

衡远电业培训教材

# 快乐电



## 之电工基础

张连起 编 著



贵州科技出版社



衡远电业培训教材

# 快乐电工之电工基础

---

张连起 编著

贵州科技出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

快乐电工之电工基础/张连起编著. —贵阳:贵州科技出版社,2006.7

ISBN 7-80662-027-3

I. 快… II. 张… III. 电工-基础知识 IV. G228

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第043551号

## 快乐电工之电工基础

张连起 编著

---

出版发行 贵州科技出版社  
(贵阳市中华北路289号 邮政编码550004)

经 销 各地新华书店经销

版 次 2006年7月第1版 2006年7月第1次印刷

开 本 787×1092毫米 1/16

印 张 12

印 数 1—5000册

---

定 价 25.00元

## 序

北京衡远电业管理技术培训有限公司对2006年国家电力人才市场的调研数据显示:中国人才市场技术工人缺口82万,中国缺少38.6万专业的电工。国家需要大量专业的技术人才,148万劳动力需要职业资格认证和就业机会。

截止到2005年,在全国电力行业138万职工中,仅有高级技师1630名,技师2.3万名,二者之和不足职工总数的2%,远远低于发达国家30%的水平。电力行业目前45岁以下高级技工严重短缺,行业检修的高技能人才也是凤毛麟角。这一现状已经严重影响了电力安全生产和国家电力市场的可持续性发展。

中国电力企业联合会教育培训中心副主任薛静举了一个形象的例子:“爬电线杆检修看起来好像简单,随着技术要求的提升,越来越多的情况要求电工带电作业。年老的有技术但体力不行,年轻的体力好但没有技术。如果不抓紧培养人才,过两年连爬电线杆的人都没有了!”

随着电力行业改革的深入,广大电力企业对于培养“懂技术、高素质”电工队伍的工作非常重视,广大电力行业职工对于电工基础的学习热情也日渐高涨。

对于学员来说,电工基础课程难学!因为理论抽象、观念陈旧、远离实践!对于教师来说,电工基础课程难教!因为教材形式枯燥、教学方法传统、教学工具单一!

学习本应该是件快乐的事情!

本书作者张连起老师从事电力基础教学工作20余年,他专一地经营了一辈子的老师工作,所以他专业!他专心地研究了一辈子的教学工作,所以他经验丰富!多年来,他坚持不懈地向同行专家学习,和大家探讨,汲取群体的智慧。书中大量由他首创的口诀、歌谣让学员轻松掌握电工基础知识;他积累的丰富案例帮助学员理解枯燥的电工技术原理;他精选的练习系统地训练了学员的逻辑思维能力;他总结的经验、方法让无数学员成功通过技能鉴定,提高了技术水平!

《电工基础》是各电力专业入门的理论基础。掌握电力基本知识,是为了给学习专业知识和实际操作做好铺垫,使学员知其然又知其所以然,减少工作的盲目性。另外,在设计自身的前进程序中也需要有这样的理论充电,逐层次地使自己的理论水平达到相应的高度。

这本书中的理论讲解深浅适度,实践练习搭配合理。更重要的是样式活泼生动,结合广大电工学习者的学习特点进行编排,让大家既能够学到知识、提高水平,又能做到轻松学习、快乐实践。同时,这本书也将为从事电工基础教育工作的教师们提供丰富的辅助教学材料。

尊敬的读者朋友,我们衷心地希望这套系列教材能够帮助您在职业发展的道路上快乐前行!

许雪青

北京衡远电业管理技术培训有限公司总经理

2006年7月6日

## 前 言

在各种职工培训学习班上,一些学员对《电工基础》课总是多少有些看法,有的人认为理论课对专业课有帮助,对提高自身素质有好处;有的人则认为理论课不实用,不如多学些怎么干活;还有人认为这门课想学也学不好,太难。一些教师也认为这门课不好教,深了不是,浅了不是,费力不讨好。而且讲述表达很繁琐,讲起来很累。

作为电工基础教师,笔者多年来从事技工教学,近年来还从事社会高低压电工教学及农电教学和工人技术鉴定等教学工作,时常为前述问题而感到困扰,也经常与同事们讨论,努力寻找一条让工人学员易于接受的讲课方法和途径。这本教材就是把这些探讨和努力融入进来的一个表现形式。当然,完全脱开已有的教材版本是不现实的,也不应该。只不过是在前人的路上找一找可行的方法而已。比如语言叙述通俗些,解释概念形象些,口诀简语方便些,推导思路简明些,小有趣味活跃些,过深理论避讳些等等。由于自己水平所限,至今还有好些问题探不透,说不彻底,甚或有错误,有待同行们的批评、指导、帮助。如果学员们能从中学到一些东西,小有收获,就非常令人欣慰了。

这本教材适用于高、低压电工班、进网电工班、工人技能鉴定(高、中、低级)及农电工等使用。

后面的“副篇”不是上课时的内容,有的是一些引伸,有的是趣味,有的是努力加上一些实践性以摆脱一些抽象,有的是方法,有的是供教师参考用的资料。希望不是画蛇添足才好。

这本教材的出现,得到北京电力行协赵双驹、刘俭、李曼莉、阎精旗、李佳铭等同志的大力支持和帮助,笔者表示衷心的感谢。对多年来帮助我探讨问题的李贵真、刘玉珍、朱文、许丙言、柳朝成、李瑞荣、王惠农、潘世纲等同事表示感谢。更不能忘记潘连生、孙作五、董祥、骆文山、苏玉林、杨书全、于世善、余灿阳、郭子仪、李树海、王世英等专家对我的帮助。尤其要对进网电工培训中堪称我的老师的陈金明、赵宝森、宁岐等及无法一一列举出来的专家们表示诚挚的谢意。

此次本书经修订后能够成为一个正式的版本,是北京电力公司工会主席李国华先生大力支持的结果,在此一并表示衷心的感谢。

张连起

2006. 7

# 目 录

职工培训教材《电工基础》 第一部分(正篇)	1
一、静电场	1
1. 物质的电结构	1
2. 导体、绝缘体和半导体	1
3. 库仑定律	1
4. 电场和电场强度	2
二、电路的基本知识和基本定律	2
1. 电路及电路图	2
2. 电流、电压及其参考方向	3
3. 电动势	5
4. 电阻和欧姆定律	5
5. 电功率和电能	7
6. 基尔霍夫定律	8
7. 电路的电位计算	9
三、直流电路	10
1. 电阻的串联和并联	10
2. 电阻的混联	11
3. 支路电流法	12
4. 节点电压法	13
5. 叠加原理	13
6. 电压源、电流源及两种电源模型的等效变换	15
7. 星—角变换	17
8. 电桥电路	19
9. 等效电源法	20
四、电磁和电磁感应	21
1. 磁的基本知识	21
2. 磁场及磁力线	21
3. 通电导体周围的磁场	22
4. 通电导线在磁场中受力	22
5. 磁感应强度和磁通	23
6. 电磁感应	23
7. 楞次定律	24
8. 电磁感应定律	25
9. 自感和自感电动势	25
10. 互感和互感电动势	26

11. 电感线圈和电感	26
五、电容器	27
1. 电容器和电容	27
2. 电容的充放电	27
3. 电容的并串联	28
六、单相正弦交流电路	28
1. 正弦交流电概念	28
2. 交流电的波形图	30
3. 交流电的相关物理量	31
4. 交流三元件	33
5. 正弦量的相(向)量表示法	36
6. 电阻、电感、电容(RLC)串联电路	38
7. 功率因数的提高	41
8. 串联谐振	42
9. 并联谐振	43
七、三相正弦交流电路	44
1. 对称三相交流电	44
2. 三相电源绕组的接法	44
3. 三相负载的连接及计算	45
4. 不对称三相电路	48
5. 三相电路功率	51
6. 对称分量概念	53
职工培训教材《电工基础》 第二部分(副篇)	59
一、再多一些思考	59
1. 简谈电磁场	59
2. 电子的运动速度	59
3. 电压是压力吗?	60
4. 电流此刻还相同吗?	60
5. 电阻值为什么会变?	60
6. 这四句话对吗?	61
7. 关于串并电阻大小的求证	61
8. 功率分压及分功率公式	62
9. 简单电路的等效变换	63
10. 求等效电阻的特殊思考	66
11. 对称电路	70
12. 功率的吸收与发出	72
13. 最大功率及“极值”	73
14. 复杂电路解法注意	75
15. 理想电压源、电流源题例	75
16. 线性电路一题	76



17. 节点电位法的改进·····	77
18. 星角电路互化·····	78
19. 等效电源法题例·····	80
20. 说说磁畴·····	82
21. 电磁互生·····	83
22. 左、右手定则出处的解释·····	84
23. 电、磁场对应看·····	84
24. 切割磁场和磁场变化·····	85
25. 说说楞次定律·····	86
26. 关于互感极性的总结·····	86
27. 交流电为什么是正弦规律的·····	88
28. 改写正弦式·····	89
29. 同频正弦量的加减及复数运算·····	89
30. 聊聊电容·····	94
31. 关于“小弯儿”·····	96
32. 星角电路故障例·····	96
33. 中点电位·····	97
34. 单相产生三相的电路·····	97
35. 电阻公式的微观解释·····	99
36. 欧姆定律的微观解释·····	99
37. 几道直流题·····	100
38. 电子电路的电位计算·····	101
39. 有关线路一题·····	103
40. 高压线上的鸟·····	103
41. 非正弦交流电路·····	103
(1) 电路中非正弦量的来源·····	103
(2) 非正弦量的分析方法·····	104
(3) 非正弦量的有效值·····	105
(4) 非正弦电路的阻抗·····	105
(5) 非正弦交流电路功率·····	106
(6) 等效正弦波·····	106
(7) 对称三相交流量中高次谐波的相位关系·····	106
(8) 对称三相非正弦交流电路特点·····	108
42. 线性电路中的过渡过程·····	111
(1) 电路产生过渡过程的原因·····	111
(2) 换路定律·····	111
(3) 初始值·····	112
(4) 时间常数·····	112
(5) “三要素法”·····	112
(6) 只有一个储能元件电路的过渡过程·····	115

二、尽量结合实践 .....	116
1. 有关日光灯 .....	116
2. 瓦表法测线圈 L 值 .....	117
3. 一个故障检查例 .....	118
4. 关于灯泡 .....	119
5. 四灯与无数灯问题 .....	121
6. 简谈微波炉 .....	122
7. 如何测电机的转速和首尾端 .....	122
8. 关于装设临时接地线 .....	124
9. 月平均功率因数计算 .....	125
三、讲求一些学习方法 .....	125
1. 一些口诀 .....	125
2. 电路三元件比较 .....	126
3. 单相交流电路分析套路的补充 .....	127
4. 数量级 .....	127
5. 物理量 .....	127
6. 希腊字母 .....	128
7. 电力主要发明历程 .....	129
四、稍稍来些趣味性 .....	130
1. 北京的有电 .....	130
2. 《宇宙与人》摘 .....	130
3. 关于摩擦生电 .....	131
4. 电阻并联“诺模图” .....	131
5. 功率计算“诺模图” .....	133
6. 能量总是守恒的 .....	133
7. 钢珠是正转还是倒转 .....	133
8. 想“看见”交流电 .....	133
9. 关于“三色” .....	134
10. 琥珀 .....	134
11. 人体的组成 .....	134
12. 自由基 .....	135
13. 纳米 .....	135
14. 核力及其它 .....	135
15. 闪电 .....	136
16. 一些比喻 .....	136
五、再做一些练习好吗 .....	138
六、技能鉴定题库选摘 .....	166

## 一、静电场

### 1. 物质的电结构

我们把任何物质切分成特小的小粒,切到最后,发现再切就已经不是那种物质了。比如水,切得太小就变成氢和氧了。在不失去物质性质的前提下,组成物质的最小粒子叫分子。分子由更小的粒子原子组成。在《现代汉语词典》的最后一页有一张“元素周期表”,其中标出了109种不同的原子。目前“可知宇宙”的物质基本都是由这109种原子组成的。比如水,由氢和氧组成;比如食盐,由氯和钠组成等等。

组成人体的原子也都是这109种里的物质,人体中百分之六七十是水,再有是碳。组成骨骼的是钙,组成毛发、指甲的主要是氮。还有组成其他部分的磷、硫、铁等。人体中的铁可打五根铁钉,人体中的脂肪可做七块肥皂,人体中的钙,合水可刷一间10平米的小屋。人体中的硫可做2000根火柴。可谓成本不高,但因组合复杂,所以功能奇妙。

原子的中央是一个大一点的粒子叫原子核,周围有好多很小的粒子围着原子核高速转动,这些小粒子叫电子。电子的数目决定着这种物质是什么,比如有一个电子的原子是氢,8个电子是氧等。原子核直径为 $20 \times 10^{-12} \text{m}$ ,电子直径为 $3 \times 10^{-12} \text{m}$ ,原子核与电子的距离为 $50000 \times 10^{-12} \text{m}$ 。

宇宙间有一种能吸引轻小物体的物质性质叫带电,带电的小粒叫电荷。物体带电叫做带电荷了,电荷有正、负两种,同性相斥、异性相吸,也就是说带电体之间有着力的作用。

原子的原子核是带正电的,电子是带负电的,这是个客观存在的事实。每个电子带的电量是相同的,电子数目大,整体电量就多。不管电子多少,原子核带的正电和电子带的整体负电数总是相等。正因为如此,虽然各个物体的原子里都有电,但对外却不显电性,即对轻小物体、带电小粒不吸也不斥。

如果物体整体的电子数有了变化,多电子的物体显负电性;少电子的物体显正电性。电荷既不能创造,也不能消灭,只能在物体间转移,这叫电荷守恒定律。

如果再把离原子核较远的一些不大受原子核束缚的自由电子引到外面的导线中去,让它通过用电器发挥效应,那么产生电力工业的基础就有了思路了。但不是所有物体都有那么多的自由电子的,有些物质的电子是目前还引不出来的,比如干木头。而金属的电子就能够催动起来。人类最早使用化学能,以燃烧为主,是分子能。后来使用原子能。电子能我们叫它电能,介于分子能和原子能之间。电能虽然能量没有原子能大,但使用方便,没有什么污染。

### 2. 导体、绝缘体和半导体

根据物质中自由电子的多少,分为导体、绝缘体和半导体。比如金属,可列为导体。其中的自由电子多,可以让自由电子在金属中运动。在一立方厘米的铜中,有 $8 \times 10^{32}$ 个自由电子。

如果原子核对电子的束缚力很强,物质中没有多少自由电子,这种物质叫绝缘体。比如干木头、陶瓷、橡胶等。当然绝缘是相对于电压而言的,在低电压下是绝缘体的,当电压升高时它就可能被击穿而导电。

介于导体和绝缘体之间的叫半导体,如硅、锗、硒、氧化铜等。

### 3. 库仑定律

很小的带电粒子或极小的带电物体叫点电荷,两个点电荷之间的作用力和它们带的电量及互相的距离,以及处在什么介质环境中有关。介质指电荷周围的绝缘物质。

用  $q$  代表电荷的电量,电量是带电体带电荷的多少(电子的多少),单位是库仑(C)(一库仑电量包括 600 亿亿个电子的电量),两电荷间距离用  $r$  表示,单位为米(m)。再乘上一个比例常数  $K$ ,

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

其中  $\epsilon_0$  叫真空介电系数,  $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} = 8.86 \times 10^{-12}$  法拉/米

则  $K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$  (牛米<sup>2</sup>/库<sup>2</sup>)

于是库仑定律的公式为:  $F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$

其中  $F$  是两电荷间的作用力,单位是牛顿(N)

此定律仅适用于点电荷的情况,较大物体需分为若干点,最后求合力才成。

#### 4. 电场和电场强度

带电体周围的空间叫**电场**。处在这个空间里的电荷要受到带电体的作用力。场,是一种特殊的物质。比如我们在地球上,就受到地球重力场的作用。我们在暖气片周围,受到暖气片“热场”的作用。静止电荷周围的电场叫**静电场**。在电场作用下,电场中的电荷受到**电场力**,电场力使电荷运动,电场做功。电场是具有能量的。

要想知道电场中各点的性质,比如对电场中电荷作用力大小、方向等,可以在电场中放一个很小的试验电荷,受到的电场力为  $F$ ,单位为牛。试验电荷所带电量为  $q$ ,单位库仑。对于电场中一个确定的点, $F$  和  $q$  的比值是一个定数,叫**电场强度**,用  $E$  表示,单位为牛/库(或伏/米)。公式如下:

$$E = \frac{F}{q}$$

电场强度  $E$  的方向是电场力  $F$  的方向。

## 二、电路的基本知识和基本定律

### 1. 电路及电路图

我们把自由电子引出来,沿着导线到用电器里去,电子所走的通道就是电路。比如,一节电池、一些导线、一个小开关、一个小灯泡就组成了电路(见图 1)。

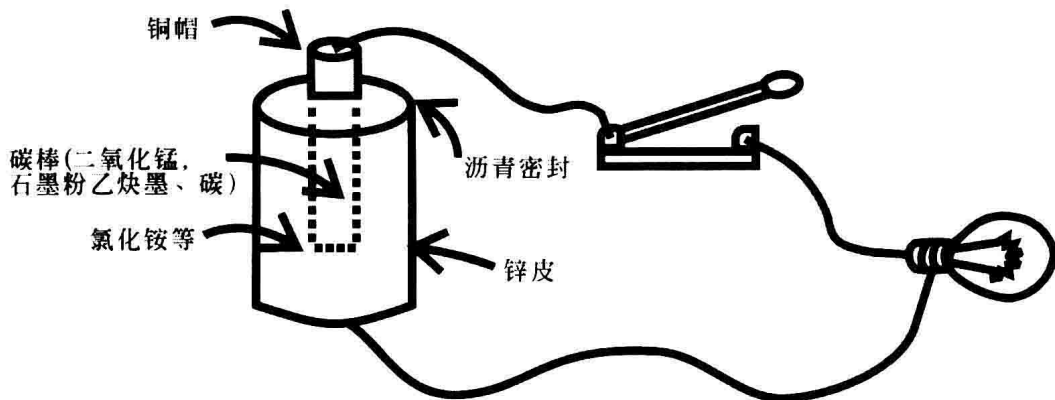


图 1

电路包括电源(电池、发电机等)、导线、负载(用电器)和控制电器(开关等)。电路无论复杂、简单,都至少由这四部分组成的。

通常我们用电路图来表达电路(见图2),要用到一些相关的符号和字母标示(见图3),除查用电工手册外,常用符号和标示应该记住。

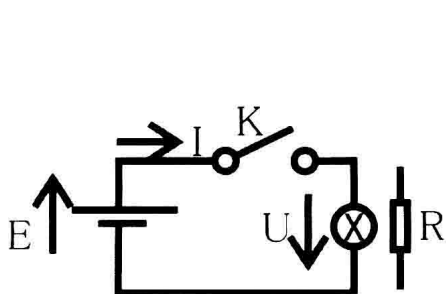


图2

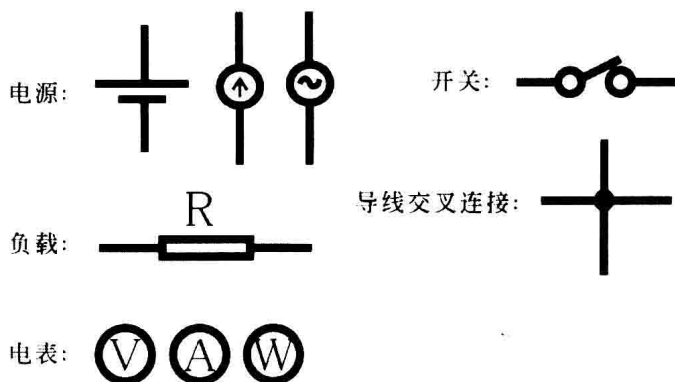


图3

## 2. 电流、电压及其参考方向

很多很多的“小水球”在一起沿着一个沟道向前跑,叫水流、河流。很多的人在大街上走形成人流。很多的车在马路上形成车流。那么,大量的电子一起在导线里跑就形成电流,电流是电荷有规则的定向运动。金属导体中跑动的是自由电子,液体、气体中定向运动的是正、负离子。

我们工作中常说的电流是指**电流强度**,即每秒钟通过导体横截面的电量。电量就是电子的多少,电荷的多少。

电流强度用  $I$  表示,电量用  $Q$  表示(单位库仑),时间用  $t$  表示(单位秒)。公式如下:

$$I = \frac{Q}{t}$$

其中,“库仑每秒”这个单位叫安培,简称为安,用  $A$  表示。

当  $Q$  相同, $t$  小的则  $I$  大,说明电子跑得快的电流大。

在这里,我们顺便把电工中常用物理量的大小单位介绍一下。比如电流,常用的是  $A$ ,大些的单位是千安( $kA$ ),小的有毫安( $mA$ )、微安( $\mu A$ ,  $\mu$  读音“米油”)。基本上是以 1000 来进位。

电工常用物理量由大到小的千进位如下:

M	k	本位 1	m	$\mu$	p
兆	千		毫	微	皮
(百万)			$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{1000000}$	1 的后面有 12 个 0 再分之一
1000000	1000				

其中, $\mu$  和  $p$  之间还有个  $n$ , (1 的后面 9 个 0 再分之 1) 叫纳,电工中基本不用。

电流方向规定为**正电荷的运动方向**。在固体里是电子运动,是负电荷运动。在液体、气体里正电荷也运动。规定为正电荷运动方向对计算、分析并没有影响。

电流分为直流、交流、脉动等种类,能量的传输、转换靠电流来实现。

我们现在来介绍电子为什么会运动起来,也就是电流是怎么形成的。我们回到电场对电荷有作用力的概念上来。

用两片平行极板,分别加上正、负电荷,这就形成了一个电场(见图4)。在这个电场中放上一个试验电荷,通常用正电荷。这个正电荷带电一库仑,可称为单位正电荷。它必然受到电场的作用力,即电场力。电场力推动电荷运动就要做功,功的大小反映了电场的强弱性质,而且电荷也因此而运动了起来。

我们可以设想,导线是个电场,一头正,一头负。导线里的电子就会运动形成电流。下面,把以上的事实归纳出一个定义:

在数量上,电场中电场力把单位正电荷由一点推到另一点所做的功叫**电压**。电压符号为  $U$ ,单位为伏特,简称为伏,伏特符号为  $V$ 。实用中有  $kV$ (千伏)、 $mV$ (毫伏)、 $\mu V$ (微伏)。

比如  $1.5V$ ,即以  $1.5V$  为电源,通过 1 库仑电量,电流做功为  $1.5J$ , $J$  为焦耳。

也可用公式表示:  $U = \frac{A}{q} = \frac{fL_{ab}}{q}$  ( $A$ :功  $q$ :电量  $f$ :电场力  $L_{ab}$ : $ab$  距离)

我们可以在电路中找一个零值点,叫参考点。比如大地就是一个参考点,因为大地可以吸收大量的电荷。而在电路中不一定用大地,可以任选。上面那个平行极板可以选正极板为参考点,也可以选负,也可选电场中任一点。我们把电压的定义再“变化”一下:

在数量上,电场中电场力把单位正电荷由一点推到参考点所做的功叫**电位**。电位符号是  $\varphi$ ( $\varphi$  音“夫爱”),单位为伏特。

根据电压的定义,电压说的是电路任两点间的电场做功状况,即电场能量的状况。根据电位的定义,由这两点分别做功到参考点有两个电位,清楚看出,这两个电位的差正是这两点间的电压。所以电压也叫**电位差**:

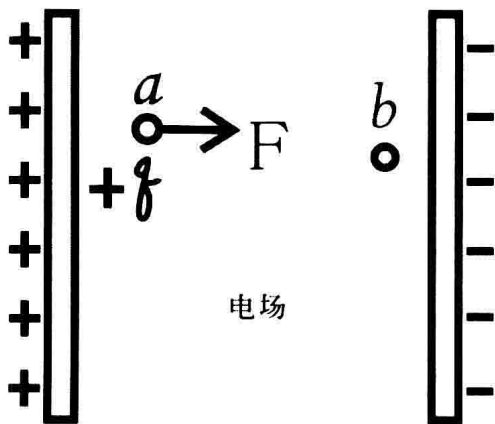
$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b \text{ 或 } U_{ba} = \varphi_b - \varphi_a$$

参考点改变了,电位就要改变,电压不变。

电路接在电源的两端,这两端间是个电场,这两端间有电压。于是,电流由电源的正极出发,经过电器回到电源的负极,规定**电流方向是正电荷运动的方向**。

电流绕了一圈,叫作一个回路,回路是封闭的。有回路是电流运动的条件之一。课堂上有时用水流比喻电流,但在回路问题上水和电并不相同,水塔、水管、下水道并没有形成固定的封闭回路。

在电工学中往往人为设定正方向。对具有方向的物理量,选一个决定其数值为正的标准方向,叫**正方向**。在已知的情况下,选正方向和物理量的实际方向当然是一致的。在未知的情况下,比如在计算结果出来之前,正方向是任选的。所算结果为正值,即说明实际方向和正方向一致,得负即反。正方向在电路图中以矢号表示(见图5)。



$F$  : 电场力

$q$  : 单位正电荷

图4

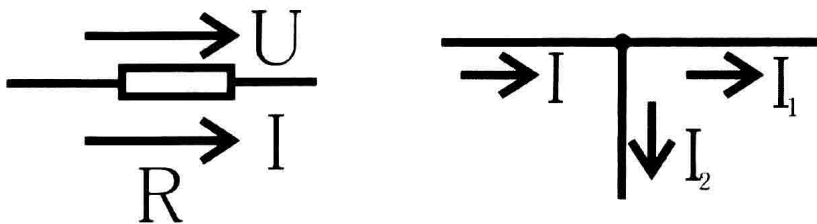


图 5

### 3. 电动势

把其他能量转换为电能的设备叫**电源**。电池、蓄电池、发电机全是电源。由于化学反应或电磁感应等使电源中产生一个电源力,推动电源内电荷的运动。我们再下一个定义:

电源内,电源力把电位正电荷由负极推到正极所做的功,叫**电动势**。电动势符号为  $E$ ,单位为伏。电动势反映了电源强弱的性质,是电路产生电压、电流的总动力。也可以说是电源内部建立电位差的本领,是靠化学能或机械能产生电压的能力。如果电动势和电流方向相反,这个元件是起负载作用,阻碍电流流动。这个电动势叫反电动势。充电电池,运转电动机是具有反电动势的负载。

把电压、电流不随时间变化的电路叫**直流电路**,直流电路中,电压由高电位指向低电位,电流由高电位流向低电位,电动势由负极指向正极。可知,电压、电流的正方向是一致的,电压和电动势的正方向是相反的。当  $U$  和  $E$  方向相反时,写成  $U = E$ ,若方向相同时写成  $U = -E$ (见图 6)。

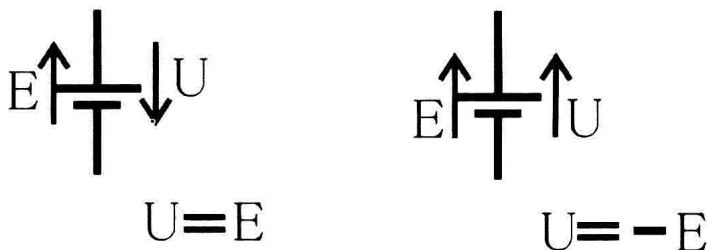


图 6

### 4. 电阻和欧姆定律

电流在电路中流动受动的阻力叫**电阻**,符号为  $R$ ,单位是欧姆( $\Omega$ )简称为欧。还有  $k\Omega$ (千欧)、 $M\Omega$ (兆欧)。

导体的电阻取决于几个方面:导线越长,电阻越大;导线越细,电阻越大;不同材料,电阻不同。摄氏 20 度时的电阻可用公式计算,表示为:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

其中, $L$ 代表导线长度,单位为米; $S$ 代表导线截面,单位为平方毫米; $\rho$ 代表电阻系数( $\rho$ 音“日欧”),单位为  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ 。是 1 米长、1 平方毫米粗导线的电阻值。

常用的导线,铜的电阻系数  $\rho = 0.0175\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ,铝的  $\rho = 0.0283\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ,电阻系数也叫电阻率,它的另一种单位是  $\Omega\text{m}$ ,可以化一下:

$$\Omega\text{m} \rightarrow \Omega \times 1000\text{mm} \rightarrow \Omega \times 1000 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}} \rightarrow \Omega \times 10^6 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\text{即 } 1\Omega\text{m} = 10^6 \Omega\text{mm}^2/\text{m} \quad 1\Omega\text{mm}^2/\text{m} = 10^{-6}\Omega\text{m}$$

比如铜,  $\rho = 1.75 \times 10^{-8}\Omega\text{m}$

一些物质的电阻系数如下:

导体:金属、合金  $1\Omega\text{mm}^2/\text{m}$  以下

半导体: $10 \sim 12^{12}\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

绝缘体:聚氯乙烯  $10^{17} \sim 10^{19}\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

硬橡胶  $10^{20} \sim 10^{22}\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

变压器油  $10^{16} \sim 10^{19}\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

干木材  $10^{12} \sim 10^{13}\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

水:  $10^6\Omega\text{m}$ (纯水不导电)

在环境温度不同的时候,温度高,金属的电阻会变大;一些非金属及半导体或电解液的电阻会变小。可查电阻温度系数,用公式计算: $R_2 = R_1 + \alpha R_1 (t_2 - t_1)$

其中 $\alpha$ 为电阻温度系数,是个百分数。 $R_2$ 和 $R_1$ 是温度在 $t_2$ 和 $t_1$ 时的电阻值。(此公式用于 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ ,此时金属电阻与温度是成正比的, $100^\circ\text{C}$ 以上用这个公式算将不准确。)把灯泡摘下来用万用量表是40多欧姆,点亮了用下面的欧姆定律算是1000多欧姆,主要就是温度升高的原因。

**部分电路欧姆定律:**电阻上通过的电流与电阻两端的电压成正比,与电阻成反比。公式为: $I = \frac{U}{R}$  派生出的公式有: $U = IR$   $R = \frac{U}{I}$

其中, $U$ 、 $I$ 、 $R$ 的单位分别为 $\text{V}$ 、 $\text{A}$ 、 $\Omega$ 。

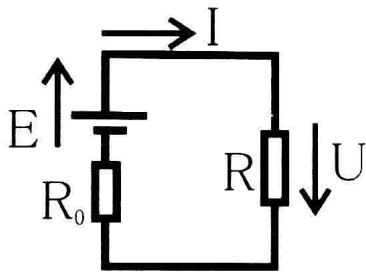
部分电路,指电路规模多小都成,一个电阻、半个电阻、百分之一一个电阻、公式关系都成立。其中,电压、电流、电阻必须是一个统一的关系,必须三对应。

**全电路欧姆定律:**这里所说全电路,指带有电源的单回路。电源包括一个电动势,一个电源的内部电阻,叫内阻。电路如图(见图7):图中物理量的关系为电路中的电流与电动势成正比,与电源内阻与外电阻的和成反比。公式为:

$$I = \frac{E}{R_0 + R}$$

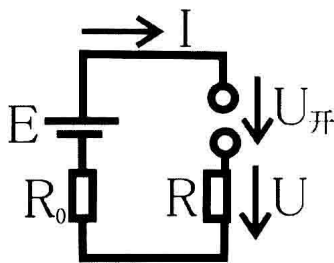
也可写成 $E = IR_0 + IR = U_0 + U$

这种正常的工作状态,叫**通路**(见图7)。因有内压降 $IR_0$ ,故通路时 $U$ 总是小于 $E$ 。



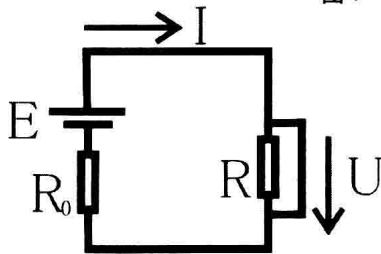
通路

图7



开路

图8



短路

图9

另外还有两种电路状态,一个是**开路**(见图8),即正常开关打开或故障断线等情况。物



理量关系是:

$$I=0 \quad U_{\text{开}}=E \quad U=0$$

还一种状态是**短路**(见图9),即用一段电阻非常小的导线连接电路中的某一部分。另外,象打火、放弧等也形成短路。图中表示的短路,是把负载短路了,在这里也就是把电源短路了。物理量关系为:

$$U=0 \quad I=\frac{E}{R_0} \quad \text{比如 } E=6\text{V} \quad R_0=0.1\Omega \quad \text{则 } I=\frac{6}{0.1}=60\text{A}$$

这时的电流是较大的,电路保险丝是要断的,空开是要跳的。但如果不是短电源,比如只短路电路的极小的一部分,电流也不一定大。

这里顺便说一下,有四句话:“有压就有流,有流就有压;没压就没流,没流就没压。”(“压”即电压,“流”即电流。)看似有道理,其实都不一定。电路开路时,有压没有流。电路短路时,短路线上有流,被短电阻上没有压。一条导线因几乎没有电阻,它上面几乎没有电压,可是在整体电路作用下,会有电流通过。

## 5. 电功率和电能

电场具有能量,可以做功,做的是电功。每秒钟做的电功就叫**电功率**,符号是P。电功率取决于两个方面,一是电压,一是电流。公式为:

$P=UI$  U的单位用V,I的单位用A,P的单位叫瓦特,简称为瓦,符号是W。还有kW(千瓦)、MW(兆瓦)、mW(毫瓦)。

功率公式借助欧姆定律可以变换为:

$P=UI=I^2R=U^2/R$ ,  $I^2R$  可用于串联,  $U^2/R$  可用于并联。后一公式还可变换为  $R=U^2/P$ , 用来可求额定电压、功率下的电阻。

**例:**两电灯,额定电压为220V,额定功率分别为40W和100W,求其电阻。

$$\text{解: } R_{40} = \frac{220^2}{40} = 1210\Omega$$

$$R_{100} = \frac{220^2}{100} = 484\Omega$$

在电器上都标有额定功率,即在规定的电压下使用时,技术、经济、安全指标最好时的功率。灯泡上标着40W,220V,即在220V电压下,灯泡发挥出40W的效能。当此灯用于110V电压时,电压为原来的一半,因为功率与电压平方成正比,功率将变为原来的四分之一,即10W。

光能、热能、动能等可由电流通过负载做功转化而来,电功与U、I、t成正比(t为用电时间)。

**电能**,数值上等于电功,用功率乘上使用时间计算。 $A=Pt$ 。为了方便,P用kW计,t用小时计,小时符号是h。电能单位就是kWh。

计算电能时,把设备的瓦数除以一干,变成千瓦,乘上使用的小时数。按月核算时,乘上30天。注意,每样电器分算电能后再加起来,因为各个电器的使用时间是不同的。

**例:**有以下用电器,电动机为10kW,使用时间每天8小时;有40W的电灯10盏,每天用4小时。求它们的月消耗电能。

**解:**电动机  $10 \times 8 \times 30 = 2400\text{kWh}$

$$\text{电灯 } \frac{40 \times 10}{1000} \times 4 \times 30 = 48\text{kWh}$$