拓展学科资源开发 STEM 课程的研究*

——以“测定太阳能电池片特性”实验为例

郑扬威

（广州市第二中学　广东 广州　510530）

（收稿日期：2019－08－10）

摘　要：全面合理评价学生，科学构建“一体四层四翼”的高考评价体系. 四层包含必备知识、关键能力、学科素养、核心价值. 拓展学科资源，以测定太阳能电池为例，着力于培养学生学科素养.

关键词：必备知识　学科素养　太阳能电池

1　电池的参数

高中物理教材人教版选修3－1研究过干电池的伏安特性曲线，即外电压 U 与干路电流 I 的关系，从中得到电池的电动势 E 与内阻 r. E 和 r 是电池性能的两个重要参数. 对于干电池来说，其电动势和内阻一般保持不变（除非用久了或者化学物质“变质”了）. 那么，今天我们来研究一下太阳能电池片的电动势与内阻的影响因素.

2　测量原理介绍

根据所学知识，电动势等于电路断开时电池两端的电压，即开路电压. 电池内阻等于电动势与短路电流的比值. 我们设计如图 1 和图 2 所示的电路图，在图 1 中电压表的读数 $U=E$，图 2 中电流表读数 I 为短路电流，则电池片内阻为

$$r=\frac{E}{I}=\frac{U}{I}$$

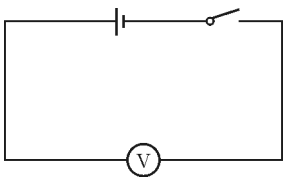

图 1　开路电压测量

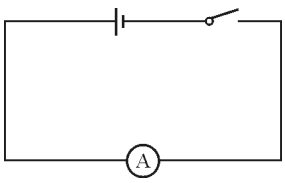

图 2　短路电流测量

为实现在一个电路图中能测到电流和电压，我们采用单刀双掷开关设计. 图 3 为优化后的电路图设计. 当开关接触 a 端，测量开路电压；接触 b 端，测量短路电流.

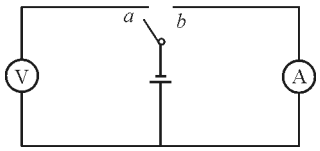

图 3　优化后的电路图

电池的输出功率 P 等于路端电压 U 与干路电流 I 的乘积，即 $P=UI$. 我们设计如图 4 所示的电路图研究电池片的输出功率问题. 在稳定亮度的光源下，改变电阻箱阻值，测出路端电压和干路电流，分析 $U-I$ 曲线并计算输出功率. 由闭合电路欧姆定律

$$E=U+Ir$$

得到

$$U=E-Ir$$

可知 $U-I$ 曲线的截距为电动势 E，斜率的绝对值为内阻 r. 同时由理论分析可知当外电阻等于内阻时，电源输出功率最大.

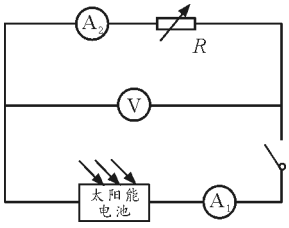

图 4　电池片输出功率研究电路

* 广州市教育研究院 2017 年度“广州市中小学 中等职业学校深入推进 STEM 课程实施”专项研究课题，课题编号：GZJY2017－146

作者简介：郑扬威（1985－　），男，中教一级，主要从事高中物理教学.

3　探究太阳能电池片的相关参数

根据太阳能电池片的特点，我们猜想电动势可能与光照强度（W/m^2）、光照面积等有关系. 由于电池本身是半导体材料制作的，因此电池片内阻可能也受温度影响.

活动 1：在室外粗略研究光照强度和光照面积对电动势的影响.

器材：太阳能电池板、数字化多用电表、导线若干.

活动 1 如图 5 所示.

图 5　活动 1

活动 2：在室内研究光照强度和温度对电池电动势和内阻的影响，如图 6 所示.

图 6　活动 2

方法：采用控制变量法；

器材：亮度可调的光源、电池板、数字多用电表、多用电表（mA 挡）、开关、导线若干；

电路：按图 3 实验电路图进行测量；

记录：电压表读数（E）、干路电流（I）见表 1.

实验一结论：温度不变时，亮度越大，电动势越大，内阻越小.

实验二结论：亮度不变时，温度越高，电动势越小，内阻也越小. 同时短路电流，即电池片的输出电流几乎不变.

由于太阳能电池片由半导体材料制成，因此温度越高，电池片内阻越小. 至于亮度影响内阻以及亮度不变时，输出电流几乎不变，则需要在大学物理继续深入学习，在这里不做赘述.

表 1　实验数据记录

实验一：保持温度不变，改变亮度			
	电动势 E/V	短路电流 I/mA	内阻 r/Ω
将台灯亮度调至最大，然后逐渐降低亮度	10.37	6.20	1 672.58
	10.16	5.76	1 763.89
	9.28	4.13	2 246.97
	8.24	2.75	2 996.36
	7.09	1.68	4 220.24
	5.79	0.93	6 225.81
	5.47	0.80	6 837.50

实验二：保持亮度不变，改变温度				
利用大功率灯泡照射电池板到较高温度，然后自然降温，每隔 3 min 记录一次数据.（用手机记录时间，测量数据至少 10 组）	时间	电动势 E/V	短路电流 I/mA	内阻 r/Ω
	16:36	8.12	6.34	1 280.76
	16:39	8.94	6.30	1 419.05
	16:42	9.33	6.28	1 485.67
	16:45	9.55	6.25	1 528.00
	16:48	9.67	6.24	1 549.68
	16:51	9.82	6.23	1 576.24
	16:54	9.86	6.22	1 585.21
	16:57	9.95	6.21	1 602.25
	17:00	10.01	6.20	1 614.52
	17:03	10.04	6.17	1 627.23
	17:06	10.08	6.16	1 636.36

活动 3：在室内探究太阳能电池片的输出功率问题.

器材：可改变光照强度的光源、电池板一块、数字多用电表一台（测电压）、电阻箱、指针多用电表（mA 挡）、开关、导线若干.

注意：为避免光照强度对电池板温度的影响，每测量一组数据迅速记录并关灯.

实验电路图与学生实验过程如图 7 和图 8 所示.

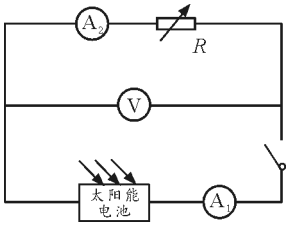

图 7　实验电路图

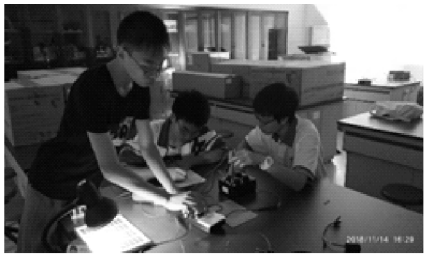

图 8　学生实验

实验数据记录如表 2 所示.

表 2　实验数据记录

实验三：保持光照强度不变(最大)，研究电池片输出功率					
开路电压 $E=21.73$ V		短路电流 $I=0.019\ 8$ A		内阻 $r=1\ 097.5\ \Omega$	
电流表量程	R/Ω	格数	I/A	U/V	P/W
量程 10 mA，表盘格数 50	8 000	12.0	0.002 4	19.01	0.045 624
	7 600	12.5	0.002 5	18.98	0.047 450
	6 800	13.5	0.002 7	18.86	0.050 922
	6 200	15.0	0.003 0	18.82	0.056 460
	5 600	16.5	0.003 3	18.77	0.061 941
	5 000	18.0	0.003 6	18.72	0.067 392
	4 400	20.5	0.004 1	18.64	0.076 424
	4 000	22.5	0.004 5	18.59	0.083 655
	3 600	24.5	0.004 9	18.52	0.090 748
	3 000	29.0	0.005 8	18.41	0.106 778
	2 400	35.0	0.007 0	18.25	0.127 750
	2 000	42.0	0.008 4	18.07	0.151 788
量程 100 mA，表盘格数 50	1 600	5.5	0.011 0	17.72	0.194 920
	1 200	7.0	0.014 0	16.87	0.236 180
	1 000	7.5	0.015 0	15.43	0.231 450
	800	8.0	0.016 0	13.50	0.216 000
	600	8.4	0.016 8	10.24	0.172 032
	500	8.6	0.017 2	8.68	0.149 296
	400	8.8	0.017 6	7.13	0.125 488
	300	9.0	0.018 0	5.54	0.099 720
	200	9.2	0.018 4	3.86	0.071 024
	100	9.5	0.019 0	2.05	0.038 950

从图 9 可知，电池板输出功率随负载电阻变化而变化，且先增大后减小，存在一个最大值；从图线和表格中可以看出，当负载的阻值与电池板内阻接近时，电池板的输出功率趋于最大. 这个结果与理论推导的结论吻合.

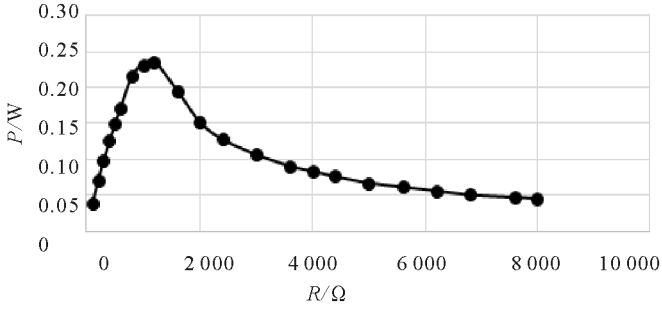

图 9　$P-R$ 曲线

如图 10 所示，$I-U$ 图的斜率代表太阳能电池片的“等效内阻”. 从 $I-U$ 图可以看出，电压在某个值前后，图线基本是直线，说明“等效内阻”不变. 但当电压达到某一个值时，“等效内阻”突然改变. 过某点做 I 轴与 U 轴的垂线，此时围成的面积表示输出功率. 显然，在拐角处的输出功率最大. 实验中的拐角处刚好是表格数据中的 $U=16.87$ V，$I=0.014$ A 这个点，通过表格可以看出这个点的输出功率最大.

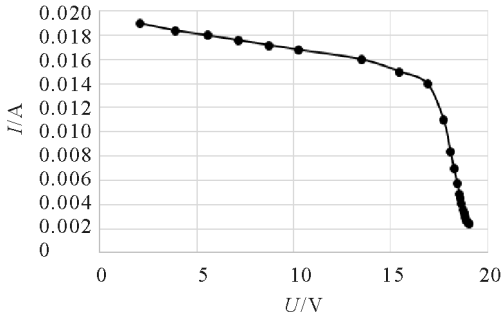

图 10　$I-U$ 曲线

由于数据不够多，实验结果可能存在些许误差. 但实验结果总体上与理论分析吻合，即当外电阻与内电阻相等时，电源输出功率最大.

同时测量过程发现两个电流表示数始终相同，说明数字电表电压挡的内阻几乎无穷大. 笔者猜想，数字电表的电流挡内阻应该几乎为零，暂时没去验证.

对太阳能电池片而言，转化效率才是太阳能电池片性能最重要的参数，转化效率等于输出功率与入射光功率的比值. 转化效率越高，说明一定量的太阳能转化为电能的比率越大，如何提高转化效率是太阳能电池研究的重要内容，后续将继续研究这个内容.