

21

世纪高职高专汽车技术系列教材

汽车电子技术类



汽车 QICHE 电工电子基础

diangong dianzi jichu

◎ 主编 黄嘉宁 副主编 关锐雄 主审 刘家鹤

华南理工大学出版社

21 世纪高职高专汽车技术系列教材·汽车电子技术类

汽车电工电子基础

主 编 黄嘉宁
副主编 关锐雄
主 审 刘家鹤

华南理工大学出版社
·广州·

内 容 简 介

本书内容涵盖电工基础、模拟电子技术和数字电子技术三大部分。全书共分六章：第一章直流电路、第二章正弦交流电路、第三章磁路与电磁感应、第四章电机、第五章模拟电子技术、第六章数字电子技术。

本书紧密结合高职高专教育的特点，以电工、电子基础知识与专业实际相结合为出发点，同时结合汽车专业的特点，所涉及内容尽可能地与汽车电器及现代汽车电控方面的实例相通。

本书适合高职高专汽车电子相关专业使用，同时也可供职校、中专、大专院校等相关专业使用。对已参加工作的汽车维修或生产企业的工人、技师也具有参考价值，也可作为相关员工的培训教材或培训的主要参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工电子基础/黄嘉宁主编. —广州：华南理工大学出版社，2008.8

(21世纪高职高专汽车技术系列教材·汽车电子技术类)

ISBN 978-7-5623-2758-5

I. 汽… II. 黄… III. ①汽车-电工-高等学校：技术学校-教材 ②汽车-电子技术-高等学校：技术学校-教材 IV. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 124872 号

总 发 行：华南理工大学出版社（广州五山华南理工大学 17 号楼，邮编 510640）

营销部电话：020-87113487 22236378 87111075 87111048（传真）

E-mail: z2cb@scut.edu.cn

http://www.scutpress.com.cn

责任编辑：袁 泽

印 刷 者：广州市穗彩彩印厂

开 本：787mm×1092mm 1/16 印张：13.5 字数：337 千

版 次：2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

印 数：1~3000 册

定 价：25.00 元

版权所有 盗版必究

21 世纪高职高专汽车技术系列教材

编 委 会

顾 问：刘家鹤 (中国汽车工程学会汽车电子专业委员会原主任，深圳市汽车工业贸易总公司总工程师)

主 任：贺 萍

副 主 任：马 骏 刘越琪 胡艳曦

编 委：(以下按姓氏笔画为序)

- 马 骏 (东风日产乘用车公司技术中心)
- 朱方来 (深圳职业技术学院)
- 刘越琪 (广东交通职业技术学院)
- 阮少宁 (广州丰田汽车特邀维修有限公司)
- 李国正 (深圳职业技术学院)
- 邱 洁 (深圳职业技术学院)
- 张继良 (广东中奥汽车销售服务有限公司)
- 张景来 (东莞南博职业技术学院)
- 孟国强 (广东交通职业技术学院)
- 赵良久 (广东轻工职业技术学院)
- 侯益坤 (广东工贸职业技术学院)
- 胡艳曦 (广东工程职业技术学院)
- 贺 萍 (深圳职业技术学院)
- 唐文初 (广东农工商职业技术学院)
- 黄嘉宁 (广州康大职业技术学院)
- 蒲永峰 (广东轻工职业技术学院)
- 潘伟荣 (广东交通职业技术学院)

策划编辑：袁 泽 孟宪忠

总 序

从我国汽车工业发展历史上看：从1955年我国开始生产汽车，到1992年我国年产汽车106.1万辆，突破百万辆大关让我们用了整整37年的时间。但是到2007年，我国已年产汽车880万辆，稳坐世界排名第三的交椅。按照最近几年的年增长率（20%~30%）和今年前几个月的实际产量来看，今年我国汽车的年产量很有可能突破1千万辆的大关。这就是说：我们从年产100万辆到年产1千万辆只用了16年时间。年产1千万辆意味着什么？意味着我们距离世界上最发达的两个工业大国——美国和日本已经很近了。这两个国家的汽车年产量多年来一直在1千万辆上下徘徊。

随着汽车年产量的增长，我国的汽车拥有量也急剧增加。到2006年底，我国的汽车加上其他机动车的拥有量已达12495.1万辆，而到今年年底，这个数字肯定会超过1.5亿辆。

这么庞大的在用车数字必将造就一个更加庞大的汽车后市场。例如，汽车油料供应市场、高速公路和一般公路修建养护的市场、汽车运输物流业市场、汽车自驾旅游业市场、汽车保养维修业市场……数不胜数难以尽述。除此之外，在教育领域里，除常规的大学本科、研究生等这一类高级汽车人才的培养方式之外，必然还会有许多汽车驾驶员培训、汽车修理工培训等多种类培养人才的形式出现，其中高职高专类院校对高技能人才的教育培养方式引起了全社会的关注和重视。

单就人才需求这方面来看，近年来在沿海一些经济较发达地区，有经验的汽车修理技工已成为奇缺的人才。在深圳，招一个有一定实际工作经验的汽车修理工开出的工资价位已经接近或超过招本科毕业生的水平。

由于汽车科技的迅速发展，现在的汽车上大多装有一个或几个电脑控制系统。汽车维修技工不能像以前那样只靠眼耳手和老经验就可以修好车，他们必须要接受专门的培训，掌握专门的维修仪器设备的使用方法才有可能把汽车故障排除掉，才能够胜任汽车维修工作。当然，这也就推动着汽车类高职高专教育的迅猛发展。

培养具有一定科技知识水平同时又有较强的动手能力的汽车类实用型人才，已经成为我国汽车类大专院校和职业技术学院在21世纪开头这一段较长时间里的紧迫任务。

华南理工大学出版社顺应了这一历史潮流，根据我国汽车电子类专业的教育发展需求，组织有关的高职高专院校及著名汽车企业的一些教师、学者、专家和技术人员联合编写了一套适用于高职高专层次学生使用的汽车电子技

术系列教材。

这一套教材的编写指导思想是：集各学院教学经验之所长，与企业对接，坚持理论联系实际，强调实践性和实用性，突出新颖性、先进性、规模性和系统性，使学生与企业零距离接轨。

汽车电子技术是一个跨机械（汽车）学科和电子学科两大门类的两栖学科。华南理工大学出版社组织编写的这一套教材将这两个学科进行了很好的融合，我们可以明显看出，这套教材具有如下一些特点：

(1) 基础知识面宽，但不刻意追求深度，符合“必需、够用”的原则。例如，“汽车电工电子基础”这一教材就把学生必须掌握的多方面基础知识（电学的、电工学的、电子学的）都包罗在内，但却又是点到为止，不作无谓的深究。就读的学生即使原有的文化基础稍有差异，也都可以通过这门基础课得以填平补齐，为以后学好专业课打下基础。

(2) 在专业课的内容设置上，强调了“全而新”。一方面注意传授传统的汽车技术知识，另一方面又能把汽车电子的很多新技术知识收罗进来。这就可以使学生通过这些专业课的学习得到一个较为宽阔的全新视野。

(3) 特别注意“理论联系实际”。各教材都在书中尽可能地穿插必要的实操课内容。众所周知，在现有的高职高专院校中，无一例外的是理论和实践并重；稍有差别的是：有的学校是先讲理论课，后上实操（训）课，而有的学校则是理论课和实操（训）课交叉进行。但大家的目的都是一致的：让学生既学到理论知识又能动手实操。这一套教材可以让大家达到这一目的。

(4) 符合学校教育的习惯，这一套教材在书中穿插布置了较多的复习题、计算题，便于师生加以利用。

(5) 注意结合国情。一些专业课在选材时很注意选择一些结合我国汽车维修企业现有实际状况的实际案例或是国内维修厂常用的国产的仪器设备加以讲解，这样学生将来走出校门进入厂门时就不会感到陌生，就很容易胜任工作。

我们期望这一套教材的问世能有助于满足国内大批高职高专院校的教材需求，有助于满足广大学生的学习要求，最终有助于汽车电子技术类两栖人才的早日成材，从而舒缓当前这类人才十分紧俏的局面。

中国汽车学会汽车电子专业委员会原主任

刘家鹤

2008年6月

前 言

近十年来,随着我国高等教育改革的不断深化,我国高等教育的形势发生了很大变化。高等职业技术学院像雨后春笋般涌现,是其中的重大变化之一。党和国家高度重视高等职业教育的改革和发展,出台了一系列的法律、法规、文件等,规范、推动了高等职业教育健康有序地发展。同时,社会对高等职业教育的认识在不断加强,高等技术应用型人才及其培养的重要性也正在被越来越多的人所认同。目前,高等职业教育在校学生数、招生人数和毕业人数等均占据了高等教育的半壁江山,成为高等教育的重要组成部分,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。

在高等职业教育大发展的同时,必须重视内涵建设,不断深化教育教学改革,根据市场和社会的需要,不断更新教学内容,编写具有鲜明特色的教材是其必要任务之一。

随着汽车工业的发展,人们对汽车的性能要求也越来越高,传统的汽车电气系统与机械系统已很难满足日趋严格的关于汽车节能、排放与安全法规的要求。作为汽车必不可少的蓄电池、发电机、起动机、照明、信号、仪表、报警等传统意义上的汽车电器正在发生着巨大的变化,特别是电子控制技术在汽车工业中的广泛应用,使得汽车电气系统越来越复杂,正朝着电子化、集成化、网络化、智能化的方向发展,使汽车越来越成为“电子汽车”。因此,电工与电子技术在汽车维修中具有极其重要的地位和作用。在现代汽车运用与维修的实际工作中,掌握一定的电工电子技术知识,能够进行电路分析,是对从事现代汽车维修专业技术人员的基本要求。

汽车电工电子技术是一门专业基础课程。在传统教学模式中,强调学科的系统化,教学内容多而难,严重脱离实际,不适应学生的学习与发展。

本书紧密结合高等职业技术教育的特点,以电工、电子基础知识与专业实际相结合为出发点,以能力为本,以必需、够用为度,着重基本概念和基本定律的论述,注重对汽车电器设备及汽车新技术方面基本知识的指导,提高学生的学习兴趣。同时,结合汽车专业特点,所涉及内容尽可能地与汽车电器及现代汽车电控方面的实例相通,为学生学习专业知识打下基础。内容安排遵循循序渐进的原则,由基本概念、基本定理到基本器件分析,最后结合汽车技术的实际讨论应用电路。

本书具有以下主要特点:①知识面较宽;②深浅适宜;③针对性强;④适用人群范围大;⑤与汽车新技术实际电路结合紧密。

本书主要是针对具有高中文化程度的普通高职院校汽车电子相关专业的学生而编写的，同时也可供具有初中以上文化程度的职校、技校、中专、大专院校等相关专业的学生使用。对已参加工作的汽车维修或生产企业的工人、技师也具有参考价值，也可作为这方面员工的培训教材或培训的主要参考书。

本书由广州康大职业技术学院黄嘉宁任主编，广东工程职业技术学院关锐雄任副主编，薛金水、张卿参与编写。其中第一、二、三、四章电工部分由黄嘉宁编写，第五章模拟电子技术由关锐雄、薛金水编写，第六章数字电子技术由张卿编写。黄嘉宁完成本书的统稿工作。

在书稿的成稿过程中，中国汽车行业学会汽车电子专业委员会原主任、武汉汽车工业大学客座教授刘家鹤对本教材进行了认真、负责、仔细的审阅，提出了许多宝贵的意见和修改建议，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处敬请广大读者批评指正。

编者

2008年4月

目 录

第一章 直流电路	(1)
第一节 电路的基本知识	(1)
一、电路的基本概念	(1)
二、电路的基本物理量	(2)
三、电路的三种工作状态	(4)
四、部分电路的欧姆定律	(5)
五、全电路欧姆定律	(6)
第二节 基尔霍夫定律	(6)
一、基尔霍夫电流定律	(7)
二、基尔霍夫电压定律	(8)
第三节 电功和电功率	(9)
一、电功	(9)
二、电功率	(9)
三、额定值	(10)
第四节 惠斯登电桥	(12)
第五节 电阻的联接	(13)
一、电阻的串联	(13)
二、电阻的并联	(15)
三、电阻的混联	(16)
第六节 电路的基本分析方法	(17)
一、支路电流法	(17)
二、节点电压法	(19)
三、叠加原理	(20)
四、戴维南定理	(22)
习题	(23)
第二章 正弦交流电路	(25)
第一节 正弦交流电的基本概念	(25)
一、正弦交流电的产生	(25)
二、正弦量的三要素	(26)
三、正弦量的表示方法	(27)
第二节 单相正弦交流电路	(29)
一、纯电阻电路	(29)
二、纯电感电路	(30)
三、纯电容电路	(33)

第三节 三相交流电路	(36)
一、三相正弦交流电源及其联结	(36)
二、三相负载的星形联结	(38)
三、三相负载的三角形联结	(43)
四、三相电动机绕组的联结	(44)
习题	(46)
第三章 磁路与电磁感应	(48)
第一节 磁路与霍尔效应	(48)
一、磁场的基本物理量	(48)
二、磁路欧姆定律	(50)
三、霍尔效应	(51)
第二节 电磁感应	(52)
一、电磁感应现象及产生的条件	(52)
二、电磁感应定律	(54)
三、自感现象和自感电流方向	(57)
四、互感现象和互感电流方向	(58)
五、车用变压器	(59)
六、车用继电器	(64)
七、车用电磁阀	(67)
习题	(70)
第四章 电机	(72)
第一节 直流电机	(72)
一、直流电机的构造	(72)
二、直流电机的工作原理	(73)
三、直流电动机的分类和机械特性	(74)
四、直流电动机的反转、制动与调速	(76)
五、典型汽车用电机	(79)
六、电动汽车电动机	(85)
七、电动机制动	(91)
第二节 硅整流发电机	(94)
一、发电机的结构	(94)
二、发电机的工作原理	(96)
三、车用发电机	(97)
四、步进电动机的工作原理	(99)
习题	(100)
第五章 模拟电子技术	(102)
第一节 半导体的基本知识	(102)
一、二极管的分类和应用	(102)

二、二极管的简易测试	(108)
三、整流滤波与稳压电路	(109)
四、车用发电机的整流、滤波与稳压电路	(116)
第二节 晶闸管	(119)
一、晶闸管的基本结构	(119)
二、晶闸管的触发电路	(121)
三、车用晶闸管电路举例	(126)
第三节 晶体管	(127)
一、半导体三极管的结构和类型	(127)
二、晶体管的工作状态	(128)
三、晶体管的特性曲线、主要参数及简易判别	(129)
第四节 基本交流放大电路	(133)
一、单管放大电路的种类	(133)
二、基本交流放大电路的工作原理	(133)
三、放大电路的静态分析	(135)
四、放大电路的动态分析	(136)
第五节 多级放大电路	(140)
一、多级放大电路的组成与耦合	(140)
二、多级放大电路的性能指标	(141)
第六节 汽车电控系统的实用电路	(142)
一、热敏电阻式温控器	(142)
二、丰田汽车磁脉冲式电子点火装置	(143)
三、怠速继电器	(144)
习题	(145)
第六章 数字电子技术	(157)
第一节 数制及其转换	(158)
一、数制	(158)
二、不同数制间的相互转换	(159)
第二节 逻辑代数基础	(160)
一、逻辑代数的基本概念	(160)
二、逻辑代数的基本运算规则及应用	(163)
第三节 基本逻辑门电路	(164)
一、基本逻辑门电路的组成	(165)
三、编码器	(166)
第四节 时序逻辑电路	(171)
一、基本触发器	(171)
二、寄存器	(175)
三、计数器	(177)
第五节 数模和模数转换	(178)

一、数模转换技术·····	(178)
二、模数转换技术·····	(184)
第六节 数字电路在汽车电子中的应用·····	(190)
一、门电路在汽车电子中的应用·····	(190)
二、555 时基电路在汽车电子电路中的应用·····	(194)
习题·····	(197)
附录·····	(201)
参考文献·····	(203)

第一章 直流电路

第一节 电路的基本知识

一、电路的基本概念

(一) 电路

电路就是电流所流过的路径，由各种元器件连接而成。电路通常由电源、负载、开关和导线组成，如图 1.1 所示。

电源是将其他形式的能量（机械能、化学能等）转换为电能的设备，用来向负载提供电能。汽车上的电源是蓄电池和发电机，它们分别将化学能和机械能转换为电能。蓄电池直接输出直流电。而发电机发出交流电，经整流、调压后输出直流电。

负载是将电能转换成其他形式的能量的设备。如汽车上的电动机把电能转换成机械能，照明灯把电能转换成光能等。开关用来控制电路的接通或断开。导线用来连接电源、负载和开关，构成电路并把电源的电能输送到用电设备。

(二) 电路图

电路由实际的电路元器件连接组成。但为了讨论问题的方便，在画这些实际电路的图形时，通常用统一规定的简化的电器元件图形符号来表示实物。由电器元件图形符号构成的图叫做电路图，如图 1.2 所示。

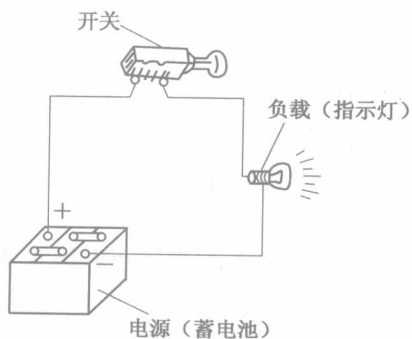


图 1.1 简单的实物电路图

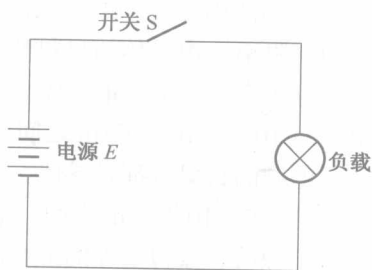


图 1.2 由图形符号组成的电路图

(三) 汽车电路

如果电路中的电源和用电设备之间用两根导线构成回路，这种连接方式称为双线制。如果电路中的电源和用电设备之间只用一根导线连接，另一根导线由金属机架（如车体等）作为另一公共“导线”而构成回路，这种连接方式称为单线制。由于单线制导线用量少，且线路清晰，安装方便，因此广为现代汽车所采用，如图 1.3 所示。

采用单线制时，蓄电池的一个电极须接至车架上，称为“搭铁”，用符号“⊥”表示。

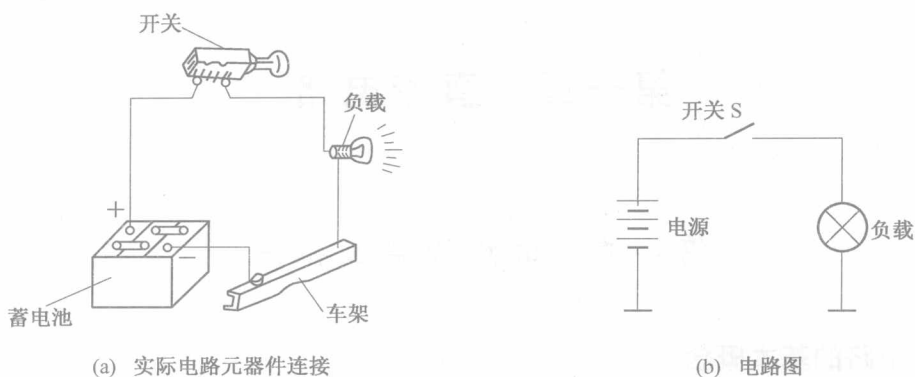


图 1.3 汽车单线制电路

若蓄电池的负极与车架相接，称为“负极搭铁”，反之称为“正极搭铁”。由于负极搭铁时对无线电干扰较小，因此，现在世界各国的汽车基本上采用负极搭铁。

二、电路的基本物理量

(一) 电阻

导体对电流的阻碍作用的能力叫做电阻，用 R 表示。电阻的单位是欧姆，简称欧 (Ω)。电阻的常用单位还有千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$)。

$$1 k\Omega = 10^3 \Omega, \quad 1 M\Omega = 10^6 \Omega$$

导体的电阻是客观存在的，它不随导体两端的电压变化而变化。实验证明，在一定温度下，导体的电阻大小与导体的长度 L 成正比，与导体的横截面积 S 成反比，并与导体材料的性质有关，即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-1)$$

其中， ρ 为导体的电阻率 (单位： $\Omega \cdot m$)。

导体的电阻率 ρ 由导体的材料性质所决定，而导体的电阻率决定了导体的导电能力。根据导体的电阻率大小可以把物体分为导体、绝缘体和半导体三类。

电阻率在 $10^{-8} \sim 10^{-6} \Omega \cdot m$ 之间，电阻较小且容易传导电流的物体叫做导体，如导线中的铜丝、电刷的石墨等都是导体。

电阻率在 $10^8 \sim 10^{16} \Omega \cdot m$ 之间，电阻极大且不容易传导电流的物体叫做绝缘体。如导线上的塑料、橡胶、漆包线外的绝缘漆等都是绝缘体。

电阻率介于上述两者之间的物体叫做半导体，如二极管中的硅或锗材料等。

导体的电阻还与温度有关，如热敏电阻的阻值随着温度变化而改变。正温度系数热敏电阻的阻值随温度的升高而增大，负温度系数热敏电阻则相反，阻值随温度的升高而减小。热敏电阻式温度传感器广泛应用于现代汽车中，如汽油机电控系统中测量冷却水温度、进气温度或排气温度的传感器等。

(二) 电流

电流由电荷的定向移动而形成。金属导体中的电流，是自由电子在电场力作用下运动而形成的。电流不仅有大小，而且有方向。

电流的大小用电流强度来表示, 如果电流的大小和方向均不随时间变化, 这种电流称为恒定电流, 简称直流。对于直流, 单位时间内通过导体横截面的电量叫做电流强度, 简称电流, 用 I 表示, 即

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

电流强度的单位为安培, 简称安 (A)。若 1 秒 (s) 内通过导体横截面的电量是 1 库仑 (C), 则此时导体中的电流为 1 安培 (A)。计算微小电流时, 电流的单位用毫安 (mA) 或微安 (μA) 表示。

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}, \quad 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

习惯上规定以正电荷移动的方向为电流方向, 它与自由电子移动的方向相反。在金属导体中, 正电荷并不移动, 而是自由电子移动, 虽然自由电子在电场中的移动方向与正电荷相反, 但从电流这一概念来说两者是等效的。电流的方向可用箭头来表示。在分析与计算电路时, 电流的实际方向往往无法预先确定, 因而引入电流参考方向的概念。参考方向又称为正值方向, 简称正方向。因此, 可以先任意假设某一方向为电流正方向 (用箭头指向), 若计算结果为正值, 说明电流的实际方向与正方向相同; 若计算结果为负值, 说明电流的实际方向与正方向相反, 如图 1.4 所示。

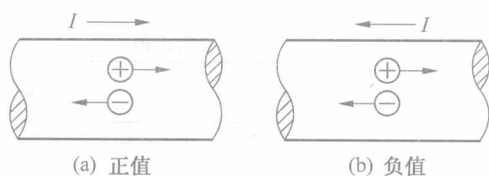


图 1.4 电流的方向

(三) 电位和电压

在电路中, 电流的流动说明电场力对电荷做了功, 正电荷在电路的某一点上具有一定的电位能。要确定电位能的大小, 必须在电路上选择一参考点作为基准点, 正电荷在某点所具有的电位能就等于电场力把正电荷从某点移到参考点所做的功。在图 1.5 所示的电路中, 以 B 点为参考点, 则正电荷在 A 点所具有的电位能 W_A 与正电荷所带电量 Q 的比值, 称为电路中 A 点的电位, 用 U_A 表示。

$$U_A = \frac{W_A}{Q} \quad (1-3)$$

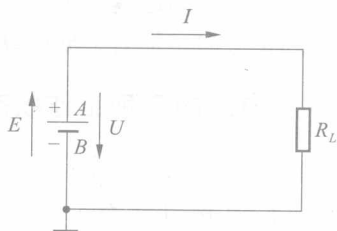


图 1.5 B 点为参考点的电路

电位的单位是焦耳/库仑 (J/C), 称为伏特, 简称伏 (V)。

电路中某点电位的高低是相对于参考点而言的, 参考点不同, 则各点电位的大小也不同。但参考点一经选定, 则电路中各点的电位就是一定值。参考点的电位通常设为零, 在实际电路中常以机壳或大地为参考点, 即把机壳或大地的电位规定为零电位。零电位的符号为 “ \perp ”。电位高于零电位为正值, 电位低于零电位为负值。

在电路中, 由于电源的作用, 电场力把正电荷从 A 点移到 B 点所做的功 W_{AB} 与正电荷的电量 Q 的比值称为 A 、 B 两点间的电压, 用 U_{AB} 表示。

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-4)$$

电场力所做的功 W_{AB} 等于正电荷在 A 点的电位能 W_A 与在 B 点的电位能 W_B 的差, 即

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} = \frac{W_A}{Q} - \frac{W_B}{Q} = U_A - U_B \quad (1-5)$$

由电压的定义可知, A 、 B 两点之间的电压, 就是该两点之间的电位差, 所以电压也称电位差。电压是衡量电场力做功能力的物理量。电压的单位也是伏特, 简称伏 (V)。

较大的电压单位用千伏 (kV) 表示, 较小的电压单位用毫伏 (mV) 表示。

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}, \quad 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$$

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点, 即由“+”极性指向“-”极性。因此, 在电压的方向上, 电位是逐渐降低的。电压的方向可用双下标表示, 例如 U_{AB} 、 U_{BC} 等; 也可用箭头表示, 箭头的起点代表高电位点, 终点代表低电位点, 如图 1.6 所示。

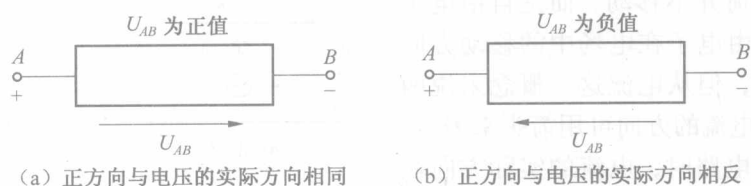


图 1.6 电压的方向

在一些复杂电路中, 某两点间电压的实际方向预先难以确定, 先任意设定两点间电压的参考方向 (正方向), 一般用箭头表示, 而“+”、“-”表示电压的实际方向。若计算结果为正值, 说明电压的实际方向与正方向相同; 若计算结果为负值, 说明电压的实际方向与正方向相反, 如图 1.6 所示。

应该指出: 电位和电压是有区别的, 电位是相对值, 与参考点的选择有关; 电压是绝对值, 与参考点的选择无关。今后在计算电路的某一未知电流或电压时, 应先标明该电流或电压的正方向, 然后根据计算结果, 确定电流或电压的实际方向。

三、电路的三种工作状态

电路有三种工作状态: 通路、断路和短路。

(一) 通路 (闭路)

通路就是电源和负载构成回路, 如图 1.7 所示。图中 E 是电源电动势, R_0 是电源内阻, R 是负载, S 是开关 (正处于接通状态), 此时电路中有电流通过。电源的输出电压称为端电压。不计导线的电阻, 则电源的端电压是负载的电压。

(二) 断路 (开路)

断路就是电源和负载未构成闭合回路, 即 a 、 b 间断开, 如图 1.8 所示。此时电路中无电流通过, 负载上也没有电压, 电源的端电压 (称为开路电压) 等于电源电动势, 即 $I=0$, $U_0=E$ 。

(三) 短路

短路就是电源未经负载而直接由导线接通构成闭合回路, 如图 1.9 所示。导线将 c 、 d 间短路, 此时电流不经过负载而由短路点构成回路, 负载 R 上没有电压, 负载电流 I_R 为 0, 即 $U=0$, $I_R=0$ 。

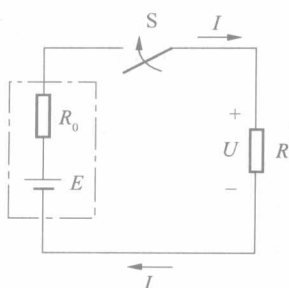


图 1.7 通路

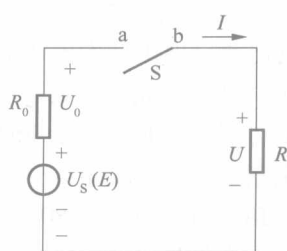


图 1.8 断路

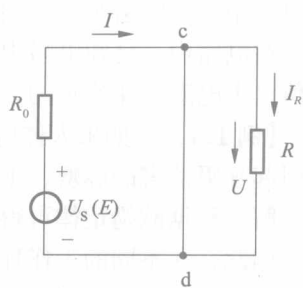


图 1.9 短路

当电源两端被短路时，由于负载电阻为零，电源的内阻 R_0 一般较小，因此电源将提供很大的电流，其值为

$$I = \frac{E}{R_0} \quad (1-6)$$

式中， I 为短路电流。

因此，电路中的短路电流比正常工作时的电流大几十甚至几百倍，经过一定时间，短路电流通过的电路将产生大量的热量，使导线温度迅速升高，因而可能烧坏导线，损坏电源及其他设备，影响电路的正常工作，严重时会引起火灾，所以要尽量避免。

在电路中，短路通常是一种电路事故，为了避免短路现象，要采取保护措施。在电路中通常接入一种作为短路保护用的熔断器，其中装有熔丝（如图 1.10 中的 FU），与负载串联。汽车电路中装有这类快速熔断器，一旦电路发生短路时，短路电流会使熔丝发热而迅速熔断，切断电路，保护了电源及导线免于烧毁。在汽车电路中，短路熔断器一般应接于蓄电池正极处（负极搭铁）。

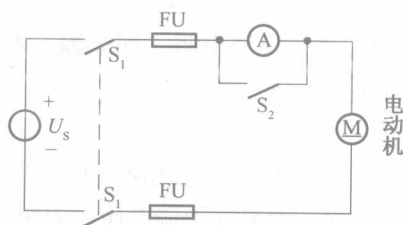


图 1.10 熔断器和短接开关

在一些实际工作中，出于工作需要，会用导线把电路中某些元件短路，例如图 1.10 中开关 S_2 把和电动机相串联的电流表 (A) 短路，以免电动机启动时大电流通过电流表。待启动完毕，再把开关打开，电流表才显示电动机工作电流。为了区别于事故短路，常把这种需要的短路现象称为短接。在汽车电控系统故障诊断时，经常使用这种方法。

四、部分电路的欧姆定律

只有电阻而不含电源的一段电路称部分电路，如图 1.11 所示。实验证明，在这一段电路中，通过电路的电流与这段电路两端的电压成正比，而与这段电路的电阻成反比。这就是部分电路的欧姆定律，可用公式表示为

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = IR \quad \text{或} \quad R = \frac{U}{I} \quad (1-7)$$

当电流一定时，电阻越大，在电阻 R 上产生的电压降越大；

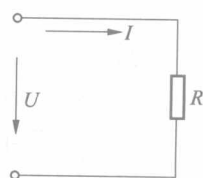


图 1.11 部分电路