

# 光伏热水系统在不同温度工况下的热性能研究

胡志鹏<sup>1\*</sup>, 高 钱<sup>1</sup>, 肖君彦<sup>1</sup>, 盛振猛<sup>2</sup>

(1. 山东省产品质量检验研究院, 济南 250102; 2. 舜普新能源科技(山东)有限公司, 济南 250100)

**摘 要:** 介绍了一种将光伏发电与储热水箱相结合的热热水系统, 并对该系统在 3 种不同环境温度工况下的系统热性能进行了测试。结果表明, 当光伏组串表面接收的太阳辐照量最大时, 该系统的转换效率未必最高; 同时, 环境温度会对系统的转换效率产生影响, 但环境温度并不是唯一的影响因素。

**关键词:** 光伏发电; 储热水箱; 光伏热水系统; 温度工况; 太阳辐照量; 热性能

**中图分类号:** TK513.5

**文献标志码:** A

## 0 引言

太阳能作为一种绿色、可再生的清洁能源, 现已得到广泛利用, 而太阳能热水系统与光伏发电系统是太阳能的 2 种主要利用方式<sup>[1-2]</sup>。本文设计了一种将储热水箱与光伏发电相结合的热热水系统(下文简称“光伏热水系统”), 利用光伏组件将太阳能转化为电能, 通过电加热的方式为储热水箱中的水加热, 以此实现热水供应。针对光伏组件的光电转换效率受环境温度与太阳辐照度影响这一特性, 提出了不同环境温度工况下光伏热水系统的热性能测试方法, 设计了一套模拟该光伏热水系统实际工作温度的实验平台, 并对该系统进行了性能测试、分析与研究。

## 1 光伏热水系统的组成及实验平台搭建

### 1.1 光伏热水系统的组成

本文设计的光伏热水系统主要包括光伏组串、储热水箱、直流加热器及连接电缆等。光伏组串由安装于山东省产品质量检验研究院综合楼(36.66°N、117.23°E)楼顶的 3 块功率为 275 W 的多晶硅光伏组件串联而成; 储热水箱中安装有直流加热器, 光伏组串产生的电能通过电缆进入

直流加热器, 用于加热储热水箱中的水。

### 1.2 实验平台搭建

光伏组串放置在温度可调的环境箱内, 同时在环境箱内安装 1 块与组件安装倾角(45°)相同角度的总辐照表。储热水箱安装在室内, 室内温度设定为 16±3 °C; 储热水箱中设置有温度传感器, 用于监测储热水箱中的水温。

## 2 实验过程

- 1) 称量储热水箱盛满水后的质量, 以此判断储热箱的容量。
- 2) 设定环境箱内的温度。
- 3) 储热水箱充满水后, 记录储热水箱中的初始水温; 实验结束后, 记录储热水箱中的终止水温。
- 4) 记录光伏组串表面接收的太阳辐照量。
- 5) 通过功率分析仪监测直流加热器端的电压、电流、功率。
- 6) 根据储热水箱中的水温变化计算得到水的得热量; 根据水的得热量、光伏组串表面接收的太阳辐照量、光伏组串轮廓采光面积计算得到光伏热水系统的转换效率(系统的转换效率为水的

收稿日期: 2020-06-29

通信作者: 胡志鹏(1981—), 男, 硕士、工程师, 主要从事光伏与太阳能热利用方面的研究。huzhipeng@sdqi.com.cn

得热量与光伏组串表面接收的太阳辐照量和光伏组串轮廓采光面积乘积的比值)<sup>[3-5]</sup>。

3 实验结果及分析

为了研究高温和低温环境温度对光伏热水系统热性能的影响，分别选取 2020 年的 4 月 3 日、

4 月 24 日及 4 月 30 日作为测试日进行测试。4 月 3 日设定了较高的环境箱内温度；4 月 24 日和 4 月 30 日设定了低于大气环境温度的环境箱内温度。不同温度工况下光伏热水系统的热性能测试数据如表 1 所示。

由表 1 可以看出，虽然 2020 年 4 月 3 日

表 1 不同温度工况下光伏热水系统的热性能测试数据

Table 1 Test data of thermal performance of PV hot water system under different temperature conditions

日期	环境箱内的温度 /℃	储热水箱中的初始水温 /℃	储热水箱中的终止水温 /℃	水的温差 /℃	光伏组串表面接收的太阳辐照量 /MJ·m <sup>-2</sup>	光伏组串轮廓采光面积 /m <sup>2</sup>	光伏组串的发电量 /MJ	水的得热量 /MJ	系统的转换效率 /%
2020-04-03	69.6	17.8	57.0	39.2	14.08	4.503	9.98	9.01	14.21
2020-04-24	12.6	18.2	60.5	42.3	13.46	4.503	11.05	9.72	16.04
2020-04-30	21.6	16.9	54.0	37.1	11.14	4.503	9.27	8.53	17.00

这天光伏组串表面接收的太阳辐照量最大，为 14.08 MJ/m<sup>2</sup>，但该日的系统转换效率最低，仅为 14.21%。这是因为在光伏组串轮廓采光面积一定的情况下，系统的转换效率只与光伏组串表面接收的太阳辐照量及水的得热量有关，而水的得热量又与光伏组串的发电量直接相关。由于 4 月 3 日环境箱内设置的温度过高，对光伏组件的工作温度造成了影响，降低了光伏组串的发电量，导致系统的转换效率较低。同理，4 月 24 日与 4 月 30 日时，环境箱内的温度设置的较低，光伏组串的发电量也相对较好。但从表中也可以看出，4 月 24 日，光伏组串的发电量为 3 天中最佳，但该日系统的转换效率仅排名第 2，而 4 月 30 日时系统的转换效率反而最高。这也说明了虽然环境温度是影响光伏热水系统转换效率的因素，但并不是唯一的影响因素，具体原因将在今后的实验中继续探索。

4 月 3 日、4 月 24 日及 4 月 30 日光伏组串表面接收的太阳辐照量与光伏组串的发电量随时间变化的曲线如图 1 所示。对比 3 张图可以发现，并非光伏组串表面接收的太阳辐照量越多，组串的发电量就越多，尤其是 4 月 3 日，光伏组串表

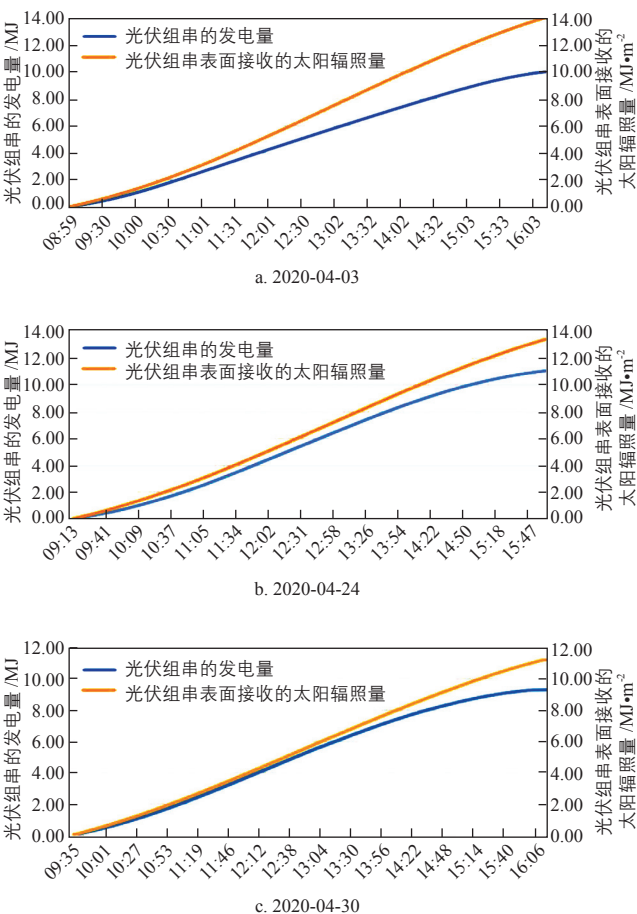


图 1 光伏组串表面接收的太阳辐照量与光伏组串的发电量随时间变化的曲线

Fig. 1 Curve of solar radiation received on surface of PV string and power generation of PV string over time



面接收的太阳辐照量最多, 但该日组串的发电量仅高于 4 月 30 日组串的发电量。

综合表 1 和图 1 可以发现, 4 月 3 日光伏组串表面接收的太阳辐照量是 4 月 24 日的 1.05 倍, 而组串的发电量只是 4 月 24 日的 0.90 倍; 同样, 4 月 3 日组串表面接收的太阳辐照量是 4 月 30 日的 1.26 倍, 而组串的发电量只是 4 月 30 日的 1.08 倍。也就是说, 在单位太阳辐照量下, 4 月 3 日光伏组串的发电量是最少的, 这也说明过高的环境温度对光伏组串的发电量有一定影响, 但这可能不是唯一的影响因素, 后续还需进行进一步研究。

#### 4 结论

本文介绍了一种光伏热水系统, 并搭建了可模拟该系统实际应用的实验平台, 该平台可设定

不同的环境温度条件, 有助于对光伏热水系统整体性能进行长期研究与分析。

本文选取了 3 个不同环境温度工况进行实验, 结果表明, 光伏组串表面接收的太阳辐照量最大时, 系统的转换效率未必最高; 同时, 环境温度会对系统的转换效率产生影响, 但环境温度不是唯一的影响因素。

#### 【参考文献】

- [1] 李晨玉, 贾海涛, 王健. 太阳能热水系统与光伏系统节能比较分析 [J]. 住宅科技, 2018, 8: 55 - 57.
- [2] 李刚. 光能分区时效控制技术在太阳能建筑中的应用 [J]. 科技通报, 2014, 30(11): 32 - 34, 40.
- [3] 全国太阳能标准化技术委员会. 家用太阳热水系统技术条件: GB/T 19141-2011[S].
- [4] 魏凤, 吕晓华. 关于太阳能热水器得热量测试方法的探讨 [J]. 计量与测试技术, 2009, 36(5): 20 - 23.
- [5] 全国能源基础与管理标准化技术委员会新能源和可再生能源分技术委员会. 家用太阳热水系统热性能实验方法: GB/T 18708-2002[S].

## RESEARCH ON THERMAL PERFORMANCE OF PV HOT WATER SYSTEM UNDER DIFFERENT TEMPERATURE CONDITIONS

Hu Zhipeng<sup>1</sup>, Gao Qian<sup>1</sup>, Xiao Junyan<sup>1</sup>, Sheng Zhenmeng<sup>2</sup>

(1. Shandong Institute for Product Quality Inspection, Jinan 250102, China;

2. Shunpu new energy technology (Shandong) Co., Ltd., Jinan 250100, China)

**Abstract:** An experimental platform is designed in this paper to simulate the practical application of PV power system combined with solar water heating system(PV hot water system) under three different temperatures. The results show that as the solar radiation which PV strings received from increases, the conversion efficiency may not increase. While, ambient temperature affects system conversion efficiency, respectively. But ambient temperature is not the only factor.

**Keywords:** PV power generation; hot water storage tank; PV hot water system; temperature conditions; solar radiation; thermal performance