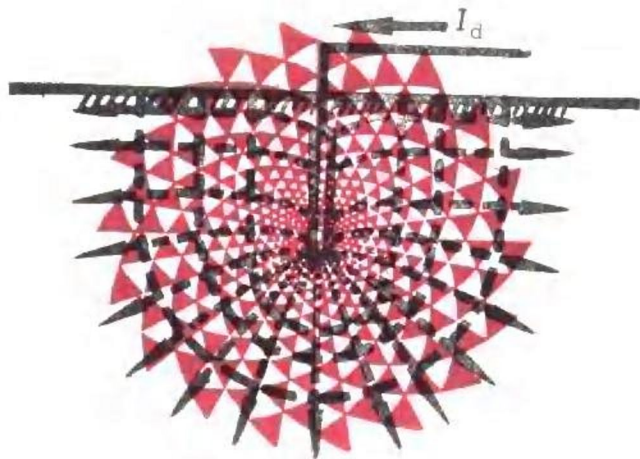




劳动保护实用丛书

●丛书主编：林明清

安全用电技术

安全用电技术

袁连生 编

电子工业出版社

内 容 提 要

本书较全面地介绍了常见触电事故产生的原因和预防措施;详细地叙述了接地、接零保护及漏电保护的原理、适用范围以及使用时应注意的问题;介绍了主要电气装置的安全要求;简明分析了雷电的危害及其预防措施。

本书的取材来源于生产与生活实际,叙述通俗易懂,并列有许多实验数据和国家安全规定的技术数据。可供一般电工人员和安技干部阅读,也可作为一切关心安全用电的人们以及大专院校非电专业学生的参考读物。

劳动保护实用丛书

林明清 主编

* * *

安全用电技术

袁连生 编

责任编辑 詹善琼

*

电子工业出版社出版(北京万寿路)

邮政编码:100036

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

人民卫生出版社印刷厂印刷

*

开本:787×1092毫米 1/32 印张:5.75 字数:130千字

1990年3月第1版 1990年3月第1次印刷

印数:12000册 定价:2.50元

ISBN7-5053-0688-X/TN·252

《劳动保护实用丛书》前言

“管理”也是生产力,这个观点已逐步被人们所认识,说“管理具有化无为有,化有为无的神奇功力”,也不无道理。

劳动保护工作是企业管理一个不可分割的组成部分,也是生产力。搞得不好,会使可能发生的事故得以避免;搞得不好,会使不该出现的事故发生。它对激发职工生产热情、提高产品质量和数量,以及对社会的潜在影响,更是不可忽视的。劳动保护支出的费用不是单纯的耗费,而是能获得经济效益的投资。1901年,美国钢铁工业受经济萧条的影响,极不景气。但经其董事长埃尔·巴德贾基·凯利确定“安全第一”为公司的经营方针后,因致力于防止事故的发生,不仅使事故减少,同时产量和质量都得到提高,公司也获得了繁荣。我国依靠加强劳动保护取得经济效益的企业也很多。邯郸钢铁总厂仅1985年9月至1986年9月间,由于避免事故而间接创造的经济效益达72.4万元。马鞍山钢铁公司某矿在这方面也取得了经济效益。而1987年3月哈尔滨亚麻厂的粉尘爆炸事故及5月的大兴安岭森林火灾造成极为严重的损失,从反面又给我们以教育和启示。

马克思主义认为,人是生产力中最积极、最活跃的因素。到本世纪40年代,资产阶级学者创立的行为科学也开始强调生产中人的因素,其“需要层次理论”(由马斯洛A·H·Maslow提出)将安全排在仅次于生理需要的第二需要(生理、安全、爱、尊重和自我实现的五大需要)。他和我们重视人的作用虽有本质区别,但对于搞好生产管理、安全生产都是有益的。关心人、关心劳动者的安全,使他们能在安全、卫生、舒适的环境中进行生产,更

是社会主义企业领导者的责任。

搞好劳动保护和安全的基础工作之一是增强全体职工的安全意识,提高其安全知识与操作技能。希望本丛书能对上述工作有所贡献。这套丛书是本着取材“着重实用、注意管理”的原则,面向生产工人和基层劳动保护工作人员进行编写的。丛书包括安全技术、工业卫生和安全管理方面的内容,分《电气焊安全》、《噪声防治》、《冲压安全》、《起重机及其电气安全》、《防火防爆》、《安全用电技术》、《农村安全用电》、《木工安全技术》等 10 多个题目分册出版。由于丛书涉及安全的各个方面,内容极为广泛,加上编者水平有限,不当之处,敬请读者指正。

林明清

1987.9 于北京

目 录

第一章 安全用电的基本知识.....	1
第一节 电能的特点	1
第二节 电能的传输和转换	2
第三节 导体和绝缘体	6
第四节 直流电和交流电	9
第五节 单相交流电和三相交流电	13
第六节 电力系统	16
第二章 触电及急救	19
第一节 安全用电的意义及触电事故的规律	19
第二节 电流对人体的作用	20
第三节 触电方式	25
第四节 触电急救	32
第五节 防止触电的主要措施	38
第三章 接地和接零	41
第一节 保护接地的原理和应用范围	41
第二节 接地电阻值	44
第三节 保护接零的原理和应用范围	45
第四节 重复接地	47
第五节 保护接零和接地应注意的问题	51
第六节 接地装置	56
第七节 接地和接零的测量	71
第四章 预防电气事故的其他措施	77
第一节 熔断器	77
第二节 空气断路器	79
第三节 漏电切断器	81
第四节 安全电压	87

第五章 电气装置的安全要求	89
第一节 配电线路的安全要求	89
第二节 变配电设备的安全要求	105
第三节 动力装置的安全要求	115
第四节 照明装置的安全要求	120
第五节 几种用电设备的安全要求	122
第六章 电工安全用具	127
第一节 安全用具的功能和种类	127
第二节 各种安全用具的用途与要求	128
第三节 安全用具的试验和保管	135
第七章 雷电防护	136
第一节 雷电的性质与危害	136
第二节 防雷措施与装置	139
第三节 人身防护	152
第八章 用电安全管理	154
第一节 组织管理	154
第二节 保证检修工作的安全技术措施	157
第三节 保证检修工作的安全组织措施	159
第四节 低压系统带电作业的安全要求	162
附录	164
附录 1 工频电流对人体的作用	164
附录 2 变压器阻抗和相零回路阻抗	166
附录 3 工作票格式	169
附录 4 倒闸操作票	173
附录 5 本书所用的电工计量单位及符号	174
附录 6 电气火灾的扑救	175
后记	177

第一章 安全用电的基本知识

第一节 电能的特点

电能的应用范围极广,无论是工农业生产、国防建设、科学技术和文化教育,还是人们日常生活中的衣、食、住、行等都离不了它。电能的应用之所以如此广泛,是由于它与其它形态的能量(如热能、光能、机械能等)相比,有其无可比拟的优点,主要表现在如下三个方面:

(1) 便于转换 电能是最易于转换的一种能量形态,它可以很方便地由热能(火力发电)、水位能(水力发电)、原子能(原子能发电)、化学能(电池)等转换而得,也可以相反地转换为热能(电炉)、光能(电灯)、机械能(电动机)等等。这就使得人们能从各种能源中获得电能,同时又可以把它转换为其它各种形态的能量,以满足各种不同的需要。

(2) 便于输送 电能通过输电线路可以很方便地输送到远处,既迅速又经济。它可以使我们在蕴藏有大量动力资源的地方,例如煤矿和河川附近兴建火力发电厂和水力发电厂,而在接近原料产地兴建各种工厂,这将有助于使工业建设的布局得到合理的解决。

(3) 便于控制 通过一些开关和电钮就可以实现对电能的传输和转换的控制,简便易行。还可以用电学量代表信息,以有线或无线的方式,高速而精确地对它进行传递、控制和处理,这为远程通讯和生产自动化提供了可靠的技术基础。

第二节 电能的传输和转换

电能的产生、输送和使用都是通过电荷的移动来实现的。

在自然界中有两种电荷：正电荷和负电荷。它们存在于组成一切物质的原子之中，原子是由带正电荷的原子核和带负电荷的外围电子所组成，外围电子围绕着原子核转，正好像行星围绕着太阳转一样。原子核所带的正电量与外围所有电子所带的负电量之和是相等的，因此，整个原子一般对外界不显电性，是中性的。

原子中的电子受原子核的束缚是不能脱离原子的。要想使电子脱离原子，必须藉助外力，以帮助它克服原子核的束缚。当我们用外力使原子外围的一些电子脱离原子就可以获得两种带电体：一种是脱离原子的电子，它显示负电；一种是缺少外围电子的原子，它显示正电。当缺少外围电子的原子再获得原有数量的电子时，原子又呈现中性，原来显示的两种电性也就不复存在了。这就是电的产生和消失。从这一过程可以看出，电的产生和消失并不是有什么东西新生了，尔后又消失了，实际上是自然界中早已客观存在的正负电荷的分离和复合。

电能的转换与传输又是怎样进行的呢？为了便于理解，我们先讲一个大家熟悉的“人力打夯”的例子。

我们知道，人们没有抬起夯之前，夯在地面上是没有砸地的本领的（没有砸地的能量）。当人们把夯抬起，夯增加了“位能”（它的位置比地面高了），这个能量是由人们抬它时克服地心引力做功转换而来的。当人们松手时，夯在地心引力的作用下要砸下，在夯落回地面时，原先增加的位能又要消失，失掉的这部分位能就是夯砸地时做功所需的能量。从这一过程可以看出，人们

做功先变成夯的位能,然后通过夯的下落,再把夯的位能变成砸地的功,夯在这里仅仅是个能量的运载者,通过它进行能量的转换和传送,而它本身并没有什么增大或减小。在这一系统中,被转换和传送的功与夯的重量和夯被抬起的高度的乘积成正比。衡量这一系统的做功能力,可以用夯被抬离地面的高度(即夯和地面间的位差)来表示,其值即为抬单位重量的夯到被抬高度所做的功。位差愈大(高度愈高),抬起同样重量的夯或同样重量的夯落地时所做功就愈大。

电能的转换与传输,形式上与打夯很相似。图 1-1 是一个简单的电能转换与传输系统。电池 1 作为电源设备是将化学能转换为电能的;灯泡 2 作为负载设备是将电能转换为光能的;连接导线是用来传输电能的。

电池由于内部化学反应产生的非电力的电源力使正负电荷分离,正电荷集于正极 a ,负电荷集于负极 b 。正负电荷的分离表明有电能产生,因为每一个带电体对它周围的其他带电体都会施加作用力(称为电场力),对异性电

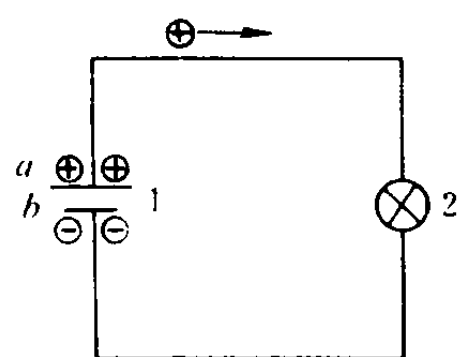


图 1-1 简单的电能转换系统

相吸,同性电相斥。电能是随着正负电荷的分离而产生的,它是由分离正负电荷的电源力能(电源为电池时则为化学能,为发电机时则为机械能)转换而来。电能存储在电荷周围的空间(称为电场)之中,也可以认为它是以电位能的形式附于电荷之上。这与打夯的情况相似,带负电荷的电池负极相当于大地,正电荷相

当于夯,当电源力把正负电荷在负极处分离,并将正电荷送至正极时,电源力要做功,将化学能转换为电能,使正电荷的电能增加,像夯被抬起后增加“位能”一样。正电荷的电位能在电源正极时高,负极时低,其差就是电源力将正电荷从负极移到正极时所做的功。

当电池外部由导线、灯泡等连通之后,正电荷在电场力的作用下,要从正极移向负极与负电荷复合,(实际上不是正电荷移动,而是负电荷要从负极移向正极,但效果是一致的。)正电荷的电位能也将随之减少,这部分电能用以克服灯泡对电荷移动的阻力,并转换为光能和热能。

回到负极的正电荷,在电源力的作用下又被送到正极,如果电池的外电路仍是连通的,正电荷又要从正极移回负极,电荷的移动将持续不断地稳定地进行,化学能通过电池将不断地转换为电能,电能又通过灯泡不断地转换为光能和热能。只有断开电荷移动的路径,这一过程才会停止。

可以看出,电能的转换与传输是通过电荷的移动来完成的。在这一过程中,电荷和夯一样只是一个能量的运载者,通过它进行能量的转换与传送,它本身并没有什么增加和减少。

电荷的有规则的移动称为“电流”。电流通过的路径称为电路。在电源内部的部分称内电路,在电源外部的则称为外电路。电流的大小是用电流强度(简称电流)来表征的,电流强度在数值上等于单位时间内通过某一导线截面的电量,如用字母 I 表示电流,则有

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

Q 为在时间 t 秒内通过导线截面的电量。电流的单位为安

培,简称安(A)。电量的单位为库仑(C),一个最小的电荷(即电子)所具有的电量为 1.6×10^{-19} 库仑。

像抬夯使夯与地面之间出现位差一样,电源力将使正负极之间出现“电位差”,负极电位低,正极电位高,其差值也是衡量电源做功能力的量。正负极之间的电位差愈大,从正极 a 到负极 b 移动同等正电荷时电源所做的功就愈大。

电位用字母 φ 表示。 a 、 b 两点间的电位差又称为 a 、 b 两点间的“电压”,电压用字母 U 表示,

即
$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b \quad (1-2)$$

它们的单位都是伏特,简称伏(V)。

当电场力将正电荷从正极 a 移到负极 b 时,它所做的电功等于被移动的电量 Q 与 a 、 b 两点间电位差(即电压)的乘积,

即
$$W = Q(\varphi_a - \varphi_b) = QU_{ab} \quad (1-3)$$

功的单位为焦耳(J)。

在单位时间,即一秒钟内所做的电功叫“功率”,用字母 P 表之,则有

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-4)$$

根据式(1-3)和式(1-1),

$$P = \frac{QU_{ab}}{t} = IU_{ab} \quad (1-5)$$

U_{ab} 是外电路两端的电压(在此,即电源两端的电压), I 为通过外电路的电流, P 即为外电路所消耗的电功率。电功率的单位为瓦特,简称瓦(W)。

用电设备上常标有功率数值,如灯泡有 60 瓦、100 瓦等等,除功率值外,还标有电压值,如 220 伏,其意即在灯泡两端加上 220 伏的电压时,100 瓦灯泡所消耗的电功率为 100 瓦。从式(1-4)可知

$$W = P t \quad (1-6)$$

即用电设备所消耗的电功(用的电能)等于其功率乘上用电时间,如上述的 100 瓦灯泡开亮 5 小时,所消耗的电能

$$W = 100 \times 5 = 500 \text{ 瓦小时} = 0.5 \text{ 千瓦小时}$$

电功的单位除焦耳外,更常用的是千瓦小时(kWh)。一个千瓦小时称为一度电,100 瓦灯泡开亮 5 小时所消耗的电功为半度电,开亮 10 小时则消耗一度电,开亮 20 小时则要消耗二度电。电度表就是以度为单位来测量用电多少的。

第三节 导体和绝缘体

根据物质的电性能,可将世界上的物体分为三类:导体、绝缘体和半导体。

导体可以用来构成电路,作为电流通过的路径。所有的金属都是导体。金属所以能够传导电流,是由于它们内部存在着大量的所谓“自由电子”(或称导电电子),这是因为金属原子的外围电子与原子核之间的吸引力非常小,在室温下就会有大量的外围电子克服原子核的束缚,而在原子之间自由地移动成为自由电子(注意,导体对外部仍是中性的,并不因此而显示电性)。当用金属导体将电源的正负极连通时(如图 1-1 所示),导体中的自由电子在电源电压 U_{ab} 的作用下,(也就是在电场力的作用下),将做有秩序的移动,即在导体中形成电流。我们在前边讲的当电源正负极用导线连通后,正极的正电荷要移向负极,实际上并不是一个电荷真从正极一直移到负极,而是通过导线中的自由电子像接力赛跑一样到达负极的。前边已经讲过,电源在工作时,内外电路构成一个闭合的电路,电路中的电荷移动情况就像项链的串珠移动情况一样,使一个串珠移动,所有串珠都要跟着

移动(像接力移动一样),可以说整个项链上的串珠都同时在移动。电路接通时,电路各处同时有电流流通就类似这种情况。

与导体相反,在绝缘体中原子外围的电子与原子核之间的吸引力非常大,它们不能脱离原子核的束缚而成为自由电子,因此绝缘体是不导电的,用它连接电源的正负极是不可能产生电流的。

半导体,顾名思义,它是一种导电能力介于导体和绝缘体之间的物质。

对于导体,我们利用的是它的导电性能;对于绝缘体,我们用的是它的不导电性能;而对于半导体,则不是它那介于前二者之间的导电性能,而是它的另外一些独特性能,这里就不介绍了。

导体,除所有金属之外,盐和酸的水溶液、大地、人体等均能导电。绝缘体有木材、橡胶、塑料、丝绸、陶瓷、玻璃、油类等。

导体的导电能力,或者反过来说导体的阻电能力(阻止电流流通的能力。导电能力大即阻电能力小,导电能力小即阻电能力大)并不完全相同,它与导体的材料、导体的横截面积和长度有关,衡量这种能力的量称为电阻,用字母 R 表示,单位为欧姆,简称欧(Ω)。导体的电阻可由下式求出:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-7)$$

式中, l 是导体的长度(米); S 是导体的横截面积(毫米²); ρ 是导体的电阻系数(或称电阻率,是衡量材料阻电性能的量)。 ρ 愈小,电阻 R 愈小,导体导电的性能愈好。温度为 20℃ 时常用的导电材料的电阻系数如下:铜为 0.0172 欧·毫米²/米(0.0172 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$),铅为 0.0283 欧·毫米²/米,铁为 0.15 欧·毫

米²/米左右。一般导体的电阻率都在 10^{-8} 欧·米以下,而绝缘体的电阻率则高达 $10^{12} \sim 10^{20}$ 欧·米(1 欧·毫米²/米 = 10^{-6} 欧·米)。

当导体两端接一电压 U 时,如图 1-2 所示,导体中产生的电流(即通过的电流)与导体的电阻成反比,即电阻愈大电流愈小。如果电阻 R 固定,电流因与电压成正比,即电压愈高电流愈大。三者的关系如下:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-8)$$

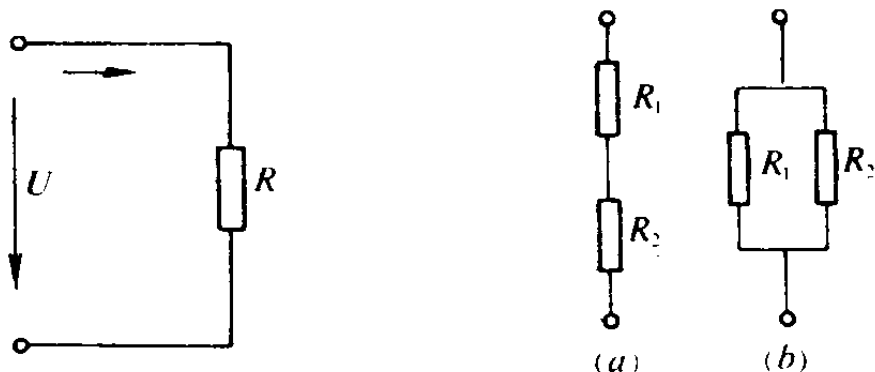


图 1-2 欧姆定律示意图 图 1-3 电阻的串联与并联

这就是电路中最著名的基本定律——欧姆定律。

两个电阻串接,如图 1-3(a)所示,称为串联,总电阻 R 值增大,其值为两电阻之和,

即
$$R = R_1 + R_2 \quad (1-9)$$

两个电阻并接,如图 1-3(b)所示,称为并联,总电阻值减小,其值的倒数等于两个电阻的倒数之和,

即
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-10)$$

故有

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

第四节 直流电和交流电

电流有直流和交流之分。所谓直流,就是在电路中通过的电流,其大小和方向不随时间变化,如图 1-4(a)所示,用大写字母 I 表之。而交流电的大小和方向则随时间变化,如图 1-4(b)所

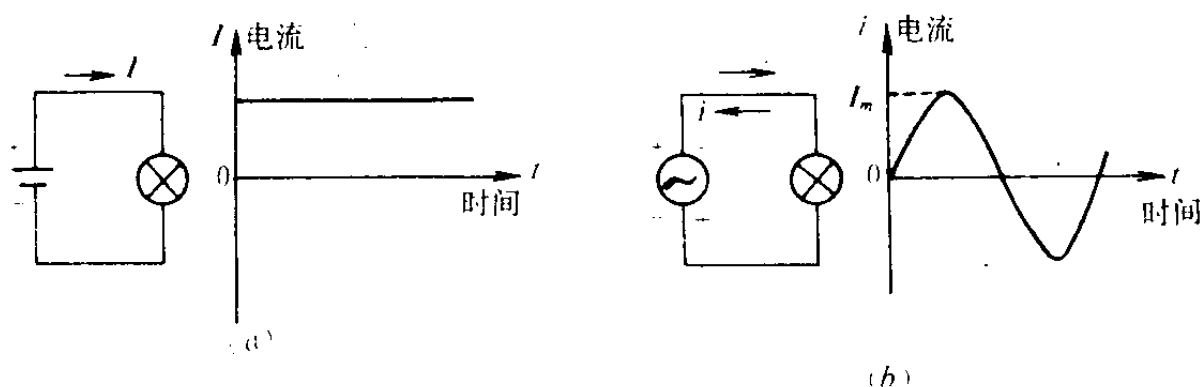


图 1-4 直流电和交流电

示,用小写字母 i 表之。

直流电是由直流电源供给。直流电源所产生的电压的大小和极性是不随时间变化的,如电池。交流电是交流电源供给的。交流电源所产生的电压其大小和极性是随时间变化的,如交流发电机。

工业和照明用的交流电都是按着一定规律(正弦规律)随着时间作周期性变化的(重复式变化),如图 1-5 所示。重复变化一次所需的时间称为交流电的周期,用字母 T 表之,单位为秒(s)。一秒内重复的次数称为频率,用字母 f 表示,单位为赫芝(Hz)或周/秒。我国工业用电采用的是 50 赫的交流电,即每秒钟重复

变化 50 次(称为工频交流电),有的国家采用 60 赫。

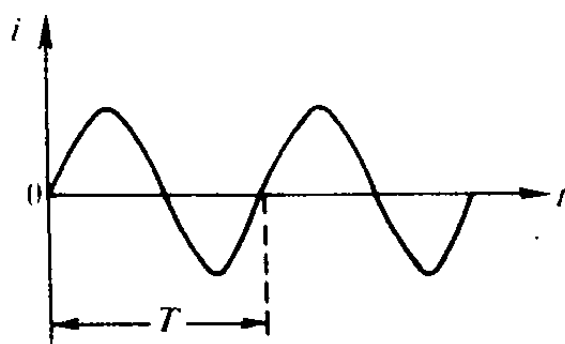


图 1-5 正弦变化的交流电

交流电的大小随着时间永远在变,那么它的大小怎么表示呢?一般是采用有效值来表示。有效值就是从做功的效果将交流电跟一个直流电相比,如果二者做功效果一样,我们就用那个直流电的值来表示这个交流电的大小。这样的值就称做交流电的有效值。一般我们所说的交流电源的电压是 220 伏或 380 伏都是指有效值。对于按正弦规律变化的交流电,其有效值比变化中的最大值要小,仅为最大值的 $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$ 倍,

$$\text{即} \quad I = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m \quad (1-11)$$

式中,大写字母 I 代表正弦交流电的有效值,大写字母加角标 m ,即 I_m ,代表交流电的最大值。

交流电路与直流电路相比,负载性质有很大差别。在直流电路中负载只有电阻;在交流电路中,除电阻以外还有电抗。电抗有二种,一种是由线圈产生的感性电抗,以字母 X_L 表示,另一种是由电容器产生的容性电抗,以字母 X_C 表示,如图 1-6 所示。

线圈有这样的特点,当通过线圈的电流是变化的,由于电磁感应作用,线圈中将产生阻碍电流变化的阻力,而对于恒定不变的直流电,则没有这种现象。因此,线圈在直流电路中仅相当于

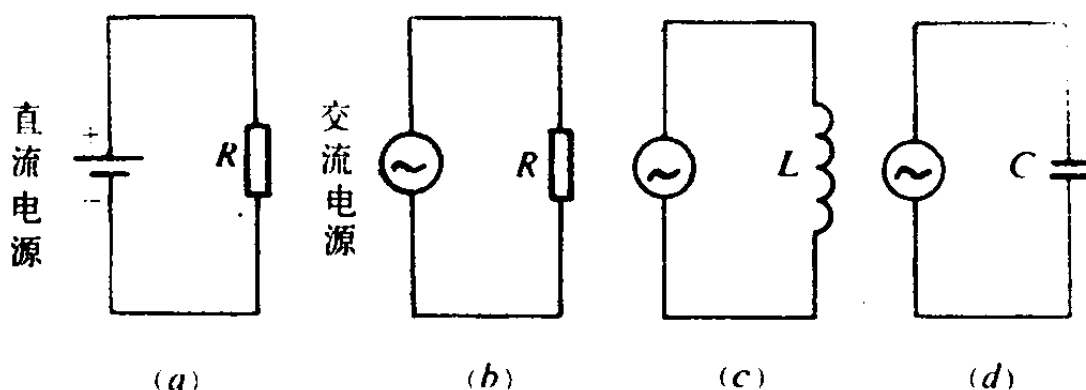


图 1-6 直、交电路中的负载性质

一根连线,而在交流电路中就类似一个电阻,影响着电流的大小,但不像电阻那样消耗电能,故称感性电抗。

电容器是一种储存电能的器具,它是由二个极板当中隔以绝缘物质构成的。当把电容器接到直流电源的瞬时,电容器被充电,极板间的电压要升高,当升到与电源电压相同时,就不能再充电了,此后电路中就不会有电流了,因此,直流电路接有电容器时,电路相当于断路(没有电流)状态。而在交流电路中,由于电源电压的大小和方向随时间不断地变化,电容器不是处于充电状态就是处于放电状态,故电路中的电流永远存在。电容器只对交流电流的大小有影响,但不会使电路处于断路(即电流不存在)状态。因此,电容器在交流电路中也类似一个电阻,影响着电流的大小,但不消耗电能,故称为容性电抗。

交流负载可以只具有一种性质,也可以同时具有二种或三种性质。图 1-7 是一个三种性质都有的串联负载,此时三者的共同作用用阻抗这个量表示,记为字母 Z 。它们之间的数值关系为:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (1-12)$$

$$X = X_L - X_C$$