

中等专业学校試用教科书

工业(非电工)性质专业适用

电 工 学

高等教育出版社

修訂版說明

本書第一版是1956年10月出版的。自從去年大躍進以來，本書中有些內容顯得不大適應了。因此我社組織了胡稚華、高其昌、孫恒圻三位同志，根據黨的教育方針以及三年來各校教師和許多讀者寄來的寶貴意見，對本書作了部分修訂。希望各校教師和讀者對本書多提意見，使其質量更能提高，不勝感謝之至。

高等教育出版社

1959年7月

目 录

緒論	1
----------	---

第一篇 电工基础和电气测量

第一章 直流电路	7
----------------	---

1-1. 电場	7
1-2. 电压与电位	8
1-3. 导体与电介质	10
1-4. 电源与电动势	11
1-5. 电流	13
1-6. 电流的功和功率	14
1-7. 欧姆定律	17
1-8. 电阻与电导	19
1-9. 电能转换为热能	22
1-10. 导体发热的概念	23
1-11. 基尔霍夫第一定则	25
1-12. 电阻的串联和并联	25
1-13. 基尔霍夫第二定则, 复杂电路的计算	29
1-14. 导线上电压降落的计算	32

第二章 电磁	37
--------------	----

2-1. 磁場	37
2-2. 磁場对通有电流导体的作用	38
2-3. 磁感应和磁通	40
2-4. 导磁系数和磁場强度	41
2-5. 全流定律, 繞圈磁場	42
2-6. 鉄磁体的磁化及反复磁化	45
2-7. 磁路计算	47
2-8. 电磁鉄	49
2-9. 电磁感应, 楞次定律	50
2-10. 机械能量转换为电能	55
2-11. 电能转换为机械能量	55
2-12. 渦流	57
2-13. 自感应	59

第三章 單相交流电路.....64

3-1. 概述.....	64
3-2. 正弦波形电动势的产生.....	64
3-3. 相位与相位差.....	68
3-4. 正弦量的图示法.....	70
3-5. 交流电的有效值.....	73
3-6. 具有电阻的交流电路.....	75
3-7. 具有电感的交流电路.....	77
3-8. 具有电阻和电感的交流电路.....	79
3-9. 电容器.....	85
3-10. 具有电容的交流电路.....	87
3-11. 串联諧振(电压諧振).....	89
3-12. 并联諧振(电流諧振).....	91
3-13. 功率因数的意义及其提高.....	94

第四章 三相交流电路.....99

4-1. 三相交流发电机.....	99
4-2. 发电机繞組的星形和三角形連接.....	101
4-3. 发电机的相压和綫压.....	103
4-4. 負載的星形連接和中綫的作用.....	105
4-5. 負載的三角形連接.....	108
4-6. 三相电功率.....	111

第五章 电气测量.....116

5-1. 概述.....	116
5-2. 电工仪表的分类.....	116
5-3. 仪器的测量机构.....	119
5-4. 电流的测量.....	124
5-5. 电压的测量.....	125
5-6. 直流功率的测量.....	127
5-7. 单相交流电路中功率的测量.....	128
5-8. 三相交流电路中功率的测量.....	129
5-9. 单相和三相交流电路中电能的测量.....	130
5-10. 电阻的测量.....	134
5-11. 絕緣电阻的测量.....	136

第二篇 电机及变压器

第六章 直流电机.....138

6-1. 直流电机原理.....	138
------------------	-----

6-2. 直流电机的构造	139
6-3. 电枢绕组	142
6-4. 电动势	144
6-5. 电机的转矩和功率	144
6-6. 电枢反应	146
6-7. 直流电机的种类	147
6-8. 他激发电机	149
6-9. 并激发电机	151
6-10. 串激发电机	153
6-11. 复激发电机	154
6-12. 电动机的反电动势和转速	155
6-13. 并激电动机	156
6-14. 串激电动机	159
6-15. 复激电动机	160
6-16. 电动机的启动	161
6-17. 电动机的调速和反转	162
6-18. 直流电机的损耗和效率	164
6-19. 发电机-电动机系统	165
6-20. 直流电机的维护	165
第七章 变压器	168
7-1. 概述	168
7-2. 变压器的构造和作用原理	169
7-3. 有载变压器	172
7-4. 三相变压器	173
7-5. 自耦变压器	174
7-6. 测量用变压器	175
第八章 交流电机	179
一 感应电动机	179
8-1. 感应电动机的构造	179
8-2. 旋转磁场的产生	183
8-3. 感应电动机的工作原理	185
8-4. 转差率	186
8-5. 转子电流频率与转子电动势	187
8-6. 转子电路的阻抗	187
8-7. 转子电流与转子功率因数	188
8-8. 感应电动机的转矩	188
8-9. 感应电动机的启动	191
8-10. 感应电动机的转速调节和反转	195

8-11. 感应电动机的损耗和效率	198
8-12. 感应电动机的功率因数	199
8-13. 单相感应电动机	199
8-14. 感应电动机的维护	201
二 同步电机	202
8-15. 三相交流同步发电机	202
8-16. 同步电机运行概念	205
8-17. 同步电机的特性	206
8-18. 同步电动机的启动	207
附录 国产三相感应电动机	208

第三篇 电能在工业中的应用电能的产生和分配

第九章 工业电子学	211
9-1. 概述	211
9-2. 半导体的性能	211
9-3. 半导体整流器	213
9-4. 整流电路	215
9-5. 电子发射	217
9-6. 二极真空管	217
9-7. 三极真空管	219
9-8. 电子管放大器	220
9-9. 电子管高频发生器	221
9-10. 电子射线管	222
9-11. 气体介质中的电流	224
9-12. 电弧和电火花的应用	225
9-13. 二极充气管	226
9-14. 闸流管	226
9-15. 汞弧整流器	227
第十章 电力拖动	231
10-1. 概述	231
10-2. 连续运用电动机容量的选择	231
10-3. 重复短时运用电动机容量的选定	232
10-4. 电动机的控制设备	234
10-5. 闸刀开关和油开关	234
10-6. 控制器	235
10-7. 按钮	237

10-8. 接触器	238
10-9. 熔断保护器与自动断路器	239
10-10. 继电器	241
10-11. 过电流电磁继电器	241
10-12. 热继电器	242
10-13. 光继电器	243
10-14. 时间继电器	244
10-15. 生产操作自动化	245
10-16. 接地与接中线的保护装置	251
第十一章 电焊与电热	256
11-1. 电焊概述	256
11-2. 电焊电源	258
11-3. 电热	259
11-4. 电阻炉	260
11-5. 感应炉	260
11-6. 电弧炉	262
11-7. 高频电流加热	262
第十二章 电能的生产、输送和分配	265
12-1. 概述	265
12-2. 发电站	267
12-3. 电能的输送	273
12-4. 电能的分配	276
12-5. 户内配电	277
12-6. 电气设备的安全操作规程	281

緒 論

从十九世紀下半叶以来“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——的蓬勃发展和实际应用的時代。現在,电能已广泛地应用到一切技术部門和人类生活各方面。在目前各种工业部門中,用来拖动机器的主要是使用方便而又經濟的电动机。各种金属和合金的冶炼、电焊、电热和电气金属切削都普遍地应用电能。电动机还用来拖拉機車、起重机、采矿机械和探矿机械等。电报、电话和无綫电等都是电气的直接应用者。农业的机械化和电气化更要大量的应用电能。电炉、电灯等都是日常生活中应用电能的实例,現代原子能的发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术部門中的課程。

学习电工学的目的是使学生获得一些电工基本理論知識、技术知識和实际技能,以保証在生产中能正确地运用电器設備和不断改进技术操作过程。

电能所以成为动力的主要能源并且应用得如此广泛,是因为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,国家可以充分地合理地利用所有动力資源(水力、风力、煤、地下热、太阳热、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、测量和調整。

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占有特殊重要的地位。

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,称为电气化。自动化是现代先进技术的特点,而电气化是自动化的基础。电气化不但革新了国民經济所有各技术部門,提高了劳动生产率,同时也改善了人类的劳动条件和生产状况。在高度的电气化的基础上,要求工人不但要有熟练的技能,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脑力劳动和体力劳动之間的差别的物质基础,同时电气化在我国人民文化发展的领域中將起着重大的作用。电照、电话、无线电、电视等將是教育广大群众及提高文化水平的重要武器,將使我国人民公社化以后的农村生活水平漸漸接近于城市,使城市同乡村之間的差別得以漸漸消除。消灭体力和脑力劳动間的差別以及城市和乡村間的差別是共产主义建設的基本問題,由此可以体会到列宁的具有历史意义的名言:“共产主义——这就是苏維埃政权加上全国电气化”的深刻意义。

解放前的旧中国受着帝国主义、封建主义和官僚資本主义的三重压迫,中国的电力工业,和其他工业一样,基础是非常薄弱的。在全国大陆解放前夕——1949年,全国发电容量約 200 万千瓦,每年发电量約为 44.2 亿度。解放后,在中国共产党的领导下,經過三年的經济恢复时期,到了 1952 年,全年发电量就已經达到 72.6 亿度。从 1953 年起,我国开始了宏偉的发展国民經济的第一个五年建設计划。其中电力工业发展方針將以建立火力发电站为主(包括热电站);同时利用已有資源条件进行水力发电站的建設工作。

发展国民經济的第一个五年計劃,在中共中央和毛主席的领导下,經過全国各族人民的辛勤努力,并且得到了苏联与其他兄弟国家的援助,到 1957 年底已經胜利地超額完成了。其中电力工业

也有了很大的发展,发电量从1952年的72.6亿度增加到1957年的193亿度,增长了166%。基本建設的技术力量也有了迅速的增长,現在我国已能設計一些比較大型的技术复杂的工程,其中包括设备总容量为100万千瓦的水电站及65万千瓦的火电站等設計項目。在第一个五年計劃期間,还生产了許多种我国从来沒有的新的工业产品,其中有硅鋼片,有容量为12000千瓦的成套火力发电设备及15000千瓦的成套水力发电设备。

1958年是大跃进的一年,在第一个五年計劃胜利完成的基础上,經過一年的努力奋斗,在国民經济的各个战綫上都取得了空前偉大的胜利。在1958年,发电量增加到275亿度,制造了过去不能生产的25000千瓦的火力发电设备。在1959年5月还制成了72500千瓦的水力发电设备。

1959年国民經济計劃草案中的工业生产計劃,首先注意了原料、材料工业和燃料、动力工业的发展,发电量要求增加到400亿度,它相当于1956年原来拟訂的第二个五年計劃末(1962年)的指标。至于发电设备的增长則更为迅速,將由1958年的80万千瓦增加到280万到300万千瓦,即增加250%至275%,为原来第二个五年計劃中所規定的1962年指标(140—150万千瓦)的一倍。在1959年新建与扩建的限額以上水、火电站基本建設項目共計184項,比第一个五年計劃期間电力工业的全部限額以上的工程項目还多。

我国的水力資源是非常丰富的,約占世界的七分之一,比美、英、法、意、挪及日六国的水力資源的总和还要多。我国水力資源的全部蘊藏量达58000万千瓦。在解放前三十多年里我国的反动政府只建設了12000千瓦的水电站,而解放后的第一个五年計劃內新建的水电站就达60万千瓦。大跃进的1958年,全国掀起了全民办电的高潮,千方百計地利用各种可能利用的水力資源,水电站在全国普遍开花,如福建省永春县在党的领导下,充分发动群

众，土洋并举，从1958年4月到6月的八十多天内共建成了352个水电站。1958年8月召开的全国第一次农村水电站会议，提出了在两三年内实现全国农村初步电气化的宏伟跃进计划，这计划的实现将会大大促进人民公社工农业的进一步发展。

大跃进的最重要原因是在于我们总结了第一个五年计划的经验，开始找到了我国建设社会主义的更好的方法，制定了鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义的总路线。党中央和毛主席制定的总路线是一条充分估计六亿多人民建设社会主义的积极性和把一切积极因素充分调动起来的路线。电力工业的跃进也是贯彻总路线的结果。电力工业也采取了中央与地方并举，大中小并举与走群众路线的方针。可以预料：在1959年及今后的年代里，电力工业一定还会取得更大的跃进。

在伟大的十月社会主义革命胜利之后，列宁曾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，制定了苏联电气化计划。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，只用十年时间，便完成了这个计划。到1958年，苏联全年发电量已达2330亿度，这样只要三天的发电量就等于沙俄时代全年的发电量；1958年的发电量比1957年增加了11.2%，而同期美国的发电量却减少3.8%。

1954年6月27日苏联的世界上第一个原子能发电站开始发电了，其发电量达五千千瓦；目前苏联正在建设世界上最大的60万千瓦的原子能发电站，它的第一期工程（10万千瓦）已在1958年9月完工，已开始发电。1958年12月世界上最大的斯大林格勒水电站已提前一年开始发电，这个水电站建成以后，总容量达256.3万千瓦。

苏共21次代表大会通过了“关于1959—1965年苏联发展国民经济的七年计划”。计划中规定到1965年电力的生产将达5000

亿到 5200 亿度，即比 1959 年增加 1.1 到 1.2 倍。所以七年计划是实现列宁关于国家全盘电气化思想的具有决定意义的阶段。七年计划将加速电气化，除工业交通要进一步电气化以外，在国营农场、集体农庄等方面也要实行电气化。

中苏两国电气事业的迅速发展标志着社会主义阵营的力量日益壮大。我们这两个伟大国家还有光辉的历史传统。我们祖先给我们留下了丰富的文化科学遗产，在远古时代就有了光辉的科学创造。但有些史料还没有系统地整理出来。

在战国末年（公元前 300 年左右）我们的祖先已发现了磁石与它的吸铁性。在东汉初年（公元 50 年左右）应用磁石来作指南针的工具，它的古名叫司南。

东汉初年（公元 100 年），在王充“论衡”中有“顿牟缀芥，磁石引针”的记载，顿牟就是琥珀，它有吸引微小芥子的本领。这显然是摩擦生电吸引轻物的现象。宋朝张邦基著的“墨庄漫录”中有“孔雀毛著龙脑则相輒”，龙脑是一种热带的乔木，孔雀毛拂着这种木头则附着在上面。这显然也是静电现象。由以上两个事实说明，我们祖先很早就注意到了静电现象。

全世界关于航海使用罗盘的最古记录见于宋朝朱彧的“萍洲可谈”（公元 1119），那时我国劳动人民已普遍掌握了罗盘针的科学知识。

近百年来，我国处在帝国主义、封建主义和官僚资本主义的压迫之下，国民经济尤其是工业处在极端落后的境地。过去的科学成就得不到进一步提高，钻研近代科学技术也没有客观条件和物质基础，因此我们的科学技术水平是远远地落后了。今天人民掌握了政权，有着悠久历史的勤劳智慧的中国人民，在中国共产党的领导下，一定能实现毛泽东主席提出的号召：在不太长的时间内，接近并赶上世界先进的科学文化水平。

俄国的科学家、工程师、和技师们在电工这一门科学和技术领

域中有着偉大的貢獻。

俄国科学之父 M. B. 罗蒙諾索夫是众所公認的第一个电工学者,他是第一个研究大气中电的現象的科学家。

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

俄国科学院院士 Э. 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 年俄国科学院院士雅柯比制造了第一个用原电池供电的电动机。并且他在 1840 年首創电鍍法。

1871 年莫斯科大学教授 A. T. 斯托列托夫研究了鉄的磁化过程,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熾灯。

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,三相发电机和三相变压器。解决了三相电流輸送的一些基本問題。

1895 年俄国发明家 A. C. 波波夫发明了无綫电。为近代无綫电电子学的开端。

第一篇 电工基础和电气测量

第一章 直流电路

1-1. 电场

自然界所有物体都是由无数带电微粒组成的。如果物体内的正电荷和负电荷平均起来是相等的，则物体呈现中性。

由于某种原因，使物体（或其一部分）内正电荷或负电荷增多或减少，则这物体称为带电体。

带电体周围存在着电场。

带电体与电场是密切关联而不可分开的两种物质形态。电场内有能量分布。

如果在电场内某一定点上，放置一个带电体，这个带电体便受到电场力（用 F 表示）的作用。带电体所受电场力的大小与带电体所带电量（用 Q 表示）的多少成正比。同时具有同样电量的带电体放在不同的电场中或同一电场中的不同点上，则带电体所受电场力的大小也不相同。因此，电场对带电体作用力的大小，不但与带电体所带电量多少有关，而且与电场的性质有关。

电场对带电体的作用力（ F ）与带电体所带电量（ Q ）之比，称带电体所在点的电场强度（用 ϵ 表示），即

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

也可以说，电场强度是表示电场内某点特性的量。

(1-1)式还可以写成下面的形式：

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

即，电场对带电体的作用力与带电体所带的电量及带电体所在点的电场强度成正比。

电场强度是一个矢量。电场对场内某点上放置的正电荷的作用力的方向取做该点电场强度的方向。

可以用一种符号——电力线来表示电场强度。

电场内电力线的构成，是使线上每点的切线方向与该点电场强度的方向相符合。电力线起始于带正电荷的物体而终止于带负电荷的物体。显然，电力线可以表示电场强度的方向，如图 1-1 是表示孤立带电体的电场。

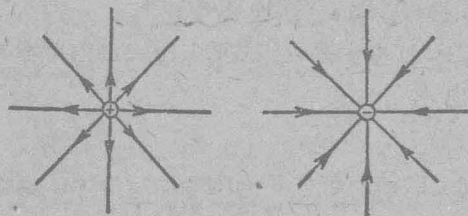


图 1-1. 带正电与带负电的球体周围的电场。

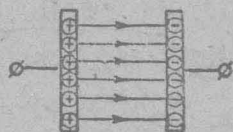


图 1-2. 两块平行平板间的电场。

为了使电力线也可以表示电场强度的量值，我们使通过与电力线垂直的每平方厘米的电力线数目等于（或正比于）电场强度的量值。

如果在电场内所有点上的电场强度矢量都相等，这样的电场称为均匀电场。图 1-2 表示两块带异性电荷的平行板间的电场。

1-2. 电压与电位

可以证明，如果两块平行放置的平板带有符号相反的电荷，而板的尺度又比板间距离大很多的话，那末，在两块平板间就可得到均匀电场。

假设正电荷 Q 在均匀电场内受电场力的作用，沿电场力的方向由 M 点移到 H 点经过距离 l （图 1-3），电场力所做的功（用 A 表示）

$$A = Fl = \varepsilon Ql。$$

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,

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

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。

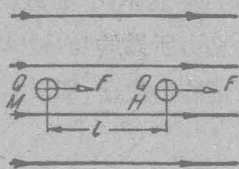


图 1-3. 在电场力作用下带电荷质点的移动。

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:

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

较大的电压单位用千伏:

$$1 \text{ 千伏} = 10^3 \text{ 伏},$$

而较小的单位用毫伏:

$$1 \text{ 毫伏} = 10^{-3} \text{ 伏}。$$

由公式(1-3)电场强度可用下式表示:

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

由以上的关系可确定电场强度的单位

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

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)。如单位电荷从 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)。显然,单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 两点之間的电压)就是: M 与 H 两点之間的电位差,即

$$U_{MH} = \varphi_M - \varphi_H, \quad (1-5)$$

就是說,電場內任意两点間的电压等于該两点之間的电位差。

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 两点的电位是: $\varphi_A = 20$ 伏, $\varphi_B = -20$ 伏,試決定它們之間的电压。

$$U = \varphi_A - \varphi_B = 20 - (-20) = 40 \text{ 伏}。$$

1-3. 导体与电介質

所有物体依照电的性質,通常分为两类——导体和电介質(絕緣体)。

导体的特性是带电的质点(电子或离子)可以在导体內部自由移动。

导体可分为两类,第一类导体是金属,在这一类导体中只有电子能够在其內部自由移动。在金属导体內,原子外层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,称做自由电子或导电电子。

第二类导体称做电介質(酸,盐与硷的水溶液以及某些溶解了的盐)。在溶剂的作用下,物質內分子分解成正离子与負离子,这些正負离子象金属导体內电子一样能够在整个导体內移动。

有一些物体,其单位体积內所含自由电子或离子是极其微少的,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