

影响太阳能电池输出功率变化因素的探究

江群峰¹

(1. 复旦大学物理学系, 上海市杨浦区 200433)

1 实验原理

太阳能电池是光伏发电的基础。太阳电池的技术参数有: 开路电压 (U_{oc})、短路电流 (I_{sc})、最大输出功率 (P)、填充因子 (FF)、转换效率 (η)。

太阳能电池的电学特性为: 在一定环境温度下, 随着光照强度的增加, 太阳能电池板的短路电流线性增加, 开路电压不变; 在一定光照强度下, 随着环境温度的增加, 太阳能电池板的开路电压略微减小, 短路电流不变。

太阳能电池的最大功率点会随着太阳辐照度和温度的变化而变化, 而工作点也会随着负载阻抗的变化而变化。最大功率点跟踪型控制器的原理是将光伏方阵的电压和电流检测后相乘得到的功率, 判断方阵此时的输出功率是否达到最大, 若不在最大功率点运行, 则调整脉冲宽度、调制输出占空比、改变充电电流, 再次进行实时采样, 并做出是否改变占空比的判断。

太阳光照在半导体p-n结上, 形成新的空穴-电子对, 在p-n结内建电场的作用下, 空穴由n区流向p区, 电子由p区流向n区, 接通电路后就形成电流。这就是光电效应太阳能电池的工作原理。

(1) 开路电压

开路电压是当电池处于开路状态时, 负载趋于无穷, 输出电流为0时, 电池输出的最大电压。

(2) 短路电流 I_{sc}

短路电流是指当电压为0时, 电池输出的最大电流。利用电流表直接与太阳能电池板串联, 测试的电流为短路电流。

(3) 电功率

输出电功率大小为电流与电压的乘积。I-V曲线上的每一点, 都反映此工作情形下的输出电功率。

最大输出功率的获得可以调节负载电阻到某一个数值时, 使得工作电流 I_m 和工作电压 V_m 之乘积为最大。

(4) 填充因子

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{P_m}{V_{oc} I_{sc}}$$

填充因子是衡量电池PN结质量及串联电阻的参数, 填充因子越大, 太阳电池的质量就越好。

2 实验仪器

4块虚拟太阳能电池板(标记为A, B, C, D)、可调钨灯、照度计、直流电流表、直流电压表、温度计。

3 实验方法

一、光伏发电可行性实验

1. 将 4 块太阳能电池板并联（不超过负载的工作电压）后接负载 LED 灯。打开可调钨灯，调节电压使得钨灯的光照慢慢增强，直至 LED 灯发光。

2. 测量太阳能电池板串联时不同光照条件下测量的短路电流和开路电压

分别将 2 块、3 块、4 块太阳能电池板按照一定的方式串联，通过调节相应的时刻改变可调钨灯的电压使得钨灯的光强缓慢增加，用照度计记录 4 次光照度（单位：勒克斯）。在同样光照度下，分别接电流表（图 1 接线，测短路电流）和接电压表（图 2 接线，测开路电压）。将每个光照度下测量的短路电流 I_{sc} 和开路电压 U_{oc} 记录下来。

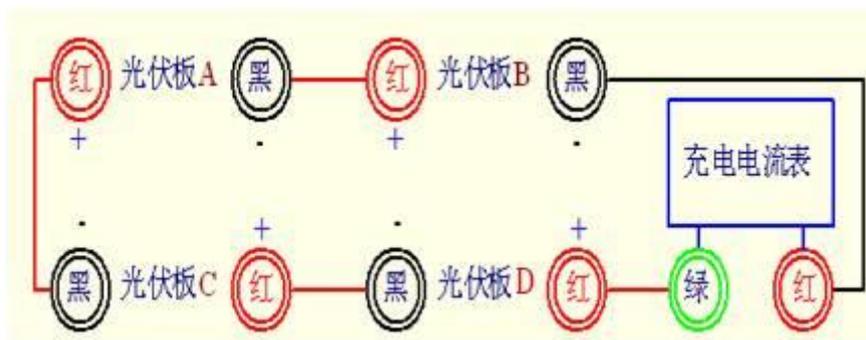


图 1 短路电流测量电路图

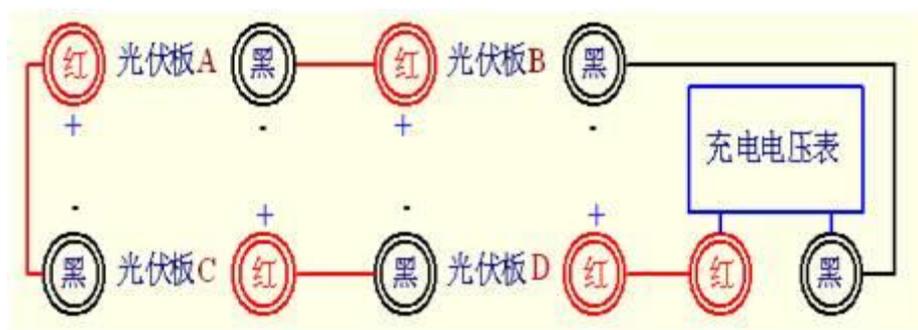


图 2 开路电压测量电路图

3. 测量太阳能电池板并联时不同光照条件下测量的短路电流和开路电压

分别将 2 块、3 块、4 块太阳能电池板一定的方式并联，其它同实验 2，每个光照度下测量的短路电流 I_{sc} 和开路电压 U_{oc} 。

4. 在相同光照下，不同温度环境中，测量单块太阳能电池板的短路电流和开路电压

将可调钨灯的时刻调至 12 时并保持不变，选择不同的环境温度，记录下每次的温度以及不同温度对应下的的开路电压和短路电流。

5. 在相同环境温度下，测量不同光照条件下光伏组件（4 块电池板并联）的最大功率点。

选取固定的环境温度为 20 度，将四块太阳能电池板并联后，再与电流表和电阻箱串联，使用电压表测量电阻箱上的电压值，调节电阻值，分别记录在 10 时、12 时以及 17 时下不同电阻值对应的电流表和电压表示数，并计算相关参数。

二、 太阳能电池负载实验

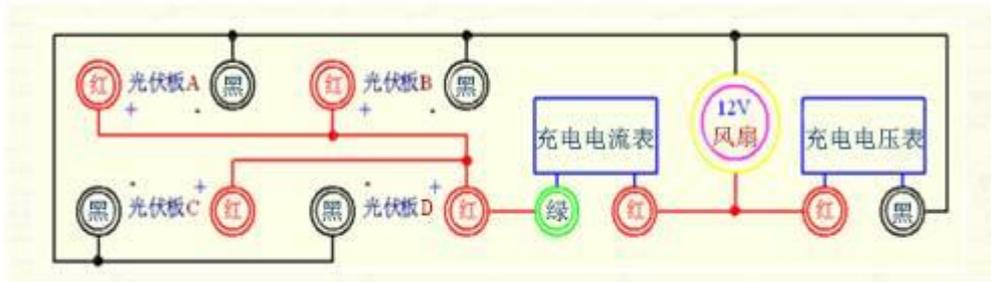


图 3 太阳能电池负载实验图

按照图 3 的方式将相关的电路进行连接，选择固定的环境温度为 20 度，将时刻值分别调整为 10 时、12 时以及 17 时，记录每一刻度下不同负载(风扇、蜂鸣器、电机、交通灯、LED 等)两端的电流和电压(电流表和电压表的示数)。

4 实验结果和分析

一、光伏发电可行性实验

1. 验证太阳能电池阵列不同连接方式对 LED 灯光强的影响

串联 2 个太阳能板如图 4 所示连接电路，结果如图 4。

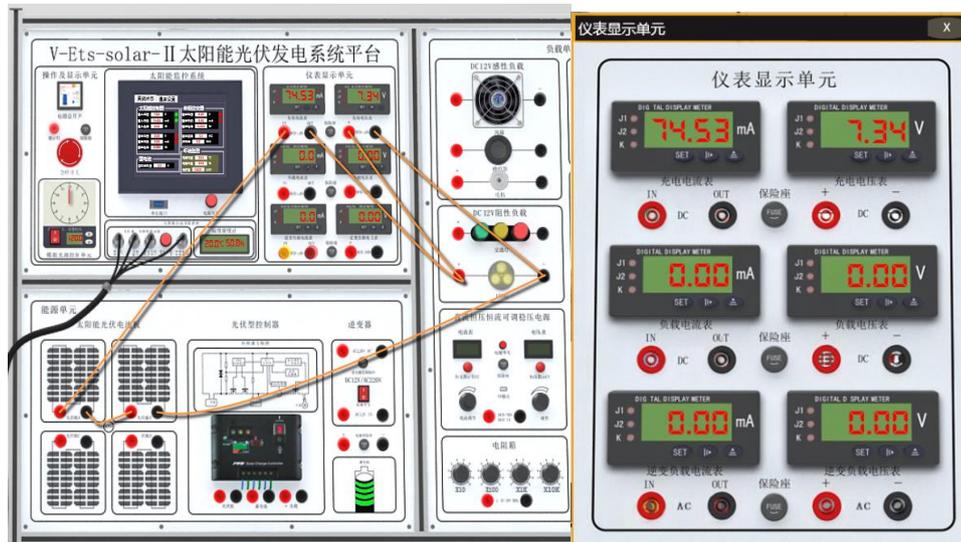


图 4 串联太阳能板实验结果

并联 2 个太阳能板如图 5 所示连接电路，结果如图 5。与图 4 对比发现，并联太阳能板时充电电流和充电电压均高于串联的情况，且 LED 灯亮度更大。

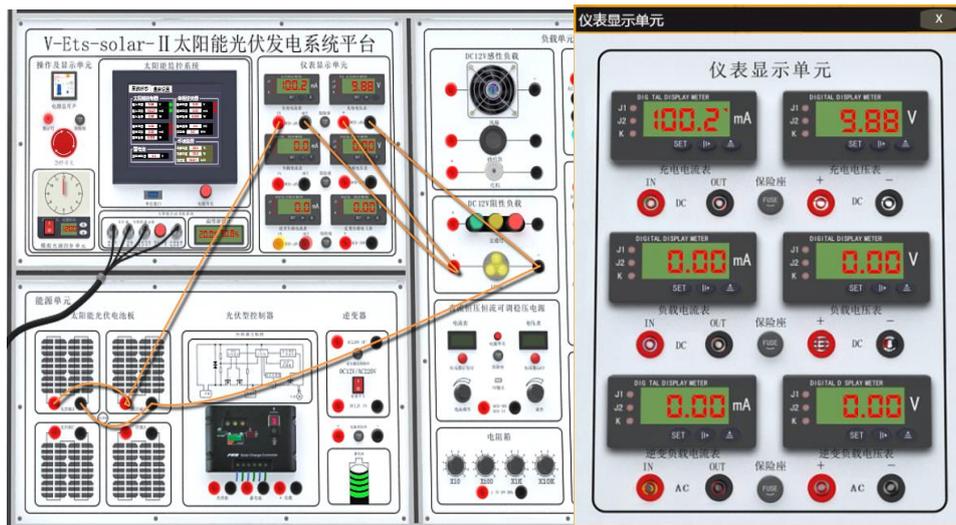


图 5 并联太阳能板实验结果

2. 一天当中不同时刻的太阳光对 LED 灯光照影响的测试

如图 6 所示连接线路。在本次实验中，我们选取 8:00、12:00、16:00 三个时间进行实验。

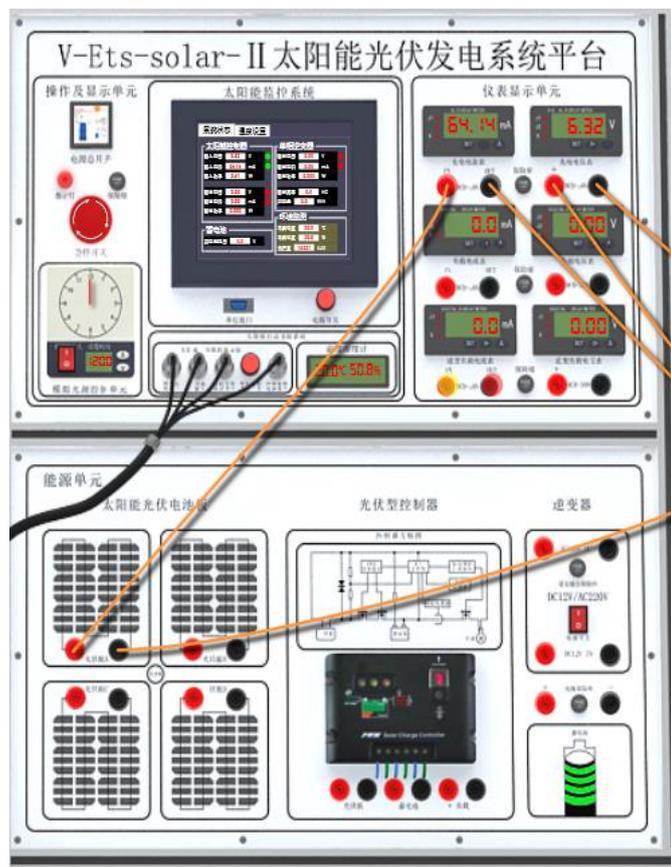


图 6 不同时刻的太阳光实验连线

8:00、12:00、16:00 三个时间的实验结果分别如图 7、图 8、图 9 所示。继续测定一天中白天整点时刻的输出功率，测得结果如表 1 所示，将其绘制成点线图得到图 10。



图 7 8:00 的太阳光照射下实验结果



图 8 12:00 的太阳光照射下实验结果



图 9 16:00 的太阳光照射下实验结果

时刻值	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I_{sc} /mA	30. 27	30. 28	31. 21	37.8 8	50.1 9	60. 38	64.1 4	62.4 5	57.9 2	52.6 3	47. 70	43.5 6	40.2 9
U_{oc} /V	2.9 8	2.9 8	3.0 7	3.73 7	4.94 5	5.9 5	6.32 5	6.15 5	5.71 5	5.18 5	4.7 0	4.29 0	3.97 0
功率 /mW	90. 204	90. 234	95. 814	141. 2924	247. 9386	359. 26	405. 3648	384. 0675	330. 7232	272. 6234	224. 19	186. 8724	159. 9513

表 1 太阳能电池板输出功率随太阳光照变化的测试数据

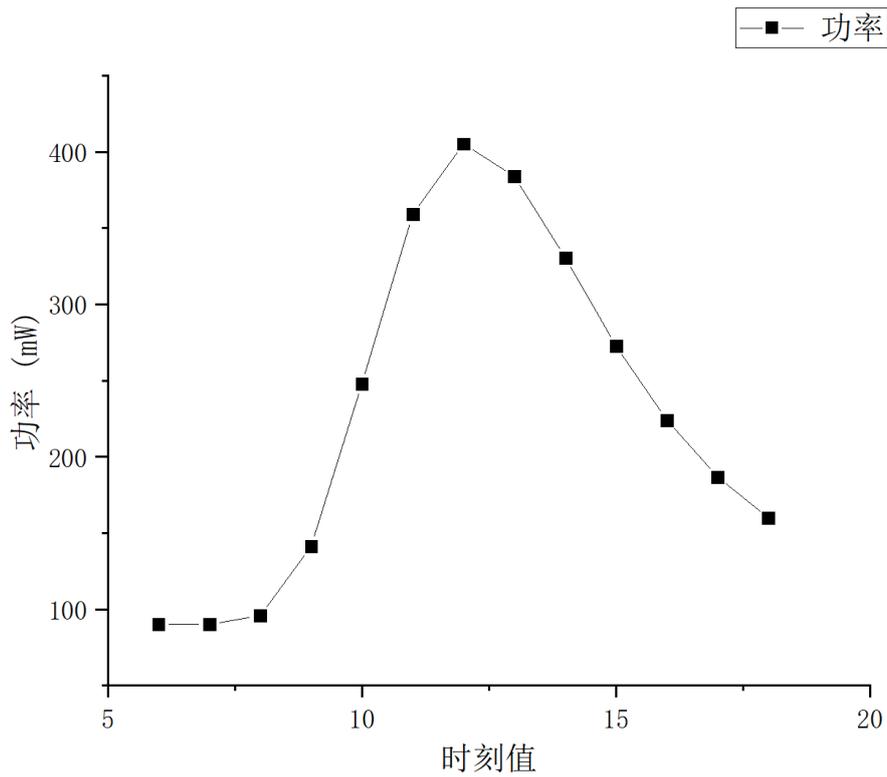


图 10 太阳能电池板输出功率随太阳光照变化的测试

3. 不同季节对 LED 灯光强影响的测试

如图 11 所示连接线路，选取不同季节测定太阳能电池板的输出功率，测定结果见表 2，绘制的结果如图 12 所示。

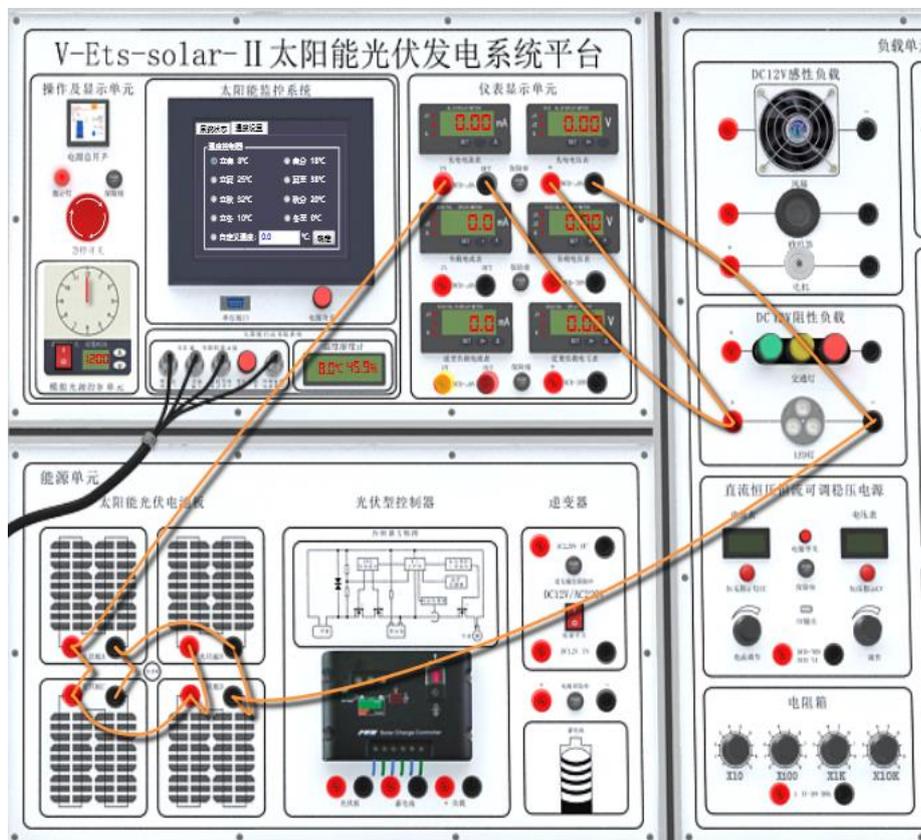


图 11 测定不同季节对 LED 灯光强影响连线图

季节	冬至	立春	立冬	春分	秋分	立夏	立秋	夏至
温度 / $^{\circ}\text{C}$	0	8	10	18	20	25	32	38
电流 /mA	180.88	177.87	176.00	148.85	139.52	125.44	118.32	116.53
电压/V	17.82	17.52	17.34	14.66	13.74	12.36	11.65	11.48
功率/W	3.22	3.11	3.05	2.18	1.92	1.55	1.38	1.34

表 2 太阳能电池板输出功率随季节变化的测试数据

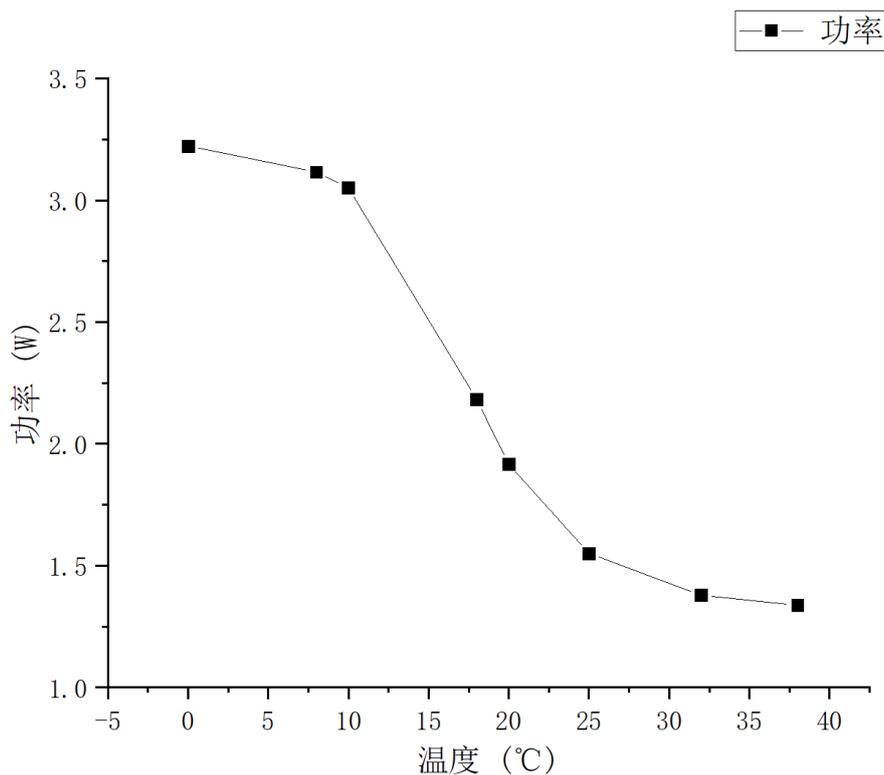


图 12 太阳能电池板输出功率随温度变化的测试

二、太阳能电池负载实验

如图 13 所示连接线路，测量结果如表 3 所示，绘制得到图 14，发现 LED 灯功率随负载电阻增大而减小。

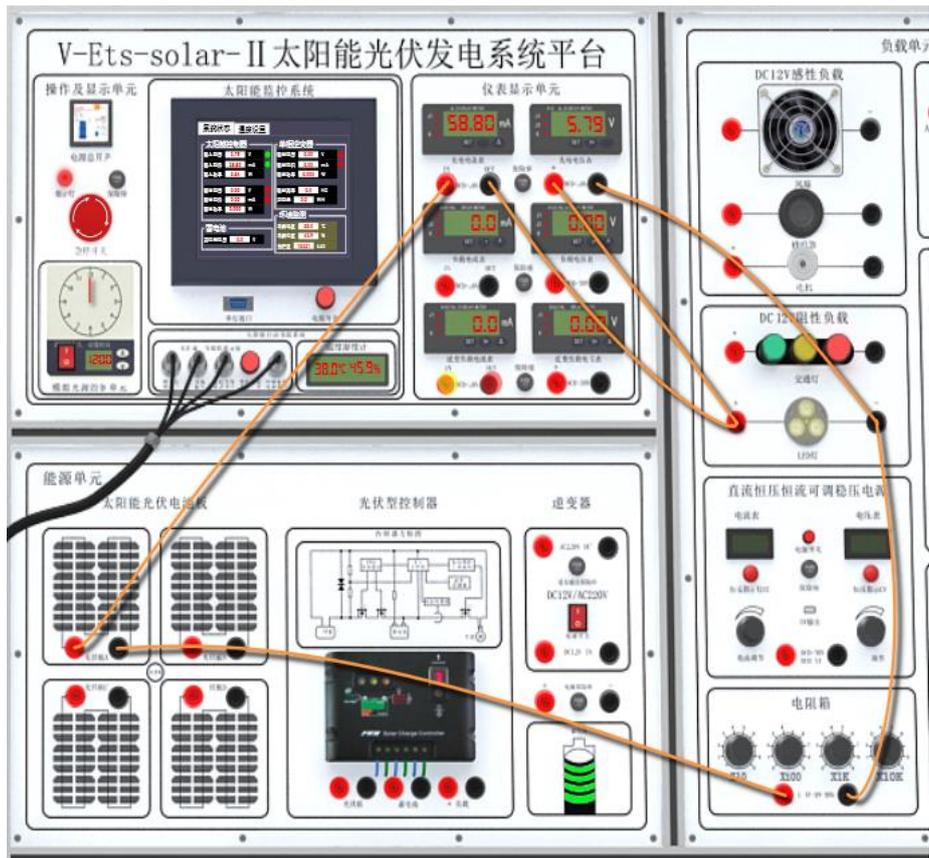


图 13 不同负载对 LED 灯光强影响的连线

负载 电阻 / Ω	0	10	20	50	90	100	500	900	1000	5000
电流 I/mA	58.80	56.84	55.01	50.17	44.90	43.75	21.61	14.33	13.21	3.15
电压 U/V	5.79	5.60	5.42	4.94	4.42	4.31	2.13	1.41	1.30	0.31
功率 P/W	0.34	0.32	0.30	0.25	0.20	0.19	0.046	0.020	0.017	0.00097

表 3 太阳能电池板输出功率随负载变化的测试数据

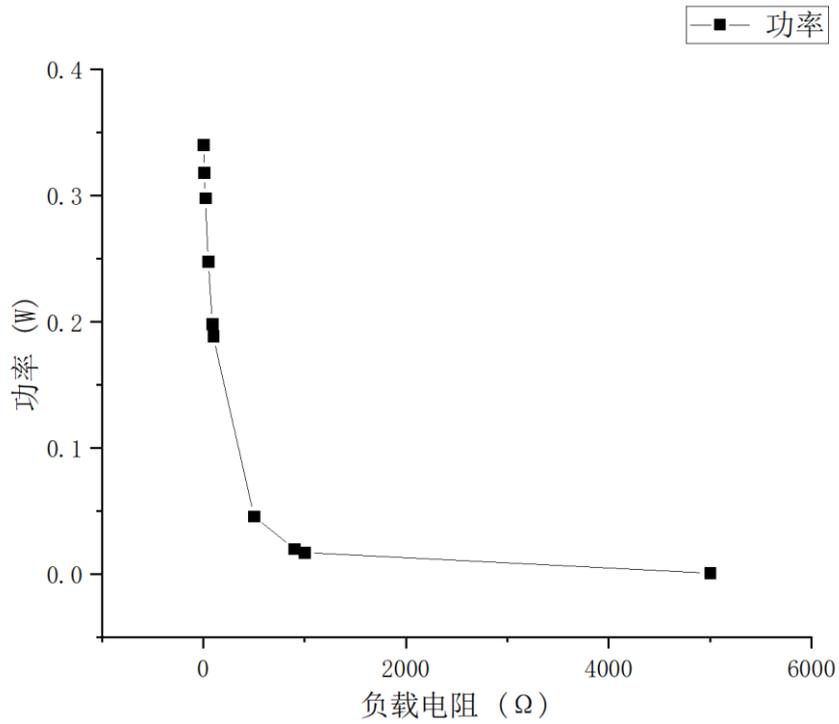


图 14 太阳能电池板输出功率随负载变化的测试

4 实验结论

本实验探究了影响太阳能电池输出功率变化因素，包括太阳能电池阵列不同连接方式、一天当中不同时刻的太阳光、不同季节、负载电阻对太阳能电池输出功率的影响。实验发现并联时输出功率更大，太阳光越强输出功率越大，温度越低输出功率越大，负载电阻越小输出功率越大。