相同的条件下,PVT 组件较平板式蓝钛太阳能热水采集组件产出的热水量还要多,其中主要原因可能是 PVT 组件在结构上比平板式蓝钛太阳能热水采集组件的保温性能更好,PVT 组件外层玻璃与太阳能电池板的距离比平板式蓝钛太阳能热水采集组件的距离更大,且结构的密闭性更好;且 PVT 组件外层玻璃与太阳能电池板的距离约有 30 mm,太阳能电池板层与前后完全隔离,后面的聚氨酯发泡保温层密封较好。而平板式蓝钛太阳能热水采集组件外层玻璃与蓝钛板的距离很近,有的地方可能还与外层玻璃接触,保温效果较差;而且蓝钛板后面的保温层采用的是保温板,保温效果也较差。相关实验研究有待进一步开展。

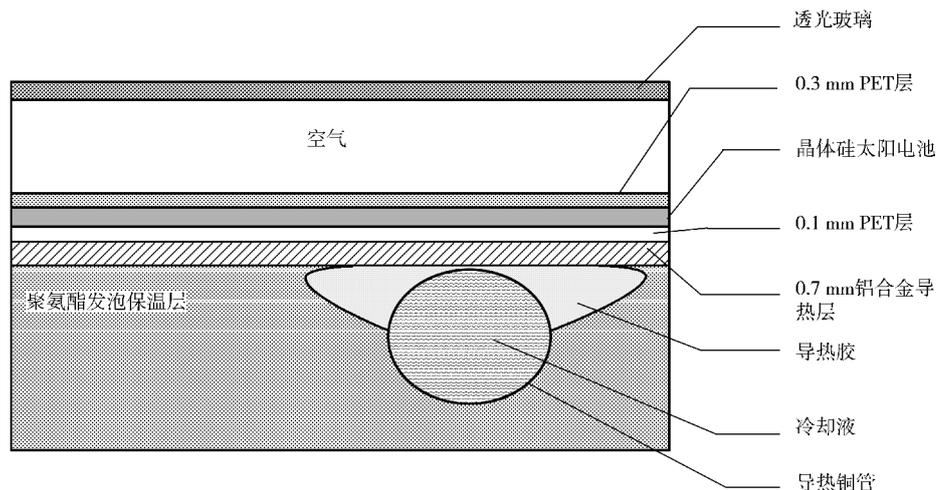


图 1 PVT 组件结构图

Fig.1 PVT component structure diagram

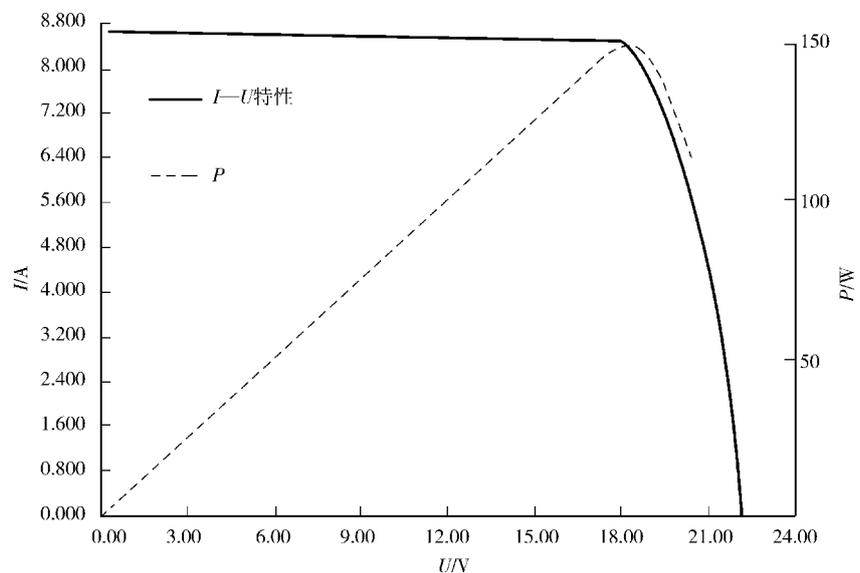


图 2 晶体硅太阳能电池组件伏安特性

Fig. 2 I-V characteristics of crystalline silicon solar cell modules

由图 3 可知 PVT 组件板面温度与普通光伏板相当,高温时温度还略低于普通光伏板。从图中可以看出,在光照不强时(温度曲线的两端),由于 PVT 组件有保温特性,因此板面温度比普通光伏板要高。当光照增强后,PVT 组件板面温度与普通光伏板的温度都开始上升。但当温度升到一定值后,PVT 组件开始输出热水,同时对 PVT 组件板面温度降温,使得 PVT 组件板面温度不再继续上升。而普通光伏板由于没有冷却水流,因此温度将继续上升直到与自然散热量在较高的温度下实现平衡。另外,由于实验场地限制,实验地点在 15:00 后太阳将被建筑物遮挡,所以图 3 的实验图线出现陡降的情况。

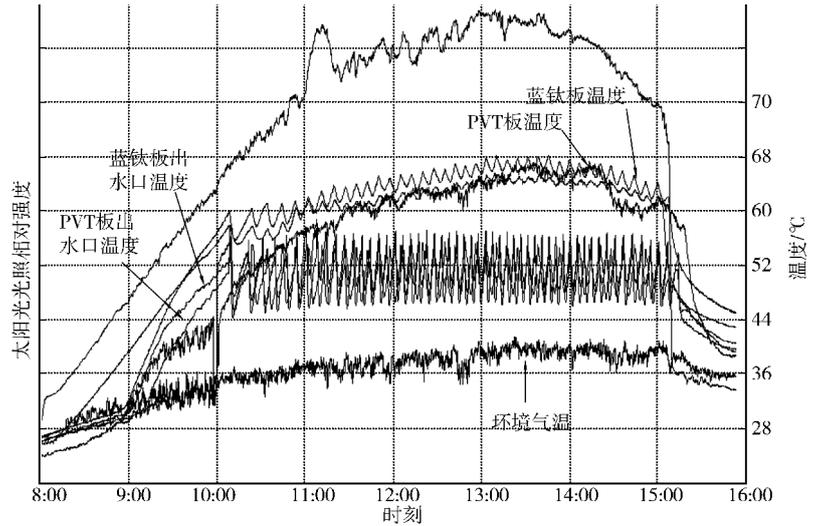


图 3 PVT 组件各特征点温度和太阳辐射强度的关系

Fig. 3 Relationship between temperature and solar radiation intensity of PVT components

瞬时效率计算公式为 $\eta = \frac{Mc_p(t_{i+1} - t_i)}{A(R_{i+1} - R_i)}$ 。式中 η 为瞬时效率, M 为所产热水的质量, c_p 为水的比热容, A

为热电组件的有效采光面积, R 是太阳辐射量, t 是所产热水的温度, 下标 i 与 $i+1$ 表示采集数据的两个时刻。将采集的数据代入瞬时效率公式计算得到光热转换效率, 结合组件的光电转换效率数据计算出 PVT 组件的光电光热综合效率。在测试计算分析的基础上, 通过工艺和结构优化研制出了平板型太阳能光伏发电热水一体化组件, 经实地运行实验单组件发电峰值功率达到 100 W_p, 同时可平均日产 40~60 °C 热水 50 kg, 太阳能综合利用效率达到 50% 以上。

4 结论

通过测试分析现有市场上各种硅太阳能电池的输出特性, 筛选出适用的硅基光伏电池单体。在优化设计组件结构同时, 完善改进层压工艺技术。研究设计了发电热水一体化集成组件材料和整体结构。在室外实地对组件进行了集热性能测试分析, 获得了用晶体硅太阳能电池作为集热吸热层的温度特性; 为探索将太阳能电池片作为热水系统吸热板芯片的可行性提供了实验基础和技术支持。获得了与蓝钛吸热板芯的热性能进行了对比试验结果。实验研究结果发现用晶体硅太阳能光伏电池集成 PVT 组件, 可以实现较低成本的太阳能光热光电的综合利用, 为太阳能光伏/光热综合利用提供了一条可借鉴的有效途径。

参考文献:

- [1] VISHAL V, AARTI K, BHIM S. Complementary performance enhancement of PV energy system through thermoelectric generation [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 58: 1017-1026.
- [2] SUHAILA A H, MOHD Y O, KAMARUZZAMAN S, et al. An overview of photovoltaic thermal combination (PV/T combi) technology [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, 38: 212-222.
- [3] CHEN H B, SAFFA B R. Investigation of a hybrid solar heat pump system [J]. *Procedia Engineering*, 2011, 21: 311-318.
- [4] HAITHAM M S B, AHMER A B B, PALANICHAMY G. Uniform cooling of photovoltaic panels: a review [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 57: 1520-1544.
- [5] MILAD M, REZA H. A photovoltaic/thermal system with a combination of a booster diffuser reflector and vacuum tube for generation of electricity and hot water production [J]. *Renewable Energy*, 2015, 78: 245-252.
- [6] DAGHIGHA R, RUSLANA M H, SOPIAN K. Advances in

表 1 典型日实验数据统计结果

Tab. 1 Statistical results of typical experimental data

参数	PVT 组件	蓝钛组件
每日热水产量/L	45.5	39.5
放水次数/次	38	54
每次出水量/L	1.2	0.73

- liquid based photovoltaic/thermal (PV/T) collectors[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15: 4156-4170.
- [7] GHANI F, DUKE M, CARSON J K. Effect of flow distribution on the photovoltaic performance of a building integrated photovoltaic/thermal (BIPV/T) collector[J]. *Solar Energy*, 2012, 86: 1518-1530.
- [8] YANG D J, YIN H M. Energy conversion efficiency of a novel hybrid solar system for photovoltaic thermoelectric and heat utilization[J]. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2011, 26(2): 231-235.
- [9] ROSA-CLOT M, ROSA-CLOT P, TINA G M, et al. Experimental photovoltaic-thermal power plants based on TESPI panel[J]. *Solar Energy*, 2016, 133: 305-314.
- [10] JIANG F, TOH P S, LEUNG K O, et al. Experimental study on glazed mc-Si solar photovoltaic/thermal (PVT) system[J]. *Energy Procedia*, 2014, 61: 2787-2790.
- [11] KARIMA E A, ABD-ALRAHEEM M A. Field study of various air based photovoltaic/thermal hybrid solar collectors[J]. *Renewable Energy*, 2014, 63: 402-414.
- [12] CHÁVEZ-URBIOLA E A, VOROBIEV Y V, BULAT L P. Solar hybrid systems with thermoelectric generators[J]. *Solar Energy*, 2012, 86: 369-378.
- [13] 金井升, 舒碧芬, 沈辉, 等. 单晶硅太阳能电池的温度和光强特性[J]. *材料研究与应用*, 2008, 2(4): 488-502.
- IN J S, SHU B F, SHEN H. Temperature and light intensity characteristics of monocrystalline silicon solar cells[J]. *Materials Research and Application*, 2008, 2(4): 488-502.

Heat Collection Characteristics of Photovoltaic/Thermal Integrated Collector with Crystalline Silicon Solar Cells

GAO Xiangming¹, WANG Shuo¹, RAN Hongxia¹, LIU Ruifeng¹, YUAN Jinshe^{1,2}

(1. College of Physics and Electronic Engineering, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;

2. Chongqing Key Laboratory of Photoelectric Function Materials, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes] In order to explore the possibilities of thermoelectric integrated module used crystalline silicon solar cell as the absorber. [Methods] The photovoltaic/thermal (PVT) collector has been developed by optimizing the structure and technique conditions according to the output characteristics of crystalline silicon solar cells. The thermal and photovoltaic performances of the collector were carried out at outdoor field test. [Results] It was found that power output of thermoelectric integrated module reaches at 100 Wp, the average quantity of 40~60 °C hot water produced per day is 50 kg, comprehensive utilization efficiency is over 50%. [Conclusions] The results show that the crystalline silicon solar cell used as the absorber plate of the hot water system is feasible and the thermal and electric performances of the PVT devices are improved effectively.

Keywords: crystalline silicon solar cells; photovoltaic/thermal (PVT) integrated collector; heat collection characteristics

(责任编辑 许 甲)