

## 光电效应实验中扫描闭合曲线的分析探讨

陈洪叶,陈 军,韩 岳,刘海涛

山东农业大学 信息科学与工程学院, 山东 泰安 271018

**摘要:** 本论文以光电效应实验为基础,探讨当加在光电管两端的电压正反两个方向变化时,通过微机化 x-y 记录仪来扫描实验数据,发现两个方向的扫描曲线是不重合的,通过 Excel 统计软件来记录处理数据并找到它们的拟合曲线和拟合方程,对比两条曲线的变化趋势,反应出它们的不同。

**关键词:** 光电效应; 扫描曲线; 扫描方程; Excel 统计软件

**中图分类号:** O482.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2324(2017)01-0088-05

## The Analysis on the Scanning Closed Curves in Photoelectric Effect Experiment

CHEN Hong-ye, CHEN Jun, HAN Yue, LIU Hai-tao

College of Information Science and Engineering/Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

**Abstract:** Based on the photoelectric effect experiment, when voltages at the ends of the photocell appears positive and negative two direction changes, with scanning data by x-y recorder of computerization, the paper found that two direction scanning curves are not coincidence, recorded data and found their fitting curves and the fitting equations, and through Excel software to compare the change trend of two curves, reflected they are different.

**Keywords:** Photoelectric effect; scanning curve; scanning equation; Excel statistical software

测量普朗克常量值  $h$ , 可用光电效应法, 实验中用到光电管、光源(高压汞灯)、光阑和滤色片转盘、微电流测量放大器、微机化 X-Y 记录仪软件和普朗克常量测量软件等, 实验中用微机化 X-Y 记录仪软件可采集到光电管阴、阳两极间的电压和电流值, 并可进行相应的数据处理, 显示伏安特性曲线。光电效应实验中, 选择通光孔径为  $\Phi=10$  mm 的光阑, 滤色片转盘对应的波长为 546 nm, 高压汞灯照射, 仪器自动扫描数据。实验中微机化 x-y 记录仪软件扫描数据的方向可以从直流电压 -3 V 到 +3 V (电压值为光电效应实验仪面板上显示的电压数值) 范围来扫描电压和电流, 也可以从 +3 V 扫描到 -3 V, 经过上百组大量重复实验发现在一定范围内两个方向扫描的曲线是不重合的。通过微机化 x-y 记录仪软件把两次不同扫描方向的数据采集记录下来, 并选取变化明显的范围(电压变化范围为 -839.743 mV  $\rightarrow$  210.513 mV  $\rightarrow$  -787.516 mV, 表现在曲线上就是不重合的范围) 进行分析, 转化成数据进行处理, 再引入到 Excel 统计软件中, 拟合出它们各自对应的方程及对应曲线, 再进行比较, 实验规律性强, 实验具有高度的重复性。

### 1 光电效应实验扫描数据采集和保存

实验采用 GD-IV 型微机光电效应实验仪, 可以同步显示电压和电流的数值, 时时进行数据的采集并显示变化曲线, 选择起始电压采集范围为“-3 V---+3 V”, 设置参数 X 量程 (mV) 为 5000 mV, Y 量程为 250 mV, 记录间隔为“同步显示”, 坐标选择为“四象限”, 实验中, 扫描曲线开始是一条水平扫描线, 然后迅速上升, 再保持基本是一条水平变化线, 这是电压正向扫描过程; 在返回扫描过程中, 扫描曲线先保持不变, 再迅速下降, 然后又保持不变, 这是电压反向扫描过程。当扫描电压接近 -3 V 时, 点击“记录”选项, 开始数据采集, 在几分钟内, 电压电流变化曲线清晰地显示在面板上, 并同时采集到上百对电压和电流实验数据, 当数据扫描完成一个循环接近 -3 V 时, 数据采集完毕, 选择“暂停”, 点击鼠标, 圈选两段左侧和右侧水平变化曲线, 删除掉两段水平变化曲线, 保留变化明显的上升和下降闭合曲线, 再选择“选定”, 选择好曲线所在的空间范围, 再选择“平滑”对曲线进行平滑处理, 保存数据以“\*.XYD”的形式记录下来, 546 nm 波长对应的文件保存为“546.XYD”, 把数据转化为到 EXCEL 表格中保存下来, 在后面的统计中再用。

**收稿日期:** 2016-12-05

**修回日期:** 2016-12-12

**作者简介:** 陈洪叶(1975-),女,硕士,副教授,主要从事大学物理实验研究和管理. E-mail:hychen@sdau.edu.cn

通过扫描得到扫描曲线,剔除掉上下两部分水平曲线,重点研究上升和下降两段扫描曲线组成的闭合曲线,用 Excel 统计软件进行数据分析,删除掉基本保持不变的曲线对应的数据,最后共保留 117 对数据,这 117 对数据对应选取变化迅速的曲线见图 1,进行重点分析研究。

## 2 光电效应实验闭合扫描曲线的拍摄及拍摄图反色处理

用数码相机直接拍摄微机化 x-y 记录仪软件展现在屏幕上的扫描闭合曲线如图 1 所示。

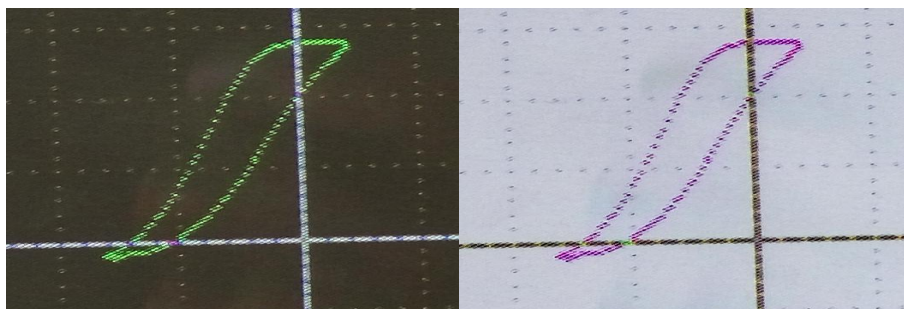


图 1 拍摄扫描曲线

Fig.1 Film scanning curve figure

图 2 反色处理后的曲线

Fig.2 Color processed curve to data

拍摄的闭合扫描曲线底色是黑色的,扫描线是绿色的,为了便于观察进行反色处理,把图片引入到画图板上,点击图形,右击鼠标键,选择下拉菜单中的“反色”,就可以进行反色处理,变成右图,扫描底色是浅色的,扫描线是红色的,完成了图形的反色处理,见图 2 所示。

## 3 光电效应实验扫描数据

光电效应闭合扫描实验数据共 117 对,见表 1。

表 1 闭合扫描曲线扫描数据

Table 1 The Closed scanning curves and data

电压 Voltage (x)/mV	电流 Current (y)/ $\mu$ A	电压 Voltage (x)/mV	电流 Current (y)/ $\mu$ A	电压 Voltage (x)/mV	电流 Current (y)/ $\mu$ A
-839.743	-5.06	-85.66	40.053	-136.882	65.939
-820.857	-5.005	-66.721	42.247	-156.406	64.815
-801.966	-4.939	-47.768	44.425	-175.952	63.464
-783.059	-4.858	-28.798	46.573	-195.514	61.878
-764.145	-4.758	-9.804	48.68	-215.095	60.057
-745.24	-4.637	9.199	50.729	-234.702	58.005
-726.336	-4.489	28.2	52.706	-254.33	55.735
-707.415	-4.31	47.19	54.595	-273.975	53.268
-688.489	-4.092	66.173	56.383	-293.64	50.627
-669.562	-3.831	85.139	58.057	-313.324	47.843
-650.625	-3.518	104.082	59.608	-333.014	44.951
-631.68	-3.148	123.013	61.031	-352.698	41.988
-612.74	-2.714	141.945	62.32	-372.359	38.989
-593.807	-2.211	160.86	63.476	-391.997	35.983
-574.89	-1.633	177.77	64.617	-411.604	33
-555.988	-0.975	191.185	65.598	-431.173	30.062
-537.102	-0.232	201.109	66.432	-450.705	27.193
-518.229	0.598	207.549	67.133	-470.206	24.408
-499.38	1.518	210.513	67.715	-489.683	21.72
-480.541	2.528	210.001	68.192	-509.12	19.142
-461.719	3.629	206.023	68.579	-528.518	16.68
-442.924	4.819	198.574	68.888	-547.893	14.342
-424.152	6.097	187.643	69.131	-567.248	12.128

电压 Voltage (x)/mV	电流 Current (y)/ $\mu$ A	电压 Voltage (x)/mV	电流 Current (y)/ $\mu$ A	电压 Voltage (x)/mV	电流 Current (y)/ $\mu$ A
-405.395	7.462	173.221	69.317	-586.585	10.044
-386.652	8.91	155.307	69.456	-605.902	8.091
-367.917	10.438	135.893	69.439	-625.213	6.271
-349.182	12.041	116.469	69.423	-644.522	4.585
-330.432	13.716	97.034	69.407	-663.822	3.032
-311.676	15.458	77.586	69.389	-683.106	1.612
-292.917	17.264	58.121	69.366	-702.379	0.322
-274.157	19.128	38.644	69.331	-721.649	-0.843
-255.385	21.047	19.152	69.273	-740.922	-1.887
-236.596	23.018	-0.352	69.181	-760.187	-2.817
-217.797	25.035	-19.863	69.04	-779.46	-3.638
-198.981	27.094	-39.372	68.83	-798.743	-4.358
-180.141	29.19	-58.873	68.531	-818.038	-4.987
-161.274	31.321	-78.371	68.118	-837.333	-5.531
-142.39	33.479	-97.873	67.567	-856.628	-6.075
-123.499	35.659	-117.375	66.849	-875.923	-6.619
-104.59	37.854	-136.877	66.031	-895.218	-7.163

在整个扫描闭合回路中，对应的 117 对扫描数据，显示实际扫描电压变化为 -839.743 mV $\rightarrow$ 210.513 mV $\rightarrow$ -787.516 mV，逐渐升高，再逐渐减低；扫描电流变化为 -5.06  $\mu$ A $\rightarrow$ 69.456  $\mu$ A $\rightarrow$ -5.693  $\mu$ A，也是逐渐升高，再逐渐减低。

#### 4 光电效应实验扫描曲线和扫描方程

##### 4.1 统计处理

用 Exce 软件同时处理 117 对数据，找到两段曲线共同的拟合方程，拟合曲线，拟合效果较好。光电效应实验电压电流拟合曲线结果见图 3。

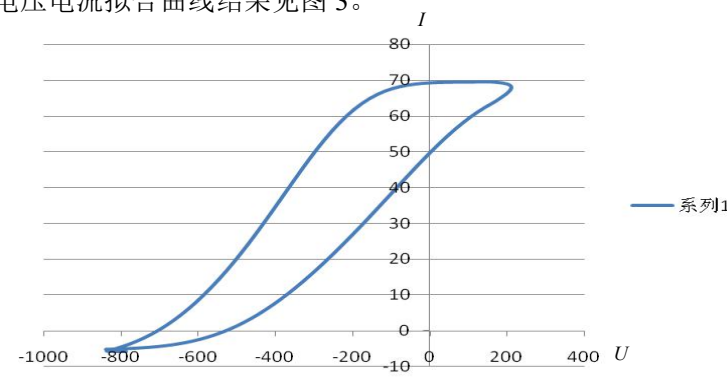


图 3 光电效应实验扫描闭合曲线

Fig.3 The photoelectric effect experiment scanning closed curve

当选择拟合系数分别为 1、2、3 时，相关系数非常小，当拟合系数分别选 4、5、6 时，见表 2 所示。

表 2 闭合扫描曲线拟合结果  
Table 2 The fitting results of closed scanning curves

拟合系数 Fitting coefficient	拟合方程 Fitting equation	相关系数平方值 ( $R^2$ ) Square value of correlation coefficient $R$
4	$y = 5E-11x^4 - 9E-08x^3 - 0.0001x^2 + 0.0638x + 59.808$	0.8652
5	$y = 4E-13x^5 + 6E-10x^4 + 1E-07x^3 - 0.0001x^2 + 0.0543x + 59.616$	0.8656
6	$y = -2E-16x^6 - 1E-14x^5 + 4E-10x^4 + 1E-07x^3 - 0.0001x^2 + 0.0555x + 59.546$	0.8656

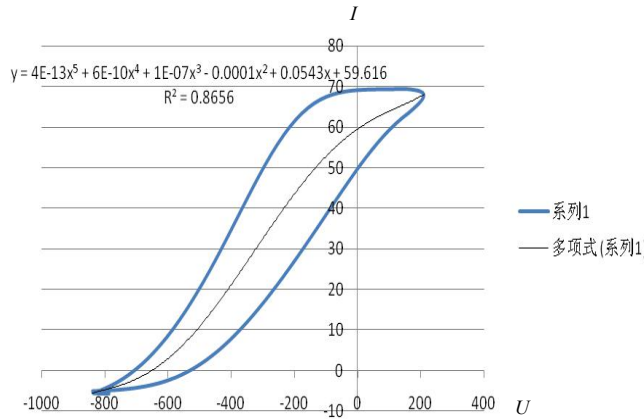


图 4 拟合系数=5 时对应拟合曲线

Fig.4 Corresponding curve fitting of fitting coefficient = 5

把 117 对数据作为整体来一起分析,发现拟合的曲线与原曲线相差较大,拟合系数分别选取 4、5、6 等时,相关系数也只有在 0.865 左右,相关性不是太好。如图 4,拟合系数为 5 时,对应的原曲线与拟合曲线,区别较大,所以需要把闭合曲线分成两段来进行分析。

#### 4.2 分段拟合两段曲线,拟合度和相关系数

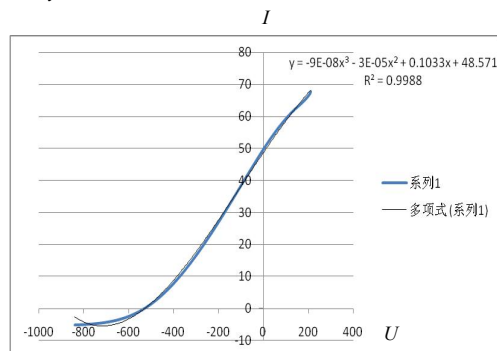
把 117 对数据对应的曲线分成两段分别拟合,发现拟合度很高,相关系数也很高。

4.2.1 处理第 1~59 对数据,59 对数据引入到 Excel 统计软件 把表 1 中的 59 对数据引入到 Excel 数据处理软件中,选择电压为自变量 x,电流为因变量 y,全选数据,选择软件中“插入”,点击散点图,选择“带平滑线的散点图”,鼠标指针放在拟合线上,右击鼠标右键,选择“添加趋势线”,在趋势项选择中,选取“多项式”,分别选取拟合系数为“1、2、3、4、5、6”等,并选取“显示公式”和“显示 R 平方值”,通过比较选取最优的拟合方程。下拉菜单中“(多项式拟合)”选择拟合系数“2”、“3”、“4”等,通过选取不同的拟合系数发现全部拟合系数相关系数都很高,并且拟合曲线与原曲线拟合程度很高。同样第 60~117 对数据也进行相似的处理,找到拟合度很高的拟合方程,得到拟合曲线。

表 3 闭合扫描曲线第 1~59 对数据拟合结果

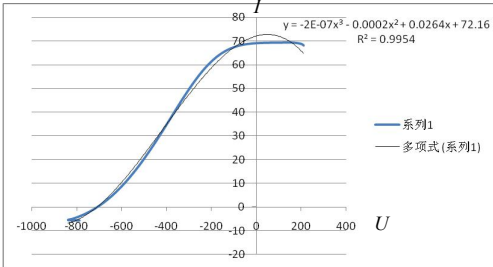
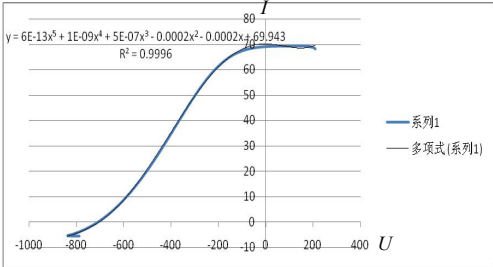
Table 3 The closed scanning curves' fitting results of 1-59 data

拟合系数 Fitting coefficient	拟合方程 Fitting equation	相关系数平方值 (R <sup>2</sup> ) Square value of correlation coefficient R
1	$y = 0.0783x + 46.75$	0.9515
2	$y = 6E-05x^2 + 0.1122x + 46.026$	0.9909
3	$y = -9E-08x^3 - 3E-05x^2 + 0.1033x + 48.571$	0.9988
4	$y = -1E-10x^4 - 3E-07x^3 - 7E-05x^2 + 0.1087x + 49.605$	0.9999
5	$y = 9E-14x^5 + 1E-11x^4 - 2E-07x^3 - 7E-05x^2 + 0.1062x + 49.554$	1
6	$y = 2E-16x^6 + 4E-13x^5 + 2E-10x^4 - 2E-07x^3 - 8E-05x^2 + 0.1049x + 49.623$	1



4.2.2 第 60~117 组数据处理,58 对数据引入到 Excel 统计软件 把表格中的后 58 对数据引入到 Excel 数据处理软件,同样的拟合方法,分别选取拟合系数为“1、2、3、4、5、6”等,并选取“显示公式”和“显示 R 平方值”,通过比较选取最优的拟合方程。拟合结果见表 4。

**表 4 闭合扫描曲线第 60~117 对数据拟合结果**  
**Table 4 The Closed scanning curves' fitting results of 60-117 data**

拟合系数 Fitting coefficient	拟合方程 Fitting equation	相关系数平方值 ( $R^2$ ) Square value of correlation coefficient $R$
1	$y = 0.0857x + 66.079$	0.926
2	$y = -7E-05x^2 + 0.0458x + 66.822$	0.9681
3	$y = -2E-07x^3 - 0.0002x^2 + 0.0264x + 72.16$	0.9954
		
4	$y = 2E-10x^4 + 1E-07x^3 - 0.0002x^2 + 0.0166x + 70.283$	0.9983
5	$y = 6E-13x^5 + 1E-09x^4 + 5E-07x^3 - 0.0002x^2 - 0.0002x + 69.943$	0.9996
		
6	$y = -7E-16x^6 - 6E-13x^5 + 5E-10x^4 + 4E-07x^3 - 0.0001x^2 + 0.0041x + 69.704$	0.9997

### 5 两个不同扫描方向的扫描电压拟合结果比较

考虑到方程简洁性和相关系数的大小,选择两段曲线对应的拟合系数分别为 3 和 5,两段曲线拟合结果的比较见表 5。

**表 5 扫描方向相反的两个拟合结果比较**  
**Table 5 The comparison of two fitting results from the opposite scanning directions**

扫描方向	-3 V→+3 V (第 1~59 对数据)	+3 V→-3 V (第 60~117 对数据)
拟合方程	$y = -9E-08x^3 - 3E-05x^2 + 0.1033x + 48.571$	$y = 6E-13x^5 + 1E-09x^4 + 5E-07x^3 - 0.0002x^2 - 0.0002x + 69.943$
R-square(COD)	0.9988	0.9996
拟合数据组数 $N$	59	58
A	48.571	69.943
$B_1$	0.1033	-0.0002
$B_2$	-3E-05	-0.0002
$B_3$	-9E-08	$B_3=5E-07$ $B_4=1E-09$ $B_5=6E-13$

从拟合结果看,扫描方向不同的拟合曲线区别还是很大的,产生这个结果的原因是多方面的,与光电管的性质特性、制作工艺等有关,今后需要在这方面再做进一步深入研究。

### 参考文献

[1] 吕佩伟,施洋,马松设,等.光电效应实验中光阑大小对实验结果影响的探讨[J].大学物理实验,2014,27(3):68-70  
 [2] 陈小凡.光电效应实验中的伏安特性曲线.大学物理实验[J].大学物理实验,2014,27(3):71-72.  
 [3] 陈洪叶,曹学成,陈军,等.声光效应实验中叠加光栅产生的双衍射现象探究[J].大学物理实验,2015,28(2):24-27  
 [4] 王永刚,曹学成,高峰,等.大学物理实验[M].北京:中国农业出版社,2011:240-245