

电 工 学

上 册

浙江大学电工学教研组

1959

目 錄

緒 論

第一章 直 流 电 路

1—1 电場及电場强度	(7)
1—2 电位和电压	(7)
1—3 电动势	(8)
1—4 电路概念	(9)
1—5 电流	(9)
1—6 电阻和导电材料	(10)
1—7 欧姆定律	(11)
1—8 克希荷夫定律	(12)
1—9 电流的功和功率	(15)
1—10 电流的热效应——楞次—焦耳定律	(16)
1—11 重疊原理	(17)
1—12 非綫性电路概念	(19)

第二章 电 解 質 及 电 容

2—1 电介質，电介質的介电强度和击穿現象	(21)
2—2 絕緣材料的種類和应用範圍	(21)
2—3 电容和电容器	(23)
2—4 电容器的充电和放电	(24)

第三章 电 磁 現 象 及 磁 路

3—1 电流的磁場，磁感应强度，磁通和磁場强度	(27)
3—2 全电流定律	(29)
3—3 鉄磁材料的性質和用途	(30)
3—4 磁路及其計算	(32)
3—5 載流导体在磁場中的作用	(34)
3—6 电磁感应	(35)
2—7 渦流	(37)
3—8 自感和互感	(38)

3—9 电感电路的接通和短接	(40)
3—10 电磁铁起重力	(43)

第四章 单相交流电路

4—1 概述	(45)
4—2 正弦交变电势的产生	(45)
4—3 正弦交流电的瞬时值, 极大值, 有效值和平均值	(48)
4—4 正弦量的矢量图示法	(49)
4—5 交流电路引论	(51)
4—6 纯电阻电路	(52)
4—7 纯电感电路	(54)
4—8 纯电容电路	(55)
4—9 交流串联电路	(57)
4—10 交流电路的功率	(59)
4—11 交流并联电路	(60)
4—12 功率因数的提高及其对技术经济的影响	(63)
4—13 符号法	(66)
4—14 电感性负载接入交流电路的过渡历程	(71)
4—15 振荡电路	(72)
4—16 集肤效应和邻近效应	(76)
4—17 带铁心线圈的交流电路	(77)

第五章 三相交流电路

5—1 概述	(80)
5—2 三相电势的产生	(80)
5—3 三相电源的联接	(81)
5—4 三相负载的联接	(84)
5—5 三相交流电路的功率	(87)

第六章 电工量计

6—1 概述	(92)
6—2 电工仪表的分类和误差	(92)
6—3 磁电式仪表	(94)
6—4 电磁式仪表	(96)
6—5 电动式仪表	(97)
6—6 感应式仪表	(98)

6—7 电流和电压的测量	(100)
6—8 功率的测量	(102)
6—9 电能的测量	(107)
6—10 比率計	(109)
6—11 电阻的测量	(110)
6—12 电桥和电橋的应用	(113)
6—13 电位計及电势的测量	(115)

第七章 变 压 器

7—1 概述	(119)
7—2 變压器的工作原理	(120)
7—3 變压器的空载运行	(121)
7—4 變压器的負載运行	(123)
7—5 變压器的外特性和电压調整率	(126)
7—6 變压器的損耗和效率	(126)
7—7 三相电压的變換	(128)
7—8 變压器的並联运行	(131)
7—9 變压器的构造	(132)
7—10 變压器的額定值和銘牌数据	(134)
7—11 自耦變压器	(135)
7—12 儀用互感器	(136)
7—13 电焊變压器	(139)

第八章 异 步 电 机

8—1 概述	(141)
8—2 異步电机的构造	(141)
8—3 旋轉磁場	(145)
8—4 異步电动机的工作原理	(148)
8—5 異步电动机的运行情况	(150)
8—6 異步电动机的等值电路和矢量图	(155)
8—7 異步电动机的損耗, 效率和能量图	(157)
8—8 異步电动机的电磁轉矩和机械特性	(158)
8—9 異步电动机的起动	(162)
8—10 双鼠籠式和深槽式电动机	(167)
8—11 異步电动机的調速	(169)
8—12 異步电动机的反轉	(172)
8—13 異步电动机的制动	(172)

8—14 異步电动机的工作特性	(174)
8—15 異步电动机的額定值	(175)
8—16 单相異步电动机	(176)
8—17 異步发电机	(178)

第九章 同步电机

9—1 概述	(179)
9—2 同步电机的构造	(179)
9—3 同步发电机的空载运行	(181)
9—4 同步发电机的負載运行	(182)
9—5 同步发电机的並联运行	(184)
9—6 同步电动机	(185)
9—7 改變激磁电流对同步电动机运行情况的影响	(188)
9—8 同步电动机的起动	(189)

第十章 直流电机

10—1 直流电机的用途和构造	(191)
10—2 电樞繞組及直流电势的获得	(192)
10—3 直流电机电樞繞組內的感应电势	(196)
10—4 直流电机的电磁轉矩	(198)
10—5 电樞反应	(199)
10—6 电流的換向及改善換向的方法	(200)
10—7 直流电机按激磁方法的分類	(202)
10—8 他激发电机	(204)
10—9 並激发电机	(207)
10—10 串激发电机	(208)
10—11 複激发电机	(209)
10—12 直流发电机的並联运行	(210)
10—13 直流电动机概述	(211)
10—14 並激电动机	(213)
10—15 串激电动机	(214)
10—16 複激电动机	(216)
10—17 直流电动机的起动	(217)
10—18 直流电动机的反轉	(219)
10—19 直流电动机的調速	(219)
10—20 直流电动机的制动	(222)
10—21 直流电动机的損耗, 效率和額定值	(225)
10—22 我国电机制造事业的近况	(226)

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

电工學是研究怎样把有关“电”和“磁”的自然法則应用到工程上去的科學。在我們的时代里——向共產主义邁进的时代里，电工學是一切高等技術的基础。

电的应用使人類社会的生產力发展到了一个新的阶段。随着社会生產力的发展，电工技術在各个工业部門的生產中得到愈来愈廣泛的应用。無論在机械工业、矿冶工业、化學工业或建筑工业中，电工技術的应用都佔着十分重要的地位。

在現代的工业生產中，几乎所有生產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，矿冶工业中的矿井捲揚机、軋鋼机，化學工业中的各种泵、鼓风机、壓縮机以及建筑工业中的挖土机、起重机等。

此外，电工技術还廣泛地应用在各种工业生產的工艺过程中。例如，机械工业中的电焊、机械另件的电加工（鉗孔、強化、磨削等），矿冶工业中的电炉冶炼優質鋼和合金鋼，化學工业中的电解、电炉燒結、电除塵（淨化）以及建筑工业中的电热烘焙水泥、凍土等。

在近數十年的年代里，人們对电子、离子的应用和控制得到更进一步的完善。半导体的发明和应用是近代科學上一个新的領域和方向。

很多繁重而複雜的工作都可用电子、离子儀器去代替和管理。利用电子計算机可以作繁複的數學运算、翻譯、自动控制生產过程等。电子、离子儀器的应用在无綫电通訊方面更为廣泛，如无綫电廣播、电视、电報、電話、雷达控制等。电子、离子儀器应用在医疗上还可为人類的健康謀幸福，如X光机、超短波电疗机等。

近年来人們对于原子能的利用，更为电工技術的应用開闢了寬廣的道路，利用原子能发电可獲得大量的电能。

电力所以在近代工业生產中得到廣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、化學能、原子能等轉換而得，使它成为廉價的动力来源；同时，电能又可很容易地轉換成我們所需要的能量形態，例如机械能、热能、光能、化學能等，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、單獨的用戶。这样便能圓滿地解决了工业企业設置的地位問題，我們可以在儲藏大量动力資源（煤矿、河川附近）的地方設立发电站，而其他工业企业尽量与原料產地相接近。

第三，电能易于控制、测量和調整。这就为生產过程的自动化創造了有利的条件。

实现生產过程自动化不仅可以大大地提高劳动生產率和產品質量，改善劳动条件和減輕劳动强度，並且提高了工人的文化技術水平。这样就可消灭体力劳动与腦力劳动之間的差

別，向共產主義邁進。

但是生產過程的自動化只有在電氣化的條件下才有可能，所以生產力的高度發展是與電氣化分不開的。

列寧同志曾經說過：“共產主義——這就是蘇維埃政權加上全國電氣化”。從這句銘言中，我們可以体会到只有在工人階級掌握了政權的新社會里，才能夠通過有計劃的電氣化來為人民大眾謀福利。

實現全國電氣化只有在社會主義制度下才有可能，這是因為社會生產資料為全民所有，社會經濟能有計劃、按比例的發展。但是在資本主義社會里，發展生產只是為了增加資本家的利潤，增加對勞動者的剝削。因此，生產的電氣化只是增加少數人的財富，卻給工人階級帶來了失業和貧困。在壟斷資本主義制度下，生產的社會性和生產資料私人佔有的矛盾，使生產的發展造成了不可克服的障礙，要想實現有計劃的電氣化更是不可能的事情。

我國有着社會主義的優越制度和中國共產黨的正確領導，依靠羣眾的力量，在多快好省的總路線照耀下，不難想象，在不太長的時期內，可以迅速地實現全國電氣化。

二 理論和實用工學的發展簡史、我國古代在磁學上的發現、

俄羅斯學者對於工學的貢獻

自然科學是生產鬥爭知識的結晶，它伴隨着生產力的發展而成長，同時又促進生產力的發展，逐步由低級走向高級，由片面走向更多方面。工學是自然科學中的一部門，當然它也遵循着這個規律發展而不例外。

我國是世界文明發達最早的国家之一，對世界文化作出過許多貢獻。根據現在已經整理出來的資料來看，在與工學有直接關係的磁學方面，我們的祖先早在公元前四世紀左右就已經發現了磁石，知道它能吸鐵。戰國時“呂氏春秋”一書中，有“磁石召鐵”這樣的記載。在封建時代，以農業生產為主的社會里，磁石被應用在天文學上，做成了一種校正時間和指示方向的工具，叫做“司南”。“韓非子”這本書的“有度篇”里寫道：“故先王立司南，以端朝夕”。東漢王充所著的“論衡”中提到了“司南之杓，投之于地，其柄指南”。十一世紀的時候，有一些書籍進一步記載着用人造磁針來做指南針的事實。宋朝的學者沈括在他所著的“夢溪筆談”中對於指南針的作用更有精確的分析，他曾指出指南針所指的方向不是正南，而是南稍微偏東，這和現代的地磁研究的結果是完全符合的。後來通過波斯人和阿拉伯人把指南針傳到歐洲，到十三世紀初年，歐洲的書籍才有指南針的記載。因此，把中國稱之為“磁學的發祥地”應該是當之無愧的。

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解放出來，將來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，俄國電工學鼻祖米·華·羅蒙諾索夫（М.В.Ломоносов）研究了雷雨的現

象，他首先揭露了雷与摩擦电的同一性，並且制出了避雷針的雛形。

到了十八世紀末叶和十九世紀初年，在欧洲已經发生了產業革命，生產由封建时代的手工业形式轉變为資本主义的大机器生產。从這個時候开始，电學的研究由于原电池的发明方才扩大到动电方面，出現了許多重要的发现：1802年俄罗斯科學院院士华·夫·彼得洛夫（В·В·Петров）发现了电弧現象，指出这种現象可以供照明和焊接金属之用。1820年，奥斯特发现了电流的磁效应，接着安培又发现了两載流导綫間的作用力，于是把过去认为毫不相干的电和磁的現象联系起来。1831年，法拉第发现了电磁感应效应，这是电机的最基本作用原理。俄国彼得堡大學校长爱·赫·楞次（Э·Х·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，並且闡明了电机可逆性原理。在十九世紀下半期，莫斯科大學的阿·克·斯托列托夫（А·Г·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，並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波·塞·亚可比（В·С·Якоби）在1834年发明的；白熾灯是亚·尼·罗賓根（А·Н·Лодыгин）在1873年发明的；电燭是巴·尼·亚勃洛契闊夫（П·Н·Яблочков）在1876年发明的。亚勃洛契闊夫又和依·費·烏沙金（И·Ф·Усатин）发明了變压器，成为实际应用交流电的先驅，这时在电工界也就出現了交流电拥护者和直流电拥护者的爭論。1889年，俄国卓越的电學家米·奧·多利沃—多勃罗沃利斯基（М·О·Долivo—Добровольский）发明了三相交流电、三相變压器、三相发电机和三相異步电动机，于是交流电的拥护者才獲得輝煌的胜利。

1895年，阿·斯·波波夫（А·С·Попов）发明了无綫电，这不但引起了通訊技術的根本革命，同时也成为近代电子學的基础。

从这里我們可以知道俄罗斯的學者在电工學方面的貢獻是居于很重要的地位，可是我們應該了解，这些偉大的俄罗斯學者在电工學方面的輝煌成就，由于俄国沙皇的統治階級屈膝于西欧的資產階級，因此並沒有能为俄国当时落后的工业所利用。只在偉大的十月社会主义革命之后，蘇联的电工事业才以一种空前的速度向前发展。

三 我国电气工业的发展情况

解放前，处于半封建、半殖民地社会的中国，电气工业和其他重工业部門一样，一直控制在帝国主义和官僚資產階級的手里。

自从十九世紀末叶，英国在香港创办香港电灯公司以来，廣州、汉口、上海、北京、天津各地相繼設厂供电。从此，帝國主义者就控制了我国重要經濟命脈之一——电力事业。在表緒一1中可以清楚地看到外資的獨佔性，其厂數只佔4%，而容量却佔50%以上。由于电

表緒一1 根据1932年調查資料的我国电厂統計

		供 电 事 业				工 业 自 备			总 計
		民 營	公 營	外 資	共 計	华 資	外 資	共 計	
电 厂 數	厂 數	471	27	21	519	129	17	146	665
	百分比	91	5	4	100	88.4	11.6	100	
容 量	兆瓦數	195.5	77.8	285	558.3	178.5	156.8	335.3	893.6
	百分比	35	10.9	51.1	100	53.3	46.7	100	

力是工业的最基本的动力，因而外資的壟斷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杀我国民族工业的利器，使我国长期处于贫困落后的局面。此外，还为帝国主义者榨取了巨额利润。以解放前英商上海电力公司为例，由1893至1936的43年内，账面盈利达到其创办资本的1300倍以上。

在国民党统治时期，电力事业残落不堪，电厂全集中于几个城市中，容量很小，设备陈旧，电费昂贵，事故百出。电能仅供极有限的工业和城市里中产阶级以上的家庭照明之用。到解放前夕（1949年）电能生产仅仅相当于解放前最高年发电量（1941年的59.6亿度）的72.3%（43亿度）。

在电机制造工业方面，更为落后，只有上海几家小型电机厂生产少量的小型电机和电气设备。在电讯工业方面则几乎所有设备都靠外国进口，自己根本不能制造。

解放后，在党的领导下，中国人民经过了三年的经济恢复时期和1953—1957年第一个五年计划以及1958年全国工农业生产大跃进的一年，使我国电气工业得到了飞跃的发展。

在电力事业方面：1952年全国发电量为72.6亿度，1957年全国发电量达193.4亿度，即第一个五年计划期间发电量增加2.67倍。如与解放前夕（1949年）的发电量43亿度相比，则增加到4.5倍。1958年的大跃进使发电量又从1957年的193.4亿度增加到275亿度，即增加了42.2%。这样的增长速度是资本主义国家所不能想象的，只有在社会主义国家才能实现。

在第一个五年计划里，新建了92个发电站，它的设计能力为392万千瓦。所建的92个发电站中有76个火力发电站，16个水力发电站。火力发电站最大的有郑州、太原、包头、阜新等火力发电站，它们都是用现代化的、最先进的技术和高度机械化、自动化的设备所装备起来的。水力发电站新建已竣工的有官厅水电站（河北），佛子岭水电站（安徽），狮子滩水电站（四川）等。现在已开始动工并准备在第二个五年计划里建成的有新安江、三门峡、刘家峡、以礼河、甌江等水电站。新安江水电站争取在今年“十一”开始发电，它的设计容量为65.25万千瓦。根据初步调查，中国的水力资源总蕴藏量达五亿多瓦。

此外，在第一个五年计划期间修建了输电线路（不包括配电线路）4957公里（110千伏及以上的线路2982公里）；1958年新建输电线路5714公里（110千伏及以上的线路2862公里），配电线路3003公里。这些线路将全国发电站联结成东北、京津唐、江南、郑洛三等十几个电力系统，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。三峡水电站建成后，更将形成强大的统一电力系统。

在电机制造工业方面：第一个五年计划规定，发电机的生产容量自1952年的2.97万千瓦增加到1957年的22.7万千瓦，即增加7.65倍；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1.64倍；变压器的生产容量自1952年的116.7万千伏安增加到1957年的261万千伏安，即增加2.24倍。其他各种电器、仪表、无线电器材等生产的增长也相当多。

1958年的大跃进在电机制造工业方面也取得飞跃的发展。现在我国已能自制50,000瓩汽轮发电机组，72,500瓩水轮发电机组，2,800瓩的直流电动机，60,000千伏安、110千伏和75,000千伏安、66千伏的变压器以及多种的特殊电机。此外，还生产了220千伏、遮断容量5,000,000千伏安的多油式油断路器，110千伏的压缩空气断路器以及各种接触器、继电器、电工仪表等。新建的北京电子管厂和华北无线电器材厂以及扩建后的南京电子管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，电气化正日益深入到国民经济的各个部门中。电力传动获得了广泛的发展，出现了提綱控制机床、紡模銑床等自动设备。

这一切都是由于在党的领导下，贯彻了两条腿走路的方针，打破迷信，大搞群众运动，大闹技术革命的结果；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 苏联电气工业的发展情况

苏联在伟大的十月革命后，在列宁的亲自领导下制定了苏联电气化计划。计划规定在十五年内建成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年第五个五年计划结束时，发电量达1700亿度，为1913年（19亿度）的89倍。第六个五年计划规定1960年的发电量将达3200亿度，而七年计划结束时（1965年）将达5000—5200亿度。

在发电站建设方面，发电能力为210万千瓦的古比雪夫水电站已于十月革命四十周年前夕提前投入生产。七年计划规定建设下列巨型水电站：布拉茨克水电站（360万千瓦），斯大林格勒水电站（253万千瓦），克拉斯诺雅尔斯克水电站（420万千瓦）等。并用400—500千伏的超高压输电线路将发电站联合成巨大的电力系统，以准备建成全苏联的统一电力系统。

1954年7月26日在苏联，世界上第一个原子能发电站（容量5000瓩）开始发电，这个发电站已无事故地运行了五年。在第六个五年计划中还规定了建设带有不同类型原子反应堆的原子能发电站，其总容量将达200万到250万千瓦。还规定了要大力发展地下热电站、燃气轮机（燃用煤气）发电站等。

由于苏联以资本主义国家难以比拟的速度（发电容量平均每年增长20%以上）发展电力事业，在发电量的绝对产量方面赶上美国已为期不远了。

苏联“现在已进入实现伟大列宁的国家全盘电气化思想的决定性阶段”（赫鲁晓夫在苏共廿一次代表大会上的报告）。苏共廿次代表大会明确规定使电力工业超过其他工业部门的发展，到1960年电力生产值增长88%，而工业产值增长65%，以保证电气化程度的扩大，劳动生产率的大大提高。到1956年苏联工业的动力过程电气化系数（即电动机容量佔工作机用的原动机容量的百分数）为89.1%，而机械工业则达98.3%（化学工业达97.8%），可以说几乎是完全电气化了。

苏联正在向全盘机械化、自动化的目标大踏步前进，因此七年计划规定加速发展仪表制造、自动控制设备和电子器材的生产。特别着重设计和生产利用无线电电子学、半导体、超声波、放射性同位素方面的成就和发明的最新式的机器。并且加速电机、电器工业——这一国家电气化的最重要的基础——的进一步的发展。

1957年初在苏联几乎所有的机器拖拉机站、93%的国营农场和34%的集体农庄已经电气化。集体农庄和国营农场的电气化是农业机械化的重要条件，是全国电气化的不可缺少的一部分。苏共廿次代表大会对第六个五年计划的指示中规定，五年内有固定电源的集体农庄将增加一倍，国营农场和机器拖拉机站将完全电气化。

苏联的今天就是我们的明天，苏联的这一切伟大成就与发展，为我们描绘了一幅光辉灿烂的远景。

我国和苏联电气工业的飞跃发展，这正说明了：“我们在一天天的好起来，而敌人在一

天天的爛下去”。

五 电工学与非电专业的关系、本課程的性質和目的、課程的主要內容

如前所述，由于电能使用的优越性，电工技術在現代的各个工业部門的生產中被廣泛地应用着。

在建設社会主义和逐步向共產主义过渡的过程中，迅速地发展生產力，完善生產技術是一桩极其重要的任务。因此，新技術的采用，生產过程的全盘机械化和自动化就成为建立共產主义物質技術基础的決定性条件。实现生產过程的全盘自动化只有在电气化的条件下才有可能，所以电气化在建設共產主义的事业中佔着首要的地位。如何使本专业工业部門电气化、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設的各專業技術干部的肩上。

正由于上述这些情况，对于从事非电各专业的技術干部，不仅应精通本专业範圍內的业务知識，並且不可缺少地要掌握一定程度的电工基础知識，以便于更好地掌握現代化、自动化的生產並提出电气化、自动化的要求，促进生產力的发展。

本課程的性質为基础技術課，是非电各专业的工科學生所必修的課程。學習本課程的目的为使學生有系統地理解並掌握电工學的基础理論，並給予主要的技術知識和实用技能。要求學生在學習本課程后，有将本专业生產过程电气化的愿望，並能提出要求，能夠和电机工程師合作，共同为实现电气化而努力。

在本課程的範圍內，包括以下几方面的主要內容：

第一部分：电工基础和电工測量

講述关于电和磁的基本知識和物理概念以及直流电路和交流电路的計算方法等。此外，还講述了各种电工儀表的基本构造、工作原理以及各种基本电學量的測量方法。

第二部分：电机和电力傳动

講述各种电机（變压器的、異步电机、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、运用特性和使用方法等。在这一部分的最后一章还講述了如何根据生產机械的要求經濟而合理地來選擇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：工业电子學

講述各种电子、离子元件的基本构造、工作原理和工作特性以及各种基本整流綫路、放大綫路、振盪綫路等，最后还介紹了几种工业上常用的电子儀器。

第四部分：电能的產生、輸送、分配和使用

講述发电站的电能生產过程，电力网的概念，變电所的电气設備，工业企业的供电，电熱和电焊，电加工，电化學，电照，非电量电測法等，最后还介紹了电气保安和防火技術。

第一章 直流電路

1-1 電場及電場強度

我們知道，物質的單元微粒是電子、質子和中子；質子和中子結合成為原子核，質子帶正電荷而中子不帶電，電子在原子核的外周，帶有負電荷。

電荷或稱電量，是量度物體帶電程度的量；平常物體中正負電荷數量相等，因此呈中性，也就是說不帶電，由於某種原因而形成較多的正電荷或負電荷的物體稱為帶電體。

電荷既不能被創造，也不能被消滅，它們只能從一個物體上轉移到另一個物體上，或者在一個物體內移動。

電荷周圍存在著一種特殊的物質，稱為電場。實驗證明，電場有兩種表現，一是把帶電體放到某一電場內，帶電體受到作用力，二是帶電體在電場內移動，電場所施的力作了功，表示電場具有能量。因為任何帶電現象都是兩種電荷的分离過程所形成的，當分离時就需要用去某種形式的能量，以反抗異號電荷間的吸引力而作功，在分离過程中，這種能量轉變為電能，相反地兩種電荷互相中和時，電能轉變為其他形式的能量，所以伴隨著物體的帶電和中和過程，必定有電能和其他形式的能量的轉換。

如上所述，帶電體放到某一電場內受到作用力，實驗證明，此力(F)與帶電體的電荷(Q)成正比。 $F \propto Q$ 即 $F = \epsilon Q$

式中比例常數 $\epsilon = \frac{F}{Q}$ 是電場作用在單位電荷上的力，稱為電場強度，它的實用單位是牛/庫。它是一個向量，其方向就是力的方向，所以電場強度是表示電場的性質的一個量，如果在電場內所有各點電場強度的方向和大小都相同，這樣的電場稱為均勻電場。

1-2 電位和電壓

如上所述，電場內儲有能量，電場力作功的特性和重力做功完全相同，因此和我們引入重力位能一樣，我們也可認為電荷在電場中任何一個位置時，都具有一定的位能，電荷在電場中所具有的位能稱為電位能，如果有電荷Q在電場中受到斥力，當電荷Q逐漸離開到無限遠時，電場力作正功，電位能逐漸減小，到無限遠時，受力為零，電位能最小，電荷Q從a點移到無限遠時，電場力作功為：

$$A_{a\infty} = \int_a^{\infty} Fdl = \int_a^{\infty} Q\epsilon dl$$

則
$$\frac{A_{a\infty}}{Q} = \int_a^{\infty} \epsilon dl$$

$\frac{A_{a\infty}}{Q}$ 是單位電荷從a點移到無限遠時，電場力所作的功，它僅和電場中給定點a的位置有關而和電荷Q無關，是一個表示電場中給定點的性質的物理量，稱為電位(ϕ)。

电荷 Q 从一点 a 移到另一点 b ，电场力所作的功等于：

$$\begin{aligned} A_{ab} &= \int_a^b F dl = \int_a^b Q \epsilon dl = \int_a^\infty Q \epsilon dl - \int_b^\infty Q \epsilon dl \\ &= A_{a\infty} - A_{b\infty} = Q \frac{A_{a\infty}}{Q} - Q \frac{A_{b\infty}}{Q} \\ Q\phi_a - Q\phi_b &= Q(\phi_a - \phi_b) \end{aligned}$$

即

$$\phi_a - \phi_b = \frac{A_{ab}}{Q}$$

式中 ϕ_a 是 a 点的电位， ϕ_b 是 b 点的电位， $\phi_a - \phi_b$ 是 ab 两点的电位之差，称为 ab 两点间的电位差，也就是单位电荷从 a 点移到 b 点电场力所作的功。

电位差亦称电压(U)，电压的方向规定为从高电位到低电位，也就是说在电压的作用方向上电位是降落的，在实际应用中，需要的是两点间的电位差(电压)，而不是某一点的电位，所以常取地球的电位作量度电位的起点，即取地球的电位为零。电位和电压的单位为伏特，如果电荷1库从 a 点移到无限远时，电场力做功1焦耳，则 a 点的电位为1伏特(简称伏)。如果电荷1库从 a 点移到 b 点，电场力做功1焦耳，则 ab 两点间的电位差亦即电压为1伏特，为了使读者建立关于伏特的具体概念，今举出下列数字：

电灯线路电压为220伏，电车在接触导线和轨道之间约为600伏，市内高压线路电压约为10500伏，远距离输电电压约为35千伏、110千伏、220千伏(1千伏=1000伏)。

从上式知道， $\int_a^b Q \epsilon dl = Q(\phi_a - \phi_b)$

即

$$\int_a^b \epsilon dl = \phi_a - \phi_b$$

在均匀电场中， ϵ = 常数。

即

$$\int_a^b \epsilon dl = \epsilon l_{ab} = \phi_a - \phi_b = U_{ab}$$

即

$$\epsilon = \frac{U_{ab}}{l_{ab}}$$

所以电场强度 ϵ 的实用单位也用伏/米来表示。

$$\left(\frac{1 \text{ 伏}}{1 \text{ 米}} = \frac{1 \text{ 焦耳} / 1 \text{ 库}}{1 \text{ 米}} = \frac{1 \text{ 牛} \cdot 1 \text{ 米}}{1 \text{ 米} \cdot 1 \text{ 库}} = \frac{1 \text{ 牛}}{1 \text{ 库}} \right)$$

1—3 电 动 势

如1—1节所述，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做功，在分离过程中这种能量转变为电能。如果电荷 Q 在电场中受到引力，若将此电荷克服电场的引力，把它从 a 点移到 b 点，外力必须克服电场引力而做功，此功即转变为电能，外力对单位电荷克服电场引力，从 a 点移到 b 点所

作的功，称为ab两点间的电动势，简称电势($\mathcal{E}$)，它的单位是伏特，将1库电荷克服电场引力，从a点移到b点，外力做功1焦耳，则ab两点间的电动势为1伏特。电动势的方向规定为推动正电荷移动的方向，它的作用方向总是指向电位升高的方向，也就是说，在电动势方向上电位是升高的。

1-4 电路概念

当电荷能沿着一个闭合回路循环运动时，则这个回路就称为电路。

最简单的电路是由某种电源（蓄电池，发电机等），某种负载（电灯，电动机等），以及联接着电源和负载的端点的导线所组成，如图1-1所示。

电源将化学能，机械能或者其他形式的能量转换成电能；负载将电能转换成热能，化学能，机械能以及其他形式的能量；导线则是传输电能的媒导。

对电源来讲，负载及联接导线叫做外电路，电源内部则叫做内电路。



图1-1 最简单的电路

当电路未闭合前，由于电源内存在着电动势，在电源的一端上聚集着正电荷（称为正极），而在另一端上聚集着负电荷（称为负极），因此两端间存在着电位差，也就是存在着电压，在电路未闭合时（此时电路称为开路或断路），这个电压的大小正等于电源的电动势。由于电源两端正负电荷的存在，在空间出现了电场，此时在电路内由于外力与正负电荷之间的引力保持平衡，所以电源内部无电荷移动。

当电路闭合后，在外电路内，电场力克服电荷移动的阻力（例如联接导线和负载对于电荷移动所呈现的阻力），驱使正电荷由正极经过负载流向负极，也就是驱使正电荷自高电位走向低电位，这样电场力驱使电荷而做出了功，因而使电荷的能量减小，此时电能转换成了其他形式的能量。与此同时，由于电源两端电荷减少，电场力减小，在电源内部，外力大于电场力，因而推动正电荷从负极到正极（注意在内电路或外电路内实际移动的不是正电荷而是负电荷），也就是推动正电荷从低电位走向高电位，外力对电荷做了功，因而使电荷能量增加，此时外界的能量转换成了电能。所以当电路接通后，电路内就有电荷运动，同时在电路内发生了能量的转换。

1-5 电 流

如上所述，当电路接通后，电路内就有电荷运动，电荷的运动就是电流(I)。在金属导体中是自由电子的有规则移动，在电解液中是离子的有规则移动，在气体中是离子或电子的有规则移动，此外带电物体的机械移动，也可形成电流。至于电荷作有规则的移动，其原因不外乎电场的作用力和其他外力（电磁力，化学力等）。

习惯上规定正电荷移动的方向为电流的方向，电流的大小以单位时间内通过导体截面的电量来表示，即

$$i = \frac{dq}{dt}。$$

电流的大小和方向不随时间变化的，称为直流，对于直流， $I = \frac{Q}{t}$ 。

电流的单位是安培（简称安），在1秒时间内，通过导体截面的电量为1库，则电流为1安培，安培的千分之一称为毫安。为了使读者建立关于安培的具体概念，今举出下列数字：当0.005安电流通过人体时，就会有感觉，超过0.05安就有生命危险，日常电灯中电流是0.25—1安，电动机从几安到几百安，收音机真空管中是几个毫安。

电流 I 与垂直于带电流导体截面积 S 的比值称为电流密度（ δ ），即 $\delta = \frac{I}{S}$ ，它的常用单位是安/毫米²。

1-6 电阻及导电材料

所有物体依照电的性质通常分成两类——导体和电介质。导体的特征是带电微粒在导体内具有自由移动的可能性，当导体内存在电场时，电荷受到作用力而向一定方向移动，这现象称为导电。

导体有两类，第一类导体是金属，在金属导体内位于原子外轨道的电子与它们的原子核的联系比较松散，因此一部分电子容易离开它们自己的原子核而在原子间移动，从一个原子核的作用范围移到另一个原子核的作用范围，充满在原子核间的空间里，像气体一样，这些电子称为自由电子；所以金属导体的导电机构是自由电子，由于所有电子都相同而且电子的质量比质子小得多（约小1840倍），所以移动时并不引起化学变化和质变。第二类导体是电解质（酸碱盐溶液），在电解质导体内没有自由电子，但有缺少电子或电子过多的原子或原子集团，这种带电的原子或原子集团称为离子，这些离子像金属导体内的自由电子一样在电场力作用下能够在整个导体内移动。

电荷在导体内移动时，导体阻碍电荷流动的能力称为电阻（ R ），它的大小与导电部分长度 l 成正比，与截面积 S 成反比，又与导电材料的性质有关，

$$\text{即} \quad R = \rho \frac{l}{S}$$

式中 ρ 是导电材料的电阻系数，它表示导电材料的性质，各种金属都有它自己的电阻系数。

$$\text{从上式可知，} \quad \rho = \frac{RS}{l}$$

所以电阻系数又等于单位截面（平方毫米），单位长度（米）的导体的电阻。

电阻的单位是欧姆（简称欧），绝缘体的电阻称为绝缘电阻，它用大的单位兆欧来表示，1兆欧=10⁶欧。

上式 $R = \rho \frac{l}{S}$ ，其中 l 的单位是米， S 的单位是平方毫米， ρ 的单位是欧—平方毫米/米。

电阻系数 ρ 的倒数称为电导系数（ γ ）

$$\text{即} \quad \gamma = \frac{1}{\rho}$$

$$\text{所以} \quad R = \frac{l}{\gamma S}$$

电阻的大小又与温度有关，实验证明，温度改变电阻也要改变。温度变化在0—100°C

之間時，所有金屬的電阻，都有規則地隨溫度而增大，溫度每增加 1°C ，電阻增加 0°C 時電阻的 α 倍，

即

$$R = R_0 + R_0 \alpha \theta$$

式中 R_0 為 0°C 時的電阻， θ 是升高的溫度 $(^{\circ}\text{C})$ ， α 稱為金屬的平均溫度系數。

但電解液及炭的電阻隨溫度的增大而減小。

	電阻系數 (歐—平方毫米/米)	平均溫度系數 $(1/^{\circ}\text{C})$
	20°C	$0^{\circ}-100^{\circ}\text{C}$
電 綫 銅	0.0175	0.004
鋁	0.029	0.004
鋼	0.13—0.25	0.006
鐵	0.13—0.3	0.006
炭	10	-0.0005

導電材料以銀為最佳，銀的電阻系數比銅小6%，由於價貴，限制了它的应用範圍，但銀常用於電器的接觸點上，因其氯化物的電導系數也比銅的氯化物為高，開關的銅刀片上面鍍銀就是一個例子。

銅是最常用的導電材料，除電導系數高外，其機械性能也好，傳熱也好，而且不易腐蝕，如含雜質，則其電導系數大減。電纜及電機繞組中銅導線是電導系數很高的純銅，含銅量達99.9%。硬銅多用於架空綫上，如果加入1%的鎢，則電導系數降低20%而張力強度增加50%，所以鎢銅導線多用於跨越河流的架空綫。

鋁的電導系數是銅的60%，比重是銅的30%，如果以同樣長度同樣電阻的銅綫與鋁綫來比較，則鋁綫截面比銅綫大70%，重量只有銅綫的50%，鋁綫常用作架空綫（鋼芯鋁綫）。

電阻材料中的銅鎳鎳合金（ $\rho=0.432$ 歐—平方毫米/米）和銅鎳合金（ $\rho=0.483$ 歐—平方毫米/米）有較高的電阻系數和很低的溫度系數，特別適用於標準電阻綫。鎳鉻（Ni80%，Cr20%）合金（ $\rho=1.02$ 歐—平方毫米/米）可用於電阻爐的電阻元件，最高溫度可達 1100°C 。鎳鉻鐵（Ni65%，Cr15%，Fe20%）合金（ $\rho=1.04$ 歐—平方毫米/米）用於一般的電阻綫，溫度最高 800°C 。含鎳鉻較少而含鐵較多的合金價格便宜，常用於電動機的起動電阻。鎳銅（Ni45%，Cu55%）合金（ $\rho=0.508$ 歐—平方毫米/米）也用於起動電阻及磁場變阻器等。鐵的電阻系數較大而價格便宜，所以在某些場所也有以鐵作為電阻材料的。

1-7 歐 姆 定 律

電路中任何一個電阻兩端間的電壓與通過其中的電流的关系可用歐姆定律來表示，它是解任何電路所必需的工具。設電路中有任一電阻 R ，它的兩端間的電壓為 U ，通過其中的電流為 I ，則根據實驗結果，電流的大小與電壓成正比與電阻成反比，即 $I = \frac{U}{R}$ ，這就是有名的歐姆定律。因為電流通過電阻是從高電位流向低電位，所以通過電阻的電流與電阻兩端的

电压方向相同，因此电阻两端的电压也叫做电阻电压降。

在电路中连接电源和负载的两根导线上，不可避免地会有电阻存在，如果导线很短，导线上的电阻很小，可以略去不计，如果导线较长，电流通过导线时，必然会产生电压降落，所以电源两端间的电压 U_1 和负载两端间的电压 U_2 ，就会有一些差别，其关系可用下式表示：

$$U_1 = U_2 + 2IR$$

式中 R 是每根导线的电阻

或 $U_1 - U_2 = 2IR$

令 $U_1 - U_2 = \Delta U$ 称为线路的电压损失

即 $\Delta U = 2IR$

但 $R = \rho \frac{l}{S}$

所以 $\Delta U = I\rho \frac{2l}{S}$

为了维持负载正常工作，就需要尽可能地维持其端电压恒定不变，对于电灯更是如此，这是因为电压减小时，通过电灯的电流减小，热度降低，以致光线暗弱，但是使 U_2 绝对不变是不可能的，只能在设计线路导线的截面时，预先规定电压在某一范围内降落，对于电灯而言，允许线路的电压损失为电灯的额定电压的1—2%，对于电动机而言，则为电动机的额定电压的2—5%，当规定了所允许的最大线路电压损失 ΔU 后，可根据已知的最大线路工作电流 I 而用下式求出导线必需的截面积。

$$S = I\rho \frac{2l}{\Delta U}$$

在实际选择导线截面时，则选择与计算出的截面积相近似的标准导线。

当然在选择导线截面时，还要注意到其他因素，如发热及机械力等问题。

1-8 克希荷夫定律及其应用

在电路的各部分内，电流之间的关系以及电位变化的规律可用克希荷夫定律来说明，这个定律分成两个部分：

(1) 克希荷夫第一定律

在电路内电流离开电源可以沿着不同的途径流动，因此在电路中有会聚三条或者更多导体的点，这样的电路叫做分岔电路。而这些点叫做节点或分岔点，联接两个节点的部分电路叫做支路，例如图1-3 a、b、d、e，是节点，而c、f就不是节点，因为在这两点上会聚的导体少于三条。图1-3所示的电路由六条支路组成，其中四条仅含电阻而其余二条则包括电阻和电势。由于电路上不能发生电荷储积的现象，因此电路的任何一点（包括节点在内）每秒流入的电荷必须等于每秒流出的电荷。

换句话说，流入节点电流的总和必定等于流出节点电流的总和。

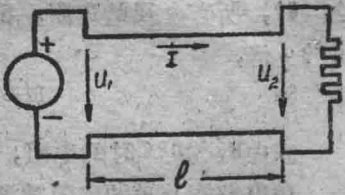


图1-2 导线上的电压损失

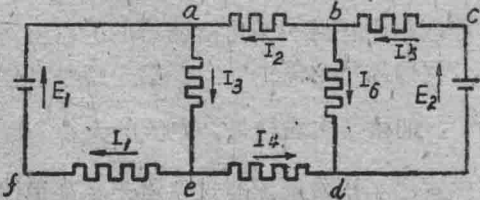


图1-3 分岔电路