

医用X綫机学

山东省革命委员会卫生局教材编写组编

一九七三年六月

毛主席语录

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

要提倡唯物辩证法，反对形而上学和烦琐哲学。

实践、认识、再实践、再认识，这种形式，循环往复以至无穷，而实践和认识之每一循环的内容，都比较地进到了高一级的程度。

中国医药学是一个伟大的宝库，应当努力发掘，加以提高。

备战、备荒、为人民。

把医疗卫生工作的重点放到农村去。

前 言

遵照毛主席关于“**学制要缩短**”、“**教材要彻底改革**”的伟大教导，在“九大”团结、胜利路线的指引下，在批修整风的基础上，我们组织全省医学专科学校和中等医药学校的部分教师，成立了医用教材编写组，编写了一套二年制医疗专科试用教材后，又陆续编写了二年制中等医药学校的检验、药剂、放射三个专业的教材，其中放射专业用的有：解剖学、医用X线机学、X线诊断学，X线投照技术。

为使教材内容做到理论与实践的统一，编写组的同志认真学习了毛主席有关教育革命的论述，以毛泽东思想为武器，狠批了刘少奇一类骗子散布的反动谬论，深入进行调查研究，认真总结无产阶级教育革命的经验，特别是近年来培养工农兵学员的实践经验，制订了统一的教学计划和教学大纲。在编写过程中，他们到工厂、农村、学校、基层卫生单位和兄弟省、市部分医药院校广泛征求意见，反复进行修改，并将部分章节对工农兵学员进行了试讲，在此基础上，又邀请兄弟省和我省部分医药学校和有关卫生医疗防治机构的部分教师和专业技术人员，进行了审查和修改，在此，对大力支持编写工作的单位和同志表示衷心感谢。

由于我们对马列主义、毛泽东思想学习不够，教学实践不多，又加时间仓促，缺点和错误在所难免，敬望广大革命师生和医务工作者提出宝贵意见，以便再版时修订。

山东省革命委员会卫生局

一九七三年六月

目 录

第一篇 电工知识

第一章	电的基本知识	(1)
第一节	电荷.....	(1)
第二节	电场.....	(2)
第三节	电压 电位.....	(4)
第二章	直流电路	(5)
第一节	电流.....	(5)
第二节	导体的电阻 电阻器.....	(6)
第三节	欧姆定律.....	(7)
第四节	电阻的串联与并联.....	(8)
第五节	全电路欧姆定律.....	(10)
第六节	电功和电功率.....	(12)
第七节	电流的热效应.....	(13)
第三章	电磁	(14)
第一节	磁的一般知识.....	(14)
第二节	电流的磁场.....	(14)
第三节	磁通和磁通密度.....	(17)
第四节	磁动势.....	(18)
第五节	铁磁材料的一般特性.....	(18)
第六节	磁场中的载流导体.....	(19)
第四章	电磁感应	(22)
第一节	电磁感应现象.....	(22)
第二节	感应电动势的方向.....	(22)
第三节	感应电动势的大小.....	(24)
第四节	涡流.....	(25)
第五节	自感.....	(26)
第五章	单相交流电路	(28)
第一节	正弦交流电的产生.....	(29)
第二节	交流电的相位.....	(31)
第三节	交流电的有效值.....	(32)
第四节	交流电路中的电阻.....	(33)

第五节	交流电路中的电感	(34)
第六节	交流电路中的电容	(36)
第七节	电阻和电感的串联电路	(44)
第八节	电阻、电感与电容的串联电路	(47)
第六章	三相交流电路	(50)
第一节	三相交流电	(50)
第二节	星形接法	(51)
第三节	三角形接法	(53)
第七章	电工测量	(54)
第一节	直读式仪表的分类与基本构造	(54)
第二节	磁电式仪表	(56)
第三节	电磁式仪表	(58)
第四节	万用表	(59)
第八章	变压器	(62)
第一节	单相变压器的构造和工作原理	(62)
第二节	变压器的使用	(65)
第三节	变压器在X线机中的应用	(67)
第九章	整流和放大	(70)
第一节	真空二极管	(70)
第二节	热阴极充气二极管	(72)
第三节	晶体二极管	(74)
第四节	硒整流元件	(77)
第五节	单相整流电路	(79)
第六节	整流滤波器	(80)
第七节	稳压管	(82)
第八节	电子三极管	(83)
第九节	电子时间继电器	(86)

第二篇 X线机结构

第十章	X线的基本知识	(89)
第一节	X线的发现及性质	(89)
第二节	X线产生及在医学上的应用原理	(90)
第三节	X线机概述及分类	(90)
第十一章	X线管	(92)
第一节	X线管构造	(92)
第二节	X线管的特性与规格	(96)
第三节	旋转阳极X线管	(99)

第四节	X线管的冷却	(100)
第五节	X线管的管套	(102)
第六节	X线管的检验和使用维护	(104)
第十二章	高压整流管	(106)
第一节	高压整流管的作用及构造	(106)
第二节	高压整流管的特性和规格	(107)
第十三章	高压电缆	(110)
第一节	高压电缆的作用和构造	(110)
第二节	高压电缆的插头和插座	(111)
第十四章	变压器	(112)
第一节	自耦变压器	(112)
第二节	高压变压器	(114)
第三节	灯丝变压器	(116)
第四节	磁饱和谐振稳压器	(117)
第五节	磁放大器	(121)
第十五章	高压交换闸及高压电容器	(123)
第一节	高压交换闸	(123)
第二节	高压电容器	(124)
第十六章	低压控制元件	(125)
第一节	非自动电器	(125)
第二节	电磁接触器	(126)
第三节	电磁继电器	(127)
第四节	限时器	(131)
第五节	延时器	(137)
第六节	旋转阳极启动器	(137)
第七节	电动床电路	(138)
第十七章	辅助设备	(140)
第一节	滤线器	(140)
第二节	体层摄影装置	(143)
第十八章	X线机电路结构	(145)
第一节	对电路的基本要求	(146)
第二节	X线机常用电路符号	(146)
第十九章	低压电路结构	(148)
第一节	电源输入电路	(148)
第二节	高压变压器初级电路	(150)
第三节	X线管灯丝变压器初级电路	(156)
第四节	整流管灯丝变压器初级电路	(160)

第五节	控制电路	(161)
第二十章	高压整流电路及管电流测量电路	(165)
第一节	自整流电路	(165)
第二节	半波及全波整流电路	(167)
第三节	电容器倍压整流电路	(172)
第二十一章	全机电路结构举例	(174)
第一节	F30型X线机	(174)
第二节	KE~200型X线机	(174)
第二十二章	常见X线机电路分析	(180)
第一节	F10型X线机	(180)
第二节	70~30型X线机	(185)
第三节	F44~I型X线机	(188)
第四节	F30~II B型X线机	(194)
第五节	FZ.X03~200/100型X线机	(207)
第六节	KC~400型X线机	(219)
第七节	F34~I型深部治疗X线机	(234)

第三篇 X线机安装与修理

第二十三章	X线机安装与调整	(251)
第一节	安装前的准备工作	(251)
第二节	供电电源	(258)
第三节	接地装置	(261)
第四节	机器的安装	(263)
第五节	试验与调整	(265)
第二十四章	X线机的维护与检修	(273)
第一节	X线机的维护要领与使用原则	(273)
第二节	故障检查方法及注意事项	(275)
第三节	常见故障现象及产生原因	(276)
第四节	由现象推论故障	(282)
第二十五章	元件修理方法	(286)
第一节	修理原则	(286)
第二节	继电器及接触器的修理	(286)
第三节	高压电缆的修理	(287)
附录一	电工实验	(293)
附录二	HDC~3型卧位体层摄影装置	(304)
附录三	各种字母表	(313)

第一章 电的基本知识

第一节 电 荷

在自然界中，大部分物质都是由很小的分子组成，而分子又是由更小的原子组成。原子是由一定数量的电子和原子核组成。电子很小，但很活泼，本身带有负电荷，用“-”符号表示。电子高速的围绕着原子核旋转，就好象地球和其他行星围绕太阳旋转一样。但由于各种物质的原子结构不相同，物质所表现的特性也就不相同。氢的原子结构最简单，只有一个电子围绕原子核旋转如图1—1。铜原子结构就较复杂，有29个电子在不同轨道上围绕原子核旋转，图1—2。

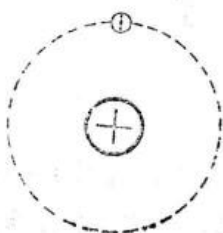


图 1—1 氢原子结构

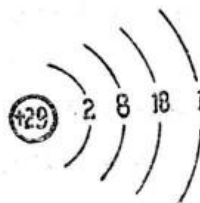


图 1—2 铜原子结构

在某些金属导体中，原子最外层电子受原子核引力较小，容易脱离原子核的引力范围，在原子间做无规则的运动，成为自由电子。而参与导电的就是这些自由电子；自由电子越多，导电能力越强，因此这些金属是电的良导体，例如铜、铝、铁等等。空气、水、煤油、玻璃、云母、橡胶、电木、瓷器等，其最外层电子极难脱离原子核的引力范围，自由电子极少，因此导电能力很差，称为绝缘体（又叫电介质）。还有些物质，它们的导电能力介于导体和绝缘体之间，称为半导体，例如锗、硅等。

我们已经知道，同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引，因此把一个不带电的绝缘了的导体乙，靠近带电体甲时，导体乙上的电荷便出现有规则的排列，如图1—3，这个现象叫做静电感应现象。

实验中发现，导体乙接近甲的一端，带与导体甲异种电荷，远离甲的一端，带与导体甲同种电荷。这两种电荷在数量上总是相等。若将带电体甲取走，导体乙上的正负电荷立即中和。

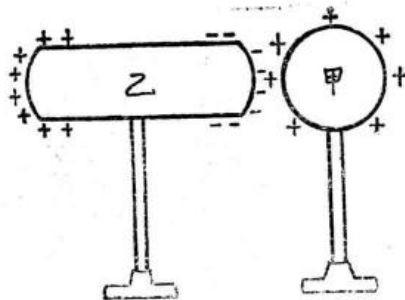


图 1—3 静电感应

电荷的多少叫做电量。电量的单位是“库仑”， 6.25×10^{18} 个电子所带的电量为1库仑。

第二节 电 场

把一个带电小球悬挂起来，放到带电体周围某点时，小球将受到吸引或排斥，也就是说小球受到了作用力。而且即是在真空中，小球也同样受到带电体的作用，这就证明带电体周围存在一个作用力空间，这个作用力空间是物质的一种特殊形式，它不是由原子分子组成的，小球就是受到这种特殊物质的作用力。我们把存在于电荷周围的这种特殊形式的物质，叫做电场。电荷之间的作用就是通过电场来实现。

电场和电荷是不可分割的，只要有电荷存在，它的周围就有电场存在。

表示电场强弱性质的量叫电场强度，简称场强。电场强度是描述电场性质的一个重要方面，为了研究问题方便起见，常用电力线来描绘电场中各点的强度的大小和方向。所谓电力线，是虚构的曲线，线上的每一点的切线方向，就是该点的电场强度方向，如图1—4。

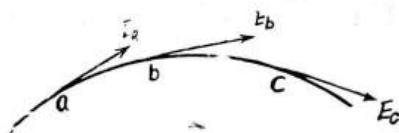
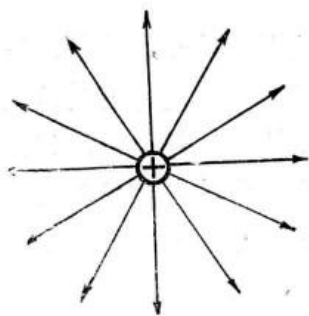
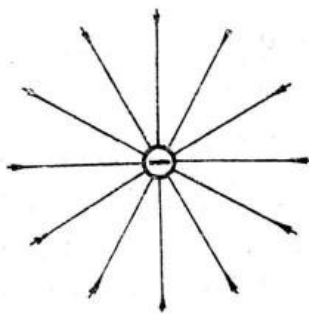


图 1—4 电力线

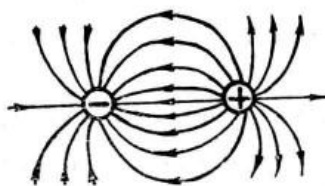
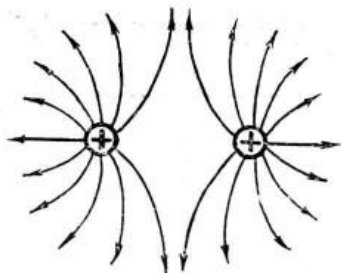
实验可以发现，各种电荷的电力线分布形态并不相同，如图1—5。但是，电力线总是从正电荷出发终止于负电荷，不闭合，不中断，不相交。另外，电力线的疏密程度还表征电场中各点的场强大小，电力线越密的地方，电场越强；电力线越疏的地方，电场越弱。



a 正电荷电力线



b 负电荷电力线



c、d 两个电荷的电力线

图 1—5 几种电荷电力线示意图

如果电场内每一点的场强的大小和方向都相同，那么，这个电场就叫做匀强电场。在匀强电场内，电力线分布是疏密均匀互相平行的直线，如图1—6。



图1—6 两个带有异种电荷的平行金属板间的匀强电场

电场对场内的电荷有作用力（称电场力），可使电荷移动而对电荷做功，说明电场具有能量，因此电场已被广泛的应用。例如，静电去尘，静电植绒，静电喷涂等；当前医学上的静电X线摄影技术中，静电原理也被采用。其中静电喷涂工艺是我国工人阶级、干部、技术人员相结合，认真贯彻毛主席科技路线，发奋图强，创造的新工艺。例塑料粉末的静电喷涂工艺，设备简单，操作安全方便，粉末沉积率高，分布均匀，附着力强；同时改善了职工的劳动卫生条件，减少职业病，提高了劳动生产率。因此这项工艺，目前正在被推广。

塑料粉末的静电喷涂基本原理，是利用高压静电造成电场，再将被喷涂工件接正高压（接地），塑料粉末经送粉系统输入喷枪，再经接负高压喷杯喷出，使粉末带负电荷，在静电场的作用下，向工件飞去，在工件表面沉积成均匀粉末层，再经焙烘塑化，熔融流平，形成涂层。图1—7是静电喷涂示意图。

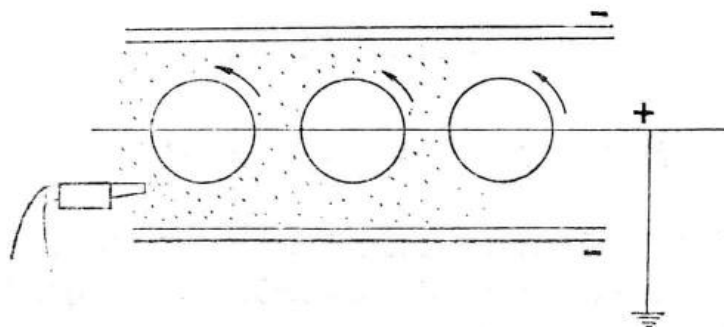


图1—7 静电喷涂示意图

目前汽车制造工业中的汽车外壳的静电喷漆也是利用以上原理。

但是，事物总是一分为二的，应该注意到电场有时对我们又是有害的，它可以干扰其他电器设备的正常工作，为了排除这种干扰，常用的最简单的办法是静电屏蔽。

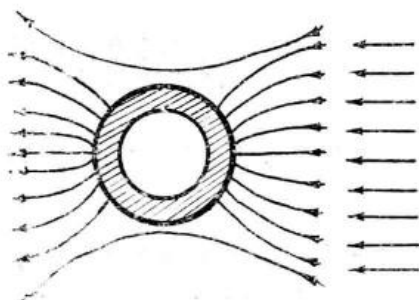


图1—8 导体放在电场中，电力线不能进入导体内部

静电屏蔽是利用导体在电场中处于静电平衡状态（导体放入电场时，导体上自由电荷停止定向运动后的状态）时内部电场强度为零的事实。这是人们在长期生产斗争中总结出来的。如果把一个空心的导体放入电场以后，外电场是不能进入导体空腔内，如图1—8所示，那么，放在导体空腔内的物体就不会受外电场

的影响。另一方面，我们还可以使任何带电体不去影响其他物体，例把一个带正电物体A，放在空心金属球内，则金属球内表面感应负电荷，金属球外表面感应等量正电荷，如图1—9(a)所示。如果把金属球接地，则外表面正电荷消失，如图1—9(b)所示，这样球内电荷不会对外界有影响；这种由金属外壳接地，隔离了它内腔的带电体（或不带电体），与外界带电体（或不带电体）的相互影响，叫做静电屏蔽。静电屏蔽在工业上有着广泛的应用，如在电缆外面包一层铁皮或者铁纱网，某些电讯设备电子管外的金属套，都是利用静电屏蔽防止外界电场的干扰。在高压工程上常用的电网，也是利用静电屏蔽来隔离高压设备，防止发生触电事故。

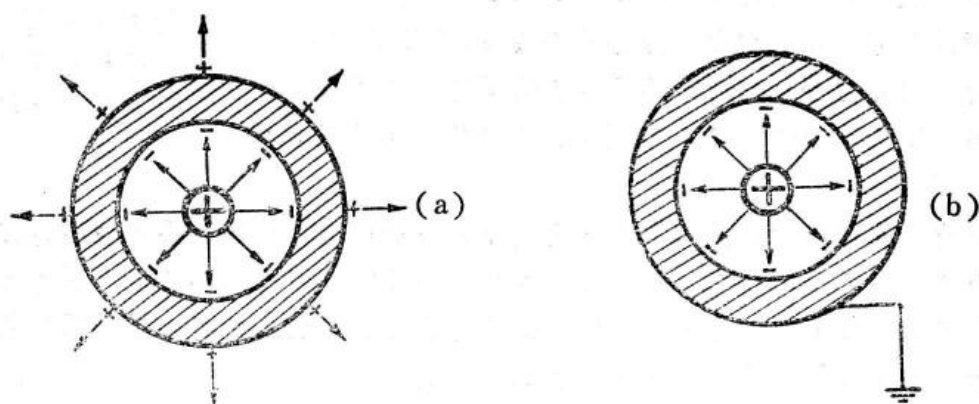


图 1—9 接地金属球的屏蔽作用

第三节 电压、电位

水有水位，水位有高有低，两水位之差称为水位差。有水位差，水才可以流动做功。同样电也有电位，电位也有高低，而带正电荷物体所具有的电位比带负电荷物体所具有的电位高，两电位之差称为电位差或称电压。

正电荷由高电位移向低电位过程中，电场力对正电荷做功，假设电荷电量为 q ，电场力使正电荷由 a 点移动到 b 点所做功为 A_{ab} ，如图1—10所示。 A_{ab} 与 q 的比值表示为 a 、 b 两点间的电压或电位差，用 U 表示，则有

$$U = \frac{A_{ab}}{q}$$

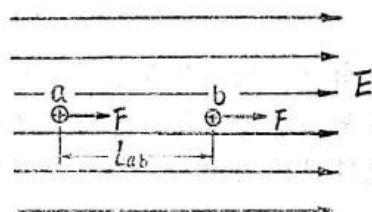


图 1—10 在电场力作用下电荷的移动

可见 a 、 b 两点间的电位差，在数值上等于电场力由 a 点到 b 点移动单位正电荷所做的功。

通常我们规定大地的电位为零电位，正如水位的高低是以海平面为标准一样，电位的高低总是以地电位为标准。因此某点的电位就是指该点与大地的电压。我们所用220伏特市电，就是指与大地电位差为220伏特。

比大地高的电位称为正电位，比大地低的电位称为负电位。

电位的单位与电位差或电压相同，都是伏特或千伏特。

具有一定电位的物体，如果用导线把它和大地联接起来，该物体的电荷就跑到大地去了，这时该物体就和大地为同电位，这就是我们经常所讲的接地。

通常电压或电位差，也叫做电压降或电位降。

复 习 题

1. 什么叫正电荷和负电荷？
2. 静电屏蔽的原理是什么？例举它的应用？
3. 什么叫电场？如何描述电场强度的大小和方向？
4. 为什么物体接地之后，电位等于零？

第二章 直流电路

第一节 电 流

电荷沿一定方向的移动形成了电流，就象水的定向流动叫水流一样。

方向和大小都不随时间而变化的电流，称为直流电流。电流所经过的路径称为电路；电路是由电源、负载（用电器）和连接电源与负载的导线三部分组成，如图 2—1 所示。对电源来讲，负载和导线称为外电路，电源内部称为内电路。

当电源接通（闭合）时，正电荷由电源正电位端（高电位端）经过外电路流向负电位端（低电位端），（实际上，是电子由电源低电位端经外电路流向高电位端）。电荷的这种定向移动，就形成了电流；习惯上取正电荷移动的方向为电流的正方向，即在外电路中，由高电位流向低电位。

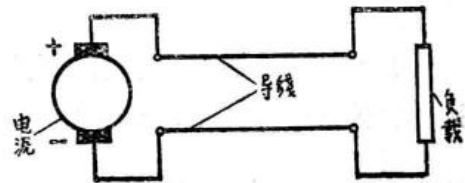


图 2—1 简单的电路

电流的大小称为电流强度，它是由单位时间内通过导体横截面积的电量来决定，规定某截面上每秒钟流过电量为 1 库仑时的电流强度为 1 安培。用“A”表示。为应用方便，电流单位除用安培，有时用毫安（mA），微安（ μA ），它们的关系是

$$1 \text{ 安培} = 10^3 \text{ 毫安} = 10^6 \text{ 微安}$$

我们把通过导体每平方毫米截面的安培数称为电流密度。例，导体每平方毫米横截面，通过电流为 5 安培，那么，电流密度为 5 安/（毫米）²。

第二节 导体的电阻、电阻器

一、导体的电阻

电流流过导体时，必然受到导体的阻碍作用，也就是说，导体具有电阻。用符号“R”表示。

电阻的单位是欧姆，用符号“ Ω ”来表示。另外还有用千欧姆（ $K\Omega$ ）和兆欧姆（ $M\Omega$ ）表示，它们之间关系是

$$1 M\Omega = 10^3 K\Omega = 10^6 \Omega.$$

导体的电阻，由导体本身的长短、粗细和制成的材料决定。

当导体的材料一定时，导体电阻跟它的长度L成正比，跟它的横截面积S成反比，导线越长截面积越小电阻越大，它们的关系是

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

式中L的单位是米，S的单位是平方毫米。 ρ 是比例常数，决定于导体的材料，叫做这种材料的电阻率。它在数值上等于单位长度和单位面积的导体的电阻值。电阻率越小，它的导电性能就越好。实验证明，在温度不变的情况下，对于同样导电材料， ρ 的大小总是一定的，但对于不同材料的导体， ρ 的大小是不同的。表1—1是几种常见物质在 20°C 时的电阻率

材 料 名 称	银	铜	铝	钨	铁	铅
$\rho \left(\frac{\text{欧姆}(\text{毫米})^2}{\text{米}} \right)$	0.0162	0.0169	0.0262	0.0548	0.0978	0.222

表1—1 几种常见物质的电阻率

例 有横截面为 $2(\text{毫米})^2$ ，长度为80米的铜线一根，计算它的电阻是多少？

解 查表知铜的电阻率 $\rho = 0.0169 \frac{\text{欧姆}(\text{毫米})^2}{\text{米}}$

$$\text{代入公式 } R = \rho \frac{L}{S}$$

$$\text{得 } R \approx 0.68 \text{ 欧姆}$$

二、电阻的分类

在用电时，常常需要电阻值一定的各种电阻器。例如用来限制电路中的电流、产生热量，或用来降低电压等等。

电阻器按其组成材料可分线绕电阻，炭质电阻和炭膜电阻等。

线绕电阻是用电阻丝（一种电阻率较大的合金丝，如镍铬丝）绕在瓷管上或者胶木片上制成。炭质电阻是用炭粉石墨粉等导体和松香电木或粘土等绝缘体混合压制而成

的。阻值可由几十欧姆到几百万欧姆(兆欧)。炭膜电阻是在绝缘体上涂上炭膜或金属膜层制成的，其阻值是比较稳定的。

电阻按其阻值是否可调又可分为固定电阻和可变电阻两种，可变电阻又分为滑动可变和旋转可变两种。

电阻的基本规格有阻值和功率(用允许通过最大电流来表示)，使用时应注意选择。线绕电阻的功率可以做得很大，炭膜电阻和炭质电阻功率一般都是不大的(一般在2瓦以下)。图2—2是几种常见的电阻符号。

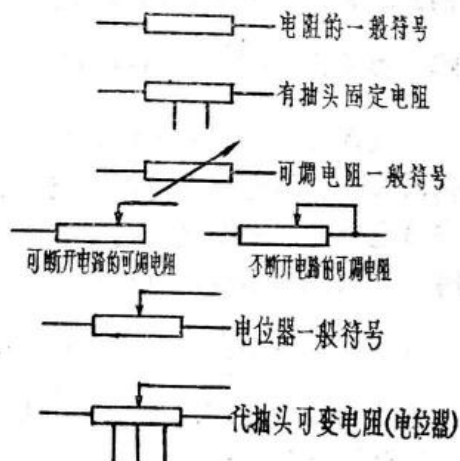


图2—2 几种常用电阻器符号

第三节 欧姆定律

以上我们介绍了关于电流、电压和导体电阻的概念。这三个物理量在电路中是互相联系，彼此影响的。毛主席指出“一切客观事物，本来是互相联系和具有内部规律的……”。本节我们将讨论它们三者之间的内在联系即欧姆定律。

图2—3中，U表示导体两端电压，I表示通过导体电流，R表示导体电阻。由实验可知，当导体的电阻R保持不变时，如果将导体两端电压U增加一倍，那么导体的电流I也就增加一倍。如果导体两端电压U增加二倍，通过导体的电流也增大二倍，依次类推。当保持导体两端电压不变时，如果将导体电阻R增大一倍，那末导体中电流也就减少一半，如果导体电阻R增大二倍，电流I就再减少一半，依次类推。不难看出，电路中通过导体R的电流与导体两端电压成正比，与导体电阻成反比。这个结论叫做欧姆定律。用下式表示

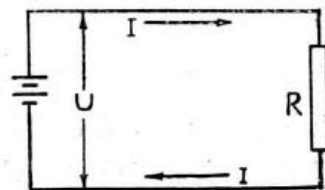


图2—3 电路图

$$I = \frac{U}{R}$$

其中I的单位是安培，U的单位是伏特，R的单位是欧姆。

例1 某导体两端电压为220伏，其电阻为12欧姆，问通过导体的电流强度

解 将题中所给数据代入公式 $I = \frac{U}{R}$ 中

计算得 $I = 18.3$ 安培

例2 在电阻为6欧姆的导体中,要通过20安培电流,导体两端须加多少电压?

解 由公式 $I = \frac{U}{R}$ 得 $U = IR$

代入数据 得 $U = 120$ 伏

例3. X线机总电闸离变压器距离为50米,用截面为10平方毫米的铜线,当导线上通过50安培电流时,求导线上的电压降。

解 首先求铜导线的电阻值

由公式 $R = \rho \frac{L}{S}$ 查表 $\rho = 0.0169 \Omega \cdot (\text{mm})^2/\text{m}$

L 为两倍的距离,即 $L = 50 \text{米} \times 2 = 100 \text{米}$

将数据代入 $R \approx 0.17$ 欧姆

再求铜线上电压降

$$U = IR = 50 \text{安培} \times 0.17 \text{欧姆} = 8.5 \text{伏}$$

因此我们对导线的截面积必须适当的选择,否则导线上电压降过大,影响电气设备的正常工作。

第四节 电阻的串联与并联

在各种电路中,电阻的联接方法是多种多样的,但就其基本方法来说只有两种,即串联和并联。有许多复杂的电路都是串联与并联的综合运用。因此只要抓住这一基本规律,问题就迎刃而解了。

一、串 联

电阻的串联,如图2—4所示。就是把电阻一个跟着一个的联接起来,使电流只有一个通路,叫做电阻的串联。电流在电路中所遇到的总的阻力,就是各部分阻力之和,即总电阻 $R_{\text{串}} = R_1 + R_2 + R_3$,如果有更多的电阻串联起来,那么电路中总电阻 $R_{\text{串}}$ 可以写成下面公式

$$R_{\text{串}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

如果有 n 个串联导体的电阻都等于 R , 那么,

$$R_{\text{串}} = nR$$

在串联电路中,经过 R_1 的电流,也就是经过 R_2 的电流,也就是经过 R_3 的电流。因此在导体串联电路中,通过各电阻的电流强度相等。即

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I$$

根据欧姆定律有

$$R_1 = \frac{U_1}{I}$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I}$$

$$R_3 = \frac{U_3}{I}$$

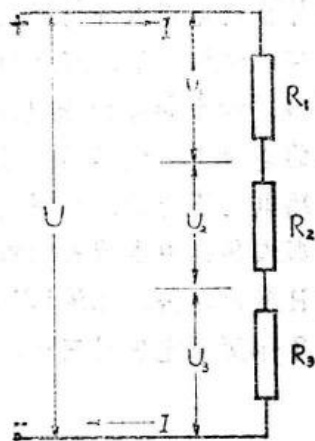


图2—4 电阻的串联

显然总电阻 $R_{\text{串}} = \frac{U}{I}$

再根据以上结论有

$$\frac{U}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} + \frac{U_3}{I} = \frac{1}{I} (U_1 + U_2 + U_3)$$

$$\text{所以 } U = U_1 + U_2 + U_3$$

由此可以得到结论：串联电路两端总电压 U 等于串联的各电阻两端电压之和。

例 把 R_1 为 50 欧姆和 R_2 为 70 欧姆的两个电阻串联起来，接到电压 U 为 120 伏的直流电源上。求电路中的电流强度，两电阻的端电压。

解 本题为两电阻串联电路，总电阻

$$R_{\text{串}} = R_1 + R_2 = 50 + 70 = 120 \text{ 欧姆}$$

根据欧姆定律，电路中电流

$$I = \frac{U}{R_{\text{串}}} = \frac{120 \text{ 伏}}{120 \text{ 欧}} = 1 \text{ 安培}$$

两电阻的端电压分别为

$$U_1 = IR_1 = 1 \times 50 = 50 \text{ 伏}$$

$$U_2 = IR_2 = 1 \times 70 = 70 \text{ 伏}$$

由此结果可见，在导体串联电路中，导体两端的电压与导体的电阻成正比关系。即

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

二、并 联

所谓电阻并联，就是在电路中，把各个电阻并排地联接起来，使电流有几条通路，如图 2—5 所示。由图中可见，各支路处在同一外加电压 U 的作用下，因此各支路的端电压相同，即

$$U_1 = U_2 = U_3 = \cdots = U$$

电流由一端流向另一端，有三条通路，一部分由电阻 R_1 上流过，一部分由电阻 R_2 上流过，一部分由电阻 R_3 上流过。电路上总电流就应该是所流过各支路电阻电流的总和，即

$$I_{\text{并}} = I_1 + I_2 + I_3$$

根据欧姆定律有

$$I_1 = \frac{U}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3}$$

若并联电路总电阻为 $R_{\text{并}}$ ，显然总电流

$$I_{\text{并}} = \frac{U}{R_{\text{并}}}$$

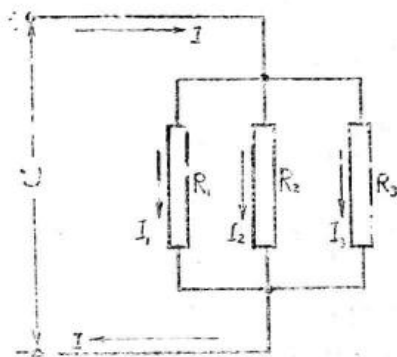


图 2—5 电阻的并联

由以上结论

$$\frac{U}{R_{\text{并}}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

所以有 $\frac{1}{R_{\text{并}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

由此，并联电阻电路的总电阻的倒数，等于各支路电阻的倒数之和。

如果有 n 个相等的电阻并联，其阻值都是 R ，则有

$$R_{\text{并}} = \frac{R}{n}$$

可以看出，并联支路越多，电路中总电阻越小。

例 一个 R_1 为 30 欧姆的电阻，与一个 R_2 为 60 欧姆的电阻并联，两端加 220 伏的电压，如图 2—6。求电路中总电阻，总电流及各支路电流。

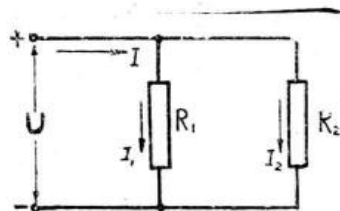


图 2—6 例 图

解 由公式 $\frac{1}{R_{\text{并}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

可求出总电阻 $R_{\text{并}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{30 \times 60}{30 + 60} = 20$ 欧姆

再根据欧姆定律总电流

$$I = \frac{U}{R_{\text{并}}} = \frac{220}{20} = 11 \text{ 安培}$$

各分路电流

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{220}{30} = 7.33 \text{ 安培}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{220}{60} = 3.67 \text{ 安培}$$

由本例题计算结果分析可知，在并联电路中，通过各支路的电流强度与各支路的导体电阻成反比关系，即

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

第五节 全电路欧姆定律

以上几节着重研究了外电路的情况，除外电路外，电源是整个电路的一个重要组成部分。电源是将其他形式的能量（如化学能、机械能等）转化为电能的装置。电池、发电机等都是电源；电源将其他形式的能量转换为电能的过程，就是外力（非电场力）在电源内部驱使电荷移动做功的过程。而电荷移动的结果，使电源两端产生了电位差。我