

电气技术概论

吴贤杰 编



航空工业出版社

内 容 简 介

本书根据中等专业学校非电工及电子技术各专业对电工及电子技术知识的要求而编写。书中主要介绍电工学及电子技术的基本知识；电工器材、电机、控制电器、电子元器件、电工仪表及电子仪器的主要性能、型号、用途；并介绍工厂供电、用电等方面的基本知识。

本书叙述浅显，内容丰富，适于作中等专业学校非电工及电子技术专业如工业企业财务会计、计划统计、物资管理及一般企业管理专业教学用书；也可作为职业中学及培训工矿企业中级计划员、统计员、保管员的教材。

电 气 技 术 概 论

吴贤杰 编

航空工业出版社出版发行
(北京市和平里小关东里14号)

邮政编码 100013

全国各地新华书店经售
北京市通县向阳印刷厂印刷

1989年4月第1版 1989年4月第1次印刷

开本：787×1092毫米1/16 印张：14

印数：1—1000 字数：326千字

ISBN 7-80046-070-3/Z·020

定价：3.00元



前 言

电气技术在工业企业和社会各部门已广泛应用。从事工业企业管理的计划、统计、财会、调度、采购、销售等专业人员，并不直接应用电气技术或电工设备，对这方面的知识要求并不高，但又要对这方面的技术、器材、设备进行管理。因此这类人员必须对电气技术有较全面的了解，掌握各类器材、设备的性能、型号、用途，同时还要了解它们的技术现状和发展动向，以科学地指导本企业采用最新电气技术成果。基于这一考虑，编写了这样一本内容广泛，但较为通俗浅显的《电气技术概论》，以应教学急需。

在编写过程中，先后与西安航空技术专科学校、成都航空工业学校、株洲铁路电机学校、湖南省机械工业学校等学校的部分老师交换了意见，并得到1986年11月全国中专电工学课程组会议许多与会同志的支持，在此向这些同志致以谢意。本书在作为讲义试用期间，得到许多老师的支持和指正，北京航空航天大学梁怀壁副教授审阅了全部书稿，不仅提出了宝贵意见，而且逐章逐节修改，纠正了原稿中许多谬误或不当之处，在此谨致谢意。

由于学识浅薄，加之时间紧迫，手中资料有限，书中错误定有不少，希望采用本书的教师和同学多加指正。

编者

1988年9月

符 号 索 引

I	直流电流、交流电流有效值
i	交变电流
q	电荷量
Q	无功功率, 线圈品质因数
φ	阻抗角
ψ	正弦交流电初相位、磁链
U	直流电压、交流电压有效值
u	交变电压
E	直流电动势、交流电动势有效值
I_m, U_m, E_m	交流电流、电压、电动势最大值
R	电阻
G	电导
ρ	电阻率
γ	电导率、仪表相对误差
P_e	额定功率
P	有功功率
p	瞬时功率
η	效率
B	磁感应强度
B_m	饱和磁感应强度
B_r	剩磁
H	磁场强度
H_r	矫顽力
μ	磁导率
ϕ	磁通
N	一般线圈匝数
L	自感系数
τ	时间常数
ω	角频率
f	频率
T	周期
X_L	感抗
X_C	容抗
Z	阻抗

S	视在功率
U_{φ}	三相交流电相电压有效值
U_l	三相交流电线电压有效值
I_{φ}	三相交流电相电流有效值
I_l	三相交流电线电流有效值
ϵ	介电系数
$\operatorname{tg} \delta$	介质损耗角正切
P_{Feo}	比铁损
K_u	变压比
W_1, W_2	变压器初、次级线圈匝数
K_l	变流比
n_1	同步转速
n_2	电枢转速
S_K	转差率
M	转矩
P_{js}	有功计算负荷
Q_{js}	无功计算负荷
S_{js}	视在计算负荷
K_x	负荷需要系数
I_m	二极管最大工作电流
U_{RM}	二极管最大工作电压
I_b	三极管基极静态电流、运算放大器输入偏置电流
I_c	三极管集电极静态电流
I_e	三极管发射极静态电流
$\bar{\beta}$	三极管直流电流放大系数
β	三极管交流电流放大系数
I_{ceo}	三极管穿透电流
I_{cbo}	三极管集电极-基极反向电流
I_{CM}	三极管集电极最大允许电流
P_{CM}	三极管最大耗散功率
BV_{ceo}	三极管集电极-发射极击穿电压
f_{β}	三极管截止频率
f_T	三极管特征频率
V_{FM}	可控硅正向阻断峰值电压
V_{RM}	可控硅反向阻断峰值电压
I_F	可控硅正向平均电流
V_F	可控硅正向平均电压
V_g	可控硅控制极触发电压
I_g	可控硅控制极触发电流

I_H	可控硅维持电流
η_o	单结管分压比
R_{BB}	单结管基极间电阻
I_P	单结管峰值电流
V_V	单结管谷点电压
U_P	场效应管夹断电压
I_{DSS}	场效应管饱和漏源电流
R_{GS}	场效应管直流输入电阻
g_m	场效应管正向跨导
BU_{DS}	场效应管击穿电压
P_{Dm}	场效应管漏极最大允许功率损耗
U_{os}	运算放大器输入失调电压
I_{os}	运算放大器输入失调电流
K_o	运算放大器开环电压放大倍数
CMRR	共模抑制比
C_m	电机结构系数、C仪表游丝弹性系数
K	放大器电压放大倍数, 硅钢片叠装系数

目 录

绪论

第一篇 电工学基础

第一章 直流电路	(3)
§1-1 电路基本概念	(3)
§1-2 欧姆定律	(7)
§1-3 电功和电功率	(9)
§1-4 电流的磁效应和电磁感应	(12)
一、电流的磁场	(12)
二、磁场对电流的作用力	(13)
三、电磁感应和电磁感应定律	(13)
四、自感	(14)
§1-5 电阻的串、并联	(16)
一、串联电路	(16)
二、并联电路	(17)
三、混联电路	(18)
§1-6 克希荷夫定律	(19)
一、克希荷夫第一定律(KCL)	(19)
二、克希荷夫第二定律(KVL)	(20)
*§1-7 支路电流法	(22)
§1-8 电容器的连接和充、放电	(23)
一、电容器的串、并联	(23)
二、电容器的充电过程和放电过程	(25)
习题	(27)
第二章 正弦交流电路	(31)
§2-1 正弦交流电的基本概念	(31)
一、正弦交流电及其三要素	(31)
二、正弦交流电的有效值	(32)
三、正弦交流电的相位差	(33)
四、正弦交流电的旋转矢量表示法	(33)
§2-2 纯电阻电路	(36)
§2-3 纯电感电路	(38)
§2-4 纯电容电路	(39)
§2-5 电阻和电感串联电路	(41)

§2-6	三相交流电的基本概念	(44)
§2-7	三相交流电路	(46)
	一、Y—Y ₀ 对称电路	(46)
	二、Y—Y ₀ 不对称电路	(47)
	三、Y— Δ 对称电路	(49)
	四、三相电路的功率	(50)
参考文献		(51)
习题		(51)

第二篇 电工材料

第三章	导电材料	(54)
§3-1	常用金属导电材料概述	(54)
§3-2	电线和电缆	(57)
	一、电线、电缆的型号命名法	(57)
	二、架空线路用导线	(59)
	三、绝缘导线	(59)
	四、电缆线	(60)
§3-3	电磁线	(61)
§3-4	特殊导电材料	(64)
	一、高电阻合金	(64)
	二、贵金属	(65)
	三、电碳制品	(65)
	四、复合金属导体	(66)
	五、超导体	(66)
习题		(66)
第四章	绝缘材料	(68)
§4-1	电介质概述	(68)
§4-2	橡胶产品	(72)
§4-3	塑料制品	(73)
§4-4	绝缘层压制品	(75)
§4-5	纤维制品	(77)
§4-6	其他绝缘材料	(78)
	一、液体绝缘材料	(78)
	二、绝缘漆	(79)
	三、无机绝缘材料	(79)
§4-7	绝缘材料的保管和供应	(80)
习题		(81)
第五章	磁性材料	(82)

§5-1 磁性材料概述·····	(82)
§5-2 软磁材料·····	(84)
§5-3 其他磁材料·····	(86)
参考文献 ·····	(187)
习题 ·····	(87)

第三篇 工厂用电设备和工厂供电

第六章 变压器 ·····	(88)
§6-1 变压器基本原理·····	(88)
§6-2 变压器基本构造与分类·····	(90)
§6-3 变压器的铭牌和型号·····	(91)
习题 ·····	(93)
第七章 电机产品 ·····	(94)
§7-1 电机概述与原理·····	(94)
§7-2 三相异步电动机的主要性能·····	(96)
§7-3 三相异步电动机的铭牌·····	(98)
§7-4 直流电机·····	(99)
§7-5 其他电机·····	(101)
一、单相异步电动机 ·····	(101)
二、特种电机 ·····	(102)
三、直线异步电动机 ·····	(102)
§7-6 电机的型号·····	(103)
§7-7 电机发展概况·····	(106)
习题 ·····	(107)
第八章 常用控制电器 ·····	(109)
§8-1 控制电器基本动作原理、功用和分类·····	(109)
§8-2 常用低压电器·····	(110)
§8-3 三相异步电动机的简单控制电路·····	(114)
一、鼠笼式异步电动机的起动控制 ·····	(114)
二、异步电动机的正、反转控制 ·····	(115)
三、异步电动机的调速及制动 ·····	(117)
*§8-4 几种机床控制电路·····	(117)
一、C620车床的电气线路 ·····	(117)
二、M7130平面磨床电气线路 ·····	(117)
§8-5 常用高压电器·····	(119)
§8-6 高、低压电器发展概况·····	(120)
习题 ·····	(121)
第九章 工厂供电与用电 ·····	(122)

§9-1	工厂供电系统概述	(122)
§9-2	工厂电力负荷的简单计算	(124)
§9-3	节约用电	(126)
	一、实行负荷调整, 合理用电	(127)
	二、实行计划用电	(127)
	三、从技术上来说, 主要有两种措施	(127)
§9-4	安全用电	(128)
	参考文献	(130)
	习题	(130)

第四篇 电子技术与电子元器件

第十章	晶体管电路基础	(131)
§10-1	半导体基础知识	(131)
	一、半导体及其主要特性	(131)
	二、PN结及其单向导电性	(133)
§10-2	半导体整流电路	(134)
	一、单相半波整流电路	(135)
	二、单相全波整流电路	(135)
	三、全波桥式整流电路	(136)
	四、滤波和简单的稳压电路	(137)
§10-3	晶体三极管基础	(138)
	一、三极管的结构	(138)
	二、三极管的电流放大作用	(139)
	三、三极管的特性曲线和主要参数	(140)
§10-4	三极管低频电压放大电路	(143)
	一、低频小信号放大器的组成和各元件作用	(144)
	二、放大器的静态工作点	(144)
	三、三极管放大电路的电压放大作用	(147)
	四、静态工作点的稳定	(147)
	五、电压放大器的主要参数	(149)
§10-5	功率放大器	(150)
§10-6	直流放大器	(152)
	习题	(154)
第十一章	半导体器件	(156)
§11-1	晶体二极管	(156)
§11-2	晶体三极管	(158)
§11-3	其他晶体管	(162)
	一、可控硅元件(晶闸管)	(162)

二、单结晶体管	(164)
三、场效应管	(165)
§11-4 半导体器件型号命名法和选用原则	(168)
一、半导体器件型号命名法	(168)
二、晶体管的选用原则	(170)
三、半导体器件保管原则	(171)
习题	(172)
第十二章 集成电路	(173)
§12-1 集成电路概述	(173)
§12-2 数字集成电路	(174)
一、DTL电路	(174)
二、TTL电路	(175)
三、MOS集成电路	(175)
§12-3 模拟集成电路	(176)
§12-4 半导体集成电路型号命名法、保管原则和发展概况	(178)
习题	(181)
第十三章 阻容元件	(182)
§13-1 电阻器	(182)
一、线绕电阻器	(182)
二、金属膜电阻器	(183)
三、金属氧化膜电阻器	(183)
四、碳膜电阻器	(183)
五、合成电阻器	(184)
§13-2 电容器	(186)
§13-3 电阻器、电容器的型号命名法、选用和保管	(190)
一、电阻器、电容器的型号和命名	(190)
二、阻容元件的选用	(190)
三、阻容元件的保管	(190)
习题	(191)
第十四章 其他线路元件	(192)
§14-1 开关	(192)
一、电源开关	(192)
二、波移开关	(192)
三、琴键开关	(192)
四、微动开关	(193)
§14-2 接插件	(193)
一、电源插头	(193)
二、接线用插头、插座	(193)
三、印刷电路板插座	(193)

四、其他接插件.....	(194)
参考文献	(194)
习题	(194)

第五篇 常用电工仪器仪表

第十五章 电工量计与仪表	(195)
§15-1 电工量计概述	(195)
§15-2 电工指示仪表的结构与工作原理	(196)
§15-3 电工仪表的型号、标志和保管	(200)
习题	(202)
第十六章 电子仪器	(203)
§16-1 信号发生器	(203)
§16-2 示波器	(205)
§16-3 参数测量仪器	(207)
一、晶体管电压表	(207)
二、数字频率计	(208)
三、晶体管特性图示仪	(208)
参考文献	(209)
习题	(209)

绪 论

电气技术是一门古老而又年轻的技术。说它古老，是因为在几千年以前，人类就观察到了磁现象(磁石台南)和电现象(琥珀拾芥)；说它年轻，是因为这门技术的兴起才不过二百年时间。二百年前，伽伐尼、伏特等人在总结前人研究的基础上，发明了世界上第一种电源，到1819年，丹麦物理学家奥斯特发现了电流的磁效应，第一次把电与磁联系起来；其后，欧姆、安培、毕奥、沙伐等人对电学和磁学都作出了杰出贡献；到1831年，法国科学家法拉第提出了电磁感应定律，奠定了电工技术的基础。此后，在十九世纪中、后期，经过科学家们的努力，人类历史上第一台发电机、第一台电动机、第一只电灯、第一部电话等都先后制造出来了，人类终于驯服了电，并让它忠实地为人类服务。

从电能开始为人类利用到现在还不过一百多年，可是电学理论和电工技术都取得了长足的进步：为人类提供电能的不再是简单的伏打电池，而是强大的火力、水力和核动力发电站；人类所处理的不再是一个或几个电灯之类简单的电路，而是包含几万、几十万个元件的复杂设备，几十万、上百万平方公里用电区域的大电网，或是在一块火柴盒大小的面积上就有几十万个元件的精细的集成电路。电能的使用已深入到人类生产和生活的各个领域，从家用电器到工、农业生产中的各种设备，从深入地下的采矿机械到遨游太空的宇宙飞船；从简单的电灯、电话，到能代替人进行计算、控制的电子计算机，处处都离不开电。今天，如果没有电，人类要丧失现代生活的乐趣和方便，整个社会的生产和生活都将陷于一片混乱。

不仅如此，电学理论和电工技术仍在以前所未有的速度向前发展，并给人类社会带来更深刻的影响。现在，全世界都在谈论“新技术革命”。新技术革命是以微电子技术为中心的一次人类生产历史的大变革，微电子技术的开发、应用和发展是当前电学理论和电气技术发展的主要内容。围绕微电子技术的发展，各种有关的电工技术、电工器材、设备，各种仪器、仪表，各种生产工艺也在迅速发展，形成一个电气技术全面跃进的好势头。

解放30多年来，由于我国广大科技工作者和工人的努力，我国电工技术也取得了可喜的进展。我国已建立了强大的电力工业，年发电量居世界前列；我国已建立较为健全的电机、电器工业和电子工业，能生产满足我国目前需要的各种电机、电器和电子设备；我国在大规模集成电路、电子计算机等新技术领域也已取得显著成果。我们已掌握大规模集成电路的生产技术，研制成功了亿次巨型计算机，掌握了运载火箭、同步卫星的自动控制技术，制出了第一批机器人，在一批行业、部门、单位实现了计算机自动化管理等等。

但是，总的来说，我国还是一个经济和技术落后的国家，管理粗放、资金短缺，工艺落后，设备陈旧。因此我们每个将要从事现代企业管理的财务会计人员、计划统计人员及其他管理人员，都有必要学习电工、电子技术的基本知识，有必要掌握各种电气设备、电工器材的基本性能、用途和发展情况。这样在今后的工作中，才能合理地指导企业采用新技术和先进设备，才能对各种电工器材、设备进行科学管理、合理使用，才能指导企业采用新技术更新旧设备，提高大量旧式设备的技术性能，取得最好的经济效益，加速我国现代化的进程。

《电气技术概论》主要介绍电工、电子技术最基本的原理，介绍常用电工器材、设备、元器件、仪器、仪表及工厂用电知识等，使工厂管理人员掌握电工、电子技术的基本分析、计算方法，掌握常用器材、设备的性能、规格、用途，会查阅有关资料，并能从经济角度出发对各类电工技术、器材、设备的合理应用进行科学管理。

电气技术包括许多分支，内容浩瀚；电工器材品种繁多，性能差异很大。我们只能介绍电气技术的一些最基本的知识，对各类器材设备，只能选择有典型性、通用性和一定先进性的类型加以介绍。书中列出了许多表格，一方面是为了叙述的精炼，另一方面也可作为一种资料，以备今后查阅参考。

打•号章节和习题的内容可删去。

第一篇 电工学基础

第一章 直流电路

§1-1 电路基本概念

在物理学中已经知道：电荷的有规则移动形成电流。电流通过的路径叫电路。人们在生产实践中设计了各种各样的电路，迫使电荷沿规定的路径流动，完成电能的传递、分配及转换等任务。

组成电路的实际部件种类繁多，性能各异，如发电机、干电池、电灯、电动机等等。我们把这些电气设备和器件统称为电路元件。电路元件按其功能大致分为三类：第一类是向电路提供能量的元件，称为电源，如发电机、干电池等；第二类是消耗电能直接为人们服务的元件，称为负载，如电灯、电动机、各种家用电器等；第三类是控制设备，如开关、连接导线等，它们完成电能的传递、分配任务。由一节干电池、一个小灯泡、一个开关和一些连接导线就组成一个最基本的电路，如图1-1所示。习惯上又把电源部分的电路叫内电路，其余部分叫外电路。

既然电路元件种类繁多，千差万别，人们在设计电路时，就不可能一个一个地把它们的具体形象画出来；同时人们在分析了各种实际元件的工作过程后，认为可以把它们抽象为数量有限、特性简单的“理想元件”，并用一些简单的图形符号来表示。这样就构成了电路图，又称为电路模型。图1-2就是图1-1电路的电路图。今后我们都用电路图来代表具体电路。

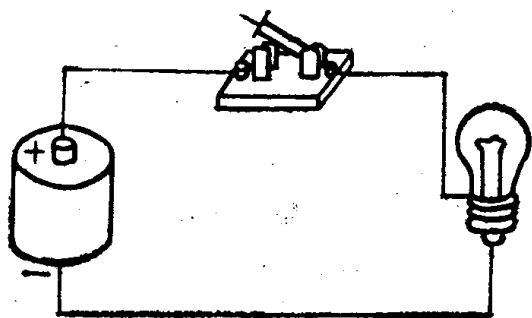


图1-1 最简单的电路

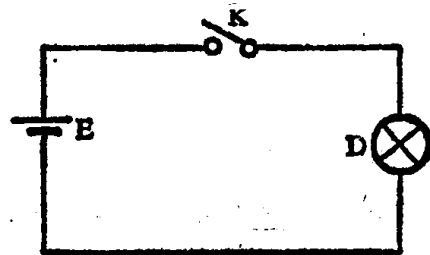


图1-2 图1-1电路的电路图

在电工理论中，常见的几种理想元件的电路符号如图1-3所示。它们是电阻元件（简称电阻），电感元件（简称电感），电容元件（简称电容），电源（发电机、干电池等）。此外，在工程上为设计方便，也把各种实际电器用一些符号表示。图1-3中画出了开关、电灯等电器的图形符号。

描述电路工作情况的基本物理量是电流强度和电压。

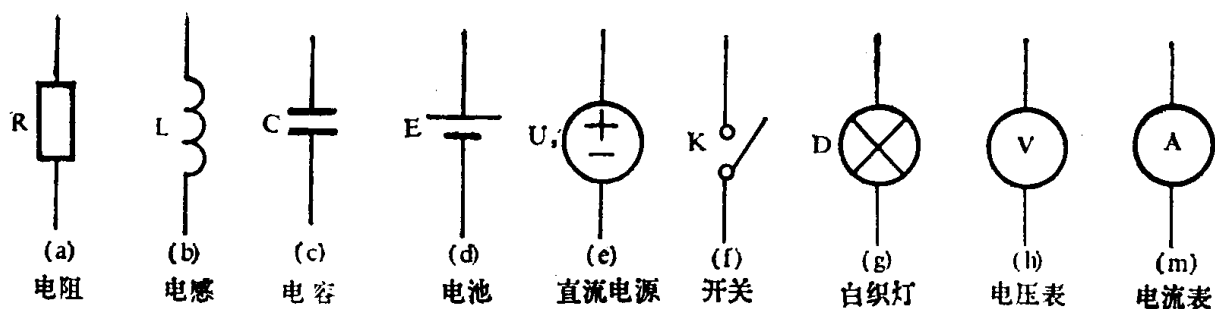


图1-3 几种常用电路元件、电器的图形符号

电流强度是表示电流大小的物理量，它的定义是：设在导体上任取一截面，如果在 Δt 时间内，流过这一截面的电荷为 Δq ，则通过这一截面的电流强度(简称电流)为

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-1)$$

亦即电流强度等于单位时间内通过已知截面的电量。如果通过导体的电流大小不随时间改变，则电流强度即为

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

如果通过导体的电流的量值随时间变化，则采用瞬时电流强度，它定义为

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1-3)$$

即通过导体某一截面的电荷量对时间的变化率。为了表示是瞬时电流强度，用小写字母 i 代替大写字母 I 。

电流强度的单位是安培，简称安(用字母A表示)，工程上还常用毫安(mA)、微安(μA)、千安(kA)，它们的换算关系是：

$$1A = 10^3 mA = 10^6 \mu A$$

$$1kA = 10^3 A$$

电流除了大小外，还有方向。习惯上规定正电荷流动的方向为电流的方向。在一段导体中正电荷有两种可能的定向运动方向，即电流有两个可能的方向。如果电流的大小和方向均不随时间变化，这样的电流叫直流恒稳电流，简称直流，式1-2就是直流电流的定义表达式；如果电流的大小和方向都随时间变化，这样的电流叫交变电流，简称交流；如果电流的大小随时间变化，而方向不变，称为脉动电流。式1-3是交流和脉动电流的定义表达式。

为什么导体内的电荷会作定向运动而形成电流呢？首先我们在外电路中取一段导体来分析。如果在这段导体两端加上电场，如图1-4所示，导体中的正电荷将受电场力的作用(力的方向与外加电场方向相同)而有规则的定向运动，从而形成电流。

从物理学中已经知道：电荷在电场中具有电位能，单位正电荷在电场中某点所具有的电位能叫该点



图1-4 导体中电流的形成

电位，用 φ 表示，

$$\varphi_A = \frac{W_A}{q} \quad (1-4)$$

W_A 就是正电荷 q 在电场中A点具有的电位能。

电场力把正电荷 q 从导体中的A点移到B点，电场力就作了功。电场力所作的功与电荷量的比值叫A、B两点间的电压，用 U_{AB} 表示，

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} \quad (1-5)$$

显然，电场力所作的功 W_{AB} 就是A、B两点间电位能的差，即 $W_{AB} = W_A - W_B$ ，所以

$$U_{AB} = \frac{W_A - W_B}{q} = \varphi_A - \varphi_B \quad (1-6)$$

即A、B两点间的电压 U_{AB} 等于A、B两点间的电位差。正电荷从A运动到B，电场力作了功，电荷的电位能减少，即 $W_A > W_B$ ，所以 $\varphi_A > \varphi_B$ 。由于规定正电荷运动的方向为电流的方向，所以，电流的方向在外电路中就是从高电位点到低电位点的方向。我们把从高电位点到低电位点的方向规定为电压的方向。

在外电路中能否始终维持一定的电流呢？我们仍然取一段导体来讨论，如图1-5所示。当外加电场使正电荷从A移到B时，就在A端聚集相等的负电荷，结果在导体内形成一个反向电场，这样导体内其他电荷就既受外加电场的作用力 $F_{电}$ 作用，也受到反向电场阻碍电荷运动的作用力 $F_{反}$ 作用。随着B端正电荷的增加，反向电场加强，反向电场作用力 $F_{反}$ 也增加，当 $F_{反} = F_{电}$ 时，正电荷就不再作定向运动，电流也就没有了。显然要维持电路中源源不断的电流，应该有一个不断把B端正电荷又移回A端的装置，这种装置就是电源。



图1-5 外电路中电荷的受力

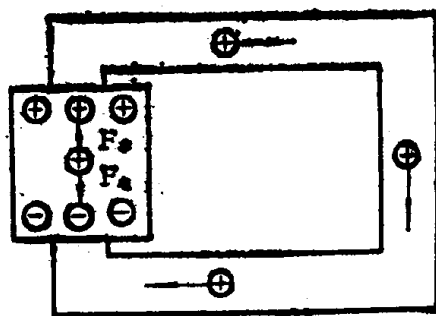


图1-6 电源的作用

现在我们利用图1-6来说明电源的作用。左边是一电源示意图，它也是导体，右边接有外电路。在电源内部有一种非电场力(又叫局外力)，非电场力能把正电荷从B“搬运”到A，结果A端出现正电荷，B端出现负电荷，在电源内部形成电场。于是电源内其它正电荷既受到非电场力 $F_{非}$ 的作用，又受到电场力 $F_{电}$ 的作用。非电场力不断“搬运”正电荷，A端正电荷