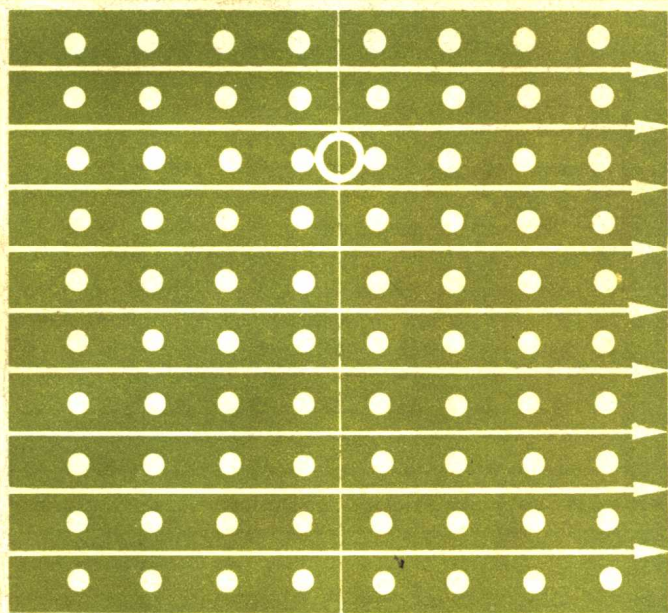


高中电学

基本概念与解题思路

曹文龄 编



北京师范大学出版社

高中数学 基本概念与典型题解

曹士海 编

一	二	三	四	五	六	七	八
九	十	十一	十二	十三	十四	十五	十六
十七	十八	十九	二十	二十一	二十二	二十三	二十四
二十五	二十六	二十七	二十八	二十九	三十	三十一	三十二
三十三	三十四	三十五	三十六	三十七	三十八	三十九	四十
四十一	四十二	四十三	四十四	四十五	四十六	四十七	四十八
四十九	五十	五十一	五十二	五十三	五十四	五十五	五十六
五十七	五十八	五十九	六十	六十一	六十二	六十三	六十四
六十五	六十六	六十七	六十八	六十九	七十	七十一	七十二
七十三	七十四	七十五	七十六	七十七	七十八	七十九	八十

北京航空航天大学出版社

高中电学基本概念 与解题思路

曹文龄 编

北京师范大学出版社

高中电学基本概念与解题思路

曹文龄 编

*

北京师范大学出版社出版发行

全国新华书店经销

北京通县印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 6.125 字数: 151千

1987年6月第一版 1988年5月第1次印刷

印数: 1—15 000

ISBN 7-303-00269-3/G·124

定 价: 1.35 元

内容简介

本书是《高中力学基本概念与解题思路》一书的姊妹篇。作者在多年教学经验的基础上，针对教材的重点和难点，对高中学生学习中易混淆、难理解、易出错的地方，通过举例、分析、总结，对怎样理解、掌握概念和规律提出了一些方法和思路，本书可供中学物理教师、学生参考。

前 言

这是“高中力学基本概念与解题思路”一书的续编——关于高中电学部份的一本书。

这本书仍是基于我在多年的中学物理教学实践中，针对教材的重、难点，对高中学生学习电学部份时易混淆、难理解、易出错的地方，通过分析、举例、总结，对怎样理解和掌握概念及规律提出了一些方法和思路。

作为又一块引玉之砖献给读者，如果它能对正在学习高中物理的同学们，或正在自学物理的青年同志们有些参考价值，那仍将是我最大的欣慰。

水平所限，一定会有不当之处，敬请读者批评指正。

曹文龄

目 录

直流电路漫谈	(1)
电动势不是电压	(1)
反电动势不是电动势	(3)
直流电路中任两点的电压	(5)
怎样识别电阻的联接	(10)
闭合电路的欧姆定律	(18)
在直流电路上谈功率	(24)
直流电路中的电容器	(29)
常用电学仪器	(39)
一、检流计	(39)
二、安培计	(43)
三、伏特计	(45)
四、欧姆表	(49)
五、万用表	(54)
六、瓦特表	(55)
七、电度表	(56)
八、变阻器	(57)
测电阻值的几种方法简介	(60)
测定干电池的电动势和内电阻	(68)
交流电路几问题	(75)
交流电	(75)
只有电阻的交流电路	(77)

是交流电通过了电容器吗?.....	(77)
电感器的铁芯	(81)
在交流电路上谈功率	(83)
交流电的功率	(88)
电和磁	(93)
静电场	(94)
一、关于静电场的性质	(94)
二、怎样理解电场中某点的场强或电势是零的意义?	(99)
三、对比重力场和电场	(101)
四、电荷在电场中的平衡	(101)
五、绝缘导体在电场中	(108)
六、电介质在电场中	(113)
七、电容器两板间电场的讨论	(114)
八、静电场中综合题几例	(118)
动电生磁	(126)
一、稳恒磁场的磁感应强度	(126)
二、磁场力	(128)
三、磁现象的电本质	(133)
四、电磁场	(134)
变磁生电	(135)
一、感应电动势	(136)
三、关于导体线框在匀强磁场中转动的问题	(151)
三、楞次定律	(157)
四、自感现象	(163)
五、综合题数例	(168)
附：地磁场	(183)

直流电路漫谈

电动势不是电压

某段电路上沿一定方向电势降低或升高了，某电路上的用电器两端电势不相等时，我们常说该段电路上、该用电器两端有电势差并用符号 U 表示，顾名思义： $U_{AB} = u_A - u_B$ ，当 u_A 高于 u_B 则 $U_{AB} > 0$ ，反之则 $U_{AB} < 0$ ，且 $U_{AB} = -U_{BA}$ 。

电势差一般也叫电压，在直流电路中求某些用电器两端的电压值常用 $U = IR$ 这个式子，即通过该用电器的电流大小和其电阻的乘积决定了它两端电势降落的大小，电压是对电路上某两点而言，它标志着存在电压的某段电路是消耗电能的，是使电能转换成其它形式的能的。

电动势（符号 $\mathcal{E}$ ）是对电源而言的。电源是一个可以使非静电能转换成电能并储存电能的特殊装置，比如干电池或蓄电池都是可以使化学能转换成电能的装置，而交流或直流发电机又都是可以使机械能转换成电能的装置，前者的化学能来源于组成电源的材料中的化学变化，因之就有更换和充电问题，后者的机械能来源于有落差的水的重力势能的减少；或燃烧燃料（如煤）释放的内能，或核反应释放的原子能，对应这些称之为：水力发电，火力发电，原子能发电。此外还有把光能转换成电能的光电池等……。

把非静电能转换成电能，要通过除电场力外的其它力——即非静电力移动电荷做功完成，做功的过程中伴随着能量的

转换，并形成了两个具有不等的电势的极，叫电源的正、负极。为了描述和比较电源内非静电力做功的本领，非静电力移动电荷所做的功和所移动电荷的总电量的比值（这个比值的大小标志着某电源中非静电力做功的能力，注意不是做功的快慢程度），表示把非静电能转换成电能的能力，叫电动势，即 $\mathcal{E} = W/q$ 就是电动势的定义式。

有人用 $U = W/q$ 和 $\mathcal{E} = W/q$ 对比一下，问：电源的电动势 $\mathcal{E}$ 就是电压 U 吗？再由 $\mathcal{E} = I(R+r) = U_{\text{外}} + U_{\text{内}}$ 看：可以说电源的电动势 $\mathcal{E}$ 就是闭合电路的总电压吗？

只要我們注意到： $U = W/q$ 式中的 W 指的是电场力在电势差为 U 的两点间移动电荷时所做的功，且做功过程是使得电能转换成其它形式的能的，自然就会理解：电动势不是电压。做为标志电源特性的量，电动势 $\mathcal{E}$ 的大小只取决于电源本身结构，而和有否外电路、外电路上有那些元件、怎样连接等外因毫无关系。干电池不论容量大小（有1号，2号，5号之分），其电动势都是1.5(V)，这类结构的电源内，化学力每移动1库仑电量的电荷要做1.5焦耳的功。

提问：干电池用久了会变软甚至流出“水”来，这说明什么问题？

不同容量的干电池，分别对相同阻值的电阻放电时有何不同？

电动势和电压有本质的区别，也有密切的联系，当电路闭合且电源向外放电时，电源内非静电力移动自由电荷做功，外电路上电场力移动自由电荷做功，内电路上电流方向由电源负极流向正极，外电路上电流方向由电源正极经电学元件流回电源负极，内电路上非静电能的一部份直接转换成

热能消耗在内电路的电阻上，另一部份转换成电能，这部份电能保证了电场力在外电路上移动电荷做功，并且转换成其它形式的能。能量在转换的过程中是守恒的。因之， $\mathcal{E} = W/q$
$$= \frac{I^2 r t + I U t}{q} = I r + U$$
。 $I r$ 是电源内电路的电压， U 为外

电路总电压又叫路端电压，而 $\mathcal{E} = W/q$ 是 $\mathcal{E}$ 的定义式，并非取决条件。所以 $\mathcal{E} = I r + U$ 仅仅表示：电源在放电时，它的电动势 $\mathcal{E}$ 在数值上等于闭合电路上的总电压值，这是个计算 $\mathcal{E}$ 的大小的方法。当电路断开时 $I = 0$ ，则 $\mathcal{E} = U$ 。这就提供了一条粗测电源电动势的路子，特别是大量程的伏特计内阻很大，用它直接接在电源两极上，近似断路，粗测 $\mathcal{E}$ 值。

最后顺便提出，化学电源比如干电池，随着放电时间的增加，化学能将逐渐被消耗，因之使电池的 $\mathcal{E}$ 值变小，另外化学变化的结果使电池内电阻变大，而我们研究讨论问题时，一般对给定的电池来说认为 $\mathcal{E}$ 和 r 值不变。

提问：干电池用久了，虽然用伏特计仍可测出不算低的 $\mathcal{E}$ 值，但却点不亮手电筒的小电珠，这是什么原因？

反电动势不是电动势

你见过直流电动机吗？在电动玩具里，在无轨电车上，它都是动力机。这是一个接通直流电源就可转动的装置，主要由磁场、电枢和换向器等部份组成。当通电线圈在磁场中受电磁力矩绕中心轴转动时，由于电磁感应现象，线圈上同时产生了感生电动势 $\mathcal{E}'$ ，电动势是标量，我们常规定电源电势升高的方向即电源内由低电势指向高电势端叫电动势的方向，当通过电源内的电流方向和电动势方向一致时，

电源内非静电力做功，上节已经较详细地述及。当通过某个电源内部的电流是由电源的正极流向负极时，该电源的电动势是反抗电流通过的，把它叫反电动势，反电动势是消耗电能的。图 1-1 是接有直流电机的电路图。电路中的总电流

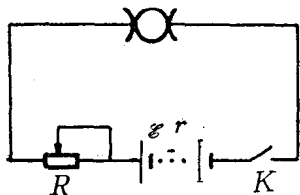


图 1-1

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

将式(1)移项后，各项乘以 $I t$ 则成为

$$I E t = I E' t + I^2 (r' + r + R) t \quad (2)$$

式(2)左边指电源内非静电能的减少值，右边指内外电路上其它能量的增加值，其中 $I^2 (r' + r + R) t$ 是内外电路上热能(内能)的增加值，当不计电机的摩擦时， $I E' t$ 由实际工作情况分析，应当是外电路上直流电机机械能的增加值。

图 1-2 是一个给蓄电池 B 充电的电路图。 A 是一个恒压直流电源，电动势为 E_1 、内阻为 r_1 ， B 的电动势为 E_2 内阻为 r_2 ， A 经限流电阻 R 对 B 充电，当然要使得 $E_1 > E_2$ ，电路上总电流

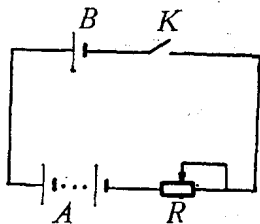


图 1-2

$$I = \frac{E_1 - E_2}{r_1 + r_2 + R} \quad (3)$$

同上例将(3)变成：

$$I E_1 t = I E_2 t + I^2 (r_1 + r_2 + R) t \quad (4)$$

请读者说明(4)式的物理意义，式中 $I E_2 t$ 一项表示什么能量的增加？还是减少？

当 B 被充完电后,电动势变成 $\mathcal{E}'_2$,内阻变成 r'_2 并且用它对外电路放电时, B 就成了电源, $\mathcal{E}'_2$ 就是电动势。而在它被充电的过程中它的电动势是反电动势。

可见,电阻在电路中永远是消耗电能的,总是把消耗的电能转换成等值的内能,而电动势如果在电路中起着减小原电路电流大小的作用时,叫反电动势,它也是消耗电能的,总是把消耗的电能转换成等值的除内能以外的其它形式的能。在这个意义上看,反电动势不是电动势,当然也不是电阻。

直流电路中任两点的电压

我们讨论的是求直流电路上任意两点的电压值的方法。顺着电流方向从电路上某点出发(当然这点最好是所求的那两点中的一点),按下述几个原则顺序写出:

1. 电流流经电阻时要产生电压降,电阻两端的电势沿电流方向降低,写成 $-IR$;

2. 电流流经电源时,如是由电源的负极流入,由电源的正极流出,则电势升高写成 $+\mathcal{E}$;

3. 电流流经电源时,如是由电源的正极流入,由电源的负极流出,则电势降低写成 $-\mathcal{E}$;

4. 不论电流在电源中流向如何,内电阻总要消耗电能转换成内能,写成 $-Ir$ 。

这样一直写到所求的另一点为止,然后移项得出所求值。

例 1 图 1-3 中已知 $\mathcal{E}_1 > \mathcal{E}_2$ 。求: ① U_{DC} , ② U_{AB} 。

解: ①因为 $\mathcal{E}_1 > \mathcal{E}_2$, 电路电流为 $A \rightarrow E \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow$

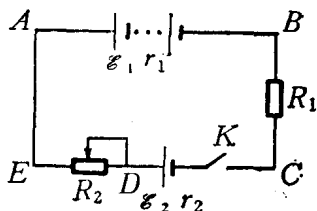


图 1-3

A, 按上述原则写成:

$$u_D - \mathcal{E}_2 - Ir_2 = u_C \quad \text{可求:}$$

$$u_D - u_C = U_{DC} = \mathcal{E}_2 + Ir_2$$

$$= \mathcal{E}_2 + \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{r_1 + r_2 + R_1 + R_2} r_2$$

$$= \frac{\mathcal{E}_2(R_1 + r_1 + R_2) + \mathcal{E}_1 r_2}{r_1 + r_2 + R_1 + R_2}$$

如果先由C点出发则应写成:

$$u_C - IR_1 + \mathcal{E}_1 - Ir_1 - IR_2 = u_D, \quad \text{也可求 } U_{DC} = \mathcal{E}_1 - I(R_1 + r_1 + R_1) = \frac{\mathcal{E}_2(R_1 + r_1 + R_2) + \mathcal{E}_1 r_2}{r_1 + r_2 + R_1 + R_2}. \quad \text{两种写法使过程}$$

繁简不同。

解: ② U_{AB} 是路端电压, 由欧姆定律可写出 $U_{AB} = \mathcal{E}_1 - Ir_1$, 如果用上述原则写: $u_B + \mathcal{E}_1 - Ir_1 = u_A$, 移项仍是 $U_{AB} = \mathcal{E}_1 - Ir_1$, 但如果先由A出发写则 $u_A - IR_2 - \mathcal{E}_2 - Ir_2 - IR_1 = u_B$. 这样求 U_{AB} 就太繁琐了。对比所求①和②请读者考虑: 为什么 $U_{AB} = \mathcal{E}_1 - Ir_1$, 而 $U_{DC} \neq \mathcal{E}_2 - Ir_2$ 。

如果要求电路上某点的电势值, 应先规定零电势点。某点和零电势点间的电压即该点的电势值, 求法同上。把图 1-3 中的 C 点接地, $u_C = 0$ 。由 $u_C - IR_1 = u_B$, 故 u_B

$$= -\frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{r_1 + r_2 + R_1 + R_2} R_1 < 0, \quad \text{低于C点电势, 由 } u_C - IR_1 +$$

$$\mathcal{E}_1 - Ir_1 = u_A. \quad \text{故 } u_A = \mathcal{E}_1 - \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{r_1 + r_2 + R_1 + R_2} (r_1 + R_1) > 0$$

高于C点电势。由 $u_D - \mathcal{E}_2 - Ir_2 = u_C$, 故 $u_D = \mathcal{E}_2$

$+ \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{r_1 + r_2 + R_1 + R_2} r_2 > 0$, 高于C点电势。当把A点接地,

则A、B、C、D、E各点电势的正负和数值就都变化了。请读者思考为什么, 并动手去解。

例2 求图1-4中的 U_{ab} 和 U_{cd} 值。已知 $\mathcal{E}_1 = 14(\text{V})$, $r_1 = 1\Omega$, $\mathcal{E}_2 = 11(\text{V})$, $r_2 = 0.5(\Omega)$, $\mathcal{E}_3 = 6(\text{V})$, $r_3 = 1(\Omega)$, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 2(\Omega)$, $R_5 = 1(\Omega)$ 。

解: ①由图可见 ab 支路是断开的, 由于 $\mathcal{E}_1 > \mathcal{E}_3$ 故电路总电流方向是逆时针流向:

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{4R_1 + r_1 + r_3} = 0.8(\text{A})$$

由 $u_a - IR_3 - \mathcal{E}_3 - Ir_3 - IR_2 = u_b$, 可求 $U_{ob} = \mathcal{E}_3 + I(R_2 + R_3 + r_3) = 10(\text{V})$, $u_a = u_c$,

$u_d = \mathcal{E}_2 + u_b$ 。而 $U_{cd} = u_c - u_d = u_a - \mathcal{E}_2 - u_b =$

$U_{ob} - \mathcal{E}_2 = -1(\text{V})$, 即c点电势比d点电势低1伏特。

至此我们可以小结一下。

(1) $I = \frac{U}{R}$ 或 $U = IR$ 这两个式子只适用于不含源的一段纯电阻电路, 图1-5中当 $u_a > u_c$ 或 $u_c > u_a$ 时, 电路 ac 中都有电流, 电流方向总由高电势端流向低电势端。电流的大

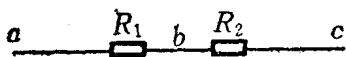


图 1-5

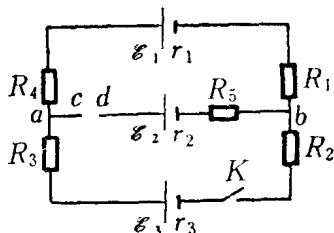


图 1-4

小 $I = \frac{|U_{ac}|}{R_1 + R_2}$ 。当电路电阻一定时, 流过的电流大小和加在这段电路两端的电压

成正比，这里的电阻是金属材料或液体导体的电阻。如果要求这段电路中 R_2 两端的电压降，则应用 $IR_2 = U_2$ 这个式子， b 和 c 不论哪点电势高，它们的电势之差在数值上都一定等于 bc 间的电阻值和通过 bc 这部份电路的电流值的乘积，尽管 $I = \frac{U}{R}$ 和 $U = IR$ 这两个式子，当 $R \neq 0$ 时在数学上是等价的，

即由任一个可推出另一个来，但在物理学中，在一段不含源的纯电阻电路上，它们各自说明的问题却不相同，在这个意义上说，它们所代表的内容不只限于数学形式的变换。

(2) 在含源电路。在没有反电动势的纯电阻电路中，电路总电流的决定式应是 $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$ 。此即闭合电路的欧姆

定律，而 $U = \mathcal{E} - Ir$ 则是闭合电路中路端电压的取决式，同样这两个式子不仅是数学表达形式上的变换，而分别说明了不同的物理问题，在这种电路中，电源内电流总是由低电势端流向高电势端。而电源外即外电路上则有各种可能性。

例 3 图 1-6 的电路接通后，外电路上电流由高电势端 a 流向低电势端 c ， $u_a > u_b > u_c$ 。

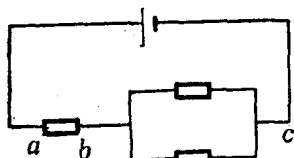


图 1-6

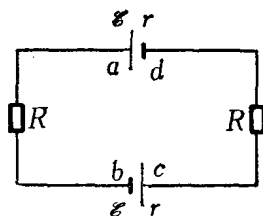


图 1-7

例 4 图 1-7 的电路接通后，总电流 $I = \frac{2\mathcal{E}}{2R+2r}$

$$= \frac{\mathcal{E}}{R+r}, U_{ad} = \mathcal{E} - Ir = \mathcal{E} - \frac{\mathcal{E}}{R+r}r = U_{cb}, u_a > u_d, u_c >$$

u_b . 由 $u_d + \mathcal{E} - Ir - IR = u_b$, 有 $U_{bd} = \mathcal{E} - I(R+r) = 0$, 即 $u_b = u_d$. 同法可求出 $u_a = u_c$. 再由 $u_a - IR = u_b$, 有 $U_{ab} = IR > 0$, 即 $u_a > u_b$. 同法可求出 $u_c > u_d$. 归纳如下, 在图 1-7 的不含反电动势的纯电阻电路中, 内电路电流总由低电势流向高电势端即由 $d \rightarrow a$, 由 $b \rightarrow c$. 在外电路上, (1) 电流可由高电势端流向低电势端: 即由 $a \rightarrow b$ 由 $c \rightarrow d$; (2) 电流可在某两个等势点间流动, 即由 $a \rightarrow c$, 由 $b \rightarrow d$. 可见对由 $a \rightarrow c$ 和由 $b \rightarrow d$ 这两段含源的纯电阻电路, $U = 0, I \neq 0$. 显然

$I = \frac{U}{R}$ 和 $U = IR$ 对它都不成

立, 不适用。

若有兴趣的话不妨动手做一下图 1-8 的电路这个题, 图中 4 个电阻值相等, 四个电源全一样。看是否有以下结论:

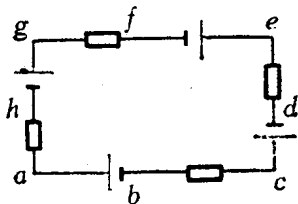


图 1-8

1. $u_a = u_c = u_e = u_g$, 那么电流可在任两个等势点间流动。

2. $U_{gd} = U_{eb} = U_{ch} = U_{af} = IR > 0$, 那么电流可由高电势端流向低电势端。

3. $U_{fe} = U_{dc} = U_{ba} = U_{hg} < 0$, 那么电流可由低电势端流向高电势端。

那么如果含有反电动势的电路情况如何呢? 本节开始已经述及这种电路的计算法。例 1 中的 $U_{DC} = \mathcal{E}_2 + Ir_2$, 而不