



电路断开时电路中为什么没有电流^{*}

王 鹏 杨培军

(界首市界首中学 安徽 阜阳 236500)

(收稿日期:2015-05-15)

摘 要:本文分析了电路接通时以及断开后电路中的电场强度和电荷分布情况,说明了电路闭合时为什么有恒定电流和电路断开时电路中为什么没有电流,并强调了平时教学中要慎用类比推理方法.

关键词:电流密度 恒定电流 恒定电场 电荷分布 静电平衡 动态平衡

电路断开时,电路中没有电流,这在很多人眼中属于常识;然而在一次课后辅导时,一名学生却对此提出质疑:把水管切断,仍然有水流出来,因此把电路断开,电路中应该仍然有电流.听到学生的质疑,笔者不禁想起了自己在初中刚学电路时的困惑:前方电路断开了,电子是怎么知道的?难道是电子从电源负极跑出来,跑到断路的地方发现过不去了,然后又跑回去了吗?这个疑问现在看起来非常幼稚可笑,不过当时笔者却觉得很有道理,毕竟生活中就有类似的例子.比如,大家平时要经过一座桥到达对岸,结果有一天,大家来到桥边发现桥断了,过不去了,于是只好回去了或者绕道而行.

为了解答这些疑问,笔者翻阅了电磁学教材^[1],初步找到了答案.我们先从欧姆定律的微分形式谈起.

1 欧姆定律的微分形式

自由电子在导体中定向移动时会受到阻碍作用(其宏观表现即为电阻),为了维持这一运动,需要对自由电子施加电场力,这一现象可定量描述为: $j = \sigma E$,这个公式就是欧姆定律的微分形式.其中 j 称为电流密度,数值上等于通过某点的单位垂直截面的电流,是矢量,其方向为流过该点的电流方向; σ

称为电导率,是电阻率的倒数; E 为导体中的电场强度.公式推导过程如下:

在电路中截取一段细小的导体(图1),设其长度为 Δl ,截面积为 ΔS ,两端电压为 ΔU ,流过该导体的电流为 ΔI ,则

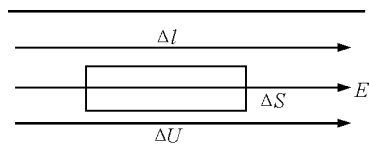


图 1

$$\Delta U = E\Delta l$$

$$\Delta U = \Delta I \cdot R = \Delta I \cdot \rho \frac{\Delta l}{\Delta S}$$

$$E\Delta l = \Delta I \cdot \rho \frac{\Delta l}{\Delta S}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta S} = \frac{1}{\rho} E$$

$$j = \sigma E$$

写成矢量形式为

$$j = \sigma E$$

欧姆定律的微分形式告诉我们:如果在粗细均匀的同种导体中电流为恒定电流,那么电流密度大小处处相等,其中的电场强度大小也处处相等,方向则与电流密度方向相同.

^{*} 安徽省规划办立项课题“高中物理教学中数理结合的实践与研究”,批号为 JG11152

2 电路闭合时的情况

电路接通之前,由于电源中非静电力的作用,电源正负极分别积累着一定的正电荷和负电荷,在周围空间产生的电场线如图2中实线所示,离电源两极越近,电场越强,为了叙述的方便,这个电场我们暂且称为原电场.然后把一段粗细均匀的导体与电源两极接通,在原电场的作用下,导体中的自由电子开始从电源负极到正极定向移动,电路中开始出现电流.

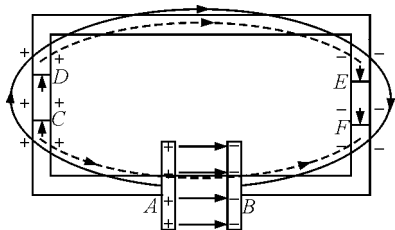


图2

由于电源两极附近电场较强,根据欧姆定律的微分形式,电流密度也比较大,电流也比较大.如果我们在电源正极附近截取一段导体 CD ,由于流入截面 C 的电流比流出截面 D 的电流大,因此导体 CD 段会带正电荷;同理,流入截面 E 的电流比流出截面 F 的电流小,导体 EF 段会带负电荷(这些电荷我们暂且称为感应电荷),感应电荷产生的电场方向在电源附近与原电场方向相反,在远离电源的地方与原电场方向相同(如图2中虚线所示),从而使原来较强的电场被削弱,较弱的电场被加强,导体中的电场强度和电流趋于均匀,直至导体中各横截面上电场强度和电流的大小处处相等为止,此时电路达到动态平衡,导体表面的电荷分布不再变化,电流为恒定电流.此时我们再任取一段导体(比如 CD)会发现,流入截面 C 的电流和流出截面 D 的电流相同,导体 CD 中电荷量不发生变化,就像电荷静止一样,这些电荷共同产生的电场也不会发生变化,即为恒定电场.

3 电路断开时的情况

将电路断开,如图3所示,截面 AB 靠近但不接

触,当自由电子运动到截面 B 后,由于无法继续前进,只好停留在截面 B 附近,与此同时,截面 A 处的电子向电源正极流动,由于失去了右面电子的补充,截面 A 处开始带正电荷,这些电荷产生的电场与原电场方向相反,随着截面 AB 附近电荷的逐步积累,原电场被逐渐削弱,经极短时间,电路中达到静电平衡,电场强度减为零,电子不再定向移动,电流也就消失了.

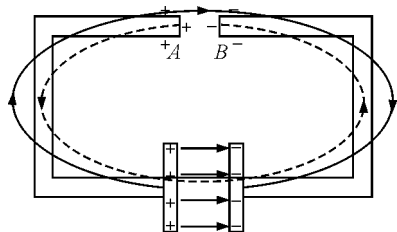


图3

从以上分析可以看出,电路闭合和断开两种状态恰好对应着两种平衡:动态平衡和静电平衡.它们有一些相同的地方,例如导体中电荷均分布在导体外表面,内部没有电荷,且电荷分布保持不变,产生的电场均不随时间的变化而变化等;但它们也有很大的区别:

- (1) 静电平衡时,导体内部电场强度处处为零,而动态平衡时导体内部有恒定电场;
- (2) 静电平衡时导体内部没有电子的定向移动,而动态平衡时导体内部有恒定电流流过;
- (3) 静电平衡时,导体是等势体,而动态平衡时导体却不是等势体,在外电路中,沿电流方向,电势逐渐降低.之所以有这些区别,是因为产生平衡的机理完全不同.

4 电子能从导体中飞出来吗

把电路从 AB 处断开,电子会不会从截面 B 飞出来,然后飞入截面 A 呢?果真如此的话,那么电路即便断开,电路中仍然有电流.对于金属导体,通常情况下不会发生这种情况,这是因为金属导体内部存在一种力(可粗略理解为金属中原子核的吸引力),在阻碍电子逸出金属表面.电子要想从金属表面中逸出,需要克服这种阻力做功,这种功的最小值称为逸出功^[2].例如金属钠的逸出功为 2.29 eV .一般情况下,电子热运动的动能约为 0.04 eV ,远小于金属的逸出功,所以无法从金属表面逸出,这和水管

中的水有显著区别.

不过如果我们采取一些措施,却可以让电子克服阻碍逸出金属表面.中学阶段常见的方法有两种:热电子发射和光电效应.

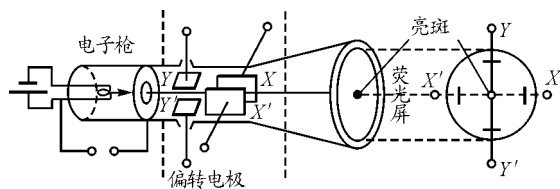


图4

在学习示波管的时候,我们了解了其结构的一部分为电子枪(图4),其原理就是热电子发射.例如将钨丝加热到 $1\ 000^{\circ}\text{C}$ 以上,电子的动能显著增加,就可以超过金属钨的逸出功,此时就会有大量电子逸出钨丝,如果再加上适当的电压,电子就会像子弹一样射出,所以称为电子枪.

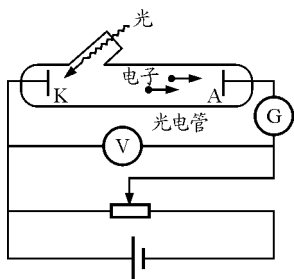


图5

另一种方法就是光电效应(图5).在高于某特定频率的电磁波照射下,金属内部的一些电子会吸收光子的能量,如果其吸收的能量和自身热运动动能之和超过金属的逸出功,电子就会从表面逸出,这就是光电子,在电路中就会形成光电流.

5 结语 —— 慎用类比

在高中物理教学中,类比是一种常用的方法,例如电流看不见、摸不着,不易理解,于是我们便把电流与水流、电压与水压、电源与抽水机类比,这样学生就很容易理解这些抽象的电学概念了,其他的教学方法很难起到这样的效果,正因为如此,类比这种推理方法颇得教师们的喜爱,在教学中得到了广泛应用.但是我们也要慎用类比.类比实际上是根据两个或两类对象有部分属性相同,从而推出它们的其他属性也相同的一种推理方法^[3],它实际上是一种猜测,得出的结论并不具有逻辑必然性.尽管利用类比常常得出正确的结论,但是由类比导出的错误也不少见.如果我们在类比的时候只看表面,不看本质,就容易犯机械类比的错误.例如,小猴子吃了个红苹果,特别甜,从此他认为红色的东西就是甜的.又一天,他吃了个红辣椒……本文开头学生还有笔者初学电路时都是犯了同样的错误.这就要求我们平时一定不能轻率地使用类比,在使用类比之前,一定要深入了解对象与类比对象的本质,尽可能多的找出对象与类比对象之间相同的属性,同时还要注意对象与类比对象之间的差异性,只有这样才会少犯机械类比的错误.

参考文献

- 1 赵凯华.新概念物理教程·电磁学.北京:高等教育出版社,2003.254
- 2 普通高中物理课程标准实验教科书 物理·选修3-5.北京:人民教育出版社,2010.32
- 3 高纪平.数学学习中的类比推理的研究.南京.南京师范大学,2004

Why is No Current When Circuit is Broken

Wang Peng Yang Peijun

(Jie shou Senior School in Anhui Province, Fuyang, Anhui 236500)

Abstract: This paper analyzes the circuit is switched on and disconnect the circuit of electric field strength and charge distribution shows that the circuit is closed, why constant current and disconnect the circuit when the circuit is why there is no current, and stressed that the usual teaching to caution analogical reasoning method.

Key words: current density; constant current; electric field; charge distribution; static balance; dynamic balance; analogy