



電力工業技工学校教材試用本

实用电工学

沈陽電力技工学校編

電力工業出版社

实 用 电 工 学

中华人民共和国电力工业部教育司推荐
作为电力工业技工学校教材试用本

电 力 工 業 出 版 社

內 容 提 要

本書闡明地介紹了發電廠用電的基本知識。書中首先說明了電工學的基本理論，接着介紹了電機學、電工儀表及繼電保護裝置，同時又概括地介紹了配電設備及技術保安的一些基本問題。本書特別着重敘述了同期發電機、電動機等理論問題及運行維護工作。

本書是電力工業技工學校培養鍋爐、汽輪機運行專業的技工的教材，同時對發電廠運行人員也有參考價值。

實 用 電 工 學

沈陽電力技工學校編

475D173

電力工業出版社出版(北京中石路25號)

北京市印刷廠鑄造部印刷(北京中石路25號)

北京市印刷一厂排印 新华書店發行

787×1092 $\frac{1}{2}$ ，開本：6 $\frac{1}{2}$ ，印張：121，字數：32萬字，定價(第9類)0.75元

1957年1月北京第1版

1957年1月北京第1次印刷(0001—35,100冊)

序 言

“電力工業技工學校教材試用本”原是沈陽電力技工學校 1955 年的教材，內容包括鍋爐、汽機、電氣三個專業（每一專業分運行和檢修兩班）的 22 種教材。沈陽電力技工學校編寫這套教材是以本校的教學計劃和教學大綱為根據，這個教學計劃和教學大綱是參照蘇聯技工學校的教學計劃和教學大綱制訂，經電力工業部審查批准的。

由於電力技工學校的學員大都是初中程度的青年，他們都不懂技術，生活經驗也不豐富，因此在編寫這套教材時，盡量使內容淺顯，說理簡明，通俗易懂，並且避免一些複雜公式的煩瑣推演和證明。另外，因為這些學員在校畢業以後，經過現場短期的實習，就要投入生產，擔負火力發電廠的運行或檢修工作，所以教材的內容就特別注意到貫徹法規和規程，結合現場實際的需要，並在必要的地方作了淺近的解釋，目的是使學員到達現場以後，很快地就熟悉生產過程並掌握操作技術。因此，“電力工業技工學校教材試用本”不僅可供電力技工學校的學員學習，而且也可作為發電廠培訓技術工人的教材，還可作為幫助工人進修的讀物。

隨着國家電力工業蓬勃的發展，電力技工學校和現場培訓工作也在迅速地前進。根據客觀上的需要，電力工業

出版社和沈陽電力技工學校曾共同研究，決定將1955年的教材修訂出版。這套教材經中華人民共和國電力工業部教育司推薦作為電力工業技工學校教材試用本。

這套教材是由本校各專業科的教師集體編寫，其中電氣科有蔡元宇、吳修法、徐康吉、魏蔭蓀、施致中、王熹德等同志；汽機科有周禮惠、劉勤勤、樓維時、于學富、郁善同、康文秀、林虔、齊恩海等同志；鍋爐科有李力夫、余立培、孫向方、蔣世澂、董樹文、劉少青、郭新民、王景龍、張印、孫吉星、王慶翰等同志；基礎技術科有李天璞、程與權、杜金祥、吳淑華、李恒章、龔學忠、尚世芳等同志。在修訂教材的過程中，重慶電力技工學校張盛榮同志曾協助編寫汽機專業熱工學教材，重慶、上海電力工人技術學校教師周基善、蔡紹勤、胡駿之等同志曾對教材的修訂提出了許多寶貴的建議，並校對了部分教材，謹此對他們表示感謝。

編寫本書曾參考“電力工業生產過程基本知識”第三分冊和“電工學”等書，我們亦謹此向著譯者表示感謝。

雖然修訂教材的同志在主觀上盡了最大的努力，但由於時間短促和水平所限，因而不完善的地方無疑是存在的。我們誠懇地希望讀者提出意見和批評，以便再版時修正。

沈陽電力技工學校

1956年6月

目 录

序 言

第一章 电工学基础	6
第1节 电的基本概念	6
第2节 电流、电压、电阻及欧姆定律	8
第3节 电阻的联接	11
第4节 电桥	13
第5节 电流的热效应	14
第6节 电流的功和功率	16
第7节 电磁感应	18
第8节 单相交流电	28
第9节 三相交流电	39
第10节 电气保安的一般概念	44
第二章 照明	50
第1节 电厂照明的概念	50
第2节 工作照明、事故照明和保安照明	54
第三章 变压器	62
第1节 变压器的一般知识	62
第2节 变压器的工作原理	64
第3节 变压器的结构和类型	67
第4节 自耦变压器	70
第5节 仪表互感器	72
第四章 异步电动机	78

第1节	异步电动机的类型	78
第2节	异步电动机的工作原理	79
第3节	短路轉子异步电动机的結構	80
第4节	短路轉子异步电动机的工作和性能	81
第5节	繞綫轉子异步电动机的結構	83
第6节	繞綫轉子异步电动机的工作和性能	85
第7节	双鼠籠式异步电动机	86
第8节	异步电动机的起动方法	88
第9节	异步电动机变换旋轉方向	91
第10节	异步电动机功率因数的改善方法	92
第11节	对电动机的監視与維護	92
第五章	直流电机	96
第1节	直流發电机的工作原理	96
第2节	直流电机的構造	102
第3节	直流發电机的性能	105
第4节	直流电动机的工作原理	108
第5节	直流电动机的性能	113
第6节	有关直流电机維護和故障的基本知識	117
第7节	整流器	118
第六章	同步發电机	121
第1节	同步發电机的工作原理	121
第2节	汽輪發电机的構造	127
第3节	同步發电机的冷却系統	129
第4节	灭火裝置	131
第5节	关于軸电流的一般概念	132
第6节	关于發电机运行的一般概念	134
第七章	配电設備	137

第1节	閘刀开关和轉換开关	139
第2节	熔断器	141
第3节	断路器	143
第4节	油开关	145
第5节	电磁操作机构	148
第6节	开关櫃	148
第八章	电工仪表及繼电保护裝置	152
第1节	电流表和电压表	152
第2节	电力表	155
第3节	电度表	157
第4节	周波表	158
第5节	电子管的一般概念	159
第6节	繼电保护裝置的作用和原理	165
第7节	电流繼电器	167
第8节	电压繼电器	169
第9节	時間繼电器	163
第10节	中間繼电器	173
第11节	信号繼电器	174
第12节	感应型电流繼电器	174
第13节	电动机保护	176
第14节	厂用电动机操作回路及联动回路的一般概念	180
第九章	电气保护工具及保安常識	193
第1节	保护工具	193
第2节	防止意外接触帶电压部分的保护方法	194
第3节	触电的紧急救护法	196

第一章 电工学基础

第1节 电的基本概念

很早就有人發現：許多物体用毛皮、絲綢或毛呢摩擦后，能够吸引某些極輕微的物体，这种吸引物体的能力，称为电的能力。能够显示电力的物体称为帶电体，它所帶的电称为电荷。

用各种不同的物質进行摩擦，使其成为帶电体，然后試驗其性質，証明所有帶电体只有兩类性質：一类与用綢摩擦玻璃，在玻璃上所得的电相似，一类与用毛皮或毛呢摩擦硬橡皮，在硬橡皮上所得的电相似。前者所帶的电称为正电(或陽电)，用 $[+]$ 符号来表示，后者所帶的电称为負电(或陰电)，用 $[-]$ 符号来表示(衡量电量的实用單位叫作庫倫)。

由試驗还証明：电荷与电荷之間存在着相互作用的力；一切物体，当帶有相同符号的电时，則互相排斥，当帶有不同符号的电时，則互相吸引。

如果帶电体与另一不帶电的物体相接触，則第二个物体就能够从第一个物体上得到一部分电荷，使自己也变成帶电体。正負不同的兩种帶电体互相接触时，如果所帶的电荷相等，則由于正、負电荷中和而不再显示电能。倘某一帶电体上的电荷比另一帶电体的电荷多，則兩种电荷中和时，多余的电荷傳至另一帶电体，使兩帶电体有相同性

質的电荷，而产生互相排斥的現象。

科学已經証明自然界中的一切物質都是由極小的質点(分子)所組成，而分子又由更小的質点(原子)所組成。原子的組織是極其复杂的，每一原子都是由一个帶有正电荷的原子核和以極大的速度(每秒鐘达数百米)在它周圍不断旋轉着的帶有負电的电子所組成，其形狀正像太陽系中各种行星(如地球、火星……)圍繞太陽运动一样。

物質元素不同，原子核的重量和所帶电荷的多少就随着不同，圍繞着原子核旋轉的电子的数目也不同。氫是最輕的元素，它的原子結構最簡單，原子核所帶的正电荷也最少，核周圍只有一个电子繞着旋轉，别的元素的原子結構都比它复杂，原子核比它重，原子核所帶的正电荷比它多，而核周圍有几个以至几十个电子繞着旋轉。例如銅有29个电子，金有79个电子，鉍有92个电子。

無論那种元素，在正常状态下，原子核所帶的正电荷跟周圍电子的数目(每一个电子帶有一个負电荷)相等，这时正負电荷的作用互相抵消，所以不显示帶电的現象。

在比較复杂的原子中，各个电子繞行的軌道距离原子核并不一样：有的近些，有的远些。距离远的电子所受原子核的吸引力比較小，因此当它們受到外界的某些力的影响时(例如摩擦)，就可能离开它們原来的原子而跑到另一个物体上去。物体失去部分电子后，原来电的平衡遭受破坏，就显示出正电，得到电子的物体就显示出負电。例如用毛皮摩擦硬橡膠，毛皮上的电子跑到硬橡膠上来，因而硬橡膠就帶有負电，而毛皮帶有正电。

由于原子的結構不同，圍繞原子核的电子的性質也不同，有些物質如銅、鋁等金屬，最外層的电子受到外界作用后特別容易移动(称这样的电子叫自由电子)，因此这些物質具有善于导电的性質，叫作导体；有些物質如瓷、橡膠、紙、空气等，电子特別不容易移动，因此这些物質具有隔离电的移动的性質，叫作絕緣体。

第2节 电流、电压、电阻及欧姆定律

(一) 电 流

設有甲乙两个金屬球(圖1)，甲球帶有正电，乙球帶有負电，若用金屬导綫把这两个球联接起来，則电子將由电子过多的乙球移到电子过少的甲球。这种电子沿着导綫的移动現象，称为电流。要确定电流的性質必須确定它的强度及方向。

在电子学說發明以前，电流現象早已發現，当时电流的方向是假定由正到負，这个假定多少年来已为人們所熟習，因此，虽然根据現代的电子学說，电流的方向实际上是由負到正，但为了不改变習慣的用法，在实用的电工学中，电流的方向，至今仍假定为由正到負。

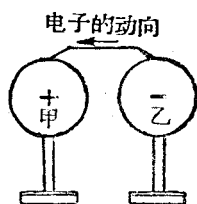


圖1 电子的移动

电流的量值(简称电流)是用帶电質点在某一方向下移动的电强度来度量的，在数值上它等于1秒鐘內通过导体截面的电量。如果电流的量值与方向都不变，就叫做直流。电流的單位称做安培(简称安，

用符号 A 表示)。

如果在 1 秒鐘內通过导体截面的电量等于 1 庫倫，导体內电流就等于 1 安培。电流的較小單位是毫安，等于 0.001 安。电流的大小，可用电流表来測量。

(二) 电 压

在圖 2 中，發电机使甲球不断地得到正电，乙球得到負电，因此就使电流在电路中不断地流經导綫和电动机。这种由發电机产生的并使电流不断在电路中移动的能力称为电势(或称电动势)；克服电路中某一段对电流的阻力所耗費的能力，則称为該段的电压。

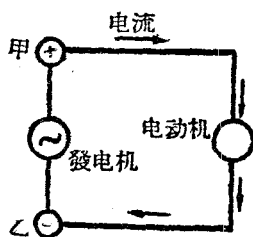


圖 2

电势和电压的本質是一样的，都用同样的單位来度量（电势或电压的單位是伏特，用符号 V 表示。电压的大小可用电压表来測量）。

(三) 电 阻

水在管中流动，很明显管壁会有一种阻力，長而細的管子，阻力就大，管壁粗糙与否，也影响阻力的大小。电綫对电的阻力，也有同样的現象，長而細的导綫阻力就大，不同材料制作的导綫，阻力也不同。另外导綫的温度也能使它的阻力变化，温度升高，則金屬的阻力加大，而液体和碳的阻力却随温度的升高而降低。只有某些特殊的合金(如錳銅、康銅、鎳合金等)，温度虽加高，而阻力几乎不变，这种阻止电流通过的阻力叫做电阻。

由此可見導綫的电阻决定于：(1)導綫的長度；(2)導綫的截面；(3)導綫的材料；(4)導綫的温度。在工業上最常用的導綫就是電綫，制造厂通常將電綫分类制表，我們可从表上查出它們的电阻及允許通过的电流。見表 1。

电阻的單位为欧姆或简称[欧]，常用字母 Ω 表示。

导 綫 規 格

表 1

导綫标号	导綫股数 及直径(毫米)	实际截面 (毫米 ²)	电 阻 (欧姆/公里)	允 許 电 流 (安培)
銅綫				
M-10	1×3.5	9.6	1.84	95
M-16	7×1.7	15.89	1.20	130
M-25	7×2.1	24.25	0.74	180
鋁綫				
A-16	7×1.7	15.89④	1.96	105
A-25	7×2.1	24.25④	1.27	135
A-35	7×2.5	34.36④	0.91	170

導綫对电流有一种阻力，前面已經講过，但是我們还必须注意，導綫不但有阻力，同时还具有引导电流通过的能力，这种能力叫做电导。

導綫具有的电阻愈大，它的电导就愈小，也就是引导电流通过的能力愈小；反之，導綫的电阻愈小，它的电导就愈大，也就是电流愈容易通过。所以，电阻和电导互成倒数，即

④ 鋁綫的截面，系導綫截面的理論面积。

$$\text{电导} = \frac{1}{\text{电阻}}, \quad \text{电阻} = \frac{1}{\text{电导}}.$$

(四) 欧姆定律

在直流电路中，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。

实验证明：在电阻不变的电路中，电压愈高，电流愈大，并且电压高几倍，电流也大几倍，即电流与电压成正比；当电压不变时，电路中电阻愈小，则电流愈大，电阻小几倍，电流就大几倍，即电流与电阻成反比。

若用符号来表示： I 为电流安数， U 为电压伏数， R 为电阻的欧数，欧姆定律可用公式表示如下：

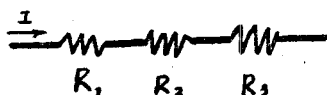
$$I = \frac{U}{R}. \quad (1)$$

即是导体内的电流与导体两端电压成正比。从(1)式可知： $U = IR$, $R = \frac{U}{I}$ 。

第3节 电阻的联接

电路中的各个电阻，可以互相联成串联、并联和复联。

(一) 串联：就是把各个电阻的首尾联接起来，而成图



3 所示的电路。

由几个电阻串联着的电路的电阻，等于各个电阻之和。

图3 电阻串联

$$R = R_1 + R_2 + R_3. \quad (2)$$

串联电路的特点是：各段的电流都相同，总电阻是各段电阻之和，总电压是各段电压之和。

(二)并联：把各个电阻的首尾两端分别接在一起（如图4），即成并联。

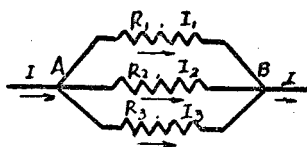


圖4 电阻并联

从圖4中可以看出各支路的总电导等于各支路电导之和，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}. \quad (3)$$

倘若欲求总电阻，則可先求出总电导，再按电阻与电导的关系求出总电阻。

倘若并联的电阻均相等，則总电阻 \$R\$ 將等于一个支路电阻 \$R_1\$ 除以支路数 \$n\$。

由此可見电阻并联时，总电阻减小，而总电导增加。

在并联电路中，流向各支点 \$A\$ 的电流（圖4）經過 \$A\$ 点后，分为三路繼續流去。流向分支点 \$A\$ 的电流 \$I\$，恰等于从該点流出的电流之和，即

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

設分支点 \$A\$、\$B\$ 之間的电压等于 \$U\$，則根据欧姆定律：

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

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}, \quad I_3 = \frac{U}{R_3}.$$

并联电路的特点是：各分路的电压都相同，总电导是各分路电导之和，总电流是各分路电流之和。

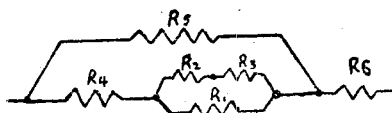


圖 5 电阻复联

(三)复联是以上两种联接方法的组合，圖 5 是复联的一个例子，日常遇到的电路多半是复联。

第 4 节 电 桥

供测定电阻用的电桥(圖6)是由三个电阻箱所組成。

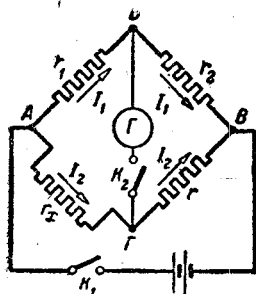


圖 6 电 桥

箱內三个电阻 r_1, r_2, r 与被测电阻 r_x 一起構成閉合迴路 AB BD ，并在它的一个对角綫內接入电流計，另一个对角綫內接入電池。电阻 r_1, r_2 与 r 可以調整到开关 K_1 与 K_2 合上时，电流計內沒有电流通过。在这种情况下， B 与 C 兩点的电位相同，因此

$$U_{AB} = U_{AC} \text{ 与 } U_{BD} = U_{CD},$$

$$\text{或 } I_1 r_1 = I_2 r_x \text{ 与 } I_1 r_2 = I_2 r.$$

前一等式除后一等式

$$\frac{I_1 r_1}{I_1 r_2} = \frac{I_2 r_x}{I_2 r}$$

由此得

$$r_x = \frac{r_1}{r_2} r. \quad (4)$$

上面方程式指出，如果电阻 r_1 、 r_2 与 r 都知道了，那末电阻 r_x 就可以决定。

进行测定时，先把被测电阻 r_x 与电池接入电桥内，取 r_1 与 r_2 的任何相近的值，然后开始变动电阻箱内电阻 r ，直到电流计的指针停在标尺的零点上。这时，记下 r_1 、 r_2 与 r 的值，并按照上面公式算出未知电阻的值。

另外，如果四个电阻不合于(4)所写的条件时，则电流表中就有电流通过。我们也时常在测量及控制方面利用电桥线路的这个关系。这将在专门课题中讲解。

第 5 节 电流的热效应

(一)通电导线的发热

我们知道一切物体都由分子组成，并且这些分子是片刻不息地继续运动着。物体的温度愈高，它的分子运动愈快。倘若分子被迫运动得加快时，则物体的温度就升高。

当电流流过导线中，电子就与导线中运动着的分子相碰撞而增加它们的运动，使导体发热。任何电气设备的载流部分总有其相应的电阻，所以电流会使电气设备发热。我们有必要研究掌握并利用这些规律进行生产。

热量是用热量的单位——卡路里(简称卡)来测量的。使1克的水升高摄氏1度所需的热量，称为1小卡。使1千克的水升高摄氏1度的热量为1大卡，1大卡等于1000小卡。

(二)楞茨-焦耳定律

俄国科学院院士楞茨和英国学者焦耳研究了导线在电