

中等專業學校試用教科書

工業(非电工)性質專業適用

电 工 学

高等教育出版社

中等專業學校試用教科書

电 工 学

工業(非 电工)性質專業适用

高等教育出版社

說 明

我司組織中等專業學校電工教師胡稚華、高其昌、朱云峯三位先生，根據我部 1955 年 7 月批准的 130 小時的中等專業學校電工學教學大綱，參照蘇聯 B. C. 波波夫等所著電工學以及其他參考書，集體編寫了這本工業（非電工）性質各專業適用的中等專業學校電工學試用教科書。

本書曾於 1956 年 3 月印發各有關中等專業學校征求意见，根據我部 1956 年 5 月新修訂的教學大綱和各校寄來的許多寶貴意見，並參照蘇聯 B. C. 波波夫等所著電工學 1955 年原文版作了較大的修改。由於時間倉促，匆匆付印，缺點在所難免。希望中等專業學校教師以及使用本書者多提意見（意見請寄北京和平門外西琉璃廠 170 號高等教育出版社轉我司），以便再版時一併修正。

高等教育部中等專業教育司

1956 年 6 月

電 工 學

高等教育部中等專業教育司編

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

（北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號）

上海市印刷五廠印刷

新華書店總經售

書號 15010-165 開本 850×1168 1/32 印張 83/16 字數 203,000

一九五六年十月上海第一版

一九五六年十月上海第一次印刷

印數 1-100,000

定價 (10) ¥ 1.20

目 錄

緒論	7
第一篇 电工基礎和电气測量	
第一章 直流电路	13
1-1. 电場	13
1-2. 电压与电位	14
1-3. 导体与电介質	16
1-4. 电动势和电源	17
1-5. 电流	19
1-6. 电流的功和功率	20
1-7. 欧姆定律	23
1-8. 电阻与电導	24
1-9. 电能轉換为热能	28
1-10. 导体發热的計算	29
1-11. 基尔霍夫第一定則	30
1-12. 电阻的串联和并联	31
1-13. 基尔霍夫第二定則, 复雜电路的計算	34
1-14. 導線上电压降落的計算	37
第二章 电磁	41
2-1. 磁場	41
2-2. 磁場对通有电流導体的作用	42
2-3. 磁感应和磁通	44
2-4. 異磁系数和磁場强度	45
2-5. 全流定律, 線圈磁場	46
2-6. 鉄磁体的磁化及反复磁化	48
2-7. 电磁鉄	51
2-8. 电磁感应, 楞次定律	52
2-9. 机械能量轉換为电能	57
2-10. 电能轉換为机械能量	57
2-11. 渦流	59
2-12. 自感应	60
第三章 單相交流电路	65
3-1. 概述	65

3-2. 正弦波形电动势的產生	63
3-3. 相位与相位差	69
3-4. 正弦量的圖示法	71
3-5. 交流电的有效值	74
3-6. 具有电阻的交流电路	76
3-7. 具有电阻和电感的交流电路	77
3-8. 交变电流的功率	81
3-9. 电容器	83
3-10. 具有电容的交流电路	85
3-11. 線圈与电容器的并联电路	87
3-12. 功率因数的意义及其提高	90
第四章 三相交流电路	95
4-1. 三相交流發電机	95
4-2. 發電机繞組的星形和三角形連接	97
4-3. 發電机的相压和線压	99
4-4. 負載的星形連接和中線的作用	101
4-5. 負載的三角形連接	104
4-6. 三相电功率	107
第五章 电气測量	111
5-1. 概述	111
5-2. 电工仪表的分类	111
5-3. 儀器的測量機構	114
5-4. 电流的測量	120
5-5. 电压的測量	121
5-6. 直流功率的測量	122
5-7. 單相交流电路中功率的測量	123
5-8. 三相交流电路中功率的測量	125
5-9. 單相和三相交流电路中电能的測量	126
5-10. 电阻的測量	129
5-11. 絕緣电阻的測量	131
第二篇 电机及变压器	
第六章 直流电机	133
6-1. 直流电机原理	133
6-2. 直流电机的構造	134
6-3. 繞組概念	137
6-4. 电动势	139
6-5. 电机的轉矩和功率	139
6-6. 电樞反应	141
6-7. 直流电机的种类	143
6-8. 他激發電机	144
6-9. 并激發電机	146

6-10. 串激發電機.....	148
6-11. 復激發電機.....	148
6-12. 電動機的反電動勢和轉速.....	149
6-13. 并激電動機.....	151
6-14. 串激電動機.....	153
6-15. 復激電動機.....	155
6-16. 電動機的啓動.....	156
6-17. 電動機的調速和反轉.....	157
6-18. 直流電機的損耗和效率.....	158
第七章 變壓器	161
7-1. 概述.....	161
7-2. 變壓器的構造和作用原理.....	162
7-3. 有載變壓器的工作過程.....	165
7-4. 三相變壓器.....	167
7-5. 自耦變壓器.....	167
7-6. 測量用變壓器.....	168
第八章 交流電機	172
一 感應電動機.....	172
8-1. 感應電動機的構造.....	172
8-2. 旋轉磁場的產生.....	175
8-3. 感應電動機的工作原理.....	177
8-4. 轉差率.....	178
8-5. 轉子電流頻率與轉子電動勢.....	179
8-6. 轉子電流與轉子功率因數.....	180
8-7. 感應電動機的工作過程.....	181
8-8. 感應電動機的轉矩.....	181
8-9. 感應電動機的啓動.....	184
8-10. 感應電動機的轉速調節和反轉.....	188
二 同步電機.....	191
8-11. 三相交流同步發電機.....	191
8-12. 同步電機并聯運行概念.....	194
8-13. 同步電動機和同步補償機.....	195
8-14. 同步電動機的啓動.....	197

第三篇 電能在工業中的應用電能的產生和分配

第九章 工業電子學	199
9-1. 概述.....	199
9-2. 電子發射.....	199
9-3. 二極真空管.....	200

9-4. 三極管	201
9-5. 电子管放大器	202
9-6. 气体介質中的电流	203
9-7. 电弧和电火花的应用	204
9-8. 充气二極管	205
9-9. 閘流管	205
9-10. 固体整流器	206
9-11. 整流線路	208
9-12. 汞弧整流器	210
9-13. 半導体及其应用	212
第十章 电力驱动	214
10-1. 概述	214
10-2. 連續运用电动机容量的选择	214
10-3. 重复短时运用电动机容量的选定	215
10-4. 电动机的控制设备	217
10-5. 閘刀开关和油开关	217
10-6. 控制器	218
10-7. 接触器	219
10-8. 熔断保护器与自动开关	220
10-9. 繼电器	222
10-10. 电磁式繼电器	223
10-11. 热繼电器	224
10-12. 光繼电器	224
10-13. 生產操作自动化	226
10-14. 高压电动机的控制	231
10-15. 接地与接中線的保护装置	232
第十一章 电焊与电热	235
11-1. 电焊概論	235
11-2. 电焊电源	237
11-3. 电热	238
11-4. 电阻爐	239
11-5. 感应爐	239
11-6. 电弧爐	240
11-7. 高频电流加热	241
第十二章 电能的產生、輸送和分配	243
12-1. 概述	243
12-2. 發電站	245
12-3. 电能的輸送	252
12-4. 电能的分配	254
12-5. 戶內配电	255
12-6. 电气設備的安全操作規程	258

緒 論

从十九世紀下半叶以來“扭轉乾坤的蒸汽統治时代已告結束”(馬克思語),开始了一个新形态的能量——电能——的蓬勃發展和实际应用的時代。現在、电能已廣泛的应用到一切技術部門和人类生活各方面。目前各种生產部門中,用來拖动各种机器的主要是使用方便而又經濟的电动机。各种金屬和各种合金的冶煉、电焊、电热和电气金屬切削都普遍地应用电能。电动机还用來拖拉機車、起重機、采礦机械和探礦机械等。电报、電話和無線电等都是电气的直接应用者。農業的机械化和电气化更要大量的应用电能。电爐、电灯等都是日常生活中应用电能的实例,現代原子能的發展將促使电能發揮更大的作用。

电工学就是研究怎样把电的現象和理論应用到各种技術部門中的課程。

学习电工学的目的是使学生獲得一些电工基本理論知識、技術知識和实际技能,以保証在生產中能正确地运用电器設備和不断改進技術操作过程。

电能所以成为动力的主要能源并且应用如此的廣泛,是因电能具有其他形态的能量所沒有的独特的优点:

(1) 电能可以較方便地被輸送至远距离。因此,國家可以充分地合理地利用所有动力資源(水力、風力、煤、地下热、太陽热、原子能等)。

(2) 电能可以較方便地同其他各种形态的能量(机械能、热能、光能、化学能等)互相轉換。

(3) 电能量可以很方便地被分成任意細小的部分。

(4) 电能可以較方便地被控制、測量和調整。

电能既然有这些独特的优点，因此电能在各种形态的能量中佔有特殊重要的地位。

將电能廣泛而普遍地应用在工業、農業、運輸業和日常生活上，称为电气化。自动化是現代先進技術的特点，而电气化是自动化的基礎。电气化不但革新了國民經濟所有各技術部門，提高了劳动生產率，同时也改善了人类的劳动条件和生產狀況。在高度的电气化的基礎上，要求工人不但要有熟練的技能，而且还要具备一定的文化科学水平。因此，电气化和自动化乃是消除腦力劳动和体力劳动本質上对立的物質基礎，同时电气化在我國人民文化發展的領域中將起着重大的作用。电照、電話、無線电、电视等將是教育廣大羣众及提高文化水平的重要武器，將使我國合作化以后的農村生活水平漸漸接近于城市，使城市同鄉村的对立得以漸漸消除。消滅体力和腦力劳动間的对立以及城市和鄉村的对立是共產主义建設的基本問題，由此可以体会到列寧的具有歷史意义的名言：“共產主义——这就是苏維埃政权加上全國电气化”的深刻意义。

解放前的旧中國受着帝國主义、封建主义和官僚資本主义的三重压迫，中國的电力工業、和其他工業一样基礎是非常薄弱的。1949年全國大陸解放前夕，全國發電容量約200万千瓦、每年發電量約为44.2億度。解放后、在中國共產党的領導下、經過三年的經濟恢复时期到1953年，每年發電量达91億度、为1949年的兩倍多。1953年起，我國开始了史無前例的發展國民經濟的第一个五年建設计划。其中电力工業發展方針將以建立火力發電站为主（包括热电站）；同时利用已有資源条件進行水力發電站的建設工作。

在第一个五年計劃中，新建限額以上的發電站有92个，其設計發電容量为376万千瓦，加上限額以下的發電站全部設計發電站容量为406万千瓦。第一个五年計劃期間全部建成的發電容量

为 205 万千瓦。在 92 个限额以上的发电站中，火力发电站有 76 个，其中包括热电站 19 个，佔火力发电站设计能力的 47%，此外还有 16 个水力发电站。这些电站都是用现代的最先进技术和高度机械自动化标准设计的，这些发电站的建成，将保证供应不断高涨的国民经济以充足的电能。

为了适应农业合作化的迅速发展，在 1956 年内将以私办公助的办法在乡村中建立 1000 多个小型水力发电站，总容量为 3 万千瓦，可供 50 多万农户生产生活之用。

我国水力资源是非常丰富的，根据全国水利、水力资源普查会议在 1956 年提出的资料。全国水力资源，按平均流量粗略估计为五亿四千万千瓦，与世界上水力资源最丰富的国家苏联相近。其中长江水力资源就有 22000 万千瓦；黄河有 8300 万千瓦；雅鲁藏布江在康藏大河湾处有 3000 万千瓦。

我国水利资源不仅蕴藏丰富，而且地位适中；因此给我国发展水力发电事业创造了有利条件。

解放前，我国的电机制造业和电器制造业同其他工业一样是极其可憐的。解放后，随着整个国家电力事业的发展，扩建和新建了不少的电机制造厂和其他的电工器材制造厂，如新建的哈尔滨电机厂和仪器厂都是在苏联专家帮助下，根据最先进的技术水平设计的。中国的设计师们最近已经完成了 15000 千瓦的水轮发电机和 12000 千瓦汽轮发电机的重大设计工作，现在正在试制中，不久还要设计和制造 25000 千瓦和 50000 千瓦的水轮发电机的全套设备。这些只不过是电机制造业的开端，要在一定时间内，赶上世界先进水平。

苏联在伟大的十月社会主义革命胜利之后，列宁曾经指出国家电气化是社会主义胜利的重要条件。根据列宁的倡议，制订了苏联电气化计划。这计划规定在十年到十五年内建成 30 个发电站，其总容量达 150 万千瓦。在苏联共产党和苏联政府的领导下，

只用十年的時間，便完成了這個計劃。到1955年第五個五年計劃完成時，其發電量為1700億度，為1913年產量（19億度）的89倍多。蘇聯發電容量平均每年增加23%，而在最大的資本主義國家，在不發生危機的年代里每年平均增加2%至3%。

在蘇聯共產黨關於發展國民經濟第六個五年計劃的指示中，規定在第六個五年計劃完成時生產電力3200億度，為1955年電力生產量的1.88倍。

在第六個五年計劃期間，水力發電站將有很大的發展。發電容量為210萬千瓦的古比雪夫水电站和發電容量為170萬千瓦的斯大林格勒水电站將全部投入生產。在蘇聯東部地區將建立世界上最大的水电站。其中安加拉河上的布拉茨克水电站和叶尼塞河上的克拉斯諾雅爾斯克水电站，它們發電能力各為320萬千瓦。將來在叶尼塞河上將建立更大的容量為500萬千瓦的大水电站；並開始建立蘇聯統一電力系統。

1954年7月26日蘇聯的第一個原子能發電站開始發電了，其發電容量為5000千瓦。不久的將來蘇聯將有更大的原子能發電站開始建立。在第六個五年計劃中，將廣泛的建設和利用原子能發電站。計劃規定，原子能發電站總發電容量將達200萬到250萬千瓦。同時蘇聯在這個五年計劃中也將大力進行利用地下熱能建立地熱發電站的研究工作。

由於蘇聯發電能力的迅速增長，使蘇聯電氣化的迅速發展成為可能。擁有20多萬個企業的蘇聯工業，就需要全國總發電量的百分之七十左右。全蘇聯百分之九十以上的國營農場，百分之二十一以上的集體農莊和幾乎全部機器拖拉機站已經電氣化，有一百多個農業區和許多州已經全面電氣化或接近全面電氣化。

我們祖先給我們留下了豐富的文化科學遺產，有着光輝無比的科學創造。但有些史料還沒有系統地整理出來。

在戰國末年（公元前300年左右），我們的祖先已發現了磁石

与它的吸鉄性。在东汉初年(公元 50 年左右)应用磁石來作指南北的工具,它的古名叫司南。

东汉初年(公元 100 年),在王充“論衡”中有“頓牟綴芥,磁石引針”的記載,頓牟就是琥珀,它有吸引微小芥子的本領。这顯然是摩擦生电能吸引輕物的現象。宋朝張邦基著的“墨庄漫錄”中有“孔雀毛著龍腦則相輟”,龍腦是一种热帶的乔木,孔雀毛拂着这种木头則附着在上面。这顯然也是靜电現象。由以上兩個事实說明,我們祖先很早就注意到了靜电現象。

全世界关于航海使用罗盤的最古記錄見于宋朝朱彥的“萍洲可談”(公元 1119),那时我國劳动人民已普遍掌握了罗盤針的科学知識。

近百年來,正当各先進資本主义國家的科学飛躍發展的时候,我國却处在帝國主义、封建主义和官僚資本主义的压迫之下,國民經濟尤其是工業处在極端落后的境地。过去的科学成就不但得不到進一步提高,更沒有鑽研近代科学技術的客觀条件和物質基礎,因此我們的科学技術水平是远远落在先進國家之后了。今天人民掌握了政权,有着悠久歷史的勤勞智慧的中國人民,在中國共產党的領導下,一定能实现毛澤东主席提出的号召:在不太長的時間內,接近并赶上世界先進的科学文化水平。

俄國的科学家、工程师、和技師們在电工这一門科学和技術領域中有着偉大的貢獻。

俄國科学之父 M. B. 罗蒙諾索夫是众所公認的第一个电工学著,他第一个研究了大气中电的現象。

1802 年俄罗斯科学院院士 B. B. 彼得罗夫首先發現电弧,并指出这种現象可用作熔化和焊接金屬以及照明使用。他同时还研究了真空放电的現象。

俄國科学院院士 9. X. 楞次在 1833 年确定了感应电动势方向的楞次定律。同时他也研究了电流的热效应。

1838 年科学院院士雅可比制造了第一个用原电池供电的电动机。并且他在 1840 年首创电镀法。

1871 年莫斯科大学教授 A. T. 斯托列托夫研究了铁的磁化过程,为电机和电器的制造奠定了基础。他又制出了第一个光电管。

俄国电气工程师 И. H. 雅柏罗契柯夫是变压器的发明者,他与 A. H. 罗德金一起发明了白炽灯。

1891 年天才的发明家 M. O. 多利沃-多勃罗沃尔斯基发明了三相感应电动机,三相发电机,三相变压器。解决了三相电流输送的一些基本问题。

1895 年俄国发明家 A. C. 波波夫发明了无线电。为近代电子学的开端。

第一篇 电工基础和电气测量

第一章 直流电路

1-1. 电 場

自然界所有物体都是由无数带电微粒所組成。如果物体内的正电荷和負电荷平均相等,則物体呈現中性。

由于某种原因,使物体(或其一部分)内正电荷或負电荷增多或减少,則这物体称为帶电体。

帶电体周圍存在着电場。

帶电体与电場是密切关联而不可分开的两种物質形态。电場內有能量分佈。电場具有連續性并且有以很高的、完全可以确定的速度傳送相互作用的性質。

如果在电場內某一定点上,放置一个帶电体,这个帶电体便受到电場力(用 F 表示)的作用。帶电体所受电場力的大小与帶电体所帶电量(用 Q 表示)的多少成正比。同时具有同样电量的帶电体放在不同的电場中或同一电場中的不同点上,則帶电体所受电場力的大小也不相同。因此,电場对帶电体作用力的大小,不但与帶电体所帶电量多少有关,而且与电場的性質有关。

电場对帶电体的作用力(F)与帶电体所帶电量(Q)之比,称帶电体所在点的电場强度(用 ε 表示),即

$$\varepsilon = \frac{F}{Q} \quad (1-1)$$

也可以說,电場强度是表示电場內某点特性的量。

(1-1)式还可以寫成下面的形式:

$$F = \epsilon Q \quad (1-2)$$

即，電場對帶電體的作用力與帶電體所帶的電量及帶電體所在點的電場強度成正比。

電場強度是一個矢量。電場對場內某點上放置的正電荷的作用力的方向取做該點電場強度的方向。

可以用一種符號——電力線來表示電場強度。

電場內電力線的構成，是使線上每點的切線方向與該點電場強度的方向相符合。電力線起始於帶正電荷的物體而終止於帶負電荷的物體。顯然，電力線可以表示電場強度的方向，如圖 1-1 是表示孤立帶電體的電場。

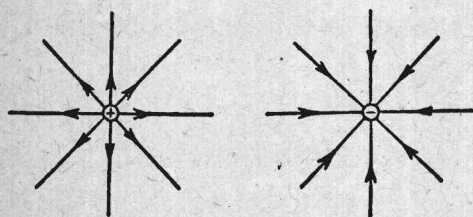


圖 1-1. 帶正電與帶負電的球體周圍的電場

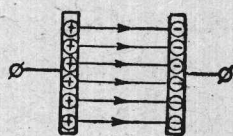


圖 1-2. 兩塊平行平板間的電場

電力線也可以表示電場強度的量值。使通過與電力線垂直的每平方厘米的電力線數目等於（或正比於）電場強度的量值。

如果在電場內所有點上的電場強度矢量都相等，這樣的電場稱為均勻電場。如圖 1-2 是表示兩塊帶異種電荷的平行板間的電場。

1-2. 電壓與電位

可以證明，如果兩塊平行放置的平板帶有符號相反的電荷，而板的尺度又比板間距離大的多的話，那末，在兩塊平板間就可得到均勻電場。

假設正電荷 Q 在均勻電場內受電場力的作用，沿電場力的方向由 M 點移到 H 點經過距離 l （圖 1-3），電場力所做的功（用 A

表示)

$$A = Fl = \epsilon Ql。$$

在 MH 一段上电场所做的功与被移动电量的比率称为 M 与 H 两点之间的电压, 用 U 表示, 即,

$$U = \frac{A}{Q} = \epsilon l。 \quad (1-3)$$

如果 $Q=1$, 则 $U=A$ 。由此可见: M 与 H 两点间的电压在数值上等于单位正电荷受电场力的作用由 M 点移到 H 点所做的功。



圖 1-3. 在电场力作用之下
帶電質点的移动

在实用单位制中, 功的单位用焦耳(简称焦), 电荷的单位用库仑(简称库), 电压的单位用伏特(简称伏)来度量:

$$1 \text{ 伏} = \frac{1 \text{ 焦}}{1 \text{ 库}}。$$

較大的电压单位用仟伏:

$$1 \text{ 仟伏} = 10^3 \text{ 伏},$$

而較小的单位用毫伏:

$$1 \text{ 毫伏} = 10^{-3} \text{ 伏}。$$

由公式(1-3)电场强度可用下式表示:

$$\epsilon = \frac{U}{l} \quad (1-4)$$

由以上的关系可确定电场强度的单位

$$[\epsilon] = \frac{\text{伏}}{\text{米}},$$

即电场强度用每米伏特来度量。

电场内任一点与地面上任一点之间的电压, 称为电场内该点的电位(用 ϕ 表示)。电场内任一点的电位, 在数值上等于从该点移动单位正电荷到电位为零的一点(一般规定为地球), 电场力所做的功。

如图 1-3, 单位正电荷受电场力的作用从 M 点移动至地面时,

電場力所做的功表示 M 点的电位(用 ϕ_M 表示)。如單位电荷从 H 点受電場力的作用移至地面,則電場力所做的功表示 H 点的电位(用 ϕ_H 表示)。顯然,單位电荷受電場力的作用由 M 点移至 H 点電場力所做的功(或 M 与 H 兩点之間的电压)就是: M 与 H 兩点之間的电位差,即

$$U_{MH} = \phi_M - \phi_H \quad (1-5)$$

就是說,電場內任意兩点間的电压等于該兩点之間的电位差。

电位是代数量,它可以是正值,也可以是負值。

例 1-1. 已知電場內 AB 兩点的电位是: $\phi_A = 20$ 伏, $\phi_B = -20$ 伏,試決定它們之間的电压。

$$U = \phi_A - \phi_B = 20 - (-20) = 40 \text{ 伏。}$$

1-3. 導體与电介質

所有物体依照电的性質,通常分为兩类——導體和电介質(絕緣体)。

導體的特性是帶电的質点(电子或离子)可以在導體內部自由移动。

導體可分为兩类,第一类導體是金屬,在这一类導體中只有电子能够在其內部自由移动。在金屬導體內,原子外層的电子与原子核的联系比較松弛,因此,一部分电子容易离开它們自己的原子核而在原子間移动,从一个原子核的作用范围,移至另一个原子核的作用范围。这些可以在原子核間自由移动的电子,称做自由电子或導电电子。

第二类導體称做电解質(酸,鹽与鹼的水溶液以及某些溶解了的鹽)。在溶剂的作用下,物質內分子分解成正离子与負离子,这些正負离子像金屬導體內电子一样能够在整个導體內移动。

有一些物体,其單位体積內所含自由电子或离子是極其微少的,在電場力的作用下,在这些物体中自由电子或离子的移动所形