

高等学校教材

电 工 学

姚 海 彬 编

高 等 教 育 出 版 社

本书是根据 1962 年 5 月高等工业学校教学工作會議審訂的高等工业学校本科五年制土木建筑工程类专业适用的 70 学时《电工学教学大綱(参考草案)》編写的。全书共十二章,即直流电路和磁路、交流电路、三相交流电路、电工测量、变压器、异步电动机、同步电动机、直流电机、电动机的选择和继电接触控制、供电、整流器、放大器。

本书由清华大学电工学教研室宗孔德、周以直、周礼泉等同志負責审閱,并經高等工业学校电工課程教材編审委员会电工学及电工基础課程教材編审小組复审通过。

本书可作为高等工业学校土木建筑工程类专业电工学課程的試用教科书,也可供有关工程技术人員参考。

电 工 学

姚 海 彬 編

北京市书刊出版业營業許可証出字第 119 号

高等教育出版社出版(北京景山东街)

人 民 教 育 印 刷 厂 印 装

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 經 售

統一书号 K15010·1176 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 9 $\frac{11}{16}$

字数 249,000 印数 0,001—4,000 定价 (7) 元 1.10

1965 年 6 月第 1 版 1965 年 6 月北京第 1 次印刷

关于本书所用文字符号及图形符号的说明

本书所用的文字符号以国际惯用符号(拉丁字母和希腊字母)为主,对某些物理量的下标(例如额定电压 U_e 、反抗转矩 M_{fk} 、接地电阻 R_{jd} 等)和线路图上的电工设备文字符号(例如变压器 B 、发电机 F 、电动机 D 、开关 K 、接触器 C 等),参照 1964 年颁布的中华人民共和国国家标准 GB 315-64《电工设备文字符号编制通则》,采用了汉语拼音字母。为了便于区别起见,书中凡用汉语拼音字母作下标的一律用小写正体字母排印,凡用国际惯用符号作下标的一律排成斜体。

本书所用的图形符号符合 1964 年颁布的中华人民共和国国家标准 GB 312-64《电工系统图图形符号》的规定。

本书所用物理量符号及其单位代号

符 号	名 称	单位名称	单位代号
A	功	焦耳	J
A	热能	卡	cal
B	磁感应强度	韦伯/米 ²	Wb/m ²
b	宽度	米	m
C	电容	法拉	F
d	直径	米	m
E	电动势	伏特	V
e	电动势(瞬时值)	伏特	V
ξ	负载持续率	—	—
F	力	牛顿	N
f	频率	赫兹(周/秒)	Hz(c/s)
G	电导	莫, 姆[欧]	Ω , mho
H	磁场强度	安匝/米	At/m
I	电流(有效值)	安培	A
i	电流(瞬时值)	安培	A
IN	磁通势	安匝	At
J	转动惯量	公斤·米 ²	kg·m ²
L	自感系数, 电感	亨利	H
l	长度	米	m
M	转矩	牛顿·米	N·m
N	绕组匝数	—	—
n	转速	转/分	rpm
P	功率	瓦特, 千瓦	W, kW
p	功率(瞬时值)	瓦特, 千瓦	W, kW
p	磁极对数	—	—
Q	每秒产生热量	卡/秒	cal/s
Q	无功功率	乏, 千乏	var, kvar
q	电荷	库仑	C
R	电阻	欧姆	Ω

續前表

符 号	名 称	单位名称	单位代号
R_i	电阻	欧姆	Ω
S	视在功率	伏安, 千伏安	VA, kVA
S	截面积	米 ²	m ²
S	跨导	毫安/伏	mA/V
s	轉差率	—	—
T	周期	秒	s
t	時間	秒	s
U	电压(有效值)	伏特	V
u	电压(瞬时值)	伏特	V
v	綫速度	米/秒	m/s
W	能量	焦耳, 千瓦-小时	J, kWh
X	电抗	欧姆	Ω
z	阻抗	欧姆	Ω
α	电阻温度系数	1/度	1/°C
γ	电导率	1/欧-米	1/ Ω m
ε	电压損失百分比	—	—
η	效率	—	—
θ	溫度	度	°C
λ	过载系数	—	—
μ	磁导率	亨/米	H/m
μ	放大系数	—	—
ρ	电阻率	欧-米	Ω m
τ	時間常数	秒	s
Φ	磁通	韦伯	Wb
φ	电位	伏特	V
Ψ	磁鏈	韦伯匝	Wbt
ω	角频率	弧度/秒	rad/s

本书所用文字符号的汉语拼音下标

下 标	汉语拼音全文	汉 字	举 例	意 义
cb	celiang yibiao	测量仪表	R_{cb}	仪表测量机构的电阻
cr	changqi rongxu	长期容许	I_{cr}	长期容许电流
bh	baohu	保护	h_{bh}	被保护物体的高度
dc	dianci	电磁	M_{dc}	电磁转矩
dl	duanlu	短路	I_{dl}	短路电流
dx	dengxiao	等效	I_{dx}	等效电流
e	eding	额定	P_e	额定功率
f	fanxiang	反向	U_f	反向电压
f	fujia	附加	R_f	附加电阻
fk	fankang	反抗	M_{fk}	反抗转矩
fl	fenliu	分流	I_{fl}	分流器电流
g	gongzuo	工作	T_g	工作周期
jd	jiedi	接地	R_{jd}	接地电阻
jl	jiaoliu	交流	I_{ajl}	阳极电流的交流分量
js	jisuan	计算	I_{js}	计算电流
jw	jiaowan	矫顽	H_{jw}	矫顽力
j	jixie	机械	P_j	机械功率损耗
l	lici	励磁	I_l	励磁电流
l	lou	漏	Φ_l	漏磁通
lj	linjie	临界	s_{lj}	临界转差率
pj	pingjun	平均	B_{pj}	平均磁感应强度
q	qidong	起动	I_q	起动电流
q	xianquan(raozu)	线圈(绕组)	R_q	线圈电阻
qr	qiran	起燃	U_{qr}	起燃电压
r	renti	人体	R_r	人体电阻
rd	rongduan	熔断	I_{rde}	熔断器额定电流
rf	rongxu fanxiang	容许反向	U_{rf}	容许反向电压
rx	rongxu	容许	τ_{rx}	容许温升
s	dianshu	电枢	I_s	电枢电流

續前表

下 标	汉语拼音全文	汉 字	举 例	意 义
sb	shebei	設備	P_{sb}	設備容量
sc	shengci	剩磁	B_{sc}	剩磁感應強度
sc	shuchu	輸出	U_{sc}	輸出電壓
t	tongbu	同步	X_t	同步電抗
wd	wending	穩定	τ_{wd}	穩定溫升
wg	wugong	无功	U_{wg}	電壓的无功分量
x	xian	綫	U_x	綫電壓
x	xinhao	信号	U_x	輸入信号電壓
x	xuyao	需要	k_x	需要系数
xa	xiang	相	U_{xa}	相電壓
yg	yougong	有功	U_{yg}	電壓的有功分量
yx	youxiao	有效	h_{yx}	避雷針或避雷綫的有效高度
z	zhenxiang	正向	U_z	正向電壓
z	fuzai	負載	M_z	負載轉矩
zl	zhiliu	直流	U_{zl}	整流後的直流電壓

目 录

关于本书所用文字符号及图形符号的说明	vii
--------------------	-----

緒論	1
----	---

第一章 直流电路和磁路	7
-------------	---

1-1. 直流电路	7
1-2. 欧姆定律和电阻	9
1-3. 电路中的功和功率	11
1-4. 电气设备的额定值	13
1-5. 空载、有载和短路	15
1-6. 基尔霍夫定律	16
1-7. 串联和并联电路	19
1-8. 用基尔霍夫定律计算直流电路	22
1-9. 铁磁材料	25
1-10. 磁路	27
1-11. 电磁感应	28
1-12. 涡流	30
1-13. 具有电阻和电感的直流电路	31
1-14. 电容器的充电和放电	34
习题	37

第二章 交流电路	40
----------	----

2-1. 正弦交流电	40
2-2. 相位和相位差	44
2-3. 交流的有效值	45
2-4. 正弦交流电的矢量表示法	46
2-5. 交流电路的参数	50
2-6. 纯电阻电路	51
2-7. 纯电感电路	53
2-8. 纯电容电路	58
2-9. 电阻电感串联电路	61
2-10. 电阻、电感和电容串联电路	66
2-11. 并联电路	69
2-12. 电路的功率因数	72

习题	74
第三章 三相交流电路	78
3-1. 概述	78
3-2. 三相交变电动势的产生	78
3-3. 电源的联接法	80
3-4. 负载的星形接法	82
3-5. 负载的三角形接法	86
3-6. 三相交流电路的功率	90
习题	93
第四章 电工测量	94
4-1. 概述	94
4-2. 仪表的准确度	96
4-3. 磁电式仪表	98
4-4. 电动式仪表	101
4-5. 电磁式仪表	104
4-6. 电流和电压的测量	105
4-7. 功率的测量	108
4-8. 感应式仪表和电能的测量	110
4-9. 兆欧表	111
4-10. 欧姆表和万用表	113
4-11. 非电量的电测法	114
习题	116
第五章 变压器	117
5-1. 概述	117
5-2. 变压器的空载运行	117
5-3. 变压器的有载运行	121
5-4. 三相变压器	125
5-5. 损失和效率	127
5-6. 变压器的构造	129
5-7. 变压器的额定值和铭牌数据	130
5-8. 自耦变压器	131
5-9. 电焊变压器	132
5-10. 互感器	133
5-11. 我国变压器制造工业的概况	135
习题	136
第六章 异步电动机	137

6-1. 概述	137
6-2. 旋轉磁場	138
6-3. 异步电动机的构造	143
6-4. 异步电动机作用原理	145
6-5. 定子电路	147
6-6. 轉子电路	149
6-7. 电磁轉矩	152
6-8. 机械特性	156
6-9. 轉子电路电阻对电动机特性的影响	160
6-10. 电压对电动机性能的影响	162
6-11. 鼠籠式异步电动机	163
6-12. 綫繞式异步电动机	168
6-13. 损失和效率	169
6-14. 异步电动机的功率因数	171
6-15. 异步电动机的銘牌和技术数据	172
6-16. 单相异步电动机	173
习题	177
第七章 同步电机	178
7-1. 同步电机的构造	178
7-2. 同步发电机	180
7-3. 同步电动机	181
7-4. 同步电动机的起动	183
第八章 直流电机	186
8-1. 概述	186
8-2. 直流发电机和直流电动机的原理	186
8-3. 直流电机的构造	189
8-4. 直流发电机	191
8-5. 直流电动机	193
8-6. 直流电动机的起动和調速	194
8-7. 直流电机的額定值	196
第九章 电动机的选择和继电接触控制	198
9-1. 概述	198
9-2. 电动机类型的选择	199
9-3. 电动机的轉速和电压的选择	202
9-4. 电机的发热和冷却	203
9-5. 电动机容量的选择	206

9-6. 我国电机制造情况	209
9-7. 手动控制电器	211
9-8. 按钮和行程开关	213
9-9. 电磁接触器	214
9-10. 继电器	216
9-11. 继电接触控制电路	219
习题	223
第十章 供电	224
10-1. 概述	224
10-2. 供电系统	225
10-3. 计算负载	228
10-4. 变电所	229
10-5. 低压配电网	231
10-6. 工地供电	236
10-7. 熔断器的选择	236
10-8. 导线截面选择	238
10-9. 节约用电的意义和措施	243
10-10. 电气保安	244
10-11. 防雷	250
习题	260
第十一章 整流器	261
11-1. 概述	261
11-2. 热阴极真空二极管	262
11-3. 热阴极充气二极管	265
11-4. 固体整流元件	266
11-5. 整流电路	269
11-6. 滤波器	273
第十二章 电子管放大器	275
12-1. 概述	275
12-2. 真空三极管	276
12-3. 多极真空管	281
12-4. 单极电压放大器	283
12-5. 多极电压放大器	289
12-6. 功率放大器	291
附录一 电子示波器	295
附录二 作电压放大和功率放大的部分真空三极管和多极管	298

緒 論

一、电能的应用·电气化对我国社会主义建設的意义

电与現代人类的社会实践有着密切的关系。电能已被广泛地应用到生产建設和日常生活的各个方面。

在建筑工程中,应用电动机拖动的起重机、运输带、掘土机、混凝土攪拌机等来安装构件,挖掘土方,傳送物料,攪拌混凝土等;应用水泵、泥浆泵来供水、排水、輸送泥浆等;应用电焊来焊接鋼筋;等等。建筑工程中实现机械化和电气化,将大大提高劳动生产率和加速工程进度。

在机械制造业中,应用电动机拖动金属切削机床,应用电火花、电焊、高频淬火等等进行技术加工。在采矿冶金工业中,应用电动机拖动卷揚机、鼓風机、軋鋼机等,应用电炉冶炼金属、燒結矿石等等。在化学工业中,应用电动机拖动各种泵、压缩机、通風机、破碎机、球磨机等,应用电解法分解物质等等。在其他工业中,也大量地使用着电能。

在农业中应用电力进行农副产品加工,应用电力排灌机械进行排灌。

在交通运输事业中应用电力牵引,应用电力起重装卸。在广播通信事业中更是广泛地应用电能。

至于电灯,更是工矿企业、公共场所、居民住宅所不可缺少的照明设备。

电能的应用还在日益扩大,电子技术的应用已經突破了通信广播的范围,而被应用到測量技术、計算技术、生产过程自动化、国防建設、医疗卫生、科学研究和宇宙航行等領域內。

电能所以得到如此广泛的应用,是因为它有許多突出的优点:

(1)电能可以簡便地从其他形态的能量(例如机械能、光能、热能和

化学能等)轉換而来,同时又很簡便地轉換成其他形态的能量。

(2)电能能够傳送到远处而能量損失很小,使电能的应用,在一定程度上摆脱了空間的限制,因而使荒山僻野的能源(例如水能和煤炭等)也能获得充分的利用。

(3)电能易于汇集和分配,能够組成巨大的能源,从事大規模的生产,同时又便于分散利用。

(4)应用电能生产可以提高劳动生产率和产品质量。

(5)电能便于控制,采用电气化的技术就可簡化生产自动化的裝置。

(6)应用电能进行生产,可以使环境清洁安宁,彻底改善劳动卫生条件。

科学技术总是要为政治服务的。只有在无产阶级专政的社会主义国家里,电气化才能造福于人民,科学技术发展才有无限的前途。

在党的领导下我国利用一切科学技术成就来建設社会主义。1958年,党中央和毛主席根据全国各个战綫上出現了的社会主义革命和社会主义建設高潮的新形势,集中了全国人民的意志,提出了鼓足干劲、力爭上游、多快好省地建設社会主义的总路綫。号召全国人民积极进行技术革命和文化革命,尽快地把我国建設成为一个具有现代农业、現代工业、現代国防和現代科学技术的偉大强盛的社会主义国家。

建設現代化的农业、工业和国防,开展科学研究,首先是必須依靠党的领导,充分發揮群众的創造性和积极性;其次是要具有必要的物质基础。电气化是生产自动化的必要条件,因此电气化对提高劳动生产率和发展社会生产力起着一定的作用。在党的领导下采用电气化的先进技术,会加速社会主义建設的速度。

在大跃进中,我国农村实现了人民公社化。人民公社拥有較多的人力和土地,能够合理地利用資源,有条件进行大規模的农业基本建設和农业技术改造。在农业生产中应用电力排灌机械,建設旱澇保收、穩

产高产田，应用电力进行农副产品加工，因而节省出大批劳力和积累了大量资金，巩固和发展了集体经济，为进一步发展农业和工业作出贡献。所以人民公社制度有利于逐步实现农业的机械化和电气化。

但是在资本主义国家里，电气化只有利于资本家对工人进行剥削。由于电气化的实现反而加强了工人的劳动强度，排挤了劳动就业的机会，带给无产阶级的是失业和贫困，从而更加深了社会生产力与资本主义的生产关系之间的矛盾。

二、电工学发展简史

我国是最先发现磁现象的国家。早在公元前四世纪，我们的祖先就在生产实践中发现了天然磁铁，并且了解了它的基本性质，将磁铁用在天文学上，作校正时间和指示方向之用。

大约在2,500年以前，希腊人首先发现了用毛皮摩擦过的琥珀带电的现象。我国东汉王充著的《论衡》一书中也有“顿牟掇芥”的记载，可见在很早以前我国也发现了电。

电和磁虽然发现得很早，但受封建社会生产力的束缚，电磁学的研究进展得很缓慢。直到欧洲产业革命以后，欧洲由手工业生产的封建社会进入了机器生产的资本主义社会，发展了社会生产力，给生产斗争和科学实验提供了新的技术条件，电磁学的研究才获得了较快的进展。

在十九世纪二十年代，认识了磁场和电流的关系；三十年代发现了电磁感应现象，研究了直流电机的制造和在工业上的应用，到七十年代才制成了适合工业用的直流电机，并且发明了交流发电机和变压器；八十年代发明了三相异步电动机，三相变压器和三相输电等等，从此奠定了广泛使用电能的基础。

在十九世纪内对电能的应用还作了多方面的研究，相继发明了电解、电镀、电焊、电热、电气照明和电报、电话等。到二十世纪初电动机普遍地代替了蒸汽机，成了工业生产的主要原动机，将社会生产力发展到

一个新的水平。

工业技术的提高,又促进了电机工业的发展,现在采用电机导线内部用液体和气体冷却的新技术,大大提高了电机的单机容量。输电电压达到了50万伏,输电距离达到了1,000公里以上,并且还研究和试验直流输电。

二十世纪初发明了无线电,为电能的应用开辟了新领域。近几十年来电子技术的发展非常迅速。雷达、电视、半导体等新技术相继出现,电子技术现在已成了进一步发展社会生产力和认识世界的重要手段之一。

三、我国电工事业的发展

在解放以前,我国长期处在半封建、半殖民地的地位,饱受帝国主义的侵略和残酷掠夺,经济落后,社会生产力很低,严重地妨碍了我国工农业生产和科学文化的发展。

解放前我国仅在一些大中城市有发电厂,广大农村中几乎无电可言。这些发电厂规模小,设备陈旧,并且大部分操纵在帝国主义分子手中。

解放前我国的电机制造业更是薄弱,仅有的几家电机制造厂所生产的电机,容量小,品种残缺不全。而无线电器材和一切电气设备都依靠国外进口。

解放后在党和政府的领导下,我国的电工事业获得了蓬勃的发展。经过三年恢复时期和第一个五年计划的建设和1958年以后的大跃进,到1959年年底,在电力工业方面十年间新建和扩建的发电厂的容量,较旧中国六十七年间建设的还多三倍多;在电机制造业方面,不但能生产一般的异步电动机、直流电机、电力变压器、开关设备、电工仪表等,还能生产成套的72,500千瓦的水轮发电机组和50,000千瓦的汽轮发电机组,高压大容量的电力变压器,高压大遮断容量的油断路器和高压

充油電力電纜等，以及特殊用途的電氣設備，並且試制成功了大容量氫冷卻的汽輪發電機。到 1959 年年底，提前三年完成了第二個五年計劃的電機製造和發電量的指標。

解放後我國的電力工業發展得很快，現在已將全國的主要的火力發電廠和水力發電廠聯結成許多個電力系統，用 220 千伏、154 千伏和 110 千伏等電壓將電能輸送到城市、農村和工礦區域，以滿足工農業生產建設和日常生活的需要。

自黨的八屆十中全會以後，全國貫徹了毛主席提出的以農業為基礎、以工業為主導的發展國民經濟的總方針，使農村電氣化取得了較快的发展。1963 年和 1957 年相比，全國農業用电量增加了 16 倍，電力排灌設備增加了 29 倍。廣大地區建成了大面積的旱澇保收、穩產高產田。

在黨中央和毛主席的領導下，全國人民發揚了自力更生、艱苦奮鬥的革命精神，奮發圖強，克服了種種困難，幾年來制成了許多高級的精密的產品，例如八綫示波器、高壓電橋、電視發射機和接收機、電子數字計算機等，為發展我國的農業、工業、科學研究和建設現代國防事業提供了更有力的技術設備。幾年來我國的技術力量和工業水平提高得很快，現在我國已經能夠自己設計、自己製造成套設備，自己施工安裝現代化的大型企業工程項目，從而粉碎了帝國主義、現代修正主義和一切反動派對我們實行的經濟封鎖和技術封鎖。我國自己設計、自己施工的新安江水电站，全部設備都是我國自己製造的，部分機組已經安裝竣工並投入生產，運行情況良好，正以 220 千伏的電壓向上海、南京、杭州等地區輸送電能，有力地支援着我國大規模的工農業生產建設。

十五年來我國電工事業的成就很大，這是黨的路線和方針政策的勝利，是毛澤東思想的勝利。在黨的領導下，在總路線的光輝照耀下，我們要更高地舉起毛澤東思想的光輝旗幟，繼續發揚自力更生、奮發圖強、艱苦奮鬥、勤儉建國的革命精神，為爭取在不太長的历史時期內，把

我国建設成为一个具有現代农业、現代工业、現代国防和現代科学技术的偉大强盛的社会主义国家而奋斗。

四、电工学的性质、目的和任务

电能的应用既然如此广泛,全国电气化的意义又很重大,各个专业生产部門的工程技术人員有必要掌握一定的电工理論和技术。电工学就是为非电专业的工科学生开设的課程。电工学包括以下內容:

(1)基础理論 讲述电路磁路的基本定律, 正弦交流电的基本知識, 三相交流电路等。

(2)电工仪表、电机和电器 讲述常用的电工仪表、电机和电器的作用原理和构造, 以及它們的使用和选择的方法。

(3)供电和安全用电知識 讲述供电系統、供电设备、导綫和熔断器熔件的选择方法、安全用电常識等。

(4)电子学基本知識 讲述整流器和电子放大器等的的基本知識。

电工学是一門技术基础課。不能在这門課程里对电工的全部領域都細致深入地研究。对一些生产上的專門問題也不能詳尽具体討論。所以电工学不能代替各专业的电气装备課程。电工学的任务和目的是使非电专业的学生掌握电工学的基础理論知識, 了解本专业內最常用的电机、电器、电工仪表和供电设备等, 并受到必要的基本訓練, 为学习专业知識和从事生产建設工作打好基础。