

205928

实用电工学

朱敬熙著



水利电力出版社

內 容 提 要

本書从实用观点叙述了电工学的基本概念和原理，并以較多的篇幅介紹了电气測量技术，各种电气設備的工作原理、性能、运行、維護和檢修，以及电动机的選擇方法和工地供电等。

本書可作为中等技术学校非电工專業学生的教材。

中华人民共和国水利电力部教育司推荐作为
水利学校、农田水利专业試用教材

实 用 电 工 学

朱 敬 熙著

*

1434D407

水利电力出版社出版（北京西郊科學院二里溝）

北京市書刊出版業營業許可證出字第106号

水利电力出版社印刷厂排印 新华書店发行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 4 $\frac{3}{4}$ 印張 * 106千字

1958年11月北京第1版

1958年11月北京第1次印刷(0001—10,100册)

統一書号:15143·1140 定价: (第9类)0.50元

目 录

第一章 电工学基础	6
第一节 直流电路	6
第二节 蓄电池	8
第三节 电流的热效应	10
第四节 电流的磁场	13
第五节 电磁感应	14
第六节 电机基本原理	18
第七节 涡流	20
第八节 单相交流电	21
第九节 单相交流电路	26
第十节 三相交流电路	34
第二章 电工测量和仪表	39
第一节 电流和电压的测量	39
第二节 电功率的测量	42
第三节 电能量的测量	44
第四节 电阻的测量	46
第三章 变压器	48
第一节 变压器的工作原理	48
第二节 变压器的构造和类型	52
第三节 特种型式变压器	55
第四节 变压器的规格和使用时的注意事项	58
第四章 异步电动机	60
第一节 异步电动机的工作原理	60
第二节 异步电动机的构造	64
第三节 异步电动机的工作性能	67
第四节 异步电动机的控制	69
第五节 异步电动机的规格和使用	72
第五章 交流同步发电机	81
第一节 同步发电机工作原理	82
第二节 同步发电机的构造	85

第三节	同步发电机工作特性	86
第四节	同步发电机的励磁机及线路	87
第五节	同步发电机的并列	90
第六节	同步发电机的规格、运行、维护和故障处理	92
第七节	同步发电机容量的决定	94
第六章	配电装置与控制器械	96
第一节	配电装置和它的用途	96
第二节	电力开关	97
第三节	熔断保护器	99
第四节	断路器、绝缘子、母线	100
第五节	控制器械	103
第六节	低压配电装置的装备	105
第七章	电动机的选择与木工机械的电气设备	107
第一节	概 述	107
第二节	连续运行方式的电动机容量的决定	108
第三节	按照电流种类、机械特性及构造来选择电动机	111
第八章	电气照明	113
第一节	概 述	113
第二节	照明光源	114
第三节	灯 罩	117
第四节	照明系统和照度标准	118
第五节	照明设备的布置和设计	121
第六节	室内电灯的线路方式	123
第九章	工地用电供应	124
第一节	工地用电的电源和电力系统	124
第二节	电力供应的接线方式	126
第三节	低压架空线路	128
第四节	低压架空线路的材料和安装	134
第十章	安全技术	147
第一节	概 述	147
第二节	电流对人体的作用	148
第三节	人体触电情况与紧急救护	149
第四节	安全用电	152

緒 論

二十世紀是電能蓬勃發展和實際應用的時代，現在電能已廣泛應用到一切技術部門和人類生活各方面。目前各種生產部門中，用來拖動各種機器的主要是使用方便而又經濟的電動機。水利工程建築施工中所用的拖拉機、起重機、挖土機、混凝土攪拌機、電焊機，農業灌溉所需要的抽水機，和農村水電站的電氣設備都大量的應用電能，今後為了實現社會主義建設總路線中的技術革命，在生產和生活上更是到處都會愈來愈多地遇到電能的應用，尤其是掌握一種工程技術的人們會更多方面地接觸用電問題。

實用電工學就是研究怎樣把電的現象和理論應用到各種技術部門中的課程，並介紹有關的電器和電機的使用方法。

電能所以成為動力的主要能源，並且應用如此廣泛，是因為電能具有獨特的優點：

(1) 電能可以較方便地被輸送至遠距離，並可使其損失很少，例如天津發電站的電能經高壓送電綫可送至北京和唐山。

(2) 電能可以較方便地同其他各種形態的能量互相轉換，例如利用水的位能可來發電，電能也可變成電爐的熱能，電燈的光能，電動機的機械能等。

(3) 電能量可以很方便地被分散成許多部分使用，例如一個農村水電站發出的電能量同時可分別供農村照明用，灌溉抽水用，水利工程施工機械用，和碾米、磨面、榨油等工廠使用。

(4) 电能可以較方便地被控制，測量和調整，例如操作一台抽水电动机时，它的起動、調速、停止等步驟都比操作柴油机、鍋駝机等簡單；并且还有各种仪表來供給使用者觀察电动机的各种性能。

电能既然有这些特点，因此將电能广泛而普遍地应用在工业、农业、运输业和日常生活上，这就是国家电气化的基础，也就是技术革命的任务之一。

由于我国水利資源蘊藏丰富，地位适中，因此在經濟建設计划中有条件发展水力发电事业來供給各种工业使用；并且为了适应农业合作化的迅速发展，也規定要逐步使农村电气化，仅就这两方面来看，我們可以肯定工程技术人员无论在何处工作，他們接触用电的机会是愈来愈多的。

根据上面所提到的电工学的重要性，我們学习电工学的目的的是要掌握电工基本理論，技术知識及实际技能，为以后的事业工作打下基础，并可保証在事业生产中能正确地运用电气設備，和改进事业生产过程走向电气化，来提高劳动生产率，改进专业技术。

实用电工学的学习方法，要适合这门课程的特点。电工学基础部分比較抽象，故要从概念和現象方面去体会理論，不可死記定律或結論。深入牢固地掌握前面的基本理論才能学好后面的电机等实用知識。学习电工应用部分，要注意实际机器或接綫的結構。更应重視并时常練習电机的实验和操作方法，來鍛煉独自运用电机和仪表的技能。

第一章 电工学基础

第一节 直流电路

电路的組成基本上包括三个部分：电源、导线和用电器（也叫负载）见图 1-1，在电源内，其他形式的能量转变成电能，也就是电源具有使它的两端各带正和负电荷的本领。现在常用的电源有发电机和蓄电池，前者是机械能转变为电能，后者是化学能转变为电能。既然电源能使它的两端各带正负电荷，故当用导线把电源和用电器连通之后，形成闭合电路，则电路中必形成电流。



图1-1 电路

电流通过电路中任何部分，包括电源内电路，和由导线与用电器所组成的外电路，移动的电子都要遇到电阻，阻止电流的通过，前者叫内电阻，后者叫外电阻。因为所有物体依照电的性质可分为导体和电介质（绝缘体），电介质的电阻是非常大，也就是不能传导电流，如空气、干木材、油漆、瓷、云母等，故用它们来做用电器和导线的绝缘皮层，导体的电阻就各有不同，譬如金属导线的电阻，就与它的材料、长度、粗细、温度有一定的关系。连通电路用的导线和制做电机的电线都是用铜制成的，因为铜的电阻率比其他金属较小。

既然内外电路中都有电阻，电源必须产生使电流不断在电路中移动的能力，度量电源的这种本领就叫做电动势（ E ）。电源的电动势是用来克服全部内外电路中的电阻，但克服电路

中某一段对电流的阻力所耗费的能力，则叫做该段的电压，例如用电器外电路两端间的电压 U ，又如电源内部的电压降 U_0 ，因为这部分电压是占用了电源的能力克服电源内阻使电子流过而变为不能利用的损耗，不象用电器占用的电压是把电能转变为有用的其他形式的能。同理导线也占用了一部分电压降 U' ，无论是有用的或损耗的哪一部分电压都来自电源的电动势，故在闭合电路中有下列关系：

$$E = U + U_0 + U'$$

式中 $U + U'$ 代表外部电路中所占的电压，也就是开路时电源两端间的电压。

但是当电路断开以后，电路中不再有电流，电子不再移动，也不遇到电阻，故此时 $U_0 = 0$ ，则 $E = U + U_0$ 就是电源两端间的电压，在数值上就等于它的电动势。所以用伏特计测量断路时电源端电压值就当作是电源的电动势的大小。但当把电路接通以后，再用伏特计测量电源端电压就比断路时小了一些，这个差数就是闭路时的电源内部电压降。电动势和电压在本质上是一样的，都用伏特单位来度量。

在电路中电压电流和电阻是同时存在的三者中间有一定的关系，表明这种关系的就是欧姆定律，从物理学中我们知道可用公式表示如下（见图1-2）：

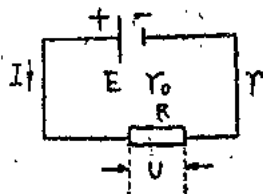


图1-2 电压与电流

$$I = \frac{U}{R} \quad (\text{在一段电路中})$$

$$I = \frac{E}{R + r_0 + r} \quad (\text{在全部电路中})$$

R 是用电器的电阻， r 是导线的电阻， r_0 是电源的内电阻，

所以： $E = IR + Ir + Ir_0 = U + U' + U_0$ 。

这个关系式表明电路中电动势，电压和电压降三者的平衡关系。

第二节 蓄 电 池

在农村水力发电站中，蓄电池是需要设置的，可用它来操作开关，或当作事故照明电源，在水利工程工地上，如果使用内燃机当作原动机，内燃机的电气设备也需要蓄电池当作电源。因此我们对于蓄电池的使用方面应该有一个基本的了解。

一般都用铅蓄电池，铅蓄电池的主要组成部分：（1）电极板，分为表面上有二氧化铅的阳极板和表面上是海绵状的铅的阴极板，阴阳极板交错放置。（2）木隔板，隔开阴阳极板，以免两种极板接触。（3）玻璃或胶木容器。（4）电解液是稀 H_2SO_4 溶液，在 $15^\circ C$ 时比重为 $1.2 \sim 1.21$ ，温度高时比重变低，温度低时比重变高。

使用蓄电池时，应认清电池顶盖上的正负极端头，一般在端头上刻有 $+$ 符号，如果符号不清，可用直流伏特计测验出来。

蓄电池的电动势在尚未使用时，一般为 $2.1 \sim 2.0$ 伏特，且蓄电池的内电阻是很小的；但当放电时，电池的端电压降下到 1.9 伏特左右，并且在放电过程中内电阻增加，这是由于极板附近的电解液浓度减低，和极板上发生硫酸盐层的缘故。当蓄电池放电到电压为 $1.8 \sim 1.75$ 伏特时，蓄电池已到

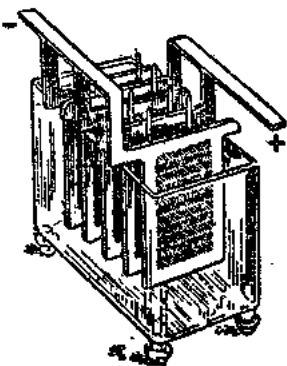


图1-3 蓄电池外形图

了放电的終期，如果再繼續放电，則端电压下降很快，而使電池損坏。

蓄電池的容量是以連續放电到最終电压所能放出的电量來計算。

容量 = 放电电流 $\times$ 放电時間（安培小时）。

蓄電池的容量是随放电电流大小而可变的，即电流越大，容量越小；也就是在較大的放电电流下，電池較快的达到最終电压，即放电時間減短了，故一般以10小时放电時間所对应的放电电流作为蓄電池的額定容量。例如：實驗室常用的蓄電池銘牌上标明6伏特和12安时，故該蓄電池的額定放电电流是1.2安培。

使用蓄電池时，首先根据它的額定电流或較低电流实行放电，根据它的电压来判断它的放电終期，不可長期使用而过度放电，蓄電池达到最終电压时，就停止使用而交給充电人員进行蓄電池充电工作。使用时应注意电解液面的高度，应高于极板10毫米，不足时可加蒸餾水，不可加自来水或酸液，还应保持電池頂盖上的端头經常清潔，因如有酸液溢出，則会发生漏电現象。

蓄電池的故障情况，一般常有下列几点：

(1) 极板弯曲或腐蝕，而電池底部有白色沉淀物質，这是由于电解液比重太高，阴阳极板发生接触，或電池的放电电流过大，其結果電池的放电時間很短就到达終期。

(2) 蓄電池頂盖表面有白花，接綫端头有綠色晶块，这是由于电解液溢出，产生硫酸銅，会造成漏电。

(3) 电解液混濁，是由于极板涂質剝落，或誤加自来水或井水，会損坏极板。

因为每个蓄電池的电动势才2伏特左右，故实际上常串連

許多个電池，以得到需要的較大電動勢，電池的串連方法，是把第一個電池的負極端用鉛條導線達到第二個電池的正極端，有的電池組包括三個單獨的電池，它們的連結法見圖1-4，是一種常見的例子。

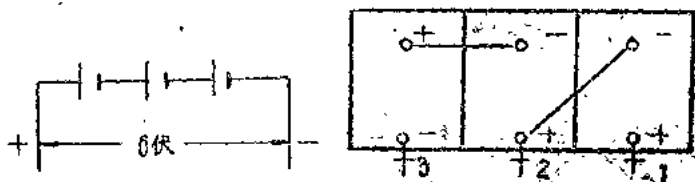


圖1-4 蓄電池的串連

第三節 電流的热效应

在前面第一節中提到過，金屬導体的电阻的大小，決定于它的材料、長度和粗細，所以凡是导体就具有电阻；如电机的綫包，電爐的爐絲，電燈的燈絲，和綫路中的導線，更明顯的例子，就是電工上常用的各式各樣的變阻器；它是由电阻系数較高的合金絲所組成。因為导体具有电阻，所以当导体內有電流時，它就要發熱，所發出的热量(Q)与 電流(I)的平方，电阻(r)及電流通過的時間(t)成正比。這個关系就是著名的楞次-焦耳定律，可用公式表示如下：

$$Q = 0.24 I^2 r t (\text{卡})$$

電流的热效应应用在電燈、電爐、電烙鐵等方面均有巨大作用。

电路中的導線，或各種電器电机中的綫包，由于電流通過它們而發熱，热量由導線內散出，這是一種能量損失；同时如導線溫度升的過高會燒焦綫皮絕緣物，發生着火危險，所以導線的溫升限制了導線中容許通過的電流。

當導線剛通入電流時，導線比周圍環境的溫度高不多，故

導線發出的熱量僅散去一小部分，而大部分使導線發熱升溫；隨著導線溫度的升高，散熱也增加，於是增溫漸慢。最後導線發出的熱量全部散出，達到熱平衡狀態，此時導線不再升溫，即與周圍環境溫度的差別保持不變，此時導線本身的溫度，叫做穩定溫升。

導線中容許通過的電流就是指當這個電流繼續不變地通過導線時，而導線的穩定溫升在安全規範以內，此情況時的電流叫做導線的額定電流。

各種導線的額定電流都與它的截面積或直徑有密切的關係，因為導線的截面積越大，它的電阻就越小，發出的熱量就越小，溫升就不高；同時在散熱方面，因為一定長度的導線，直徑越大，它的散熱表面積也越大，就可以經受較大的電流而溫升不高。過去一般橡皮絕緣銅線常以線號來表示，號數越大，導線的直徑越小。中國電線的線號規定（簡稱線規）現已實行，它的優點是以導線直徑數值當作線號，較比舊式英美線規的線號與線徑關係紊亂要便利許多。下面列出常用的各種導線的部分規格表以作參考。測量任一導線的線徑，可用圓形線規板。

當導線通過的電流超過額定電流時，穩定溫升要超出規範值。電器或電機要過度發熱，至使絕緣燒焦損壞，導線與導線間就會發生電壓击穿，而形成短路現象。短路就是電路被電阻很小的導線連接，電路中發生非常大的電流，比額定電流要大很多倍。導線和電器常因此遭到燒壞着火的危險。

為了避免短路現象，和電路各部因用電電流過大而過度發熱，在電路中總是裝入熔斷保護器。熔斷保護器內有保險絲，當電流超過保險絲的額定電流時，它就熔斷，使電路不通，避免過大電流繼續存在。所以我們選用保險絲時，要根據導線，電器或電機的額定電流來選，總是選用最接近電器的額定電流的

保險絲，千万不可用过粗的保險絲或一般銅絲來代替，因為這是造成燒毀電器使導線着火的主要原因。

電 燈 軟 線

單股膠皮絕緣銅線（屋內）

芯線(根/毫米)	安全電流(安培)	線徑(毫米)	安全電流(安培)
84/0.23	20	1.0	6
		1.2	7
		1.4	9
		1.6	11
79/0.18	15	1.8	12
		2.0	14
		2.3	17
		2.6	19
55/0.18	12	2.9	22
		3.2	25
		3.5	28
		4.0	34
35/0.18	8		

架空線路電線的容許電流表（安培）

線 別	線 徑（毫米）	裸 線	膠 皮 絕 緣
單 線	2.6	70	35
	3.2	90	40
	4.0	110	60
	5.0	150	80
	6.0	190	90
	8.0	280	140
	10.0	370	200
	12.0	450	200
合 股	股/線徑(平方毫米)		
	7/2.0(22)	170	90
	7/2.3(30)	200	100
	7/2.6(38)	240	120
	19/1.8(50)	280	140
	19/2.0(60)	320	170
綫	19/2.3(80)	380	200

第四节 电流的磁场

在物理学中，我們已經知道，一根載有电流的直导线的周围存在着磁场，同理一个筒形线圈导体带有电流时，线圈的内外都产生了磁场，磁场的方向可用右螺旋定则来确定，见图1-5。为了度量电流的磁场，我們常采用三种基本量，第一个是磁势，它等于线圈导线中通过的电流(I)和线圈的匝数(w)的乘积。因为电磁场的来源主要在于电流，电流越大磁场越强，还在于线圈的匝数，匝数越多磁场也越强。磁势的单位是安匝。第二个基本量是磁通，它代表磁场中磁力线总数目的多少，符号是 Φ ，单位是线。第三个基本量是磁通密度，也叫磁感应强度，它表示磁场的强弱，也就是单位磁场横断面上磁力线疏密的程度；当然越密，则磁场越强。它的符号是 B ，单位是线/厘米²，于是有以下的关系：

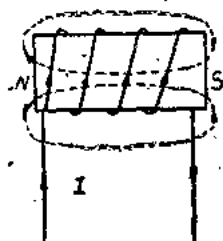


图1-5 筒形电磁线圈

$$\Phi(\text{线}) = B(\text{线/厘米}^2) \times S(\text{厘米}^2)$$

S 代表垂直于磁力线的磁场横断面积。

所以我们欲从电磁线圈得到强大的磁场，可以加大电流或多绕线圈的匝数，也就等于加大了它的磁势；磁势既大了，当然线圈产生的磁通也就增多，于是具有一定截面的线圈，它的磁通密度也就增强了。另外还有一个办法，就是在空心线圈内插入铁心，因为铁能被磁化，也产生磁场来加强空心线圈的电流磁场，故铁心线圈的总磁场是比空心线圈的磁场强的多。实际上任何电机的磁板都用铁心外绕激磁线圈，就是欲得到强大磁场的缘故，电磁铁也就是这个道理。

、电磁线圈的导线中，如通过直流电，因电流方向不变，线圈的磁场方向也有一定；再因电流大小不变，磁场的强弱也稳定。故线圈中的铁心被磁化的磁场方向和强弱也保持一定。但如通过交流电时，因电流的方向和大小总在变化，除线圈的磁场的方向和强弱也在变化外，铁心也要被反复磁化。在这种过程中，就要出现一种磁滞现象。

磁滞是当电磁铁线圈通入变化的电流时，铁心在反复磁化中的一种现象。设有一定截面的铁心，当它外面的线圈中的电流开始增加时，铁心的磁通也增加，但增到后来，虽然电流继续再增，磁通却几乎不再增，叫做铁心达到饱和状态。若将通入线圈中的电流停止时，则铁心中还保存少许的剩余磁通，即仍残留少许原有的极性。若要把剩磁消去，须在线圈中通入反方向的电流，当通入的反方向电流继续增加时，不仅消去剩磁，还随着要出现相反的极性。总之在线圈中通有交流电时，铁心就这样地被磁化或被去磁，但磁场变化总是滞后于电流的变化，故叫磁滞。铁心在反复磁化时，要有一定的电能消耗，这一部分电能是在铁心内转变为热能使它发热，这是一种损失，称为磁滞损耗。

第五节 电磁感应

在物理学中我们已经认识到电磁感应现象，凡是在磁场中的导体，由于它与磁力线相对运动而切割磁通，导体都要产生感应电动势，这就称为电磁感应，在电工上，主要的类况有以下三种：

一、直导体的电磁感应：

运动着的直导体每次截过固定磁极的磁场时；或运动着的磁场每次截过固定的直导体时，在导体中将产生一种电动势，

叫做感应电动势，所有的发电机就是利用这种现象制造出来的。感应电动势的方向可用右手定则来确定，见图 1-6。注意图中⊗表示导体的感应电动势方向是进入纸面，换句话说导体的前端是正(+)极性，后端是负(-)极性；并且这个方向是

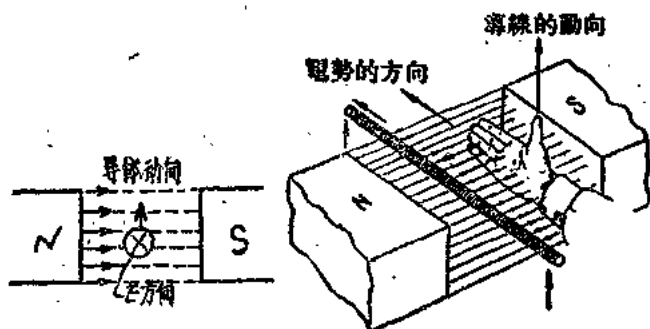


图1-6 直导体感应

指电动势的方向，因直导体尚未连成闭合电路，故不宜说成是电流的方向。感应电动势的大小，原则上讲，是跟导体在单位时间内切割磁通的多少成正比，故感应电动势(E)与磁场的磁通密度(B)，导体的运动速度(v)，以及导体的有效长度(l)成正比；并且三者互相垂直时，感应电动势最大，可表示如下：

$$E \propto Blv$$

二、线圈的电磁感应：

将一块永久磁铁迅速地插入线圈中，则见接在线圈两端的电流计的指针朝一方摆动（见图 1-7 甲），这表明在线圈中有感应电动势产生，使线圈和电流计的闭合电路中形成电流。若将磁铁停止运动，则表针又指零位，若磁铁插入线圈后，再迅速抽出，则表针又朝另一方向摆动（见图 1-7 乙），这表明感应电动势的方向改变了，又若将磁铁的极性倒转过

来，再插入线圈中，则表针摆动方向同乙图情况（见图1-7丙），这表明感应电动势的方向也因磁极极性改变而改变了。以上说明感应电动势的方向决于截过导体的磁场方向及其移动方向。另外线圈趋向固定的磁铁运动时，感应情况仍一样。

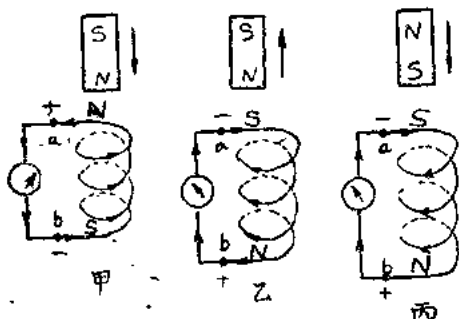


图1-7 线圈感应

俄国伟大的科学家楞次，创定一种方法来决定感应电动势的方向——楞次定律，就是在闭合线圈中，当磁通在增加或减少时，将产生感应电动势和电流；它们的方向，是通过电流在线圈中所产生的磁通，总来阻止原先磁通的增减变化。例如在图1-7甲中，由于线圈中有磁铁N极向下的磁通增加，故线圈的感应电动势或电流的方向，是由b端流向a端；根据右螺旋定则，电流在线圈中产生的磁通的方向朝上，即上面是N极，恰是阻止磁铁N极进入线圈，使磁通不能很容易地增加，也就是需要外力把磁铁插入，才能转换得电动势和电流。所以楞次定律是符合能量守恒的精神，至于图1-7乙丙同样可以验证一下楞次定律的道理，用以判断感应电动势的方向。

前面提过，感应电动势的大小，原则上是与导体在单位时间内切割的磁通的多少成正比，所以线圈中感应电动势的大