

高等学校試用教科书



电 工 学

DIANGONGXUE

第 一 册

浙江大学电机工程系电工学教研组編

(修 訂 本)

人 民 教 育 出 版 社

高等学校試用教科書



电 工 学

DIANGONGXUE

第 一 册

浙江大学电机工程系电工学教研組編

(修 訂 本)

人 民 教 育 出 版 社

本书原是浙江大学电工学教研组编写的,于1960年由本社出版。在1961年3月间,经过浙江大学、西安交通大学、南京工学院、上海交通大学、哈尔滨工业大学、清华大学、华中工学院、西北工业大学等校电工学教研组的有关教师略加修改后再版。

全书共分三册。第一册包括电工基础及电气测量部分;第二册包括电机、电器及拖动、控制部分;第三册包括工业电子学及非电量的电测法等部分。

本书各章执笔者:第一册第一、第二、第三章为杨游之,第四章为田春蔭,第五、第六章为华美芳;第二册第七、第八章为高维宏,第九、第十一章为张民强,第十章为王志云,第十二、第十三、第十四章为陈頌华,第十五、第十六章为贾德福;第三册第十七、第十八、第十九章为罗守信,第二十章为唐冠宗。

本书可作高等工业学校非电类专业“电工学”课程的试用教科书,也可供电工技术人员参考。

电 工 学

第一册

(修訂本)

浙江大学电机工程系电工学教研组編

北京市书刊出版业营业登记证出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

商务印书馆上海厂印装

新华书店上海发行所发行

各地新华书店經售

统一书号 15010·1050 开本 850×1168 1/32 印张 6 3/16

字数 153,000 印数 77,201—102,200 定价(7) 0.75

1960年11月初版(精装合订本共印30,000册)

1961年6月修訂第2版 1963年4月上海第5次印刷

第一册 目录

緒論	1
----------	---

第一章 直流电路

1-1. 电场及电场强度	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. 守恒原理	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. 绝缘材料的种类和应用范围	32
2-3. 电容和电容器	33
2-4. 电容器的充电和放电	40

第三章 电磁现象及磁路

3-1. 电流的磁场、磁感应强度、磁通和磁场强度	44
3-2. 全电流定律	47
3-3. 铁磁材料的性质和用途	49
3-4. 磁路及其计算	52
3-5. 载流导体在磁场中的作用	56
3-6. 电磁感应	57
3-7. 涡流	61
3-8. 自感和互感	61
3-9. 电感电路的接通和短接	65
3-10. 电磁铁起重力	70

目 录

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. 带铁芯绕组的交流电路	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. 平衡电桥和其应用	190

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。电气化对我国 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线电通訊方面更为广泛，如无线电广播、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、測量和調整。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气化的条件下才有可能，所以生产力的高度发展是与电气化分不开的。

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气化”。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，才能够通过有计划的电气化来为人民大众謀福利。

迅速实现电气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，社会经济能有计划、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资本家的利润，加强对劳动人民的剥削。因此，生产的电气化只是增加少数人的财富，却给工人阶级带来了失业和贫困。在垄断资本主义制度下，生产的社会性和生产资料私人占有的矛盾，给生产的发展造成了不可克服的障碍，要想实现有计划的电气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、力争上游、多快好省地建设社会主义的总路线照耀下，我们坚信，在不太长的时期内，必会迅速地实现全国电气化。

二、理论和实用电工学的发展简史。

我国古代在磁学上的发现。俄罗斯学者对电工学的贡献

自然科学是生产斗争知识的结晶，它伴随着生产力的发展而成长，同时又促进生产力的发展，逐步由低级走向高级，由片面走向更多方面。电工学是自然科学中的一个部门，当然也遵循着这个发展规律。

我国是世界文化发达最早的国家之一，对世界文化作出过许多贡献。根据现在已经整理出来的资料来看，在与电工学有直接关系的磁学方面，我们的祖先早在公元前四世纪左右就已经发现了磁石，知道它能吸铁。战国时“吕氏春秋”一书中有“慈石召铁”这样的记载。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，做成了一种校正时间和指示方向的工具，叫做“司南”。“韩非子”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“论衡”中提到了“司南之杓，投之于地，其柢指南”。十一世纪的时候，有一些书籍进一步记载着用人造磁针来做指南针的事实。宋朝的学者沈括在他所著的“梦溪笔谈”中对于指南针的作用更有精确的分析，他曾指出指南针所指的方向不是正南方，而是稍微偏东，这和现代的地磁研究结果是完全符合的。后来波斯人和阿拉伯人把指南针传到欧洲，到十三世纪

初,歐洲的書籍才有關於指南針的記載。因此,把中國稱為“磁學的发祥地”應該是沒有疑問的。

但是我國由於封建制度的長期延續,生產力停滯不前,經濟、文化等的發展極其緩慢,更加上近百年來帝國主義的侵略,把中國變成一個半封建、半殖民地的國家,使得中國人民無限的智慧得不到應有的發展。今天中國人民已因革命的勝利而獲得解放,在科學上的成就是無可限量的。

至於電的現象,人類最早所見到的是閃電和雷擊,並且受到它的災害。古代希臘人也曾經發現摩擦生電的現象。在漫長的封建時代里,電學一直停滯在研究帶電體和帶電體間相互作用力的靜電學方面。

十八世紀中葉,俄國電工學鼻祖 М. В. 羅蒙諾索夫(Ломоносов)研究了雷雨的現象,他首先揭露了雷與摩擦電的同一性,並且制出了避雷針的雛形。

到了十八世紀末葉和十九世紀初,在歐洲已經發生了產業革命,生產由封建時代的手工業形式轉變為資本主義的大機器生產。從這個時候開始,電學的研究才由於原電池的發明而擴大到動電方面,出現了許多重要的發現:1802年俄羅斯科學院院士 В. В. 彼得洛夫(Петров)發現了電弧現象,指出這種現象可供照明和焊接金屬之用。1819年奧斯特(Oersted)發現了電流的磁效應,接着安培(Ampère)又發現了兩載流導綫間的作用力,於是把過去認為毫不相干的電和磁的現象聯繫起來了。1831年法拉第(Faraday)發現了電磁感應現象,這是電機的最基本作用原理。俄國彼得堡大學校長 Э. X. 楞次(Ленц)院士更進一步確定了感應電勢的方向和電流熱效應定律,並且闡明了電機可逆性原理。在十九世紀下半期,莫斯科大学的 А. Г. 斯托列托夫(Столетов)教授發現了鐵的磁化曲綫,這曲綫是磁路計算的基礎。他又發現了光電現象,並且制出了第一個光電管。

在電的實際應用方面,世界上第一台電動機是 В. С. 亞可比(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И. 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 (Долivo-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，因而外資的壟斷一方面为帝国主义的经济侵略造成良好条件，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，无线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轮发电机组、水轮发电机组、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线电器材厂大量生产各种无线电器材供应全国需要。

随着原子反应堆的建成，电子计算机的试制成功，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门中。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正确领导下贯彻了社会主义建设总路綫的结果；这一切也是和社会主义兄弟国家的帮助分不开的。

四、电工学与非电专业的关系。

本課程的性质和目的。本課程的主要内容

如前所述，由于电能使用的优越性，电工技术在现代各个工业部門的生产中被广泛地应用着。

在建设社会主义和逐步向共产主义过渡的过程中，迅速地发展生

产力,改善生产技术是一桩极其重要的任务。因此,新技术的采用,生产过程的全盘机械化和自动化就成为建立共产主义物质技术基础的的决定性条件。实现生产过程的全盘自动化只有在电气化的条件下才有可能,所以电气化在建设共产主义的事业中占着首要的地位。如何使本专业工业部门电气化、自动化这一光荣而又艰巨的任务,就不得不落在从事社会主义建设的各专业技术干部的肩上。

正由于上述这些情况,从事非电各专业的技术干部,不仅应精通本专业范围内的业务知识,并且不可缺少地要掌握一定程度的电工基础知识,以便更好地掌握现代化、自动化的生产,并提出电气化、自动化的要求,促进生产力的发展。

本课程的性质为基础技术课,是非电各专业的工科学子所必修的课程。学习本课程的目的为使学生有系统地理解并掌握电工学的基础理论,并获得主要的技术知识和实用技能。要求学生在学完本课程后,有将本专业生产过程电气化的愿望,并能提出要求,和电机工程师合作,共同为实现电气化而努力。

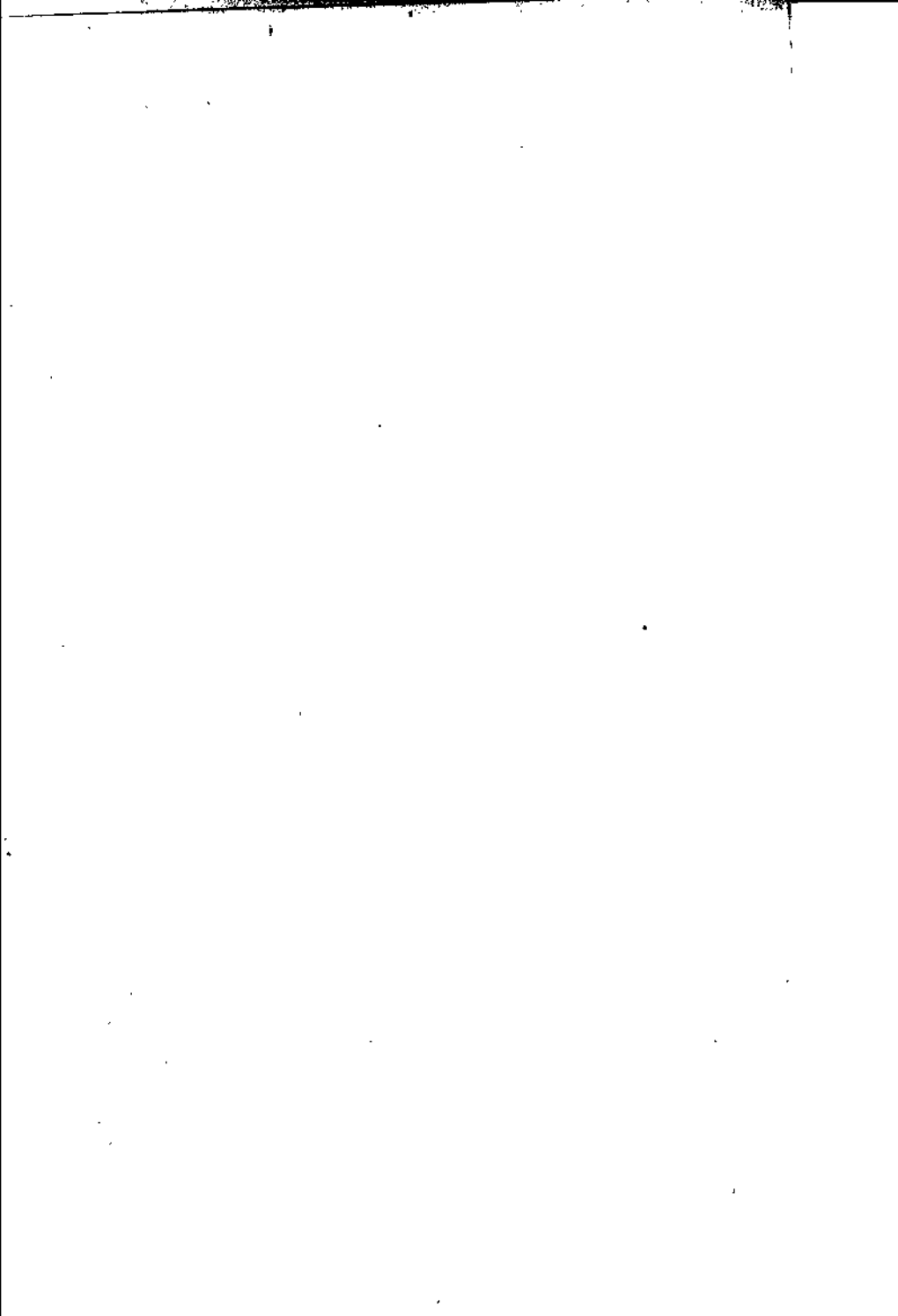
本课程包括以下几方面的主要内容:

第一部分,电工基础和电工量计:讲述关于电和磁的基本知识和物理概念以及直流电路、交流电路和磁路的计算方法等。此外,还讲述各种电工仪表的基本构造、工作原理以及各种基本电学量的测量方法。

第二部分,电机和电力拖动:讲述各种电机(变压器、异步电机、同步电机、直流电机以及一些特殊电机)的基本构造、工作原理、运用特性和使用等方法。在这一部分的最后三章还讲述了如何根据生产机械的要求经济而合理地来选择电动机以及如何使用各种电器来控制电动机,按照工艺过程的要求而进行工作。

第三部分,工业电子学:讲述各种电子、离子器件的基本构造、工作原理和工作特性以及各种基本整流线路、放大线路、振荡线路等。最后还介绍了几种工业上常用的电子仪器。

第四部分,电能的产生、输送、分配和使用:讲述发电站的电能生产过程,电力网的概念,变电所用的电气设备,工业企业的供电、电热和电焊、电加工、电化学、电照、非电量电测法等。最后还介绍了电气设备的安全技术。



第一章 直流电路

1-1. 电场及电场强度

我們知道,物质的单元微粒是电子、质子和中子。质子和中子结合成为原子核;质子带正电荷而中子不带电。电子在原子核的外周,带有负电荷。

电荷或称电量,是量度物体带电程度的量。平常物体中正负电荷数量相等,因此呈中性,也就是说~~不带电~~。由于某种原因而形成较多的正电荷或负电荷的物体,称为带电体。

电荷既不能被创造,也不能被消灭,它们只能从一个物体上转移到另一个物体上,或者在一个物体内部移动。

电荷周围存在着一种物质的特殊形态,称为电场。实验证明,电场有两种表现:一是把带电体放到某一电场内,带电体受到作用力;二是带电体在电场内移动,电场所施的力作了功,表示电场具有能量。因为任何带电现象都是两种电荷的分离过程所形成的,当分离时就需要用去某种形式的能量,以反抗异号电荷间的吸引力而作功。在分离过程中,这种能量转变为电能。相反地两种电荷互相中和时,电能转变为其他形式的能量。所以伴随着物体的带电和中和过程,必定有电能和其他形式的能量的转换。

如上所述,带电体放到某一电场内受到作用力,实验证明,此力(F)与带电体的电荷(Q)成正比:

$$\begin{aligned} F &\propto Q, \\ F &= \mathcal{E}Q, \end{aligned}$$

即

$$(11)$$

式中比例常数 $\mathcal{E} = \frac{F}{Q}$ 是电场作用在单位电荷上的力, 称为电场强度, 它的实用单位是牛/库, 它是一个向量, 其方向就是力的方向。所以电场强度是表示电场的性质的一个量。如果在电场内所有各点电场强度的方向和大小都相同, 这样的电场称为均匀电场。

1-2 电位和电压

如上所述, 电场内储有能量。电场力作功的特性和重力做功完全相似, 因此和引入重力位能一样, 我们也可认为电荷在电场中任何一个位置时, 都具有一定的位能。电荷在电场中所具有的位能称为电位能。如果有电荷 Q 在电场中受到斥力, 当电荷 Q 逐渐离开至无限远时, 电场力作正功, 电位能逐渐减小, 到无限远时, 受力为零, 电位能最小。电荷 Q 从 a 点移到无限远时, 电场力作功为:

$$A_{a\infty} = \int_a^{\infty} F dl = \int_a^{\infty} Q \mathcal{E} dl,$$

则
$$\frac{A_{a\infty}}{Q} = \int_a^{\infty} \mathcal{E} dl.$$

$\frac{A_{a\infty}}{Q}$ 是单位电荷从 a 点移到无限远时, 电场力所作的功。它仅和电场中给定点 a 的位置有关, 而和电荷 Q 无关, 是一个表示电场中给定点的性质的物理量, 称为电位 (φ)。

电荷 Q 从一点 a 移到另一点 b , 电场力所作的功等于:

$$\begin{aligned} A_{ab} &= \int_a^b F dl = \int_a^b Q \mathcal{E} dl = \int_a^{\infty} Q \mathcal{E} dl - \int_b^{\infty} Q \mathcal{E} dl = \\ &= A_{a\infty} - A_{b\infty} = Q \frac{A_{a\infty}}{Q} - Q \frac{A_{b\infty}}{Q} = \\ &= Q\varphi_a - Q\varphi_b = Q(\varphi_a - \varphi_b). \end{aligned} \quad (1-1)$$

即
$$\varphi_a - \varphi_b = -\frac{A_{ab}}{Q},$$

式中 φ_a 是 a 点的电位; φ_b 是 b 点的电位。 $\varphi_a - \varphi_b$ 是 a 和 b 两点的