

中等专业学校教材

机械制造类专业适用

电 工 学

饒昌植 沈裕鍾編

人 民 教 育 出 版 社



73.1
21.0

中等专业学校教材



机械制造类各专业适用

电 工 学

饒昌植 沈裕鍾編

人民教育出版社

本书系由上海机器制造学校饒昌植同志和南京机器制造学校沈裕鍾同志根据 1964 年修訂的中等专业学校机械制造类专业适用的《电工学教学大綱(150 学时)》編写的。原稿經第一机械工业部中等专业学校机械类专业技术基础課教材編审小組电工学分組审查通过。

全书內容共包括电工基础和电工测量,电机、电力拖动和安全用电,工业电子学三大部分。

本书可作为中等专业学校机械制造类专业电工学課程的教科书, 亦可供有关工程技术人员参考。

中等专业学校教材
机械制造类专业适用
电 工 学

饒昌植 沈裕鍾編

北京市书刊出版业营业許可証出字第2号

人民教育出版社出版(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

统一书号K15010·1143 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 9 $\frac{2}{16}$

字数 230,000 印数 0,001—13,000 定价(6) ¥1.00

1964 年 9 月第 1 版 1964 年 9 月北京第 1 次印刷

序 言

本书是根据1964年修訂的中等专业学校机械制造类各专业适用的《电工学教学大纲(150学时)》編写的。

在編写过程中按照“少而精”的原則精选內容，力求作到点面分明，詳略恰当。在內容的闡述方面以物理概念为主，并密切联系实际，适当反映我国生产技术的新成就。对基本內容作了比較詳尽的分析，而对某些疑难的章节則尽可能地作了深入浅出和比較透彻的讲解。书中所附的思考題和計算題的数量較多，便于教师选用。本书所用的文字符号以国际通用符号为主，仅对某些物理量的脚注(例如額定电压 U_e 、起動轉矩 M_q 、制動轉矩 M_z 等)和綫路图上的部分文字符号(例如发电机 F 、电动机 D 等)，参照1960年中华人民共和国第一机械工业部頒布的电工专业标准(草案試行)电(D)42-60《电气綫路图上图形符号》，試用了汉语拼音符号。书中凡汉语拼音符号脚注一律用小写正体拉丁字母排印，以便与国际通用符号脚注区别。

本书由上海机器制造学校饒昌植同志主編，南京机器制造学校沈裕鍾同志参加編写。緒論、电場、直流电路、交流电和单相交流电路、变压器、交流电动机、直流电机等章由沈裕鍾同志执笔；电磁、三相交流电路、电工測量、电力拖动、发电輸电配电·安全用电、工业电子学等章由饒昌植同志执笔。本书由咸阳机器制造学校王瑞麟同志审閱。

在編写过程中承上海机器制造学校、南京机器制造学校和咸阳机器制造学校领导的关怀和支持，在試用和审定期間承上海机械学院、吉林工业学校、上海船舶制造学校、上海輕工业学校、沈阳

冶金专科学校以及参加扩大审定会議的沈阳机器制造学校牟真同志和郑州机器制造学校姚任同志提供許多宝貴意見，我們对此表示衷心的感謝。此外，还承南京机器制造学校瞿祖庚同志繪制图表，上海机器制造学校应永康、莫正康、蔣三春等同志协助抄写，謹此一并致謝。

由于我們的学識有限，加以編写時間匆促，因此必定还有許多錯誤和不妥之处，殷切希望使用本教材的教师、同学以及其他讀者批評指正。意見請寄北京景山东街45号人民教育出版社高等学校教材編輯部或上海机器制造学校。

第一机械工业部中等专业学校机械类专
业技术基础課編审小組电工学編审分組

1964年2月

目 录

序言	vii
緒論	I
第一章 电場	5
1-1. 电場和电場强度	5
1-2. 电位和电压	6
1-3. 导体和电介质	8
思考題	9
計算題	9
第二章 直流电路	10
2-1. 电源与电动势	10
2-2. 电路的概念	11
2-3. 电能和电功率	13
2-4. 欧姆定律	15
2-5. 电阻的串联、并联、混联电路	18
2-6. 含有反电动势的电路	23
2-7. 电流的热效应·短路·熔断器	24
2-8. 导电材料和絕緣材料	28
2-9. 电容器及其充电和放电	30
思考題	32
計算題	35
第三章 电磁	37
3-1. 电流的磁場	37
3-2. 磁場对載流导体的作用力·磁感应和磁通	38
3-3. 磁导率·环形螺管綫圈的磁場	41
3-4. 磁路·磁路的欧姆定律	43
3-5. 铁磁材料的磁性能和用途	45
3-6. 电磁感应	50
3-7. 自感应	54
3-8. 渦流	56
思考題	57

07431

計算題	60
第四章 交流电和单相交流电路	62
4-1. 概述	62
4-2. 正弦交变电动势的产生	63
4-3. 相位和相位差	68
4-4. 正弦交流电的有效值	70
4-5. 正弦交流电的旋轉矢量表示法 · 几个正弦交流电的相加和相减	72
4-6. 交流电路引言	77
4-7. 純电阻电路	78
4-8. 純电感电路	80
4-9. 純电容电路	83
4-10. 具有电阻和电感的串联电路	86
4-11. 电阻、电感、电容的串联电路	91
4-12. 电感性负载与电容器的并联电路	93
4-13. 提高功率因数的重要意义	97
4-14. 具有铁心綫圈的交流电路中的电压与电流的关系	98
4-15. 趋肤效应	100
思考題	102
計算題	105
第五章 三相交流电路	109
5-1. 概述	109
5-2. 三相对称电动势的产生	109
5-3. 三相发电机繞組的联接法	111
5-4. 三相负载的星形联接	116
5-5. 三相负载的三角形联接	123
思考題	126
計算題	128
第六章 电工測量	130
6-1. 概述	130
6-2. 电工仪表的分类和等級	130
6-3. 直讀式仪表的測量机构	134
6-4. 电流和电压的測量	140
6-5. 功率的測量	143
6-6. 电阻和絕緣电阻的測量	147
6-7. 万用表	149
思考題	151
計算題	153

第七章 变压器	154
7-1. 概述.....	154
7-2. 变压器的工作原理.....	154
7-3. 三相变压器.....	159
7-4. 变压器的构造和铭牌上的主要数据.....	160
7-5. 自耦变压器.....	163
7-6. 互感器.....	164
思考题.....	167
计算题.....	168
第八章 交流电动机	169
8-1. 概述.....	169
8-2. 异步电动机的构造.....	169
8-3. 旋轉磁場.....	173
8-4. 异步电动机的工作原理.....	177
8-5. 轉差率·轉子各量与轉差率的关系.....	180
8-6. 异步电动机的电磁轉矩.....	182
8-7. 异步电动机的起动.....	185
8-8. 异步电动机的調速、逆轉和制动.....	190
8-9. 异步电动机的銘牌.....	193
8-10. 单相异步电动机.....	196
8-11. 三相同步电动机.....	198
8-12. 单相反应式同步电动机.....	199
思考题.....	201
计算题.....	202
第九章 直流电机	204
9-1. 概述.....	204
9-2. 直流电机的基本原理.....	204
9-3. 直流电机的构造.....	206
9-4. 直流电机按励磁方式的分类.....	209
9-5. 并励发电机.....	210
9-6. 复励发电机.....	212
9-7. 直流电动机的工作原理.....	213
9-8. 并励电动机.....	215
9-9. 串励电动机.....	216
9-10. 直流电动机的起动.....	218
9-11. 直流电动机的調速和逆轉.....	219
9-12. 电机的維護常識.....	222

思考题·····	223
计算题·····	224
第十章 电力拖动 ·····	226
10-1. 概述·····	226
10-2. 电动机的选择·····	226
10-3. 电动机的保护·····	230
10-4. 控制电器和保护电器·····	232
10-5. 鼠笼式电动机的起动、正转、逆转及反接制动控制·····	243
10-6. 绕线式电动机的自动起动控制·····	247
10-7. 两台电动机的联动控制·····	248
10-8. 限位控制·····	249
思考题·····	250
计算题·····	251
第十一章 发电、输电、配电、安全用电 ·····	253
11-1. 发电、输电、配电概况·····	253
11-2. 安全用电·····	254
思考题·····	258
第十二章 工业电子学 ·····	260
12-1. 概述·····	260
12-2. 电子发射·····	260
12-3. 热阴极真空二极管·····	261
12-4. 整流器·····	264
12-5. 热阴极充气二极管·····	268
12-6. 半导体整流器·····	269
12-7. 三极电子管·····	273
12-8. 单管放大器·····	274
12-9. 多级放大器·····	278
12-10. 五极管和束射四极管·····	281
12-11. 电子管振荡器·····	284
12-12. 阴极射线示波器·····	287
12-13. 光电继电器·····	290
12-14. 电子式时间继电器·····	292
思考题·····	292
附录 本书采用符号表 ·····	295

緒 論

(一)电能的特点·电气化在社会主义建設中的作用

电工学是研究电磁现象在工程技术上应用的一門科学。

近代, 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, 并占有很重要的地位。

在工业生产中, 几乎一切生产机械的原动机都是电动机。例如, 各种金属加工机床、起重机、轧钢机、鼓风机、压缩机以及各种泵等都是用电动机来拖动的。

在农业生产中, 也广泛地使用了电动机。例如, 排灌用的水泵、电力耕作机、电力脱谷机等都是以电动机作为原动机的。

在交通运输方面, 电气火车、电车是靠电力来牵引的, 其他如轮船、飞机和汽车等等, 也都装有許多要用到电能的电气设备。

此外, 电工技术在自动控制方面以及在工业生产的各种工艺过程中也有很多的应用, 例如, 机床的程序控制、高频淬火、机械零件的电加工(如钻孔、强化、磨削)和超声波加工等皆是。几乎一切新技术的发展无不与电工技术的应用有着密切的联系。当然, 电工技术的发展也是与其他工程技术的发展分不开的。

电能之所以在现代工农业生产中得到如此广泛的应用, 是因为它具有以下几个特点:

(1)易于轉換 电能可以很方便地由水能(水力发电)、热能(火力发电)、化学能(电池)、原子能(原子能发电)等轉換而得。同时, 电能又可以很方便地轉換成其他形态的能量, 例如, 利用电动机把电能轉換为机械能, 利用电炉把电能轉換为热能, 利用电灯把电能轉換为光能, 等等。由此可見, 电能能满足各方面的需要。

(2)易于輸送和分配 通常工厂应建設在原料产地或交通方便之处,而发电厂則应建設在煤矿或河川的附近,二者的所在地常常是不一致的。这一矛盾由于电能可以很方便地輸送到远方而得到解决。此外,电能 在分配上也很方便,無論是对集中的用电場所或是对分散的、甚至单独的用户,無論是对几千瓩的电动机或是对几十瓦的电灯,电能均能分配自如。

(3)易于控制、测量和調整 由于电气设备的动作比較迅速,而且不受控制距离的限制,因此,大量使用电工技术来控制生产过程,就为实现自动化創造了有利的条件。

生产过程自动化只有在电气化的条件下才有可能实现,所以生产力的 高度发展是与电气化分不开的。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,而且还可以改善劳动条件和減輕劳动强度,对加速社会主义建設,提高人民的物质和文化生活水平,具有极为重大的作用。

(二)我国电气事业的发展概况

解放以前,国民党反动派同帝国主义相互勾結,对我国經濟进行了残酷掠夺和压榨,因而造成我国电气事业十分落后的局面。解放以后,在中国共产党的正确领导下,我国的电气事业同其他事业一样,也取得了极其巨大的成就。

在电能的生产方面,1952年全国发电量为72.6亿度,1957年全国发电量为193.4亿度,即經過第一个五年計劃,发电量增加了1.67倍。如与解放前夕(1949年)的发电量43亿度相比,則增加了3.5倍。特别是經過1958年及以后的大跃进,发电量增长得更快。1959年全国发电量达到415亿度。这样的增长速度是资本主义国家所不能想像的,只有在社会主义国家才能实现。近年来,我国新建的大型发电厂已开始投入运行,电能的生产有了更大的发展。

在电气設備的制造方面,解放前所造的发电机,其单机容量不超过 200 瓩,电动机不超过 130 瓩,变压器不超过 2,000 千伏安。可是目前我們已經制成了 10 万瓩的发电机,4,650 瓩的直流电动机和 72,500 千伏安的变压器。各种高压設備已全面地达到 220 千伏的水平。在电工仪表方面,我們已掌握了各种精密仪表的制造技术,制成了誤差不超过 $\pm 0.2\%$ 的高級标准电表。这些巨大的成就都是我国人民在党中央和毛澤东同志的领导下,在党的社会主义建設总路綫的指引下,貫徹执行了党的各項方針政策的結果。現在我們正在为建設一个具有現代农业、現代工业、現代国防和現代科学技术的偉大的社会主义强国而奋斗。

(三)学习本課程的目的·本課程的內容

由于电工技术在現代工农业生产中得到愈来愈广泛的应用,所以,在中等专业学校工科非电工专业学习的学生,不但要掌握专业知识,而且还要学好电工学。学习电工学的目的是使我們获得一定的电工基本知識和必要的电工基本理論,并初步受到有关联接电路、正确使用生产上所常見的电气設備等方面的基本訓練,从而为学习专业課和今后从事工程技术工作打好基础。

本課程的內容可分为下列三大部分:

(1)电工基础和电工測量部分 讲述电和磁的基本理論以及简单直流电路、交流电路的分析和計算。此外,还要讲述几种常用电工仪表的基本构造、简单原理和应用。

(2)电机、电力拖动和供电部分 讲述变压器、交流电动机、直流电机的基本构造、工作原理和应用。此外,还要讲述各种电器和几种基本控制綫路的动作原理。最后,简单地介紹发电、輸电、配电和安全用电的一般知識。

(3)工业电子学部分 讲述几种电子管、离子管的基本构造和

应用,并介紹一些简单的整流綫路、放大綫路和振荡綫路,为今后进一步钻研工业电子学奠定初步基础。

在学习方法方面,由于电工学是一門理論性和系統性較强并密切联系实际的課程,因此,学生在上課时一定要集中精力注意听課,課后一定要及时复习,认真閱讀教科书,弄清物理概念,然后再去完成作业。此外,还必须认真地进行实验,通过实验可以使所学到的理論知識得到验证和巩固,并熟悉电气设备的正确操作方法。因此,在实验前必须做好預习工作;在实验过程中必须认真操作細致观察,并要运用所学理論正确分析实验所得的数据和結論;实验后必须做好总结报告,这样才能有更大的收获。

第一章 电場

1-1. 电場和电場强度

我們知道，自然界中任何物质都是由电子、质子、中子等基本粒子組成的。质子帶有正电荷，中子不帶电，质子和中子結合成为原子核。电子帶有負电荷，它环繞在原子核的周围按一定的軌道不停地运动着，正像行星繞着太阳运动一样。

在平常情况下，物体內的正电荷与負电荷数量相等，因此物体呈中性，亦即不帶电。如果用摩擦或其他方法使物体获得了电子，則物体成为帶負电的带电体；如果使物体失去了电子，則物体成为帶正电的带电体。

带电体的周围有电場存在，电場是物质的一种特殊形态。

实验证明，电場有两种表现：一是电場对处在場內的另一电荷有力的作用；二是电荷在电場內順着电場力的方向移动时，电場力要对它做功，这就表明电場內具有能量。

电荷在电場內的某一点上所受到的电場力，与电荷的电量 Q 成正比。但同一电荷在电場內的不同点上所受到的电場力，可能各不相同。由此可見，电荷在电場內的某一点上所受到的电場力，不仅与电荷所帶的电量 Q 成正比，而且还与該点的电場强弱成正比，即

$$F = \mathcal{E} Q. \quad (1-1)$$

上式中 $\mathcal{E} = \frac{F}{Q}$ 称为电場强度。电場强度是描述电場內某一点的特性的物理量。它是一个矢量，其数值等于电場作用于該点的单位电荷上的力，其方向則規定为同正电荷在該点的受力方向一致。

在式(1-1)中,如果电場力 F 的单位为牛顿(简称牛), 电荷 Q 的单位为庫侖(简称庫), 那末电場强度的单位就是牛/庫。

为了使电場形象化,通常用电力綫来描繪电場。在繪制电力綫时,应使电力綫上任一点的切綫方向与这一点的电場方向(即該点电場强度的方向)相同,并使穿过同电力綫垂直的单位面积上的电力綫数,等于或正比于該处电場强度的数值。这样,根据电力綫的密度和所指的方向,就能直接看出电場的强弱和方向。

如果在場內的所有各个点上,电場强度的数值均相等,方向都相同,这样的电場就称为均匀电場。均匀电場可用疏密均匀的平行电力綫来表示。图 1-1 是带有异号电荷的两平行平板間的电場。图 1-2 是孤立带电球体的电場。

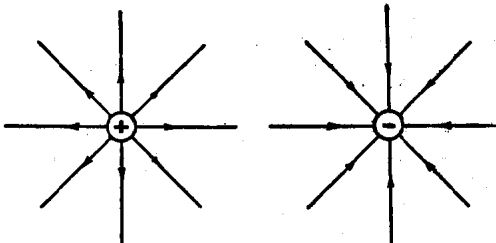
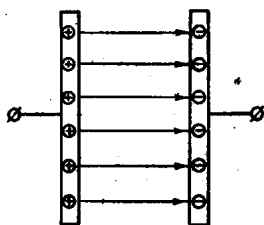


图 1-1. 两平行平板間的电場。

图 1-2. 带正电和带负电的孤立球体的电場。

1-2. 电位和电压

物体在不同的位置上具有不同的重力位能,与此相似,电荷在电場中的不同位置上也具有不同的位能。电荷在电場內的某一点上所具有的位能称为电位能。

要确定电位能的大小,必須选择一参考点作为比較标准。通常均选地面作为参考点,即认为电荷在地面上的电位能为零。因此,电荷在場內某点上所具有的电位能,就可用电荷从該点移到地面

时电场力所做的功来表示。

于是，电荷在均匀电场内(图 1-3)的 A 点上所具有的电位能为

$$W_A = F \cdot l_{AO} = \mathcal{E} Q l_{AO}.$$

同理，电荷在 B 点上的电位能为

$$W_B = F \cdot l_{BO} = \mathcal{E} Q l_{BO}.$$

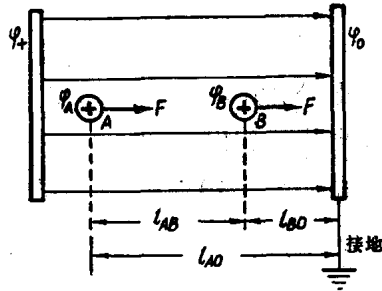


图 1-3. 电荷在均匀电场中的电位。

电荷在电场内某点上的电位能与电荷所带电量 Q 的比值，称为该点的电位，用 φ 表示，即

$$\varphi_A = \frac{W_A}{Q}; \quad \varphi_B = \frac{W_B}{Q}.$$

由此可见，电场内某点的电位在数值上就等于单位电荷在该点所具有的电位能。显然，电场内某点的电位愈高，就表示单位电荷在该点所具有的电位能愈大。

电场内两点之间的电位差就称为这两点间的电压，用 U 表示。

例如 A、B 两点间的电压为

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B. \quad (1-2)$$

在电工技术中，常要研究某两点间的电位差，因此电压是一个很重要的物理量。通过电压可以计算电能、电功率和电场强度等量。

电压的单位是伏特，简称伏 (V)。较大的电压单位是千伏 (kV)，1 千伏 = 10^3 伏；较小的电压单位是毫伏 (mV)，1 毫伏 = 10^{-3} 伏。通常电灯线路的电压为 220 伏；有轨电车在接触导线与轨道之间的电压约为 600 伏；高压输电线的电压为 35 千伏、110 千伏、220 千伏等。

如前所述，在实用上我们常取大地的电位为零，用 φ_0 表示。因

此，場內某点的电位也就等于該点与地面(零电位点)之間的电压。显然，电位的单位也是伏。

电压的方向规定为由高电位点指向低电位点，即在电压的方向上电位是逐点降低的。

由公式(1-2)可知，在均匀電場內，电压与電場强度有如下的关系：

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \frac{W_A - W_B}{Q} = \frac{F \cdot l_{AB}}{Q} = \mathcal{E} l_{AB}.$$

因此

$$\mathcal{E} = \frac{U}{l}.$$

上式表明，当 l 一定时，如果电压 U 愈高，則電場愈强。電場强度的单位又可用每米伏(伏/米)来表示。

1-3. 导体和电介质

物体依照电的性质，可分为两大类——导体和电介质(即絕緣体)。

导体又分为两类：

第一类导体是金屬。在金屬中，原子外层的电子与原子核的結合比較松弱，因此，这部分电子很容易脱离自己的原子核，而在原子之間游动，这样的电子称为自由电子。金屬的正离子构成了导体的骨架，它們只能在自己的位置上作微小的振动。在平常情况下，金屬中虽然有大量的自由电子，但它們只是在作无規則的热运动，此时通过导体任一截面的电量平均值等于零。当自由电子受到電場力的作用时，它們就順着電場力的作用方向作定向运动，因而形成了电流。

第二类导体是电解液，即酸、碱和一些盐类的溶液。电解质在溶剂的作用下，能分解成正离子和負离子(即为缺少电子和电子过多的原子或原子团)。例如，氯化鈉溶解在水中，則分解成帶正电