

高等学校教学用书

电 工 学

DIANGONGXUE

浙江大学电机工程系电工学教研组编

人 民 教 育 出 版 社

高等学校教学用书



电 工 学

DIANGONGXUE

浙江大学电机工程系电工学教研组编

人 民 教 育 出 版 社



本书是由浙江大学电机工程系电工学教研组根据多年来的教学经验编写而成的。全书共分二十三章,包括了高等工业学校非电类专业“电工学”课程的全部内容。此外,根据近年来科学与技术发展的情况,增添了一些新的内容,如非电量的测量法,电化学,电火花加工以及关于电子计算机的简述等。

本书在编写过程中比较注意课程的讲授体系及结合我国的实际情况。本书可作为高等工业学校非电类专业“电工学”课程的教材,对于接触到电工技术的工程技术人员也有参考价值。

簡 裝 本 說 明

目前 850 × 1168 毫米規格紙張較少, 本书暫以 787 × 1092 毫米規格紙張印刷, 定价相应减少 20%。希鑒諒。

电 工 学

浙江大学电机工程系电工学教研组編

人民教育出版社出版 高等学校教材編輯部
北京宣武門內承恩寺7号
(北京市书刊出版业营业許可証出字第2号)

商 务 印 书 館 上 海 厂 印 刷
新 华 书 店 上 海 发 行 所 发 行
各 地 新 华 书 店 經 售

統一書号 15010·930 开本 787×1092 1/32 印張 23 5/16 插頁 4
字數 599,000 印數 20,001—30,000 定价(4) 羊 2.40
1960年11月第1版 1961年3月上海第2次印刷

目 录

緒論	1
----------	---

第一章 直流电路

1-1. 电場及电場强度	11
1-2. 电位和电压	12
1-3. 电动势	13
1-4. 电路概念	14
1-5. 电流	15
1-6. 电阻和导电材料	16
1-7. 欧姆定律	19
1-8. 克希荷夫定律	20
1-9. 电流的功和功率	24
1-10. 电流的热效应——楞次-焦耳定律	26
1-11. 重迭原理	28
1-12. 非线性电路的概念	29

第二章 电介质和电容

2-1. 电介质、电介质的介电强度和击穿现象	32
2-2. 絕緣材料的种类和应用范围	32
2-3. 电容和电容器	38
2-4. 电容器的充电和放电	40

第三章 电磁现象及磁路

3-1. 电流的磁場、磁感应强度、磁通和磁場强度	44
3-2. 全电流定律	47
3-3. 鉄磁材料的性质和用途	49
3-4. 磁路及其計算	52
3-5. 載流导体在磁場中的作用	56
3-6. 电磁感应	57
3-7. 渦流	61
3-8. 自感和互感	61
3-9. 电感电路的接通和短接	65
3-10. 电磁鉄起重力	70

第四章 交流电和单相交流电路

4-1. 概述	74
4-2. 正弦交变电势的产生	75
4-3. 正弦交流电的瞬时值、极大值和有效值	79
4-4. 正弦量的矢量图示法	81
4-5. 交流电路引言	85
4-6. 纯电阻电路	87
4-7. 纯电感电路	89
4-8. 纯电容电路	92
4-9. 交流串联电路	94
4-10. 交流电路的功率	98
4-11. 交流并联电路	102
4-12. 功率因数的提高及其对技术经济的影响	108
4-13. 符号法	111
4-14. 电感性负载接入交流电路的过渡历程	118
4-15. 振荡电路	121
4-16. 集肤效应和邻近效应	126
4-17. 带铁芯线圈的交流电路	129

第五章 三相交流电路

5-1. 概述	134
5-2. 三相电势的产生	135
5-3. 三相电源的联接	136
5-4. 三相负载的联接	141
5-5. 三相交流电路的功率	149

第六章 电工量计

6-1. 概述	156
6-2. 电工仪表的分类和误差	156
6-3. 磁电式仪表	161
6-4. 电磁式仪表	163
6-5. 电动式仪表	165
6-6. 感应式仪表	167
6-7. 振动式频率计	170
6-8. 电流和电压的测量	171
6-9. 功率的测量	175
6-10. 电能的测量	182
6-11. 绝缘电阻的测量	185
6-12. 万用电表的构成和使用	187

6-13. 平衡电桥及其应用	190
----------------------	-----

第七章 变压器

7-1. 概述	195
7-2. 变压器的工作原理	196
7-3. 变压器的空载运行	198
7-4. 变压器的负载运行	202
7-5. 变压器的外特性和电压调整率	206
7-6. 变压器的损耗和效率	207
7-7. 三相电压的变换	210
7-8. 变压器的并联运行	214
7-9. 变压器的构造	216
7-10. 变压器的额定值和名牌数据	219
7-11. 自耦变压器	221
7-12. 仪用互感器	223
7-13. 电焊变压器	229

第八章 异步电机

8-1. 概述	230
8-2. 异步电机的构造	230
8-3. 旋轉磁場	237
8-4. 异步电动机的工作原理	242
8-5. 异步电动机的运行情况	244
8-6. 异步电动机的等值电路和矢量图	251
8-7. 异步电动机的损耗、效率和能量图	255
8-8. 异步电动机的电磁轉矩和机械特性	256
8-9. 异步电动机的起动	262
8-10. 双鼠籠式和深槽式电动机	269
8-11. 异步电动机的調速	272
8-12. 异步电动机的反轉	278
8-13. 异步电动机的制动	278
8-14. 提高异步电动机功率因数的方法	281
8-15. 异步电动机的工作特性	282
8-16. 异步电动机的额定值	283
8-17. 单相异步电动机	284
8-18. 异步发电机	288
8-19. 我国异步电机制造情况	289

第九章 同步电机

9-1. 概述	293
---------------	-----

9-2. 同步电机的构造	293
9-3. 同步发电机的空载运行	297
9-4. 同步发电机的负载运行	298
9-5. 同步发电机的并联运行	301
9-6. 同步电动机	303
9-7. 改变励磁电流对同步电动机运行情况的影响	308
9-8. 同步电动机的起动	311
9-9. 单相同步电动机	312
9-10. 我国同步电机制造情况	313

第十章 直流电机

10-1. 直流电机的用途和构造	314
10-2. 电枢绕组和直流电势的获得	316
10-3. 直流电机电枢绕组内的感应电势	323
10-4. 直流电机的电磁转矩	325
10-5. 电枢反应	326
10-6. 电流的换向及改善换向的方法	329
10-7. 直流电机按励磁方法的分类	331
10-8. 他励发电机	334
10-9. 并励发电机	338
10-10. 串励发电机	341
10-11. 复励发电机	341
10-12. 直流电动机概述	342
10-13. 并励电动机	346
10-14. 串励电动机	348
10-15. 复励电动机	350
10-16. 直流电动机的起动	351
10-17. 直流电动机的反转	355
10-18. 直流电动机的调速	355
10-19. 直流电动机的制动	361
10-20. 直流电机的损耗、效率和额定值	364
10-21. 我国直流电机制造情况	366

第十一章 自动装置用电机

11-1. 交磁放大机	369
11-2. 自整角机系统	374
11-3. 执行电动机	377
11-4. 旋转变压器	381
11-5. 调相器	385

11-6. 测速发电机	386
11-7. 微型同步电动机	388

第十二章 电力拖动

12-1. 概述	396
12-2. 电动机的发热和冷却	400
12-3. 电动机功率的选择	403
12-4. 电动机种类和型式的选择	411
12-5. 电动机的运行与维护	417

第十三章 工业用低压电器

13-1. 概述	421
13-2. 非自动电器	423
13-3. 接触器和磁力起动器	431
13-4. 继电器	437
13-5. 低压熔断器	445
13-6. 电阻元件和变阻器	448
13-7. 电磁式执行电器	450
13-8. 电器的运行与维护	455

第十四章 电力拖动控制

14-1. 概述	458
14-2. 鼠笼电动机控制	461
14-3. 绕线电动机控制	464
14-4. 直流电动机控制	468
14-5. 发电机(或放大机)——电动机组控制	471
14-6. 磁放大器及其在电动机控制中的应用	475
14-7. 电动机转速调节的脉冲法及其控制	479
14-8. 电动机的同步旋转与随动系统	484
14-9. 金属加工机床的程序控制	487

第十五章 电子和离子器件及整流器

15-1. 电子学的发展和应用	498
15-2. 电子发射	499
15-3. 二极管	501
15-4. 充气二极管	505
15-5. 二极管和充气二极管的应用	508
15-6. 多相整流电路	514
15-7. 充气三极管——闸流管及可控整流器	517
15-8. 汞弧整流器	522

15-9. 引燃管	526
15-10. 光电管	528
15-11. 三极管	531
15-12. 多极管	536
15-13. 晶体二极管	539
15-14. 氧化铜整流器和硒整流器	545
15-15. 晶体三极管	549
15-16. 半导体光电效应及其应用	552
附录 15-1. 几种二极管参数及底座图	553
附录 15-2. 几种三极管和多极管参数及底座图	554
附录 15-3. 二种闸流管参数及底座图	555
附录 15-4. 电子与离子器件的编号制度	556

第十六章 电子管放大器及振荡器

16-1. 电子管放大器的基本概念	558
16-2. 电子管放大器的分类	564
16-3. 多级耦合放大器	567
16-4. 功率放大器	574
16-5. 放大器电路中的回输	580
16-6. 电子管振荡器的基本概念	581
16-7. 自激电子管振荡器	586
16-8. 弛张振荡器	590

第十七章 电子与离子设备

17-1. 概述	593
17-2. 电子延时继电器	593
17-3. 光电继电器	594
17-4. 电子管稳压器	595
17-5. 电子管电压表	593
17-6. 阴极射线示波器	600
17-7. 电子计算机的基本概念	607

第十八章 发输配电

18-1. 发电厂类型和我国电力工业的发展情况	616
18-2. 电力系统及供电线路	619
18-3. 变电所和配电所	628
18-4. 工业企业配电	633
18-5. 导线截面与熔断器的选择	634

第十九章 非电量的电测法

19-1. 概述	643
19-2. 参数式变换器	645
19-3. 发电式变换器	649
19-4. 压力的测量	653

第二十章 电焊、电热、超声波和电火花加工

20-1. 电焊	657
20-2. 电热	664
20-3. 机电的超声波发生器及超声波的应用	671
20-4. 金属电加工概述	673
20-5. 阳极机械加工	674
20-6. 电火花加工	676

第二十一章 电化学

21-1. 概述	682
21-2. 铅蓄电池	682
21-3. 铁镍蓄电池	690
21-4. 蓄电池的连接	694
21-5. 电解精炼金属	695
21-6. 电镀	697
21-7. 电化学加工	700

第二十二章 电照

22-1. 概述	703
22-2. 光源	705
22-3. 照明器	708
22-4. 照明系统及照明种类	712
22-5. 人工照明照度标准	713
22-6. 照明器的布置	716
22-7. 照明算法	718

第二十三章 使用电气设备的安全技术

23-1. 概述	725
23-2. 工业企业内电气设备安全要求略述	727
23-3. 保护接地和接零	730
23-4. 保安防护用具	733
23-5. 急救	734

緒 論

一、电工学的研究对象。电工技术的应用 与发展生产力的关系。电力化对我国 社会主义建设的重大意义

电工学是研究怎样把有关“电”和“磁”的自然法则应用到工程上去的科学。在我们的时代——建设社会主义和向共产主义迈进的时代，电工学是一切技术的基础之一。

电的应用使人类社会生产力的发展进入了一个新的阶段。随着社会生产力的发展，电工技术在工业、农业、交通运输业以及日常生活中得到愈来愈广泛的应用。无论在机械工业、矿冶工业、化学工业或建筑工业中，电工技术的应用都占着十分重要的地位。

在现代的工业生产中，几乎所有生产机械的原动机都采用电动机。例如，机械工业中的各种金属加工机床，矿冶工业中的矿井卷扬机、轧钢机、化学工业中的各种泵、鼓风机、压缩机，以及建筑工业中的挖土机、起重机等。

此外，电工技术还广泛地应用在工业生产的各种工艺过程中。例如，机械工业中的电焊、机械零件的电加工（钻孔、强化、磨削等）、矿冶工业中的电炉冶炼优质钢和合金钢、化学工业中的电解、电炉烧结、电除尘（净化），以及建筑工业中的电热烘焙水泥、冻土等。

近数十年来，电子与离子仪器的结构及其在自动控制方面的应用日趋完善，丰富了电力拖动与自动技术，创造了新的工艺。半导体的制造和应用为近代科学技术开辟了新的领域。很多繁重而复杂的工作都可用电子、离子仪器去管理或完成。利用电子计算机可以作繁复的数

学运算、翻譯、自动控制生产过程等。电子、离子仪器的应用在无綫电通訊方面更为广泛，如无綫电广播、电视、电报、电话、雷达等。电子、离子仪器应用在医疗上还可为人类的健康造福，如X光机、超短波电疗机等。

近年来，原子能的和平利用更为电工技术开辟了宽广的道路。利用原子能发电可获得大量的电能。

电力之所以在现代工农业生产中得到广泛的应用，是由于电能的使用有着无比的优越性：

第一，电能易于轉換。电能可以很方便地由水能、热能、化学能、原子能等轉換而得，成为廉价的动力来源；同时，电能又可很容易地轉換成我們所需要的能量形态，例如机械能、热能、光能、化学能等，以应用于不同的場所。

第二，电能易于輸送到远方，且易于分配到各分散的、单独的用户。这样便能圓滿地解决工业企业設置地位的問題，我們可以在儲藏大量动力資源（煤矿、河川附近）的地方設立发电厂，而其他工业企业可尽量与原料产地相接近。

第三，电能易于控制、测量和調整。这就为生产过程的自动化創造了有利的条件。

实现生产过程自动化不仅可以大大地提高劳动生产率和产品质量、改善劳动条件和減輕劳动强度，并且提高了工人的文化技术水平。这样就为消灭体力劳动与脑力劳动之間的差別，向共产主义迈进創造了有利条件。

但是生产过程的自动化只有在电力化的条件下才有可能，所以生产力的高度发展是与电力化分不开的。

偉大的列宁曾經說过：“共产主义——这就是苏維埃政权加上全国电力化”。从这句名言中，我們可以体会到只有在工人階級掌握了政权的新社会里，才能够通过有計劃的电力化来为人民大众謀福利。

实现全国电力化只有在社会主义制度下才有可能，这是因为社会

主义社会实现了生产资料公有制，社会經濟能有計劃、按比例的发展。但是在资本主义社会里，发展生产只是为了增加資本家的利潤，加强对劳动人民的剝削。因此，生产的电力化只是增加少数人的財富，却給工人阶級带来了失业和貧困。在壟断資本主义制度下，生产的社会性和生产资料私人占有的矛盾，給生产的发展造成了不可克服的障碍，要想实现有計劃的电力化更是不可能的事情。

我国有着社会主义的优越制度和中国共产党的正确领导，依靠群众的力量，在鼓足干劲、力爭上游、多快好省地建設社会主义的总路綫照耀下，不难想象，在不太长的时期內，可以迅速地实现全国电力化。

二、理論和实用电工学的发展簡史。

我国古代在磁学上的发现。俄罗斯学者对电工学的貢獻

自然科学是生产斗争知識的結晶，它伴随着生产力的发展而成长，同时又促进生产力的发展，逐步由低級走向高級，由片面走向更多方面。电工学是自然科学中的一个部門，当然也遵循着这个发展規律。

我国是世界文化发达最早的国家之一，对世界文化作出过許多貢獻。根据現在已經整理出来的資料来看，在与电工学有直接关系的磁学方面，我們的祖先早在公元前四世紀左右就已經发现了磁石，知道它能吸鉄。战国时“呂氏春秋”一书中有“磁石召鉄”这样的記載。在封建时代，以农业生产为主的社会里，磁石被应用在天文学上，做成了一种校正時間和指示方向的工具，叫做“司南”。“韓非子”这本书的“有度篇”里写道：“故先王立司南，以端朝夕”。东汉王充所著的“論衡”中提到了“司南之杓，投之于地，其柄指南”。十一世紀的时候，有一些书籍进一步記載着用人造磁針来做指南針的事实。宋朝的学者沈括在他所著的“梦溪笔談”中对于指南針的作用更有精确的分析，他曾指出指南針所指的方向不是正南，而是南稍微偏东，这和現代的地磁研究結果是完全符合的。后来波斯人和阿剌伯人把指南針傳到欧洲，到十三世紀

初,欧洲的书籍才有关于指南針的記載。因此,把中国称为“磁学的发祥地”應該是沒有疑問的。

但是我国由于封建制度的长期延續,生产力停滯不前,經濟、文化等的发展极其緩慢,更加上近百年来帝国主义的侵略,把中国变成一个半封建、半殖民地的国家,使得中国人民无限的智慧得不到应有的发展。今天中国人民已因革命的胜利而获得解放,在科学上的成就是无限量。

至于电的現象,人类最早所見到的是閃电和雷击,并且受到它的灾害。古代希腊人也曾經发现摩擦生电的現象。在漫长的封建时代里,电学一直停滯在研究带电体和带电体間相互作用力的靜电学方面。

十八世紀中叶,俄国电工学鼻祖 M. B. 罗蒙諾索夫(Ломоносов)研究了雷雨的現象,他首先揭露了雷与摩擦电的同一性,并且制出了避雷針的雛形。

到了十八世紀末叶和十九世紀初,在欧洲已經发生了产业革命,生产由封建时代的手工业形式轉变为資本主义的大机器生产。从这个时候开始,电学的研究才由于原电池的发明而扩大到动电方面,出现了許多重要的发现:1802年俄罗斯科学院院士 B. B. 彼得洛夫(Петров)发现了电弧現象,指出这种現象可供照明和焊接金属之用。1820年奥斯特(Oersted)发现了电流的磁效应,接着安培(Ampère)又发现了两載流导綫間的作用力,于是把过去認為毫不相干的电和磁的現象联系起来了。1831年法拉第(Faraday)发现了电磁感应現象,这是电机的最基本作用原理。俄国彼得堡大学校长 Э. X. 楞次(Ленц)院士更进一步确定了感应电势的方向和电流热效应定律,并且闡明了电机可逆性原理。在十九世紀下半期,莫斯科大学的 A. Г. 斯托列托夫(Столетов)教授发现了鉄的磁化曲綫,这曲綫是磁路計算的基础。他又发现了光电現象,并且制出了第一个光电管。

在电的实际应用方面,世界上第一台电动机是 B. C. 亚可比(Якоби)

在1834年发明的；白熾灯是 А. Н. 罗賓根 (Лодыгин) 在1873年发明的；电烛是 П. Н. 亚勃罗契闊夫 (Яблочков) 在1876年发明的。亚勃罗契闊夫又和 И. Ф. 烏薩金 (Усагин) 发明了变压器，成为实际应用交流电的先驅，这时在电工学界也就出现了交流电拥护者和直流电拥护者的爭論。1889年俄国卓越的电学家 М. О. 多利沃-多勃罗沃利斯基 (Доливо-Добровольский) 发明了三相交流电、三相变压器、三相发电机和三相异步电动机，于是交流电的拥护者才获得輝煌的胜利。

1895年 А. С. 波波夫 (Попов) 发明了无綫电，这不但引起了通訊技术的根本革命，同时也成为近代电子学的基础。

从这里我們可以了解俄罗斯的学者在电工学方面的貢獻是居于很重要的地位的。可是，这些偉大的俄罗斯学者在电工学方面的輝煌成就，由于沙皇的反动統治，沒有能为俄国当时落后的工业所利用。直到偉大的十月社会主义革命胜利以后，苏联的电工事业才以空前的速度向前发展。

三、我国电力工业的发展情况

解放前，处于半封建、半殖民地社会的中国，电力工业和其他重工业部門一样，一直控制在帝国主义和官僚资产阶级的手里。

自从十九世紀末叶，英国在香港創辦香港电灯公司以来，广州、汉口、上海、北京、天津各地相繼設厂供电。从此，帝国主义者就控制了我国重要的經濟命脉之一——电力事业。根据1932年的調查資料，我国电力事业由外資經營的有44万千瓦，約等于本国資本經營的45万千瓦，外資經營的占我国电力事业的50%。由于电力是工业最基本的动力，因而外資的壟断一方面为帝国主义的經濟侵略造成良好条件，另一方面也成为控制与扼制我国民族工业的利器，使我国长期处于貧困落后的局面。此外，还为帝国主义者榨取了巨額利潤。以解放前美商上海电力公司（創辦时为英商，在30年代为美国資本所购买）为例，从1893

年至1936年的43年內，賬面盈利達到其創辦資本的1300倍以上。

在國民黨統治時期，電力事業殘破不堪，電廠全集中於幾個城市中，容量很小，設備陳舊，電費昂貴，事故百出。電能僅供極有限的工業和城市里中產階級以上的家庭照明之用。到解放前夕（1949年），電能生產（43億度）僅相當於解放前最高年發電量（1941年的59.6億度）的72.3%。

在電機製造工業方面更為落後，只有上海幾家小型電機廠生產少量的小型電機和電力設備。在電訊工業方面則幾乎所有設備都靠外國進口，自己根本不能製造。

解放後，在黨的領導下，中國人民經過了三年經濟恢復時期和1953—1957年第一個五年計劃以及1958年和1959年全國工農業生產的大躍進，使我國電力工業得到了飛躍的發展。

在電力事業方面，1952年全國發電量為72.6億度，1957年全國發電量達193.4億度，即第一個五年計劃期間發電量增加2.67倍，如與解放前夕（1949年）的發電量43億度相比，則增加到4.5倍。1958年的大躍進，使發電量又從1957年的193.4億度增加到275億度，即增加了42.2%。1959年發電量為415億度，比1958年增長51%，完成了第二個五年計劃400—430億度的指標。這樣的增長速度是資本主義國家所不能想象的，只有在社會主義國家才能實現。

在第一個五年計劃里，新建了幾十個發電站，它們都是用最先進的現代化技術和高度機械化、自動化的設備所裝備起來的，其中有許多是水力發電站。根據初步調查，我國的水力資源總蘊藏量達五億多千瓦。

1959年安裝新機組為1958年裝機容量的1.6—1.7倍，大於第一個五年計劃五年的總和，其中火電在200萬千瓦以上。水電方面1959年開工的水電站工程比1958年增加12倍。

此外，在第一個五年計劃期間還大量修建了輸電綫路和配電綫路，1959年新建的高壓綫路和變電設備又都大於第一個五年計劃五年的

总和。这些綫路将全国发电站联結成十几个电力系统，改变了解放前孤立供电的情况，保证了安全供电，并提高了技术经济指标。

在电机制造工业方面，第一个五年计划里，发电机的生产容量自1952年的2.97万千瓦增加到1957年的19.8万千瓦。按照第一个五年计划规定，电动机的生产容量自1952年的63.9万千瓦增加到1957年的104.8万千瓦，即增加了64%；变压器的生产量自1952年的116.7万千伏安增加到1957年的261万千伏安，即增加了124%。其他各种电器仪表，无綫电器材等生产的增长也相当多。

1958年和1959年的大跃进在电机制造工业方面也取得飞跃的发展。1959年制造的发电设备比1958年增长了1.69倍，超额完成了第二个五年计划的指标。现在我国已能自制一些大型的汽輪发电机组、水輪发电机组、直流电动机、电力变压器以及多种的特殊电机。此外，还生产了高电压和大遮断容量的多油式断路器、压缩空气断路器以及各种接触器、继电器、电工仪表等。新建和扩建的电子管厂和无綫电器材厂大量生产各种无綫电器材供应全国需要。

随着原子反应堆的建成，电子计算机的試制成功，我国进入了一个崭新的科学技术时代。在这些辉煌成就的基础上，电力化正日益深入到国民经济的各个部門中。电力拖动获得了广泛的发展，出现了提綱控制机床、仿模銑床等自动设备。

这一切都是由于在党的领导下，贯彻了社会主义建設总路綫和“两条腿走路”的方针、打破迷信、大搞群众运动、大鬧技术革命的结果；这一切也是和苏联以及各人民民主国家的帮助分不开的。

四、苏联电力工业的发展情况

苏联在偉大的十月革命后，在弗·依·列宁的亲自领导下制定了苏联电力化计划。计划规定在十到十五年内建成30个发电站，总容量达150万千瓦。这个计划在十年内就胜利完成了。到1955年第五个