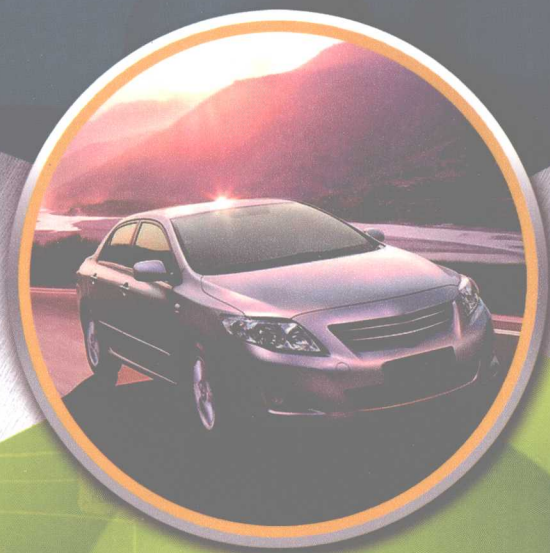


21 世纪高职高专规划教材

——汽车运用与维修系列

# 汽车电工与 电子学基础

主 编 / 孔繁瑞 臧雪岩



ASSE  
POSTERIORE

4 BRACCIO DI LEVA  
DIRIVATE ANTERIORE  
RISPETTO AL BRACCIO

ASSE  
ANTERIORE

 中国人民大学出版社

21 世纪高职高专规划教材·汽车运用与维修系列

# 汽车电工与电子学基础

主编 孔繁瑞 臧雪岩

中国人民大学出版社

·北京·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

汽车电工与电子学基础/孔繁瑞, 臧雪岩主编  
北京: 中国人民大学出版社, 2009  
21 世纪高职高专规划教材·汽车运用与维修系列  
ISBN 978-7-300-09613-1

- I. 汽…  
II. ①孔…②臧…  
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 127968 号

21 世纪高职高专规划教材·汽车运用与维修系列  
**汽车电工与电子学基础**  
主编 孔繁瑞 臧雪岩

---

|      |   |                     |                   |
|------|---|---------------------|-------------------|
| 出版发行 | 中国人民大学出版社   | 邮政编码                | 100080            |
| 社 址  | 北京中关村大街 31 号  |                     |                   |
| 电 话  | 010-62511242 (总编室)  | 010-62511398 (质管部)  |                   |
|      | 010-82501766 (邮购部)  | 010-62514148 (门市部)  |                   |
|      | 010-62515195 (发行公司)   | 010-62515275 (盗版举报) |                   |
| 网 址  | <a href="http://www.crup.com.cn">http://www.crup.com.cn</a>       |                     |                   |
|      | <a href="http://www.ttrnet.com">http://www.ttrnet.com</a> (人大教研网) |                     |                   |
| 经 销  | 新华书店  |                     |                   |
| 印 刷  | 河北三河汇鑫印务有限公司  | 版 次                 | 2009 年 3 月第 1 版   |
| 规 格  | 185 mm×260 mm 16 开本   | 印 次                 | 2009 年 3 月第 1 次印刷 |
| 印 张  | 14.75   | 定 价                 | 26.00 元           |
| 字 数  | 351 000   |                     |                   |

---

版权所有 侵权必究 印装差错 负责调换

21 世纪高职高专规划教材·汽车运用与维修系列

## 编委会

主 任 王世震  
(教育部高等学校高职高专汽车类专业教指委副主任委员)

副主任 张红伟

委 员 (按姓氏笔画排序)

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 孔繁瑞 | 毛 峰 | 王丽梅 | 王富饶 | 刘 永 |
| 刘皓宇 | 刘雅杰 | 吴兴敏 | 吴 松 | 张 义 |
| 张 永 | 张立新 | 张西振 | 张 俊 | 李 宏 |
| 李 晗 | 杨宝成 | 杨洪庆 | 杨艳芬 | 杨智勇 |
| 陈纪民 | 明光星 | 段兴华 | 凌永成 | 徐景波 |
| 隋礼辉 | 惠有利 | 韩 梅 | 蔡广新 |     |

# 出版说明

进入 21 世纪以来,随着我国汽车工业的迅猛发展和人民生活水平的不断提高,随着公路运输设施和城市基础设施建设投资的迅速增加,以及政府鼓励汽车消费政策的逐步实施,我国汽车保有量迅速增长。目前,我国汽车数量每年以两位数的速度递增,据此,预计仅汽车维修业近两年就将新增 80 万从业人员,其中大部分从业人员需要接受职业教育与培训。中国人民大学出版社经过充分的市场调研,策划出版了这套高职高专汽车运用与维修专业的系列教材。

本套教材紧密贴近我国高职教学改革的实际,力求体现以下几个特点。

## 1. 以企业需求为基本依据,以就业为导向

教材的编写以就业为导向,以能力为本位,能够满足企业的工作需求,提高学生学习的主动性和积极性。我们对每本书的主编精心遴选,除了要求主编必须是高职院校的骨干教师外,还要求他们有在一线汽车相关企业的工作经验或实验实训经历,确保教材的内容既能紧密贴合教学大纲,又能准确把握市场需求、加强实践操作环节内容。

## 2. 适应汽车企业技术发展,体现教学内容的先进性和前瞻性

本套教材关注我国汽车制造和维修企业的最新技术发展,通过校企合作编写的形式,及时调整教材内容,突出本专业领域的新知识、新技术、新工艺和新方法,克服旧教材存在的内容陈旧、更新缓慢、片面强调学科体系完整、不能适应企业发展需要的弊端。每本教材结合专业要求,使学生在专业基本知识和基本技能的基础上,及时了解、掌握本领域的最新技术发展及相关技能,实现专业教学基础性与先进性的统一。

## 3. 教材内容按模块化形式编写

教材力求摆脱学科课程旧思想的束缚,从岗位需求出发,尽早让学生接触实践操作内容。根据具体的专业情况,有的是每本书一个模块,有的是每本书分为多个模块,每部分内容都以工作岗位所需要的技能展开。

## 4. 跨区域开发、整合多方优势

由于我国幅员辽阔,各地区经济发展都具有不同的地域特点,而作为与经济建设密切相关的职业教育也必然存在区域间的差异。为了打造出一套适用性强、博采众长的教材,我们在教材的策划阶段,即与不同区域的众多开设汽车相关专业的高职院校取得了联系,并进行了深入调研,经过反复研讨后确定了具体的编写大纲。教材在编写过程中得到了辽宁交通高等专科学校、承德石油高等专科学校、长春汽车工业高等专科学校、内蒙古交通职业技术学院、河南交通职业技术学院、河北交通职业技术学院、广东轻工职业技术学院等二十多家职业院校的参与与大力支持。

## 5. 教材配备完善的立体化教学资源

本系列教材在研发的同时,希望能够在相关课件的开发制作方面做出自己的特色,从而提升教材的核心竞争力。通过对市场的前期调研,我们对目前已经出版的相关教材配套

课件情况进行了分析,针对目前同类产品存在的不足,制定了专业基础课教材课件完整、专业主干课教材演示视频丰富、全系列教材教学资源整合形成网上资源平台的策划思路,力求使本套教材成为真正的立体化教材。

本套教材在编写过程中,除了得到多所高职院校的帮助外,《汽车维修技师》、辽宁交通高等专科学校汽车研究所、辽宁鑫迪汽车销售服务有限公司、大连新盛荣汽车销售服务有限公司、辽宁宝时汽车销售服务有限公司、安徽宝德汽车维修有限公司等在技术和资料方面给予了很多支持,在此表示衷心的感谢。

希望本套教材的出版能够为高职高专院校汽车运用与维修专业的教学工作起到积极的促进作用,也欢迎本套教材的使用者针对教材中存在的不足提出宝贵的建议。

中国人民大学出版社



## 前言

Preface

本书是根据最新颁布的高职高专汽车类教学要求而编写的。

本书在编写过程中紧密结合高职教育的特点，以电工电子基础知识和基本技能在汽车电器及汽车电控系统中的具体应用为出发点，以“必需、够用”为度，着重基本概念、基本知识的学习和基本技能的培养，体现以下特点：

(1) 重实践，以能力为本。

本书设有“汽车常用测量仪表”和“电工电子技能训练”两章。通过技能训练强化学生对电工电子基础知识的理解与掌握，通过汽车常用仪表的学习，使学生掌握常用测量仪表在汽车检测与维修过程中的实际应用方法及注意事项。

(2) 重应用，紧密结合汽车专业教学实际。

“汽车电工与电子学基础”是汽车运用与维修各专业的基础课，本书本着“必需、够用”的原则，强调电工电子基本概念、基本定律、基本元器件在汽车电器、汽车电控系统中的具体应用，使学生明确学好电工电子是学好专业课的基础，从而激发学习兴趣。

(3) 强化基本概念与基本技能，弱化定量分析与计算。

本书编写过程中着力体现高职教育特点，以分析与应用为目的，重点讲述基本概念，避免繁杂的理论演绎，重视基础知识的应用，培养基本技能，提高学生运用电工电子基础知识分析汽车电路问题的能力。

本书配有电子课件供教学参考。

本书由辽宁省交通高等专科学校孔繁瑞、臧雪岩主编。第1、5、7章由孔繁瑞、苏琼编写，第2、3、4、6章由臧雪岩编写，第8章由李国新编写。全书由孔繁瑞统稿。

本书在编写过程中得到了辽宁省交通高等专科学校汽车工程系相关教师的支持、帮助与指点，在此一并感谢！

鉴于编者水平有限，书中难免有错误或不足，敬请读者批评指正。

编者



- 第1章 直流电路与元件/1**
- 1.1 汽车电路概述/1
  - 1.2 电路的基本物理量/3
  - 1.3 电路的状态/6
  - 1.4 负载的额定值及电路导线的选择/9
  - 1.5 电路元件/10
  - 1.6 基尔霍夫定律/20
  - 1.7 电路分析方法/22
  - 1.8 电路的过渡过程/23
- 第2章 正弦交流电路/31**
- 2.1 正弦交流电的三要素/31
  - 2.2 正弦交流电的表示方法/33
  - 2.3 单一参数的交流电路/35
  - 2.4  $RLC$  串联交流电路/39
  - 2.5 电路的谐振/41
- 第3章 磁路与电机/46**
- 3.1 磁场的基本物理量/46
  - 3.2 磁性材料的磁性能/48
  - 3.3 磁路基本规律/49
  - 3.4 铁心线圈电路/53
  - 3.5 变压器/56
  - 3.6 电磁铁和继电器/60
  - 3.7 汽车用交流发电机/65
  - 3.8 汽车用直流电动机/68
- 第4章 常用半导体器件与应用/83**
- 4.1 半导体基础知识/83
  - 4.2 半导体二极管/88
  - 4.3 半导体三极管/95
  - 4.4 绝缘栅场效应管/103
  - 4.5 基本放大电路及其分析 /105



## 汽车电工与电子学基础

4.6 集成运算放大器/114

4.7 晶闸管/126

### **第5章 直流稳压电源/134**

5.1 直流稳压电源的组成/134

5.2 整流电路/135

5.3 滤波电路/140

5.4 稳压电路/142

### **第6章 数字电子技术/149**

6.1 数字电路基础/149

6.2 基本门电路/153

6.3 组合逻辑电路/160

6.4 触发器及时序逻辑电路/166

6.5 集成定时器/178

6.6 A/D和D/A转换器/184

### **第7章 汽车常用测量仪表/192**

7.1 电工仪表的基础知识/192

7.2 模拟式万用表/194

7.3 数字式万用表/197

7.4 汽车专用数字万用表/199

7.5 函数信号发生器/203

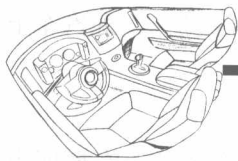
7.6 双踪通用示波器/206

### **第8章 电工电子技能训练/211**

8.1 电工电子实训概述/211

8.2 训练项目/213

### **参考文献/226**



# 直流电路与元件

### 引 言

本章在高中物理学的基础上,从汽车电子技术的角度出发,以直流电路为主要分析对象,着重讨论汽车电路的基本概念、直流电路的基本定律、元件的特性与应用以及电路的分析和计算方法。

## 1.1 汽车电路概述

### 学习目标

掌握汽车电路的组成、作用及特点,理解电路图的作用。

#### 1.1.1 汽车电路及其组成

##### 1. 汽车电路的概念

把一些电气设备或元器件,按其所要完成的功能,用一定方式连接而成的电流通路称为电路。

现代汽车有越来越多的电器设备,要使这些电器设备工作,需要用导线把车体、电源、过载保护器件、控制器件及用电设备装置连接起来,构成能使电流流通的通路,即汽车电路。

##### 2. 汽车电路的组成

一个完整的电路由电源(或信号源)、负载和中间环节三部分组成。

电源是提供电路所需电能的装置,它将非电能(如化学能、机械能等)转换为电能,并向电路提供能量。如蓄电池是将化学能转化成电能,发电机是将机械能转化成电能。两者在汽车上并联工作,发电机是主电源,蓄电池是辅助电源。当发电机工作时,由发电机向整车的用电设备供电,并同时给蓄电池充电;当发电机不工作时,如发动机起动时,由蓄电池向起动机和点火系统(汽车机)等用电设备供电。

负载是指电路中能将电能转换为非电能的装置。负载包括电动机、电磁阀、灯泡、仪表、各种电子控制器件等。

中间环节包括过载保护器件、控制器件和导线等。

作为中间环节的过载保护器件包括熔断丝、电路断路器及易熔线等。断路保护器用于前照灯、电动座椅、门锁及电动门窗等电路中。控制器件除了传统的手动开关、压力开关、温控开关外,现代汽车还大量使用

电子控制器件，如电子模块等。导线用于连接各种设备及装置构成汽车电路。此外汽车上通常用车体代替部分从用电器返回电源的导线。

### 3. 电路图

电路图由多个电气符号组合，模拟实际电路。图 1—1 所示为一个简单的汽车照明电路图。电路图主要用于对电路进行定性分析或定量计算。若把众多的电路元件理想化，即考虑其主要电磁性质，忽略其次要因素，就可用有限的理想电路元件代替种类繁多的实际电气设备和器件。这样，电路及其分析将大大简化，这种电路称为电路模型。图 1—2 为图 1—1 理想化后的电路图。

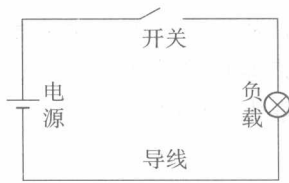


图 1—1 实际电路

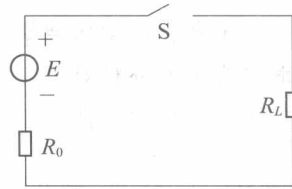


图 1—2 电路图

### 1.1.2 汽车电路的作用

汽车电路的作用有两类：一是可以实现能量的传输与转换。如汽车发电机（或蓄电池）将其他形式的能转换为电能，再通过过载保护器件、控制器件和导线等将电能输送给汽车电气设备，这些电气设备再将电能转换为机械能、热能、光能或其他形式的能量。二是可以实现信号的传递和处理。汽车上的传感器电路、通信电路、音响电路都是信号电路，如传感器电路就是将收到的微弱物理信号转换为电信号，经过放大器放大后送给执行器件，再把电信号转换为其他物理信号。

### 1.1.3 汽车电路的特点

汽车电路中的负载种类繁多，功能各异，但都必须与汽车电路的特点相一致，汽车电路的特点主要包括以下几个方面。

#### 1. 低压

汽车电器系统的额定电压有 12V、24V 两种。采用汽油为燃料的车辆普遍采用 12V 电源，而大型柴油车多采用 24V。

随着汽车电子装置数量的逐渐增多，消耗的电能也在大幅度增加，目前世界各国正在研究采用 48V 电源系统，今后将采用集成起动机—发动机一体化 42V 供电系统，发电机最大输出功率将会由 1kW 提高到 8kW 左右，发电效率将会达到 80% 以上。

#### 2. 直流

从给蓄电池充电的角度考虑，汽车电路主要采用直流。

#### 3. 单线并联

单线制是指从电源到用电设备只用一根导线连接，而用汽车底盘和发动机等金属机体作为另一公用导线。由于单线制节省导线、线路清晰、安装和检修方便，且电器也不需要

与车体绝缘,因此现代汽车均采用单线制供电。图1—3为汽车照明电路采用单线制和双线制画法的比较。

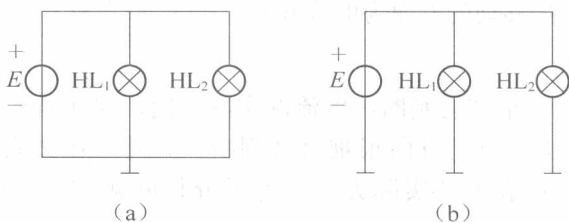


图1—3 单、双线制电路

(a) 双线制电路 (b) 单线制电路

另外,汽车电气设备工作时所需要的工作电压均为同一电压12V或24V,因此所有汽车电气设备均为并联关系。

#### 4. 负极搭铁

采用单线制时,电源的一个电极须接在车架上,俗称“搭铁”。将电源的负极接车架称为“负极搭铁”,反之称为“正极搭铁”。我国统一规定汽车电器系统为“负极搭铁”。

#### 5. 线路有颜色和编号特征

汽车电路系统中所有线路均有不同的颜色和编号加以区分。

## 1.2 电路的基本物理量

### 学习目标

理解电流、电压、电动势、电功及电功率、电位的概念,掌握电流、电压、电动势的方向规定及参考方向的意义,会计算相关物理量。

#### 1.2.1 电流及其参考方向

##### 1. 电流

电路中带电粒子在电源作用下的定向移动形成电流。金属导体中的带电粒子是自由电子,半导体中的带电粒子是自由电子和空穴,电解液中的带电粒子是正、负离子,因此电流既可以是负电荷,也可以是正电荷或者正、负电荷都有的定向运动的结果。

电流的大小用电流强度来表示,其数值等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。设在 $dt$ 时间内通过导体横截面的电荷量为 $dq$ ,则该瞬间的电流强度为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

可见,电流强度是随时间而变的。如果电流强度不随时间而变,则这种电流就称为恒定电流,即直流。在直流电路中,式(1—1)可写成

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

式中电量的单位为库[仑](C),时间的单位为秒(s),电流的单位为安[培]

(A)。计量微小电流时，以毫安 (mA) 或微安 ( $\mu\text{A}$ ) 为单位。其换算关系为  $1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$ 。

习惯上，规定正电荷移动的方向为电流方向。

## 2. 电流的参考方向

在简单电路中，可以很容易判断出电流的实际方向。对于比较复杂的直流电路，如图 1—4 所示，电阻  $R$  上的电流方向很难直观判断。另外，在交流电路中，电流周期性变化，在电路图中也无法表示其实际方向。为了分析问题方便，引入电流参考方向的概念。

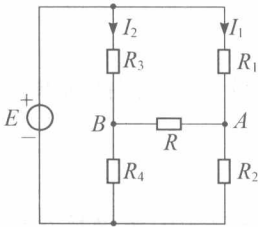


图 1—4 电流方向的判断

参考方向是假定的方向，因此电流的参考方向可以任意选定。在电路中电流的参考方向一般用箭头或双下标表示，如  $I_{ab}$  表示参考方向是由  $a$  指向  $b$  的电流。当电流的参考方向与实际方向一致时，电流为正值 ( $I > 0$ )；当电流的参考方向与实际方向相反时，电流为负值 ( $I < 0$ )。这样，在选定的参考方向下，根据电流的正负，就可以确定电流的实际方向。

在分析电路问题时，首先要假定电流的参考方向，并据此去分析计算，最后再从答案的正负值来确定电流的实际方向。初学者往往容易忽视这一问题，在分析电路时必须养成标注参考方向的习惯。

## 1.2.2 电压及其参考方向

### 1. 电压

电压是描述电场力对电荷做功的物理量。在电路中，如果正电荷由 A 点移到 B 点时电场力所做的功为  $dW$ ，那么 A、B 两点间的电压为

$$u_{AB} = \frac{dW}{dq}$$

也就是说，电场力把单位正电荷由 A 点移到 B 点所做的功在数值上等于 A、B 两点间的电压。在直流电路中，上式可写成

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q}$$

电压的单位是伏 [特] (V)。当电场力把 1 库 [仑] (C) 的电荷从一点移到另一点所做的功为 1 焦 [耳] (J) 时，该两点间的电压即为 1V。工程上常用千伏 (kV)、毫伏 (mV) 等，其换算关系为  $1\text{kV} = 10^3\text{V} = 10^6\text{mV}$ 。

电压的实际方向规定为电场力的方向，即从 A 点指向 B 点。

### 2. 电压的参考方向

但在分析电路时，也须选取电压的参考方向。当电压的参考方向与实际方向一致时，电压为正值 ( $U > 0$ )；相反时，电压为负值 ( $U < 0$ )。电压的参考方向可用箭头表示，也可用“+”、“-”表示，还可用双下标表示，如符号  $U_{AB}$  表示电压的参考方向由 A 点指向 B 点。

在电路分析时，电压和电流参考方向的选择是任意的，但为了方便，元件上的电压和

电流常取一致的参考方向,即关联参考方向,如图1—5(a)所示。反之为非关联参考方向,如图1—5(b)所示。

在图1—5(a)中,其电压与电流的关系为 $U = IR$ ,而图1—5(b)中则为 $U = -IR$ 。

### 1.2.3 电动势

电动势是描述电源中非电场力对电荷做功本领的物理量。在电路中,正电荷在电场力作用下不断从正极移向负极,如果没有一种外作用力,正极因正电荷的减少会使电位逐渐降低,而负极则因正电荷的增多会使电位逐渐升高,正、负极板间的电位差就会减小,最后为零。为了维持电流,必须使正、负极板间保持一定的电压,这就要借助非电场力使移动到负极的正电荷经电源内部移到正极。电动势在数值上等于非电场力将单位正电荷从电源负极经电源内部移到电源正极所做的功,用 $U_s$ (有时也用 $E$ )表示。

电动势的方向规定为:在电源内部由低电位端指向高电位端,即电位升高的方向。电动势的参考方向也可用箭头、双下标或“+”、“-”极性表示。电动势的单位与电压的单位相同,也用V表示。

### 1.2.4 电功和电功率

设直流电路中,A、B两点的电压为 $U$ ,在时间 $t$ 内电荷 $Q$ 受电场力作用从A点经负载移动到B点,电场力所做的功为

$$W = UQ = UI t \quad (1-3)$$

这就是在 $t$ 时间内所消耗(或吸收)的电能,而在电流、电压采用关联参考方向时,单位时间内消耗的电能称为电功率(简称功率),即负载消耗(或吸收)的电功率。

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-4)$$

在时间 $t$ 内,电场力将电荷 $Q$ 从电源负极经电源内部移到正极所做的功为

$$W_s = U_s Q = U_s I t \quad (1-5)$$

电源力产生(或发出)的电功率为

$$P_s = U_s I \quad (1-6)$$

在一个电路中,电源产生的功率与负载、导线以及电源内阻上消耗的功率总是平衡的,遵循能量守恒和转换定律。

功的单位是焦[耳](J),功率的单位是瓦[特](W)。此外还有千瓦(kW)、毫瓦(mW), $1\text{kW} = 10^3\text{W} = 10^6\text{mW}$ 。

### 1.2.5 电位

在电气设备的调试和检修中,经常要测量某个点的电位高低,看其是否符合设计数值。电位是度量电势能大小的物理量,在数值上等于电场力将单位正电荷从该点移到参考点所做的功,用符号V表示。由此可以看出:电路中任意一点电位,就是该点与参考点之间的电压,而电路中任意两点之间的电压,等于这两点电位之差。因此,电位

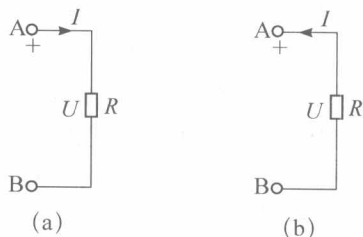


图1—5 关联参考方向与非关联参考方向  
(a) 关联参考方向 (b) 非关联参考方向

的测量实质上就是电压的测量，即测量该点与参考点之间的电压。电压与电位的关系为

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-7)$$

在一个电路中，参考点选择位置不同，电路中各点电位也不同，但任意两点间的电位差即电压不变。电路中各点的电位高低是相对于参考点而言的，而两点间的电压则与参考点的选择无关。即电位具有相对性，电压具有绝对性。如果不选择参考点去讨论电位是没有实际意义的。

在电工电子技术中，原则上电位参考点的选取是任意的，但为了统一，工程上常选大地为参考点，在电路图中用符号“ $\perp$ ”表示。机壳需要接地的电子设备，可以把机壳作为参考点。有些电子设备机壳虽然不一定接地，但为分析方便，可以把它们当中元件汇集的公共端或公共线选作参考点，也称为“地”，在电路图中用“ $\perp$ ”来表示。

在汽车电路中，搭铁点即为汽车电路的电位参考点。在汽车电器的检修过程中所测量的电位值实质即为被测点与搭铁点之间的电压。

**【例 1.1】** 试计算图 1-6 所示电路中 B 点的电位。

解：电路中的电流

$$I = \frac{V_A - V_C}{R_1 + R_2} = \left( \frac{6 - (-9)}{(100 + 50) \times 10^3} \right) \text{A} = 0.1 \text{mA}$$

$$U_{AB} = V_A - V_B = R_2 I = (50 \times 0.1) \text{V} = 5 \text{V}$$

$$V_B = V_A - R_2 I = (6 - 5) \text{V} = 1 \text{V}$$

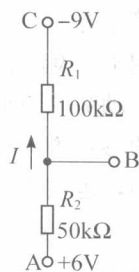


图 1-6 例 1.1 电路图

### 1.3 电路的状态

#### 学习目标

掌握电路的负载、空载和短路三种状态的概念和特征，了解短路防护措施。

电路有负载、空载和短路三种工作状态。现就图 1-7 所示的简单电路来讨论当电路处于三种不同状态时的电压、电流和功率等的特点。 $U_1$  表示电源的端电压  $U_{AB}$ ， $U_2$  表示负载的端电压  $U_{CD}$ 。

#### 1.3.1 负载状态

电路的负载状态是一般的有载工作状态，如图 1-7 所示。此时电路特征如下。

(1) 电路中的电流  $I$  由负载电阻  $R$  的大小决定。

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R} \text{ 或 } U_1 = U_s - R_0 I$$

由上式可知： $U_1$  小于电源电动势  $U_s$ ，两者之差为电流通过电源内阻所产生的电压降，电流越大，则电源端电压下降得越多。

(2) 电源的输出功率为电源电动势发出的功率  $U_s I$  减去内阻上消耗功率  $R_0 I^2$ 。

$$P_1 = U_1 I = (U_s - R_0 I) I = U_s I - R_0 I^2$$

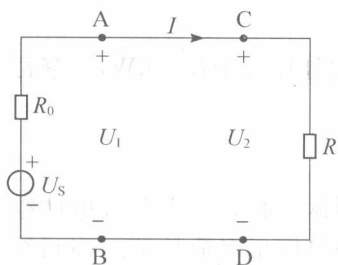


图 1-7 电路的负载状态

可见，电源发出的功率等于电路各部分所消耗的功率之和，即整个电路中的功率是平衡的。

### 1.3.2 空载状态

空载状态又称断路或开路状态，如图 1—8 所示。电路空载时，外电路电阻可视为无穷大，其电路特征如下。

(1) 电路中电流为零，即  $I = 0$ 。

(2) 电源端电压等于电源的电动势，即  $U_1 = U_S - R_0 I = U_S = U_{OC}$ 。

$U_{OC}$  称为空载电压或开路电压。由此可以得出粗略测量电源电动势的方法。

(3) 电源的输出功率  $P_1$  和负载吸收的功率  $P_2$  均为零。即  $P_1 = U_1 I = 0$ ， $P_2 = U_2 I = 0$ 。

### 1.3.3 短路状态

当电源的两输出端 (A、B) 由于某种原因相接触时，会造成电源被直接短路的情况，如图 1—9 所示。当电源短路时，外电路电阻可视为零，此时电路特征如下：

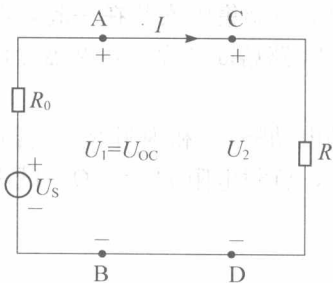


图 1—8 电路的空载状态

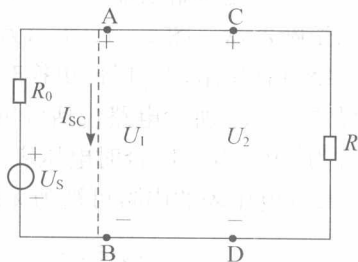


图 1—9 电路的短路状态

(1) 电源中电流最大，外电路输出电流为零。短路电流为：

$$I_{sc} = \frac{U_S}{R_0} \quad (1-8)$$

(2) 电源和负载的端电压均为零。

$U_1 = U_S - R_0 I_{sc} = 0$ ， $U_2 = 0$ ，此时  $U_S = R_0 I_{sc}$ ，表明电源的电动势全部降落在电源的内阻上，因而无输出电压。

(3) 电源对外输出功率  $P_1$  和负载吸收的功率  $P_2$  均为零。即  $P_1 = U_1 I = 0$ ， $P_2 = U_2 I = 0$ 。说明电源电动势所发出的功率全部被内阻消耗，即  $P_S = U_S I_{sc} = U_S^2 / R_0 = I_{sc}^2 R_0$ 。

电源短路，是一种严重事故，可使电源的温度迅速上升，以致烧毁电源及其他电器设备。通常在电路中装有熔断器等短路保护装置。

熔断器按结构形式可分为金属丝式、玻璃管式、瓷心式和平板式等多种形式，如图 1—10 所示。熔断器的主要组成部分是熔体（熔片或熔丝），材料是锌、锡、铅、铜等金属的合金，一般装在玻璃管中或直接装在熔断器盒内，用于负荷不大的电路。熔体能承受额定电流的长时间负载。熔体的熔断时间决定于流过的电流值的大小和本身的结构参数。汽车用熔断器，要求流过的电流为额定电流的 110% 时不熔断；流过的电流为额定电流的 135% 时，在 60s 以内熔断；流过的电流为额定电流的 150% 时，20A 以内的熔丝在 15s 以



内熔断，30A 的熔丝在 30s 以内熔断。图 1—11 为熔断器在电路图中的符号。

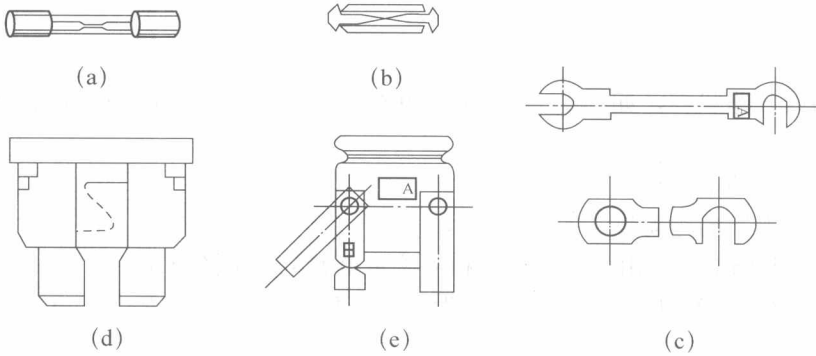


图 1—10 熔断器的结构形式

(a) 玻璃管式 (b) 瓷心式 (c) 平板式 (d)、(e) 金属丝式

图 1—11 熔断器符号

为了便于检查和更换熔断器，汽车上将各电路的熔断器集中安装在一起，形成一只保护数条电路的熔断器盒。图 1—12 所示为 BX2141 型 14 路熔断器盒。熔断器盒内有熔断器插片，插片上绕有备用熔丝，以便更换时使用。

【例 1.2】图 1—13 所示电路包括可供测量电源的电动势  $U_s$  和内阻  $R_0$ 。若开关 S 打开时电压表读数为 6V，开关闭合时电压表读数为 5.8V，负载电阻  $R = 10\Omega$ ，试求电源电动势  $U_s$  和内阻  $R_0$ （电压表的内阻可视为无限大）。

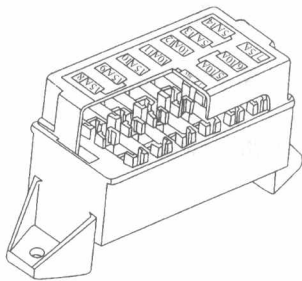


图 1—12 BX2141 型 14 路熔断器盒

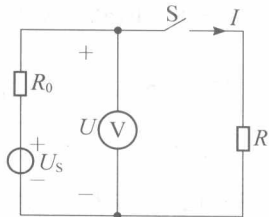


图 1—13 例 1.2 电路图

解：设电压  $U$ 、电流  $I$  的参考方向如图所示，当开关 S 断开时

$$U = U_s - R_0 I = U_s$$

所以此时电压表的读数，即为电源的电动势  $U_s = 6\text{V}$ 。当开关 S 闭合时，电路中的电流为

$$I = \frac{U}{R} = \left(\frac{5.8}{10}\right)\text{A} = 0.58\text{A}$$

故内阻

$$R_0 = \frac{U_s - U}{I} = \left(\frac{6 - 5.8}{0.58}\right)\Omega = 0.345\Omega$$