

2009 传感器非线性实验考题赏析

吴会玲 朱 爽 刘立毅

传感器是将不便于测量的非电学量转化为易于测量、传输、处理的电学量的器件，其工作过程是通过某一物理量敏感的元件将感受到的信号按一定规律转化为便于利用的信号。敏感元件大多由半导体等材料构成，而其两个相关物理量之间为非线性关系，在中学物理中常用图像来表现二者之间的依存关系，需考生利用图像提取有关信息才能解决物理问题，是知识与能力的综合体现。以传感器为背景的非线性图像实验试题，具有“立意合理，情景新颖，倡导探究，关注科技，联系实际”等特点，已成为近年高考的热点和重点。在 2009 年高考中有 6 份试卷出现了此类试题，下面从敏感元件的类型角度选择几例进行分类解读，希望能对读者把握高考方向有所帮助。

一、光强传感器的衰减程度与波长的关系

光强传感器的敏感元件是两个光敏二极管，其中一个对可见光和红外线都敏感，另一个仅对红外线敏感。由于其复杂的内部结构超出中学物理的要求，试题常借助图像对有关物理量进行表述、分析和计算。

例 1. (2009 上海单科)光强传感器对接收到的光信号会产生衰减，且对于不同波长的光衰减程度不同，可以用 φ 表示衰减程度，其定义为输出强度与

输入强度之比 $\varphi = I_{\text{出}}/I_{\text{入}}$ ，图 1 表示了 φ 与波长 λ 之间的关系。当用此传感器分别接收 A、B 两束光

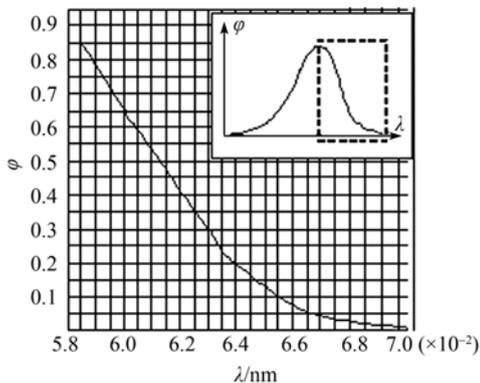


图 1

时，传感器的输出强度正好相同，已知 A 光的波长 $\lambda_A = 625\text{nm}$ ，B 光的波长由 $\lambda_{B1} = 605\text{nm}$ 和 $\lambda_{B2} = 665\text{nm}$ 两种单色光组成，且这两种单色光的强度之比 $I_{B1}:I_{B2} = 2:3$ ，由图 1 可知 $\varphi_A =$ _____；A 光强度与 B 光强度之比 $I_A:I_B =$ _____。

解析：由题知，A 光的波长 $\lambda_A = 625\text{nm}$ ，在图 1 中读出与之对应的衰减程度 $\varphi_A = 0.35$ ；同理在图 1 中读出 B₁ 的衰减程度为 $\varphi_{B1} = 0.60$ ，B₂ 的衰减程度为 $\varphi_{B2} = 0.05$ ，由题给条件 A、B 两束光经传感器的输出强度正好相同，有 $\frac{2}{5}I_B \times 0.60 + \frac{3}{5}I_B \times 0.05 = 0.35I_A$ ，解之得： $\frac{I_A}{I_B} = \frac{27}{35}$ 。

评析：本题给出了一个中学物理中没有学习过的新物理量——“衰减程度”，定义式为 $\varphi = I_{\text{出}}/I_{\text{入}}$ 。当传感器接收到波长分别为 λ_1 和 λ_2 的两种单色光，输入强度分别为 I_{λ_1} 和 I_{λ_2} 时，输出强度 $I_{\text{出}} = \varphi_1 I_{\lambda_1} + \varphi_2 I_{\lambda_2}$ ，从 $\varphi - \lambda$ 图像中可读出与 λ_1 和 λ_2 相对应的 φ_1 和 φ_2 ，就可以计算出 $I_{\text{出}}$ 。由于图像能形象地表达物理规律，直观地描述物理过程，鲜明地表示物理量之间的相互关系及变化趋势，所以在描述两个物理量的非线性关系时常被采用。此类试题关注基础知识与现代社会及科技发展的联系，常是起点高而落点低，解答该类新颖试题需考生具有思维的灵敏性等优质思维品质。

二、电器元件的电流与电压的关系

如果通过某电器元件的电流 I 和加在其两端的电压 U 不成正比，那么这种电器元件叫做非线性元件，欧姆定律不能适用，其电阻仍为 $R = U/I$ ，只不过它不再是常量，而是与元件上的电压和电流有关的变量，数值上等于各点割线斜率的倒数。若要描绘非线性元件的伏安特性曲线，只能选择合适的器材和实验电路通过实验得出。

例 2. (2009 福建理综)某研究性学习小组为了制作一种传感器，需要选用一电器元件。图 2 为该电器元件的伏安特性曲线，有同学对其提出质疑，现需进一步验证该伏安特性曲线，实验室备有下列器材（表 1）：

①为提高实验结果的准确程度，电流表应选用 _____；电压表应选用 _____；滑动变阻器应选用 _____。（以上均填器材代号）

②为达到上述目的，请在虚线框内画出正确的实验电路原理图，并标明所用器材的代号。

表 1

器材(代号)	规格
电流表(A ₁)	量程 0~50mA, 内阻约为 50Ω
电流表(A ₂)	量程 0~200mA, 内阻约为 10Ω
电压表(V ₁)	量程 0~3V, 内阻约为 10kΩ
电压表(V ₂)	量程 0~15V, 内阻约为 25kΩ
滑动变阻器(R ₁)	阻值范围 0~15Ω, 允许最大电流 1A
滑动变阻器(R ₂)	阻值范围 0~1kΩ, 允许最大电流 100mA
直流电源(E)	输出电压 6V, 内阻不计
开关(S)	
导线若干	

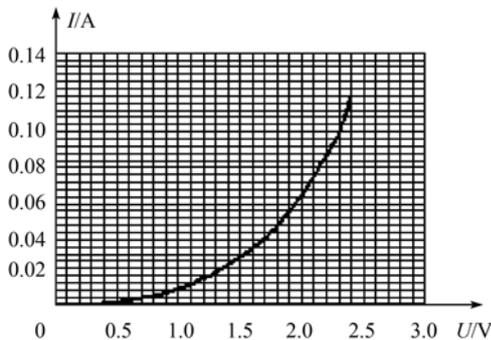
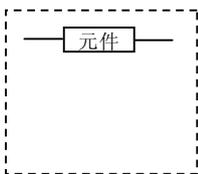


图 2

③若发现实验测得的伏安特性曲线与图 2 中曲线基本吻合, 请说明该伏安特性曲线与小电珠的伏安特性曲线有何异同点?

相同点: _____,

不同点: _____。



解析: ①由图 2 知电路中的电流小于 0.14A, 电流表选 A₂; 电器元件两端的电压小于 3V, 电压表选 V₁; 电器元件两端电压从 0 开始变化, 在控制电路中滑动变阻器应采用分压式接法, 应选用阻值较小的滑动变阻器 R₁。由图像知该电器元件电阻 R_X 约为几十欧, 临界电阻 $R_0 = \sqrt{R_A R_V} = 100\sqrt{10}\Omega > R_X$ (其中 R_A 为电流表内阻, R_V 为电压表内阻, 其值参见表 1), 则测量电路采用电流表外接法。

②根据前面的分析, 可画出如图 3 所示的实验电路原理图。

③小电珠的伏安特性曲线如图 4 所示, 从图像的形状和变化趋势可知:

相同点: 通过该元件的电流与电压的变化关系和通过小电珠的电流与电压的变化关系都是非线性关系。不同点: 该元件的电阻随电压的增大而减小, 而小电珠的电阻随电压的增大而增大。

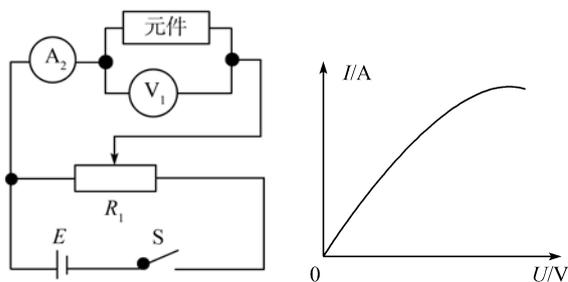


图 3

图 4

评析: 本题考查的知识点有: 实验器材的选择, 电路的设计, 根据图像处理实验数据, 电流 I 与电压 U 关系的探究等。解答该类实验设计题, 在掌握实验原理、仪器构造、工作原理乃至仪器设计的基础上, 根据安全、精确、方便和经济的原则选择电表、滑动变阻器、控制电路和测量电路。考生在熟练、准确掌握小电珠的伏安特性曲线的基础上, 才能揭示出两个特性曲线内在的、本质的、因果的联系, 寻找出两种曲线的异同。正确解答该题需考生具备思维的深刻性等思维品质。

三、光敏电阻的阻值与光照强度的关系

欲掌握传感器的工作原理, 需先弄清其敏感元件的特性。敏感元件的电阻随所敏感的物理量的改变而发生较大的变化。如光敏电阻(多用硫化镉 CdS 制成)的阻值随光照强度的改变而变化, 利用光敏电阻可设计出控制开关自动启动的照明系统。

例 3. (2009 山东理综) 为了节能和环保, 一些公共场所使用光控开关控制照明系统。光控开关可采用光敏电阻来控制, 光敏电阻是阻值随着光的照度而发生变化的元件(照度可以反映光的强弱, 光越强照度越大, 照度单位为 lx)。某光敏电阻 R_p 在不同照度下的阻值见表 2:

表 2

照度 (lx)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
电阻 (kΩ)	75	40	28	23	20	18

①根据表中数据, 请在给定的坐标系(见答题卡)中描绘出阻值随照度变化的曲线, 并说明阻值随照度变化的特点。

②如图 5 所示, 当 1、2 两端所加电压上升至 2V 时, 控制开关自动启动照明系统, 请利用下列器材设计一个简单电路。给 1、2 两端提供电压, 要求当天色渐暗照度降低至 1.0 (lx) 启动照明系统, 在虚线框内完成电路原理图。(不考虑控制开关对所设

计电路的影响)

提供的器材如下:

光敏电阻 R_p (符号  , 阻值见表 1)

直流电源 E (电动势 3V, 内阻不计);

定值电阻: $R_1=10k\Omega$, $R_2=20k\Omega$, $R_3=40k\Omega$

(限选其中之一并在图中标出)

开关 S 及导线若干。

解析: ①光敏电阻的阻值随光照变化的曲线如图 6 所示。特点: 光敏电阻的阻值随光照强度的增大非线性减小;

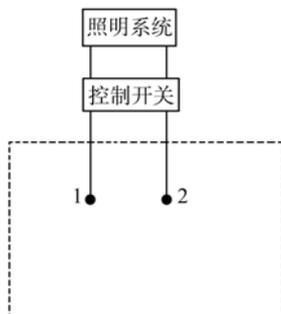


图 5

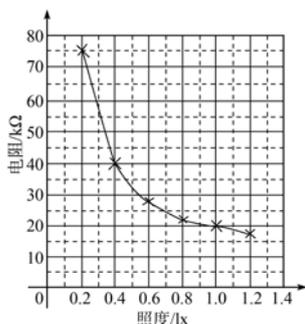


图 6

②查表可知, 当光照度降低至 1.0 (lx) 时, 光敏电阻阻值为 $R_p=20k\Omega$, 题中要求其两端电压为 $U_p=2V$, 显然 $U_p < E$, 所给定值电阻需和 R_p 串联分压, 可画出电路如图 7 所示。由 $\frac{U_p}{R_p} = \frac{U_R}{R}$, 可得 $R = \frac{U_R}{U_p} R_p = 10k\Omega$, 可知定值电阻应选择 R_1 。

若将定值电阻 R_1 接在 1、2 两点间, 如图 8 所示, 当光增强时 R_p 减小, 而 $U_{12} = \frac{ER}{R_p + R}$ 将增大, 此时照明系统反而被启动, 不符合题意, 所以只能将 R_p 接在 1、2 间, 上述图 7 中的电路符合要求。

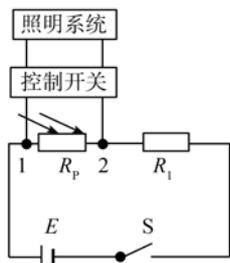


图 7

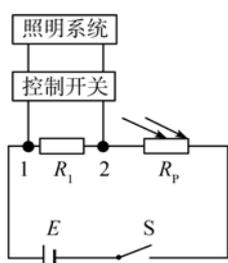


图 8

评析: 本题的电路是传统的滑动变阻器的限流

接法 (如图 9 所示), 题中用光敏电阻代替滑动变阻器, 给旧知识赋予了新创意。考查的知识点有: 处理数据, 描绘图像, 寻找电阻与照度的变化规律和闭合电路的欧姆定律等。

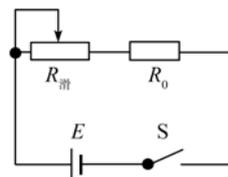


图 9

作图时, 要将各点连成平滑的曲线。设计电路时要从不同角度、侧面去思考, 才能得出 R_p 应接在 1、2 两点之间的结论。题目选取实验设计、数据分析和得出结论三个环节, 考生要经历提出问题, 猜想假设, 设计实验, 分析与论证等实验探究环节, 考查了学生的分析综合能力, 实验与探究能力。正确解答该题, 需考生具有思维的创造性等思维品质。

四、硅光电池的路端电压与电流的关系

作为新型电源的硅光电池, 其电动势和内阻与光强有关。当光强一定时, 内阻也不是恒量, 其 $U-I$ 图像为曲线, 亦可称之为“非线性电池”。其电动势、短路电流只能根据 $U-I$ 图像纵、横轴的截距得出。接于硅光电池外电路中用电器的工作点, 只能由图像得出, 即电池和外电路中用电器的两个 $U-I$ 图像交点的坐标值。

例 4. (2009 重庆理综) 硅光电池是一种可将光能转换为电能的器件。某同学用图 10 所示电路探究硅光电池的路端电压 U 与总电流 I 的关系, 图中 R_0 为已知定值电阻, 电压表视为理想电压表。

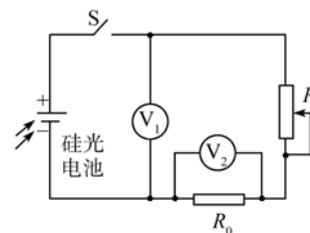


图 10

①请根据图 10, 用笔画线代替导线将图 11 中的实验器材连接成实验电路。

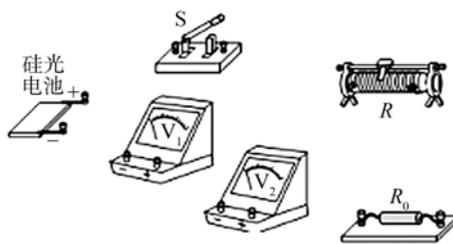


图 11

②若电压表 V_2 的读数为 U_0 , 则 $I = \underline{\hspace{2cm}}$;

③实验一: 用一定强度的光照射硅光电池, 调节滑动变阻器, 通过测量得到该电池的 $U-I$ 曲线 a ,

如图 12 所示. 由此可知电池内阻_____ (填“是”或“不是”)常数, 短路电流为_____mA, 电动势为_____V.

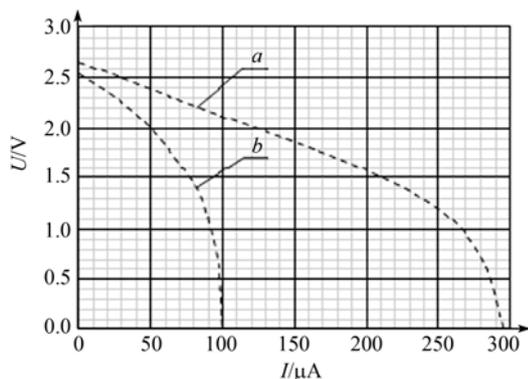


图 12

④实验二: 减小实验一中光的强度, 重复实验, 测得 $U-I$ 曲线 b , 如图 12 所示. 当滑动变阻器的电阻为某值时, 若实验一中的路端电压为 1.5V, 则实验二中外电路消耗的电功率为 _____mW (计算结果保留两位有效数字).

解析: ①实物连线如图 13 所示.

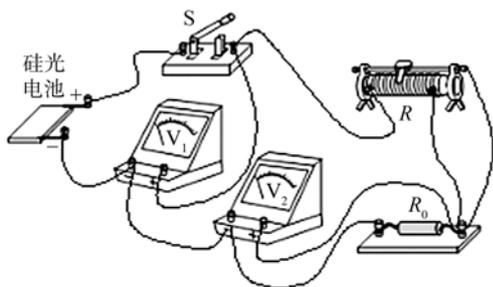


图 13

②根据欧姆定律可知 $I=U_0/R_0$

③假设电池内阻 r 为常数, 由 $E=U+Ir$, 可得 $U=E-Ir$, 则 $U-I$ 图像为直线, 与题给曲线不符, 所以 r 不为常数.

由曲线 a 可知, 当 $U=0$ 时, $I \approx 295 \mu\text{A} = 0.295 \text{mA}$ 即为短路电流; 当 $I=0$ 时, $U=E \approx 2.67 \text{V}$ 即为电动势.

④实验一中, 当 $U_1=1.5 \text{V}$ 时, 由曲线可读出 $I_1=0.21 \text{mA}$, 设此点为 P , 连接 P 点和坐标原点 O , 则直线 PO 即为外电路用电器的 $U-I$ 图线, 与图线 b 的交点 (如图 14 所示), 即为实验二中的路端电压和电路总电流, 由图 14 知分别为 $U_2=0.7 \text{V}$, $I_2=97 \mu\text{A}$,

则外电路消耗的电功率 $P=U_2I_2=0.068 \text{mW}$.

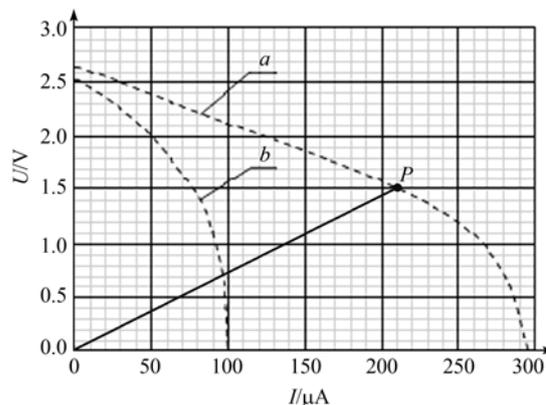


图 14

评析: 本题是利用“伏伏法”测定硅光电池的电动势和内阻, 是对“伏安法”的迁移和创新应用. 题中定值电阻 R_0 和电压表 V_2 相当于电流表, 但应注意电压表 V_2 为理想电压表 (或当其内阻已知) 时才可求出总电流. 题中两条图线对应两次实验, 在实验二中, 首先利用实验一的曲线 a 提取有关信息求出路端电压和总电流; 再利用曲线 b 才能得出外电阻的工作点. 这是本题的一个隐含条件, 应正确识别和挖掘. 题中内阻是否为常数的判断, 短路电流、电动势的确定, 外电路消耗电功率的求解都是通过多次研究图像, 提取相关信息得以解决, 充分体现了读图能力在物理学习和应用中的重要性. 本题需用反证法证明内阻不是常数, 没有思维的批判性等思维品质将难以作答.

(山东省德州市第一中学 253017)

