



科学方法在高中物理教学中的应用*

——以“直流电路的动态分析”为例

李如虎

(无锡市第一女子中学 江苏 无锡 214002)

(收稿日期:2016-06-21)

摘要:模型法、极端分析法、数学分析法、特殊值分析法等科学方法在中学物理中的综合运用,是培养中学生解决问题能力、提高中学生科学素养的重要教学方法,教师在教学过程中应该善加利用.以笔者的一次公开课为例,说明如何在平时的中学物理教学中,巧妙地利用这些教学资源,培养学生的解题能力和科学素养.

关键词:模型法 极端分析法 数学分析法 特殊值分析法 直流电路 动态分析 变式练习

中学生解决问题能力的培养和科学素养的养成教育一直是中学物理教学的重要任务之一.

“直流电路的动态分析”是中学物理教学的重要组成部分,也是训练、考查学生运用知识解决问题能力的一个重要内容.如何科学地利用好这部分教学资源,是一个值得探讨的话题.模型法是解决问题的重要方法,也是中学物理教学的重要内容之一.笔者在高三物理复习课的教学实践活动中,尝试着用一题多变、一题多解,并注意模型法等多种科学方法教学的应用,收到了很好的教学效果.本文以笔者在高三复习过程中所上的一节课“直流电路的动态分析”为例,总结如下.

直流电路动态分析的一般程序是:首先判断由于某个电路元件变化而引起的电路总电阻的变化,然后根据闭合电路欧姆定律

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1)$$

判断电路中总电流的变化,再根据路端电压公式

$$U = E - Ir \quad (2)$$

判断路端电压的变化情况,然后判断阻值恒定部分电压、电流的变化情况,最后判断阻值变化部分电压、电流的变化情况.

【例1】在图1所示的电路中,电源的电动势为 E ,内阻为 r , L_1, L_2, L_3 3个小灯泡均正常发光,当滑动变阻器的滑动片 P 向左端滑动时,下列说法正确的是()

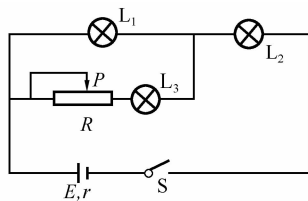


图1 例1题图

- A. L_1, L_2 变亮, L_3 变暗
- B. L_1, L_2, L_3 都变暗
- C. L_1 变亮, L_2, L_3 变暗
- D. L_1, L_2 变暗, L_3 变亮

解析:由图1可知,当滑动变阻器的滑动片 P 向左端滑动时,滑动变阻器连入电路的电阻变大,由式(1)可知,干路电流变小,所以 L_2 变暗,且其两端的电压变小;由式(2)可知,干路电流变小,路端电压变大,而 $U_1 = U - U_2$,所以 L_1 两端的电压必然变大,故 L_1 变亮,且其电流变大;由 $I_3 = I_2 - I_1$,得 I_3 变小,所以 L_3 变暗.故本题的正确选项是C选项.

* 江苏省教育科学“十二五”规划课题“中学物理综合实践活动的行动研究”研究成果之一,项目编号:D/2015/02/351

作者简介:李如虎(1962-),男,中教高级,主要从事高中物理教学及研究.

至此,我们既选出了问题的正确选项,又说明(教会)了学生解决此类问题的流程,可以说是圆满解决了这个问题.但是如果我们的教学到此为止,则远没有达到培养学生解决问题能力和提高学生科学素养的目的.在教学实践过程中,笔者提出了如下问题:会做某一个具体的题目,就题论题既不能有效应对高考,更不能有效提高我们的解题能力和有效开发我们的智力.我们在高三物理复习过程中,应该有模型法解决问题的意识,即将一类题目的解题基本技巧、方法和程序弄清楚,达到举一反三的效果.而且高考题是“源于课本,而高于课本”的,如果你是高考命题人,你会怎样命题呢?

于是,笔者将本题进行了下列变式练习改编.

【变式1】在例1中,加入几个理想电表,如图2所示.设电压表V的示数为 U ,电压表 V_1 的示数为 U_1 ,电压表 V_2 的示数为 U_2 ,电流表A的示数为 I ,当滑动变阻器的滑动片 P 向左端滑动时,则下列说法正确的是()

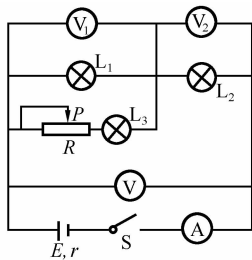


图2 变式1题图

- A. $\frac{U}{I}$ 不变 B. $\frac{U_1}{I}$ 不变
C. $\frac{U_2}{I}$ 不变 D. UI 不变

分析:学生在看到这种稍微复杂一点的电路时,往往手足无措.这时笔者引导学生对电路进行简化,构建便于研究的电路模型(模型法的使用),由于电路中各个电表均是理想电表(这里,电表内阻不是主要矛盾),在简化电路时,电压表可以直接去掉,电流表可以当成导线;又由于题目所给的4个选项不涉及 L_1 、 L_3 和 R 的内部具体电压、电流情况,故还可以用一个滑动变阻器 R_x 来代替这部分电路.于是上述电路可以被简化成图3(a)所示的电路,将相关数据标在图上,还可以画成图3(b)所示的电路.这样,再分析这个电路就极其简单了.

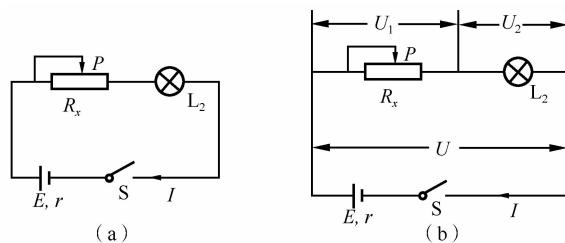


图3 简化电路

解析:由图3(b)可知,当滑动变阻器的滑动片 P 向左端滑动时,滑动变阻器 R_x 连入电路的电阻变大,由式(1)及式(2)可知,干路电流变小,路端电压变大,同时可知 U_2 变小,由 $U_1 = U - U_2$ 得 U_1 变大.而 $\frac{U}{I}$ 表示外电路的总电阻,所以A选项错误; $\frac{U_1}{I}$ 表示 R_x ,所以B选项错误; $\frac{U_2}{I}$ 表示 L_2 的电阻(而在这种电路分析题目中 L_2 电阻的变化是次要矛盾,通常认为是不变的),所以C选项正确; UI 表示电源的输出功率

$$P = UI = IE - I^2 r = \frac{E^2}{\frac{(R-r)^2}{R} + 4r}$$

当 $R = r$ 时, P 有最大值,此处不知道 R 与 r 的大小情况,所以不能确定D选项是否正确.故本题的正确选项是C选项.

变式1的功能是:

(1) 体现模型法在解决问题中的好处,及构建电学物理模型的方法;

(2) 明确各个电压表示数与电流表的读数 I 比值的物理意义;

(3) 复习 UI 的物理意义——表示电源的输出功率,且当 $R = r$ 时,电源有最大输出功率.

【变式2】在变式1中,当滑动变阻器的滑动片 P 向左端滑动时,设电压表V的变化量为 ΔU ,电压表 V_1 的变化量为 ΔU_1 ,电压表 V_2 的变化量为 ΔU_2 ,电流表A的变化量为 ΔI ,则下列说法正确的是()

- A. $\Delta U_1 > \Delta U_2$ B. $\frac{\Delta U}{\Delta I}$ 不变
C. $\frac{\Delta U_1}{\Delta I}$ 变大 D. $\frac{\Delta U_2}{\Delta I}$ 变大

解析:由图3(b)可知,当滑动变阻器的滑动片 P 向左端滑动时,滑动变阻器 R_x 连入电路的电阻变

大,所以 $\Delta U > 0, \Delta U_1 > 0, \Delta U_2 < 0$; 而 $\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2$, 所以 $\Delta U_1 > \Delta U_2$, 即 A 选项正确; 同时由图 3(b) 分析可知

$$\frac{\Delta U}{\Delta I} = r \quad (3)$$

$$\frac{\Delta U_1}{\Delta I} = r + R_2 \quad (4)$$

$$\frac{\Delta U_2}{\Delta I} = R_2 \quad (5)$$

在动态电路分析的题目中,通常都认为电源内阻是不变的,所以 B 选项正确,C,D 选项错误.

可见变式 2 的正确选项为 A,B.

这里,分析式(5)与分析式(3)和式(4)的方式不同,现在分析如下:设 R_x 未变之前,各个电表的读数分别为 U, U_1, U_2 和 I ,当 R_x 变化之后,各个电表的读数分别为 U', U_1', U_2' 和 I' ,由式(2)得

$$U = E - Ir$$

$$U' = E - I'r$$

解得

$$r = \frac{U' - U}{I - I'} = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

同理,由式(2)得

$$U_1 = E - I(r + R_2)$$

$$U_1' = E - I'(r + R_2)$$

解得

$$r + R_2 = \frac{U_1' - U_1}{I - I'} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I}$$

用同样的办法,由式(2)得

$$U_2 = E - I(r + R_x)$$

$$U_2' = E - I'(r + R_x')$$

但是,由于 R_x 是变化的,用这两个方程,得不出上述类似的关系,所以,不能想当然得出

$$\frac{\Delta U_2}{\Delta I} = r + R_1$$

这时,可用 $U = IR$ 得, $U_2 = IR_2, U_2' = I'R_2$ 解得

$$R_2 = \frac{U_2' - U_2}{I - I'} = \frac{\Delta U_2}{\Delta I}$$

变式 2 的功能是:

(1) 明确各个电压表示数的变化与电流表示数变化的比值的物理意义;

(2) 将 R_2 归结为电路的内电阻,复习等效方法的使用;

(3) 复习闭合电路欧姆定律、路端电压与内电压和电源电动势的关系;

(4) 应用数学工具处理物理问题的方法及结论的得出要破除思维惯性,不能想当然.

【变式 3】在例 1 中,当滑动变阻器的滑动片 P 向左端滑动时,设流过灯泡 L_1 电流的变化量为 ΔI_1 ,流过灯泡 L_2 电流的变化量为 ΔI_2 ,流过灯泡 L_3 电流的变化量为 ΔI_3 ,则下列说法正确的是()

$$A. \Delta I_1 < \Delta I_2$$

$$B. \Delta I_1 > \Delta I_3$$

$$C. \Delta I_1 < \Delta I_3$$

$$D. \Delta I_2 > \Delta I_3$$

分析:这个问题可用变式 2 中分析 A 选项的方法,得出 A 选项正确的结论,这里不再赘述,由于课时限制,本题可以作为课后作业,由学生课下完成.

变式 3 的功能是:

(1) 将电压变化的分析方法,迁移到电流变化的分析,进一步巩固模型法在解决问题中的应用;

(2) 拓展学生思路,培养学生的发散思维.

【例 2】(2013 年高考江苏卷第 4 题)在输液时,药液有时会从针口流出体外,为了及时发现,设计了一种报警装置,电路如图 4 所示. M 是贴在针口处的传感器,接触到药液时其电阻 R_M 发生变化,导致 S 两端的电压 U 增大,装置发出警报,此时()

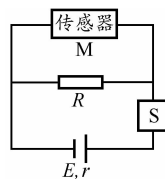


图 4 例 2 题图

$$A. R_M \text{ 变大, 且 } R \text{ 越大, } U \text{ 增大越明显}$$

$$B. R_M \text{ 变大, 且 } R \text{ 越小, } U \text{ 增大越明显}$$

$$C. R_M \text{ 变小, 且 } R \text{ 越大, } U \text{ 增大越明显}$$

$$D. R_M \text{ 变小, 且 } R \text{ 越小, } U \text{ 增大越明显}$$

解析:将除电源外的各个电路元件当成纯电阻来处理(在这里先不给学生明说,先当成纯电阻进行处理,是不是纯电阻这个问题先模糊处理),由并联电路电阻关系可知

$$R_{\text{并}} = \frac{RR_M}{R + R_M} \quad (6)$$

由题设条件“S 两端电压 U 增大”,易知传感器两端的电压降低,由例 1 中的分析方法可知 R_M 变

小,所以 A,B 两个选项可以排除. 关于 R 的取值大小怎样才能使 U 增大明显,至少可以有以下 3 种分析法.

方法 1: 极端分析法

取 $R = \infty$ (R 断路), 则 R_M 变化多少, $R_{并}$ 就变化多少.

若取 $R = 0$ (R 短路), 则无论 R_M 怎么变 $R_{并}$ 都等于零, 即对电路没有影响. 所以 R 越大, U 增大越明显即选项 C 是正确的, 选项 D 是错误的.

方法 2: 数学分析法

思考: 由

$$U = E - \frac{Er}{R_{并} + R_s + r}$$

可知, 要使 U 有明显变化, 只要 $R_{并}$ 明显变化即可, 怎样判断究竟是 R 大时 $R_{并}$ 变化明显, 还是 R 小时 $R_{并}$ 变化明显呢? 为了研究方便, 可以将式 (6) 写成数学上常用的表达形式

$$y = \frac{ax}{a+x} \quad (7)$$

其中 y 表示 $R_{并}$, a 表示 R , x 表示 R_M . 对上式求一阶导数, 得

$$y' = \frac{a^2}{(a+x)^2} = \frac{1}{\left(1 + \frac{x}{a}\right)^2}$$

因为 a 和 x 都是大于零的, 数学上可以证明式 (7) 是单调函数. 可见, a 越大, 则 y' 越大, 即 y 随 x 变化越快, 也就是说 R 越大 $R_{并}$ 的变化越明显, 故 C 选项正确.

方法 3: 赋值分析法

(1) 设 $R = 1 \Omega$, R_M 由 3Ω 减小到 1Ω

$$R_{并} = \frac{RR_M}{R+R_M} = \frac{1 \times 3}{1+3} \Omega = 0.75 \Omega$$

$$R'_{并} = \frac{RR'_M}{R+R'_M} = \frac{1 \times 1}{1+1} \Omega = 0.5 \Omega$$

$$\Delta R_{并} = 0.25 \Omega$$

(2) 设 $R = 3 \Omega$, R_M 由 3Ω 减小到 1Ω

$$R_{并} = \frac{RR_M}{R+R_M} = \frac{3 \times 3}{3+3} \Omega = 1.5 \Omega$$

$$R'_{并} = \frac{RR'_M}{R+R'_M} = \frac{3 \times 1}{3+1} \Omega$$

$$\Delta R_{并} = 0.75 \Omega$$

(3) 设 $R = 97 \Omega$, R_M 由 3Ω 减小到 1Ω

$$R_{并} = \frac{RR_M}{R+R_M} = \frac{97 \times 3}{97+3} \Omega = 2.91 \Omega$$

$$R'_{并} = \frac{RR'_M}{R+R'_M} = \frac{97 \times 1}{97+1} \Omega = 0.99 \Omega$$

$$\Delta R_{并} = 1.92 \Omega$$

可见, R 越大, $R_{并}$ 的变化越明显, 即 C 选项正确.

到此为止, 一节课的内容顺利完成了, 这时笔者及时向学生提出了下列问题:

(1) 本节课你学会了什么?

(2) 你还有什么疑问吗, 或者说发现了什么问题?

在笔者所施教的班级中, 大部分学生表示学会了模型法、极端分析法、数学分析法、特殊值分析法和直流电路的动态分析, 大部分学生都没有提出什么疑问, 但是也有少部分学生提出了一些困惑 (包含笔者的引导), 总结如下.

问题 1: 小灯泡的电阻是恒定的吗? 我们分析过程中为什么不考虑小灯泡电阻的变化?

问题 2: 在例 1 中, 各个电表有没有电阻? 我们为什么在分析时没有考虑它们的电阻?

问题 3: 在例 2 中, 各个电路元件都是纯电阻器件吗? 我们为什么可以将它们当成纯电阻器件来分析?

这些问题的提出, 引发学生的深入思考, 进一步强化了科学方法在使用过程中应注意的问题. 使学生更加明确了模型法就是要在研究的问题中构建适当的物理模型, 抓住主要矛盾, 忽略妨碍当前研究的次要因素, 使复杂问题的重要方面清楚地显露出来, 使问题的解决更容易.

教学实践证明, 只要教师做科学方法教学的有心人, 在设计教学方案, 实施课堂教学的过程中, 注意挖掘教学内容中蕴含的科学方法, 就可以在科学素养教育方面做出我们应有的贡献.

参考文献

- 1 王朝银. 步步高大一轮复习讲义 物理. 哈尔滨: 黑龙江教育出版社, 2015. 03
- 2 陆国新. 高三复习中物理模型教学法初探. 物理教学探讨, 2016(02): 68 ~ 71
- 3 姜宗祯. 例谈高中物理开放题的教学设计. 物理教学探讨, 2016(02): 64 ~ 65