

电工学及内外线工程

(上)

前东北铁路总局机务参考书编委会编

王治民 修訂 胡玉声 重訂

人民铁道出版社

目 录

第一編 电 工 学

第一章 基本常識	1
第一节 能(能量)及功	1
第二节 功率	3
第三节 計算功、功率及力的單位	3
第四节 能的傳送	4
第二章 电流及电压	5
第一节 通 論	5
第二节 簡單的电力設備	6
第三节 並 联	10
第四节 串 联	12
第五节 电阻及欧姆定律	14
第六节 电線电阻	18
第七节 电流之热作用及楞次—焦耳定律	19
第八节 短絡及保險絲	21
第九节 热線式安培計及伏特計的構造	23
第十节 电流的方向和其化学作用	24
第十一节 蓄電池及干電池	25
第十二节 电导	26
第十三节 混联(串並联)电路的电流	29
第十四节 电势及电压降	31
第十五节 功率損失及效率	32

第十六节	两个发电机的迴路	33
第十七节	三 線	34
第十八节	克希荷夫定律	38
第十九节	选择电線及保險絲	39
第三章	电 磁 学	42
第一 节	电磁性質	42
第二 节	磁 場	43
第三 节	磁 力 線	44
第四 节	环狀电流及磁鉄	45
第五 节	左手定則	47
第六 节	磁感应强度及磁通	48
第七 节	二电流互相間的作用	50
第八 节	电动式电表	52
第九 节	鉄内磁場	54
第十 节	电磁式及磁电式电表	56
第十一节	电磁感应	56
第四章	交流理論	61
第一 节	交流电是怎样得来的	61
第二 节	交流发电机	63
第三 节	交流电表	64
第四 节	交流电压及电流曲線	65
第五 节	交流迴路的感抗及功率因数	67
第六 节	交流迴路中的电容及相位差的补偿法	74
第七 节	交流迴路的計算	77
第八 节	送电線路	81
第九 节	三相交流电及星形联接法	86
第十 节	三角形联接法	91
第十一节	三相交流电的功率	92
第十二节	三相線路的功率損失	93
第十三节	三相交流功率的測量法	95

第十四节 三相交流水銀整流器	96
第五章 直 流 机	99
第一节 电机的用途	99
第二节 直流机的励磁	100
第三节 换向器	101
第四节 电枢繞組	103
第五节 直流机的運轉	105
第六节 励磁方法	107
第七节 电动机的運轉	109
第八节 串激及分激电动机的特性	110
第六章 变 压 器	113
第一节 变压器的構造及原理	113
第二节 变压器的使用	117
第三节 三相变压器	118
第四节 变压器的損失	119
第五节 自耦变压器	121
第六节 仅用变压器及变流器	121
第七章 交 流 机	124
第一节 交流發电机	124
第二节 交流同步电动机	125
第三节 三相交流机	127
第四节 同步机的運轉	130
第五节 同步發电机的並列运行	132
第六节 旋轉磁場	135
第七节 異步电动机	135
第八节 異步电动机的起動	137
第九节 交流瓦时計（电度表）	138
第十节 銅損鉄損及电机的效率	139

第八章 电气測量	140
第 一 节 电气标准單位	140
第 二 节 簡單电气測量	140
第 三 节 功率的測量	143
第九章 高电压的危險	144
第 一 节 概 論	144
第 二 节 危險的來源	147

第一編 电工学

第一章 基本常識

第一节 能（能量）及功

1. 能（能量）

能够作功的力叫做「能」或称「能量」。例如：

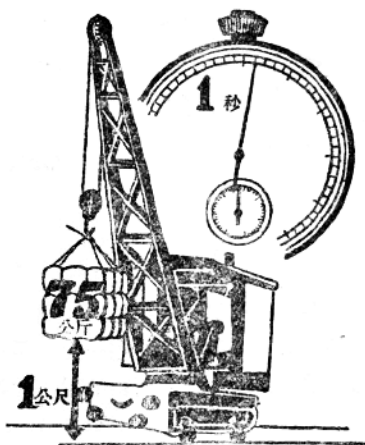
（1）打开电灯开关，电灯就發出光来，这就是电灯發出了「光能」。

（2）鍋炉里面燃燒着煤，把水蒸發成汽，是因为煤的燃燒結果發出来「热能」所致；蒸汽的压力，使原动机廻轉，發出来「机械能」；繼又帶动着發电机廻轉，發出来「电能」。

（3）起重机之所以能够举起貨物，是因为它具有一种起重能（第1圖）。

某种能可以变为另一种能。例如：

起重机由於蒸汽机帶动着它，才能举起貨物，而蒸汽机的汽缸內又須供給足够压力的蒸汽，但蒸汽却由於鍋炉里面的煤燃燒而將水蒸發成的，这样說明了煤的热能变为蒸汽能，又变为汽缸

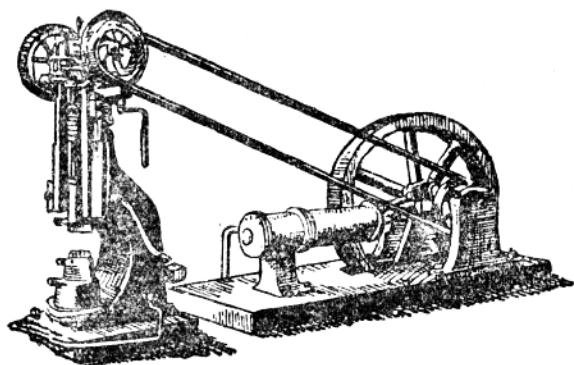


第1圖

轉動的移動能，飛輪的迴轉能，最後變為起重能。

能量不滅，也不能復原，它有各種不同的形態，可由這種形態的能轉變為另一種形態的能。

由上述的例子，我們知道「能」是由煤、水傳到蒸汽機，再傳到起重機，並非在某一階段上消失了，一直到舉起了貨物，到此也並非消失，乃是作了功。如果是汽錘，則被舉起的錘有一種「位置能」，還可以打各種鐵製品（第2圖）。



第2圖

2. 功

在上述簡單的例子里，我們遇到了熱工學上很重要的問題，就是「能」可以使物體在一定的距離上移動，這個移動所用的力、乘上移動距離，所得的積，就叫做「功」。即：

$$\text{功} = \text{力} \times \text{距離}。$$

例如第1圖75公斤的貨物，起高1公尺，所作的功即為75公斤公尺。

第二节 功 率

人或机器所作的功，不能决定其工作的性能，同是一个工作可在各种不同的時間內完成之，兩個人作了同一的工作，都很好，我們表揚做的快的那个人。一个人3小时作了20个零件，另一个人4小时作了30个零件，誰的工作好呢？为了解答这个问题，有两个方法：或者是1个人做1个零件需要的时间（得9及8分鐘），或者是在單位時間內（1小时）能作几个零件（得6.67及7.5个），很明显，第二个人比第一个人作的好。同样方法我們可以計算兩個或兩個以上机器的功率。

在單位時間內，任何机器所能作出来的功叫做功率，可列公式如下：

$$\text{功率} = \frac{\text{功}}{\text{時間}}$$

$$\text{或者 功} = \text{功率} \times \text{時間}$$

在同一時間內功率大的机器所作的功也多。

第三节 計算功、功率及力的單位

电度表可以表示出来我們用的电能量，数字盤上有瓩小时的数字，瓩小时就是1,000瓦特小时。功可以用瓦特小时計算之。

在技术計算上，時間常以秒為單位，而不以小时為單位，1小时等於3,600秒，1瓦特小时是3,600瓦特秒，功的單位是瓦特秒。

所謂瓦特秒就是容量1瓦特的机器，經過時間1秒所作的功。功率的單位是瓦特。

人在梯子上登高一步，其所作的功近於100瓦特秒。起重機举起1个火車头1公尺高，其所作的功近於1,500,000瓦特秒。举起兩個火車头高0.5公尺，或者举起四个火車头高0.25公尺，其所作的功与举起1个火車头高1公尺相同。

一人体重70公斤，3秒間在梯子上升高5公尺，其功率近於1,000瓦特时或称1瓩。近代發電机的容量在50,000瓩以下。1瓩等於1,000瓦特。

在科学上普通以公分为長的單位，功的單位是瓦特秒，則力的單位为瓦特秒每公分，另外無其他專名詞，因为在电工学上很少时候測量力的数值。

重量的單位最普遍用公斤，这是地面上物体的重量，而不是力量，虽然兩者皆以公斤計算，但實質上是有区别的。

功的單位普通用公斤公尺，1公斤公尺，是1公斤的力量移动1公尺的距离所作的功。1瓦特秒 = 0.102 公斤公尺。

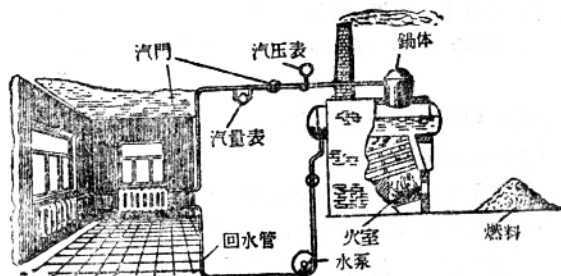
另外我們常見的一种功率單位就是馬力。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 馬力} &= 0.746 \text{ 瓩 (英制)} \\ &= 0.7359 \text{ 瓩 (公制)} \end{aligned}$$

而这种單位在現在已不常用。

第四节 能的傳送

能的傳送有各种方法：如第3圖，鍋爐火箱內燃燒着的燃料使水加热而蒸發为蒸汽。随着蒸汽温度增高其压力亦随之增高。蒸汽送入汽管中，汽管長可达数百公尺，高压时可达数公里之長。蒸汽經由汽包放出其热能，凝結的水再經由水泵送回鍋爐去，



第3圖 鍋爐內燃燒着的燃料，其热能供給用戶，蒸汽就是傳送热能的

成为循环的状态。

蒸汽的流动，是因为在汽管中各点的压力不同，由高压方面往低压方面流动。在管子的各处有汽門，以便停止蒸汽的流通。

汽管不但是导蒸汽至汽包，同时也是防止蒸汽的热量向外放散。管壁是防止蒸汽与空气的混合，因为蒸汽与空气混合，热能虽然沒消灭，可是他的热量放散了。为了加强热量不放散，在管子的外边更加一層石棉或其他保温裝置。

由这个簡單的例子我們可以知道，能可以应用於任何地方，只是利用什么方法来傳送它，傳送到一定的方向和距离。我們举的例子是利用蒸汽傳送热能。

但是我們也須考虑到技术和經濟上的条件如何。运送燃料也是热能的傳送，我們就須考虑利用蒸汽傳送热能經濟呢？还是运送燃料經濟呢？

利用蒸汽傳送热能，只可在数量比較少，距离比較短时採用之，供給远距离較大的工厂用戶則不經濟，因为热的損失太大了。利用电力是最經濟的。

利用电力傳送給用戶，較用蒸汽傳送設備簡單而經濟。电力的使用如电灯、电动机、化学方面的电解等既簡單又方便，且能傳送到数百公里，而損失也少。

第二章 电流及电压

第一节 通 論

为了使电灯發光，我們就得把电灯上的線与發電裝置之發電机所引出来的电線联結上，經由电線將电能傳送过来使灯泡的鎢絲發生白热状态。由發電机經由电線再供給电动机、起重机、电焊机及电影院等等电力設備。

大發電厂供給数万盞电灯及大量的电动机。發電所需要的能是由於煤、柴油、泥炭的燃燒或是水力得来的。电动机及电灯不

只是由發电机供給電力，普通手電筒由干電池供給電力；汽車起動电动机由蓄電池供給電力；旅客列車車燈也是由蓄電池供給電力，但在列車行走中，是由特殊發电机（車的下部）發電供給電力，該發电机由車輪帶着迴轉。

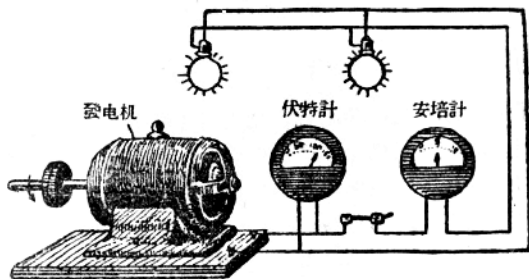
以上所舉的發电机、蓄電池等等，並不是能的源泉，只不過是由供給它的機械能和化學能變為電能而已，再經由電線傳送到遠方以供用戶之用。蓄電池或干電池的能是化學的作用，手電筒的干電池經過一定時間須更換，蓄電池也是一樣，經過一定時間須重新充電，方能保持它的效力。用戶得到的電力或變為光或變為熱或者變為機械能（動力）及化學能（充電）以應用之。

電工學的基本意義，總括來說，是指示最方便的方法，如何變化和傳送電能。

學會電能變化的法則，把這些法則應用到我們工作中或生活中的需要上，這就是我們研究電工學主要的目的。我們先由簡單的電力設備研究起，而逐漸進展。

第二節 簡單的電力設備

發电机 如第4圖是基本電源，它將傳給它的機械能變為電能。發电机與蒸汽設備的鍋爐性質相同，鍋爐變燃料的化學能為蒸汽能，發电机變原动机傳給它的機械能為電能，送到電力網上



第4圖 簡單發電設備，發電供給電燈使用

去。

發電機的構造沒有鍋爐的構造那樣明顯，發電機如何運轉，我們另外單獨研究。為了使發電機供出電流，原動機使發電機迴轉所需的能力愈大，則發電機供出的電流也愈大。

例如小型發電機有兩個端子，以兩條金屬線聯結端子與用戶。這種金屬線，我們稱它為電線。

圖上的用戶只是電燈，我們注意看圖的結線，電路是成一個環狀的。與此類似的成一個環狀的圖如蒸汽設備，不過蒸汽設備是以汽管聯結成一個環狀的，本圖是以金屬電線聯結成一個環狀的。如由發電機右側端子引出之電線經燈泡內的鎢絲，然後經安培計及開閉器回到發電機左側之端子上。

為了電流在電線內流通，把電線結成一個環狀是必要的條件。

如圖所示，如將開閉器打開，電流的通路就切斷了，電流在電線內不能流通，電燈也就滅了。

同樣，燈泡的鎢絲如果燒斷，電流也不流通了，因為電流的通路已不成環狀了（電路的一部分截斷了）。

電流 為了了解電力設備運轉情形，在電力迴路上聯結兩個電表，1個是量電流的，叫做安培計。電流的單位是安培，用 A 代表之。

安培計接於迴路的切斷處，將切斷之兩端接於安培計的兩個接續子上，叫做串聯。

電壓 另1個表接於兩線之間叫做伏特計，測量兩線間之電壓，電壓的單位是伏特，用 V 代表之。

電壓及電流是任何電路中的基本特性。

所有電力設備可以分為以下幾個主要部分：（1）電線路；（2）開關裝置；（3）用戶；（4）表類；（5）發電機。

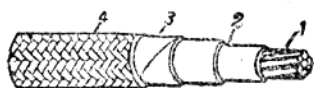
關於發電機及表類的構造以後研究，先研究其他幾部分。

電線路 以電線聯結發電機與用戶，它的用途與汽管子相

同，电能經电線輸送至各处。

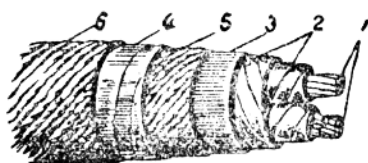
輸送的电叫做电流，所以我們說在电線上通过或流过电流。电流在电線上流通如同蒸汽在汽管中流通一样。

絕緣 电線周圍的空气，或者电線包以絕緣材料如第5圖及第6圖。使电流暢通於电線上，而不超出空气、膠皮紙及其他絕緣材料。



第5圖

1. 合股銅線 2. 膠皮絕緣 3. 綑膠紗
4. 綑紗包皮



第6圖

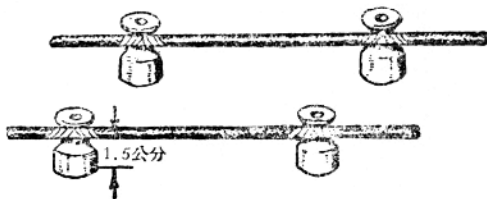
1. 銅芯 2. 注油絕緣紙 3. 防濕鉛皮
4. 保護電纜的鋼帶 5. 黃麻外皮

过的电流越大，电線的截面积也得越大。蒸汽的压力越高，做汽管材料的强度也得越大，蒸汽压力有数十大汽压者，材質不良的管子容易破損。同样，电線的絕緣也应有充分良好的質量和厚度，如質量不强，厚度不够，其絕緣易於破損。

軟線用於100、200以至500 伏特电压以

我們用裸線時，空气就是絕緣。电線釘於牆上或某支点上，牆或支点不一定是絕緣的，可能洩漏电流，所以电線必須綁於牆上的或支点上的絕緣子上。絕緣子以瓷質材料制作之。第7圖所示系低电压用磁絕緣子。

管中流水或蒸汽越多，管子的截面积也得越大。同样，电線上通



第7圖 低电压用磁絕緣子

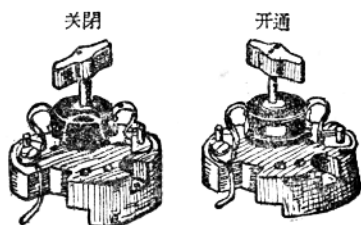
內的屋內之電燈配線上，絕不可用於高達數千伏特電壓的設備上，否則絕緣可以破壞，電流經由破損處發生之火花而短絡。被電流燒得灼熱的空氣其通過電流如同電線一樣。

開關裝置 為了隔絕汽管中蒸汽的流通，須於管路中安裝汽門。同樣為了隔絕電線中電流的流通，須將線路以開關裝置隔斷之，空氣和油質都是絕緣物。

第8、9、10及11圖四種開關裝置，都是為隔斷電流通路而用者，也就是切斷電路而用者。

開關裝置串聯於電路中。

第8圖所示是電燈用的開關，一個是經金屬片與電線聯結，另一個是由磁制或隔電紙制之絕緣物隔斷了電路。



第8圖 電燈用開關

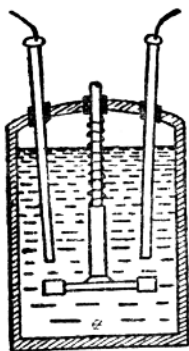


第9圖 刀閘開關

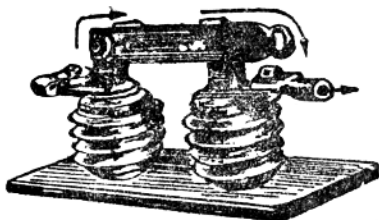
第9圖所示是刀閘開關，在絕緣板上有二線用四個端子，拉開開關時，電流的通路就被隔斷了，因為空氣是絕緣的，電流不能通過。這種開關，在電流較小處可以使用，在大電流下絕對禁止，500~600伏特電壓以內可以使用。

高壓設備（電壓在1,000、10,000或100,000伏特時）須利用油開關，如第10圖，在絕緣油內隔斷電路，這種開關電流在1,000安培左右可以使用。

第11圖所示之開關裝置為線路上的隔離開關，隔離開關的開閉須在無電流時施行之。如若有電流下拉開它，則易發生大火花，即所謂電弧，因此可能引起嚴重的事故。



第10圖 油开关



第11圖 隔离开关

用戶 第4圖所示的用戶是電燈，電流經由燈泡的鎢絲成一電路，使電燈白熱而發光。為了防止燈絲燒損，將燈絲置於沒有氧氣助燃的玻璃燈泡內。現今的燈泡不但抽出助燃的氧氣，同時注入不助燃的氬氣，這種燈泡的鎢絲燒損時，完全是電力的關係使它自身碎斷了。

第三節 並 聯

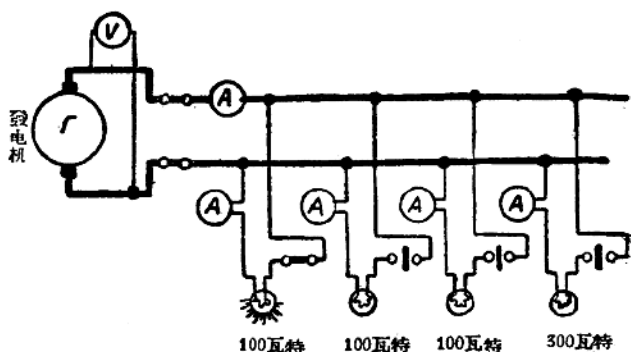
第12圖所示與第4圖類似，用戶設備是電燈，電燈容量100瓦特的3盞，300瓦特的1盞。如若把4盞燈全關閉了，則線路中無電流，但電壓依然存在。這種現象可與蒸汽設備之汽管關閉汽門所生之現象相比擬，關閉汽門，汽管中之壓力很高，但是蒸汽不流動。

假設線間電壓為100伏特，則每盞燈的電壓均為100伏特，這種聯結電燈的方法叫做並聯。

如燈泡的電壓是100伏特，則接100瓦特的燈泡就需要100瓦特的功率，接300瓦特的燈泡，就需要300瓦特的功率。

現在我們注意接燈時看着電表的指示（在實際上並不是在每

盞灯上都联一塊安培計，也沒有这种必要）。



第12圖 电灯設備：Γ發電機，V伏特計，A安培計

如若联結第一盞 100 瓦特的灯泡（如圖所示）灯亮了，安培計的指針由零位移动到 1 安培的位置上，同时靠近發電機在头 1 盞灯的前面的安培計也指示 1 安培。

再联結第二盞 100 瓦特的电灯，联於第二盞灯前的安培計指針也指示 1 安培，靠近發電機之安培計指針則指示 2 安培，通过發電機的电流等於：

$$1 + 1 = 2 \text{ 安培}$$

联結第三盞 100 瓦特的灯泡如前圖安培計也是指 1 安培，联結第四盞 300 瓦特灯泡則指示 3 安培。

靠近發電機安培計的指示，随着增加每一盞电灯的电流而增加之。

經過 3 盞 100 瓦特的灯泡各流过 1 安培，电流經過 300 瓦特灯泡流过 3 安培电流，則發電機供出电流为：

$$3 \times 1 + 3 = 6 \text{ 安培。}$$

伏特計的指示不变，它与联結的灯数没有关系。

联結电灯越多，需用的功率也越多，在線路中流过的电流也

越多。

联结100伏特100瓦特的灯泡，其电流为1安培，联结100伏特50瓦特的灯泡其电流为0.5安培，可以得到一个结论：在一定的电压下需要的功率与电流成正比。

换句话说就是电流增加两倍，所需的功率也增加两倍，电流增加3倍，所需功率也增加3倍，依此类推。

第四节 串 联

以同样的灯泡1盏接着1盏的成串的联结上，这种联结法叫做串联。

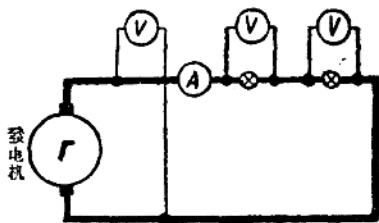
安培计必须与我们要测定电流的机器或灯泡串联，伏特计必须与我们要测定电压的机器或灯泡并联。测定某些线路其电流之值同时是串联，要测定某些线路其电压同时是并联，也就是串联电流相同，并联电压相同。

我们不要以为电灯只是串联或是并联，联结的方法还有复杂的，以后再讲。

以两盏100瓦特之灯泡，如第13图所示与电压100伏特的发电机联结之。灯泡不大亮，灯丝不成白热状态，什么原因？因为电源100伏特之电压，平均分配给串联的两盏电灯上，则每盏电灯的电压不能是100伏特，就变成50伏特了。

两盏电灯的电压相同，也就是因为两盏电灯是一样。如若两盏电灯不相同，则100伏特电压就不能平均分配给每盏电灯了。如一盏灯的电压是70伏特，则另一盏灯的电压就是30伏特。

第13图是量每1盏电灯的电压时，伏特计联结的方法。通过电灯的电流



第13图 发电机供给两盏串联电灯的电流