

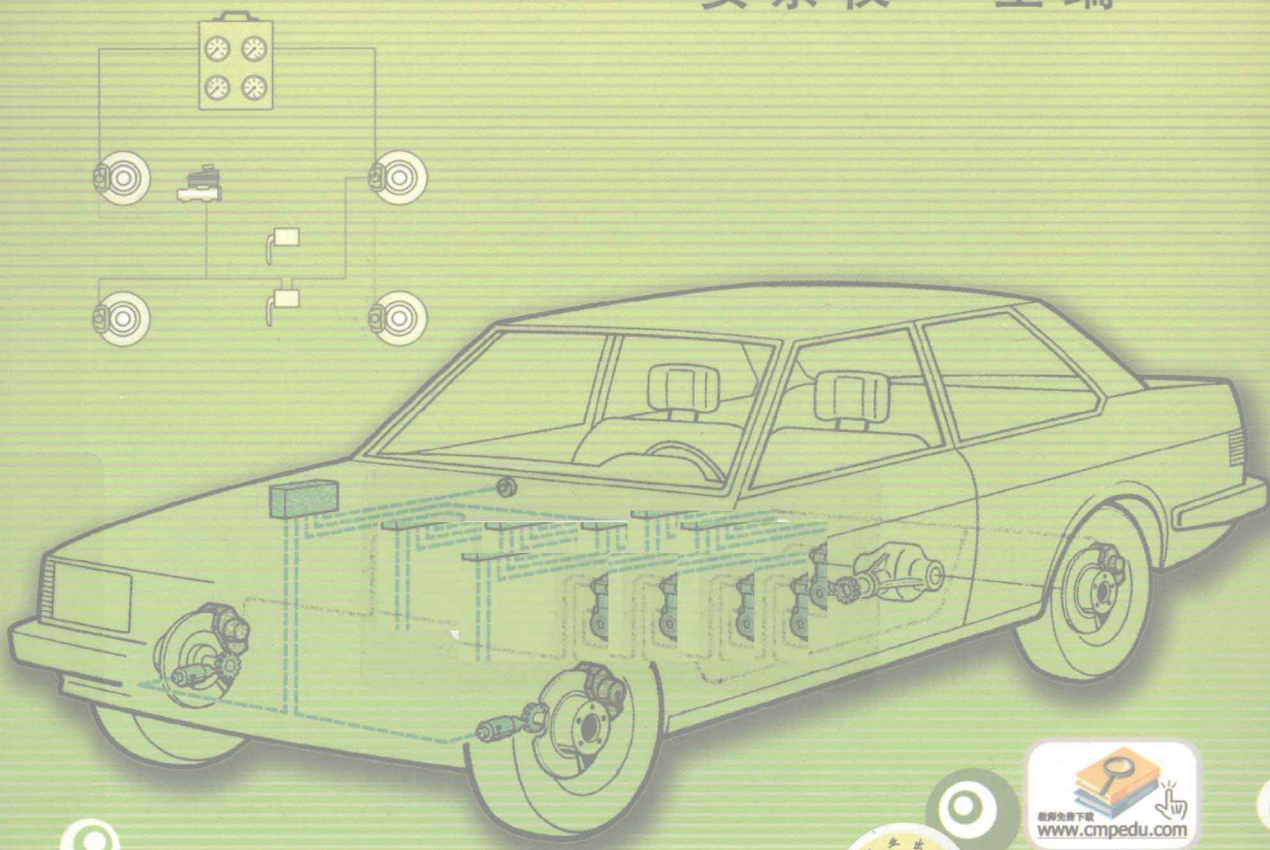


全国高等职业教育示范专业规划教材

汽车制造与装配技术专业

汽车电工电子技术

安宗权 主编



配电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育示范专业规划教材
汽车制造与装配技术专业

汽车电工

电子技术

主 编 安宗权
副主编 李转芳
参 编 吴义成



机械工业出版社

本书是按照教育部高职示范建设院校汽车制造与装配技术专业规划教材确定的编写原则,结合我国高等职业教育的现状和发展趋势,着眼于职业岗位需求,以职业能力培养为核心,以讲清电工电子基本概念、工作原理及其分析方法在汽车电路中的实际应用为目的而精心编写的。

本书包括直流电路、汽车常用仪器仪表的使用、磁与电磁感应、正弦交流电路常用半导体器件及应用、直流电动机和交流发电机、集成运算放大器数字电路基础。

本书可作为高职院校汽车制造与装配技术和汽车类相关专业的教材,对从事汽车电子产品生产和维修的技术人员也具有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工电子技术/安宗权主编. —北京:机械工业出版社,2010.4
全国高等职业教育示范专业规划教材. 汽车制定与装配技术专业
ISBN 978-7-111-30012-0

I. ①汽… II. ①安… 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. ①U463.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第038590号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:葛晓慧 蓝伙金 责任编辑:蔡家伦 版式设计:霍永明
责任校对:申春香 封面设计:赵颖喆 责任印制:乔宇
北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)
2010年6月第1版第1次印刷
184mm×260mm·9.75印张·236千字
0001—4000册
标准书号:ISBN 978-7-111-30012-0
定价:18.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

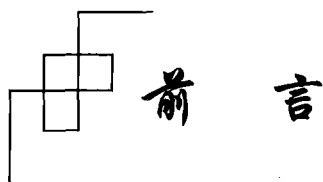
教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821 封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育示范专业规划教材 汽车制造与装配技术专业编委会

主任	李春明	长春汽车高等专科学校
副主任	王世震	承德石油高等专科学校
	么居标	北京电子科技职业学院
	蓝伙金	机械工业出版社高职分社
委员	滕宏春	南京工业职业技术学院
	赵宇	长春汽车高等专科学校
	王秀贞	邢台职业技术学院
	娄云	河南机电高等专科学校
	毛峰	辽宁交通高等专科学校
	付百学	黑龙江工程学院
	安宗权	芜湖职业技术学院
	王萍辉	北京京北职业技术学院
	刘杰	广东机电职业技术学院
	葛晓慧	机械工业出版社高职分社



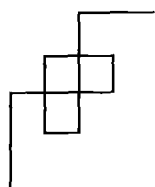
本书是高职高专汽车制造与装配技术专业规划教材，是一门重要的技术基础课。在编写过程中，突出汽车专业在实际应用过程中对电工电子技术的需求，力求使知识和技能与专业工作岗位需要相贴近。

汽车电工电子技术包括直流电路、交流电路、常用仪器仪表的使用、磁与电磁感应、常用半导体器件及应用、直流电动机和交流发电机、数字电路技术等内容。在编写时做了精心设计：文字叙述言简意赅、重点突出；内容难点分散、循序渐进；实例选取实用性强、针对性强。

本书由芜湖职业技术学院的安宗权任主编，北京京北职业技术学院的李转芳任副主编，马鞍山职业技术学院的吴义成任参编。第1、4、8章由李转芳编写，第2、6章由吴义成编写，第3、5、7章由安宗权编写，芜湖职业技术学院的张学亮主审了全书，并提出了很多宝贵的修改意见，我们在此表示衷心的感谢！

由于时间仓促，加之水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者



目 录

前言	
第一章 直流电路	1
第一节 直流电源及参数	1
第二节 电路及基本物理量	3
第三节 欧姆定律及电源的三种 状态	5
第四节 常用汽车电线	7
第五节 电阻元件及其连接	8
第六节 基尔霍夫定律和戴维南 定理	11
第七节 电感元件与电容元件	15
本章小结	17
习题	18
第二章 汽车常用仪器仪表的使用	21
第一节 万用表	21
实训一 使用万用表确定断路的 部位	30
第二节 汽车专用示波器	30
实训二 汽车专用示波器的 使用	35
本章小结	36
习题	36
第三章 磁与电磁感应	37
第一节 磁场的基本概念及物理 量	37
第二节 电流的磁效应	39
第三节 磁路的基本定律	39
第四节 互感、自感现象及霍尔 效应	43
第五节 汽车上常用的电磁 器件	44
实训三 点火线圈的结构认识	46
本章小结	47
习题	47
第四章 正弦交流电路	49
第一节 正弦交流电的基本 概念	49
第二节 单相正弦交流电路	53
第三节 三相交流电路	60
实训四 三相正弦交流电路电压、 电流、功率的测量	65
本章小结	69
习题	71
第五章 常用半导体器件及应用	73
第一节 二极管及应用	73
第二节 晶体管及应用	83
第三节 晶闸管及应用	91
本章小结	96
习题	97
第六章 直流电动机和交流发电机	98
第一节 直流电动机	99
第二节 交流发电机	106

实训五 直流电动机的起动的 调速	114	第八章 数字电路基础	123
本章小结	116	第一节 概述	123
习题	116	第二节 基本逻辑门电路	125
第七章 集成运算放大器	117	第三节 集成门电路	127
第一节 集成运算放大器概述	117	第四节 集成触发器	132
第二节 集成运算放大器的 应用	120	第五节 常用的数字电路元器件	135
本章小结	122	第六节 应用举例	141
习题	122	本章小结	144
		习题	145
		参考文献	147

第一章 直流电路

【学习目标】

能力目标：

- 能说出汽车常用线束的规格和组成。
- 能分清电阻和电容的类型并能读出相应的数值。
- 能应用基尔霍夫定律列写电路的节点电流方程和回路电压方程。
- 能应用戴维南定理求解电路中的电流。

知识目标：

- 了解直流电源的种类及其主要参数。
- 理解电路的组成和电路中电流、电压、功率、正方向等基本概念。
- 了解汽车常用线束的规格、组成及色标标准。
- 理解电源三种工作状态的特点。
- 掌握欧姆定律。
- 掌握电路中电阻元件的基本特性和应用。
- 掌握基尔霍夫定律和戴维南定理的内容及其应用。
- 掌握电路中电容元件的基本特性和应用。
- 了解电路中电感元件的基本特性和应用。

直流电路是电工电子技术的基础，本章主要介绍直流电路的基本概念、基本定律和电路主要的分析方法。汽车的用电系统都是采用直流电，掌握直流电路的基本概念、基本定律和基本分析方法对以后正确识读、分析和检测汽车的各部分电路的情况是非常重要的。

第一节 直流电源及参数

一、直流电源

直流电源按习惯可分为化学电源，线性直流稳定电源和开关型直流稳压电源。

1. 化学电源

化学电源又称电池，是一种能将化学能直接转变成电能的装置，在国民经济、科学技术、军事和日常生活方面均获得广泛应用。

化学电源使用面广，品种繁多，按照其使用性质可分为两类：干电池、蓄电池、燃料电池。按电解质性质分为碱性电池、酸性电池和中性电池。平常所用的干电池、铅酸蓄电池等均属于这一类电源。

汽车电源一般为铅酸蓄电池，它的电源电压有 12V 和 24V 两种。它的作用是：

- 1) 起动发动机时，给起动机提供强大的起动电流（一般为 200~600A）。
- 2) 当发电机过载时，可以协助发电机向用电设备供电。
- 3) 当发动机处于怠速时，向用电设备供电。
- 4) 当发电机端电压高于铅蓄电池的电动势时，将一部分电能转变为化学能储存起来，也就是进行充电。

可见蓄电池在汽车中也占有很重要的作用，日常的定期维护和合理使用对其使用寿命影响很大。

2. 线性直流稳定电源

线性直流稳定电源的特点就是它的功率调整管工作在线性区，靠调整管之间的电压降来稳定输出。由于调整管静态损耗大，需要安装一个很大的散热器给它散热。而且由于变压器工作在工频（50Hz）上，所以重量较大。

这类电源的种类很多，根据不同的依据可以做如下分类：

1) 从输出性质可分为稳压电源和稳流电源及集稳压、稳流于一身的稳压稳流（双稳）电源。

2) 从输出值来看可分为定点输出电源、波段开关调整式电源和电位器连续可调式电源。

3) 从输出指示上可分为指针指示型和数字显示型。

该类电源优点是稳定性高，纹波小，可靠性高，易做成多路、输出连续可调的成品。缺点是体积大、较笨重、效率相对较低。

3. 开关型直流稳压电源

开关电源是相对线性电源而言的，它的输入端直接将交流电整流变成直流电，再在高频振荡电路和高频变压器的作用下，输出稳定的直流电压。它和线性电源的根本区别在于其变压器不工作在工频而是工作在几十千赫兹到几兆赫兹。功能管工作在饱和区或截止区，即功能管处于开关状态。

开关电源的优点是体积小，重量轻，稳定可靠；缺点是相对于线性电源来说纹波较大，功率可从几瓦到几千瓦。

汽车的主要电源发电机就是类似这种电源，汽车交流发电机发出的交流电经整流器后变成直流电，根据汽车运行情况，通过调节器适时调整输出电压，保证输出电压的稳定，这样得到的直流电供汽车各个用电设备正常工作，同时也向蓄电池充电。

二、直流电源的主要参数

1. 输出额定电压

在汽车电路中常见的直流电源电压等级为 12V 或 24V。

2. 输出额定电流

常见的电源电流等级有 6A、10A、12A、20A 等。

3. 额定容量

对于汽车铅蓄电池来说，额定容量是指用设定的电流把电池放电至设定的电压所经历的时间和这个电流的乘积，单位为：安·时（A·h）。常见的汽车电源的额定容量等级有 10A·h、24A·h、50A·h、65A·h、100A·h、120A·h、150A·h、200A·h 等。

4. 其他参数

直流电源的其他参数还有稳压精度、稳流精度、纹波系数、整机噪声、允许温升等。

随着汽车产业的逐步发展，现代汽车更注重车载电子系统的功能化、舒适化及智能化，除应具备富有现代感与个性化的外表，其先进的电子设备逐渐成为人们日益关注的热点，如车载雷达导航与卫星定位系统、移动天线系统、可视电话系统、智能电脑系统、网络控制系统、车载防盗系统、电子燃油喷射系统、高级立体声音响系统、自动空调系统、安全气囊、照明系统等各种电子设备。这些电器设备的增加，要求电源提供更高的能量，而传统的 12V 汽车电源系统只能产生 3kW 的动力，已难以满足。从技术的角度，现在提出两种方案来解决此问题，一种是全车 42V 单电源方案，另一种是一部分电路采用 12V 电源，一部分采用 42V 电源的双电源方案。

第二节 电路及基本物理量

一、电路

1. 电路的组成

电路是由电器设备和电器元件组成的，当电路中有电流通过时，就可以进行电能和其他形式能量的转换或电能的传输和分配。

以汽车转向信号指示灯电路为例来介绍一下电路的基本组成，电路图如图 1-1 所示。蓄电池的正极与熔断器、开关连接，开关接转向灯，转向灯通过底盘地线后接蓄电池负极。闭合开关后，电流通过由电源正极、导线、熔断器、开关（包括点火开关、转向开关、闪光器）、灯泡、地线、电源负极形成的闭合路径，使转向灯发光。

由此可见，一个完整的电路应具有电源、负载、中间环节（导线或电缆、开关、熔断器）三部分。

汽车电路有很多，如果从负载引出的回路都要通过导线直接连接到电源的负极接线端上，那么电源上的导线就会有上百条之多。为了节约电线材料和安装方便，一般汽车电路都采用单线制，即电源的正极线直接与各用电设备连接，电源的负极线直接搭在车架金属机件上，用电设备的负极线也就近搭在车架金属机件上，利用发动机和汽车底盘（梁架）的金属体作公共通道。

2. 电路模型

在实际电路中，电器设备和电器元件的电磁关系是非常复杂的，为了研究的方便，通常所说的电路是把实际电路中的电器设备和元件理想化后的结果，即用理想电路元件及其组合来代替实际电路中的电器设备和电器元件。这种用理想元件及其组合构成的电路就是电路模型，以后所研究的电路均为实际电路的电路模型。

基本的理想电路元件分为有源元件和无源元件两种。有源元件有电压源和电流源。无源

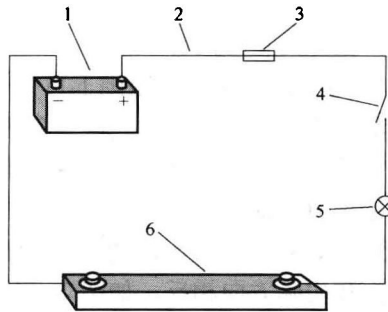


图 1-1 汽车基本电路组成

1—电源 2—导体 3—熔断器
4—开关 5—负载 6—底盘地线

元件有电阻、电感、电容。它们的电路模型如图 1-2 所示。

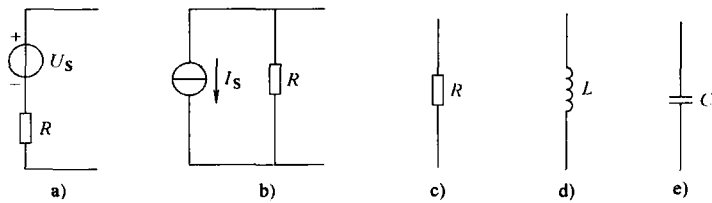


图 1-2 理想电路元件的电路模型
a) 电压源 b) 电流源 c) 电阻 d) 电感 e) 电容

二、基本物理量

1. 电流

电荷的定向移动形成了电流，按电工学的国际惯例，以正电荷的移动方向作为电流方向。其计算公式为

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

电流的国际制单位是安培 (A)，实际中常用到的其他电流单位还有 kA、mA、 μ A 等。在复杂电路中，经常不能事先判断出电路中电流的实际方向，故引入了参考方向这一概念，也称为正方向。

电流的参考方向原则上可以任意假设，可以用箭头或双下标来表示。但是参考方向假设好后，相关的计算要严格遵守，如果通过计算得出的电流是正值，即 $i > 0$ ，则表示参考方向和实际方向一致；如果计算得出的电流是负值，则表示参考方向和实际方向相反，如图 1-3 所示。

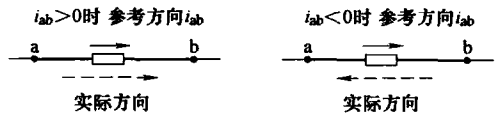


图 1-3 电流的实际方向和参考方向

2. 电压

通过电场力将单位正电荷从电路中 a 点移动到 b 点所做的功等于电路中 ab 两点之间的电压，即

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq} \quad (1-2)$$

电压的国际制单位是伏特 (V)，常用到的其他单位有千伏 (kV)、毫伏 (mV)。

电压的实际方向规定为由高电位 (+ 极性) 端指向低电位 (- 极性) 端，即电位降低的方向。

两点间电压的参考方向也可以任意假设，用箭头、双下标或正负极表示。而电压参考方向和实际方向的关系同电流，如图 1-4 所示。

一般的情况下，为了计算方便，假设电流的参考方向和电压的参考方向是一致的，称这样的参考方向为关联参考方向，简称关联方向。

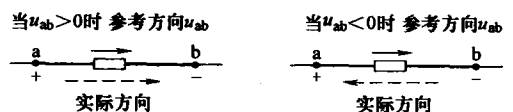


图 1-4 电压的实际方向和参考方向

3. 电功率

电能量对时间的变化率就是电功率，即

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1-3)$$

功率的国际制单位是瓦特 (W)，常用的其他单位有千瓦 (kW)、毫瓦 (mW)。

在实际计算中，通常用公式 $P=UI$ 来计算。

当元件的实际电流和电压方向与参考方向一致时，如果 $P=UI>0$ ，则表示元件吸收功率，此元件可以认为是负载。如果 $P=UI<0$ ，则表示元件发出功率，此元件可以认为是电源。

蓄电池作为一种汽车电源，在发电机向其充电时，作为发电机的负载，向发电机吸收功率。在汽车怠速时，蓄电池作为电源为汽车的电器设备提供电能，故一个电器元件在电路中是电源还是负载是相对的。

第三节 欧姆定律及电源的三种状态

一、欧姆定律

1. 部分电路的欧姆定律

部分电路欧姆定律是电路的基本定律之一，其具体内容是：流过电阻电流的大小与电阻两端的电压成正比，与电阻的大小成反比。

但是在引入了参考方向的概念后，欧姆定律的表达形式为

$$U = \pm IR \quad (1-4)$$

当电流和电压为关联方向时取正号，否则取负号，如图 1-5 所示。

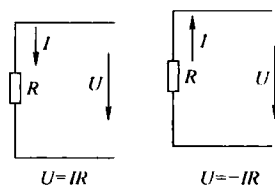


图 1-5 欧姆定律

注意：1) 应用欧姆定律时，先判断电流和电压是否为关联方向。

2) 式 (1-4) 中包含两套正负号，一个是公式本身的正负号，另一个是电流和电压本身有正负的区别。

2. 全电路欧姆定律

电路图如图 1-6 所示，开关闭合后，电流流通负载电阻和内电阻，负载电阻和内电阻是串联的关系。

电路中的电流为

$$I = \frac{U_s}{R_L + R_0} \quad (1-5)$$

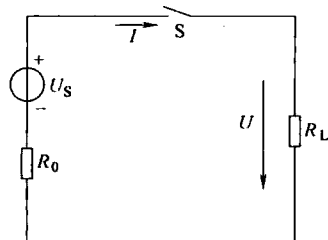


图 1-6 简单的全电路

式 (1-5) 表明：在全电路中，电路的电流与电源的电动势成正比，与电路中的总电阻（内电阻和外电阻之和）成反比。

二、电源的三种工作状态

现以最简单的直流电路为例，讨论电源的有载、开路（断路）、短路三种工作状态的电

流、电压、功率情况。

1. 电源的有载工作状态

电路如图 1-6 所示, 当开关 S 闭合后, 电源和负载之间形成闭合路径, 电源向负载提供能量。电源有载工作时的特点是:

1) 电路中的电流为

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R_L}$$

2) 电源的端电压为

$$U = IR = U_s - IR_0$$

3) 电路中功率的关系

$$UI = U_s I - I^2 R_0, \text{ 即 } P = P_e - P_0$$

2. 电源的开路状态

在图 1-6 的电路中, 开关断开时, 电源处于开路状态, 即电源和负载之间没有形成闭合路径。电源开路时的特点是:

1) 电路中电流为

$$I = 0$$

2) 电源端电压为

$$U = U_s$$

3) 电源向外提供的功率为

$$P = 0$$

3. 电源的短路状态

在图 1-6 的电路中, 当电源的两端直接连接在一起时, 电源处于短路状态。电源短路时的特点是:

1) 电路中的电流为

$$I = I_s = \frac{U_s}{R_0}$$

2) 电源的端电压为

$$U = 0$$

3) 电源向外提供的功率为

$$P_e = P_0 = I^2 R$$

4) 负载消耗的功率为

$$P = 0$$

由上式可见, 短路时电路中的电流很大, 会缩短电源或其他电器设备的使用寿命, 甚至烧毁电源和电器设备, 是一种非常严重的事故, 应尽量避免。为了防止短路事故引起的严重后果, 在电路要加适当的保护措施, 通常加熔断器 (俗称保险), 汽车电路中也可加易熔线。

第四节 常用汽车电线

汽车内部环境复杂,包括高温、寒冷、摩擦、振动、有机溶剂、易燃品和干扰噪声等各种因素,根据敷设位置、功能需要要求电线具有耐热、耐寒、耐油、耐磨和阻燃等各种性能。因此,汽车电线与普通家用电线是不一样的。普通家用电线是铜质单芯电线,有一定硬度。而汽车电线都是铜质多芯软线,有些软线细如毛发,几条乃至几十条软铜线包裹在塑料绝缘管(聚氯乙烯)内,柔软而不容易折断。

一、汽车常用电线的规格

为了便于安装、维修,确保电气设备能在最恶劣的条件下工作,将全车各电气设备所用的不同规格、不同颜色的电线通过合理的安排,将其合为一体,并用绝缘材料把电线捆扎成束,这样既完整,又可靠。线束的形式基本上是一样的,都由电线、接插件和包裹胶带组成。常见的汽车线束如图 1-7 所示。

汽车线束内的电线常用规格有标称截面积 0.5mm^2 、 0.75mm^2 、 1.0mm^2 、 1.5mm^2 、 2.0mm^2 、 2.5mm^2 、 4.0mm^2 、 6.0mm^2 的电线。它们各自都有允许负载电流值,配用于不同功率的用电设备。以整车线束为例, 0.5mm^2 规格线适用于仪表灯、指示灯、门灯、顶灯等; 0.75mm^2 规格线适用于牌照灯,前后小灯、制动灯等; 1.0mm^2 规格线适用于转向灯、雾灯等; 1.5mm^2 规格线适用于前照灯、喇叭等;主电源线例如发电机电枢线、搭铁线等要求 $2.5\sim 4\text{mm}^2$ 电线。这只是指一般汽车而言,关键要看负载的最大电流值,例如蓄电池的搭铁线、正极电源线则是专门的汽车电线,单独使用,它们的线径都比较大,起码有十几平方毫米以上,这些“巨无霸”电线就不会编入主线束内。

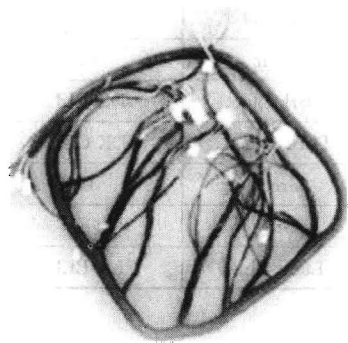


图 1-7 汽车线束

二、常用汽车电线束的组成

汽车电线包括驱动系统电缆,如电池引线电缆、点火线、油泵电缆;通信系统电缆和线束复用系统电缆,如音响线、车载电话线、多模光纤;安全系统电缆,如防抱死制动系统(ABS)电缆、制动磨损监测电缆(使用温度 $-60\sim +260^\circ\text{C}$);舒适系统电缆,如汽车空调线、座椅调节和温控电缆等。

汽车线束包括主线束及分支线束。整车主线束一般分成发动机(点火、电喷、发电、起动)、仪表、照明、空调、辅助电器等部分。一条整车主线束有多条分支线束,就好像树干与树枝一样。整车主线束往往以仪表板为核心部分,前后延伸。由于长度关系或装配方便等原因,一些汽车的线束分成车头线束(包括仪表、发动机、前灯光总成、空调、蓄电池)、车尾线束(尾灯总成、牌照灯、行李箱灯)、篷顶线束(车门、顶灯、音响喇叭)等。线束上各端头都会打上标志数字和字母,连接到对应的电线和电气装置上。

三、汽车电线的颜色标注

为了便于识别和维修，电线束中的电线采用了不同的颜色。在电路图中为了标注方便常用字母表示，如：WH——白色，R——红色，WH/R——白/红（白为主色，红为辅色的双色线），各种类电路图颜色代号大致相近，各图略有区别。汽车常用电线颜色的标准见表 1-1。

表 1-1 汽车常用电线颜色标准

线 色	常用缩写	中 文	线 色	常用缩写	中 文
Black	B	黑色	Light Green	LT GRN	浅绿
Blue	BL	蓝色	Orange	O	橙色
Brown	BR	棕色	Pink	P	粉红
Clear	CL	透明	Purple	PP	紫色
Dark Blue	DK BLU	深蓝	Red	R	红色
Dark Green	DK GRN	深绿	Tan	T	褐色
Green	G	绿色	Violet	V	粉紫
Gray	GR	灰色	White	W	白色
Light Blue	LT BLU	浅蓝	Yellow	Y	黄色

第五节 电阻元件及其连接

一、电阻元件

电阻元件是代表消耗电能的理想电路元件，有阻碍电流流动的功能，单位是欧姆（ Ω ）。按照流经其电流和电压的关系可分为线性电阻和非线性电阻两种。

线性电阻：在一定条件下，流经一个电阻的电流与电阻两端的电压成正比，其电阻值为常数，且电阻、电流、电压之间符合欧姆定律。

非线性电阻：电阻两端的电压与通过它的电流不是线性关系称为非线性电阻，其电阻值不是常数。

一般常温下金属导体的电阻是线性电阻，在其额定功率内，其伏安特性曲线为直线。而热敏电阻、光敏电阻等，在不同的电压、电流下，电阻值不同，伏安特性曲线为非线性。

汽车电路中主要使用以下四种电阻：定值电阻、步进电阻或抽头电阻、可变电阻、特殊电阻。

1. 定值电阻

定值电阻的电阻值是固定的，并以欧姆为单位标定。它用于降低电路中的电压或限制电流。定值电阻可根据其用途装在某一部件里或接在电路上。

电阻线用于向一已知负载提供预定电压。电阻线的规格是以每英尺（1ft=0.3048m）多少欧姆来表示，所以电阻线的长度对整个系统的工作十分重要。电流通过电阻线时，电压会因电阻降低。可根据检测出的电压降的情况，来执行预先设定的反应措施。其典型应用是车

灯故障警告系统。

注意：电阻线和易熔线十分相似，都连接于导线之间。不要将电阻线代替易熔线。电阻线一般比易熔线长，并标有“电阻—不可切断或并接”（RESISTOR—DO NOT CUT OR SPLICE）字样。

2. 步进电阻

步进电阻具有两个或两个以上供选择的固定电阻值，将导线连接到电阻器上不同的抽头接线端，就可获得几种不同的电阻值。风机上用的电阻就属于这一类电阻，选择风机风量控制按钮，可增加或减少风机串联电路中的电阻，可增加或减小风机的电流。

3. 可变电阻

可变电阻利用两个或多个锥管和一个滑臂可获得一定范围内的电阻值。转柄电阻器是可变电阻的一种形式。仪表板的照明控制和收音机的音量控制都是可变电阻在汽车上应用的例子。转柄电阻器中，电流从电源进入电阻线圈，然后从线圈上的滑臂输出。滑臂离电压源越远，输出电压也就越低。

另一种可变电阻叫电位器。它的工作原理同转柄电阻器相同，所不同的只是增加了第三条支路。电流通过电阻线圈接地。滑臂依其在电阻线圈上的位置产生一个介于源电压和零电压之间的输出电压。这类装置常用于电控系统，用于检测某一机械部件的运动状况。如果把滑臂作为电压的输入端，电阻线圈两端的输出电压将取决于滑臂的所在位置。当滑臂位于电阻的中间位置，两端的输出相同。滑臂不在中间位置时，高电刷最近的一端将获得较高的电压输出。

4. 特殊电阻

(1) 热敏电阻 一般把金属氧化物陶瓷半导体材料经成形、烧结等工艺制成的测温元件称为热敏电阻（有一部分热敏电阻由碳化硅材料制成）。在工作温度范围内，其电阻值随温度升高而增加的热敏电阻称为正温度系数（PTC）热敏电阻；其电阻值随温度升高而减少的热敏电阻称为负温度系数（NTC）热敏电阻。在临界温度时，其阻值发生跃变的称为临界温度热敏电阻（CTR）。汽车上装有很多热敏电阻式温度传感器，常用于检测冷却液、润滑油的温度，其中用得最多的是冷却液温度表以及电喷发动机的冷却液温度传感器。

(2) 压敏电阻 压敏电阻的压力转换元件——硅膜片，其变形与压力成正比，利用电桥将硅膜片的变形转换成电信号。利用压敏电阻制成的半导体压敏电阻式进气压力传感器具有尺寸小、精度高、成本低及响应性好、再现性好、抗振性好等优点，在当今汽车发动机电子控制系统中应用较为广泛。

(3) 光敏电阻 光敏电阻的电阻率对某段波长的照度变化很敏感，当照度增加时，电阻率急剧减小，电阻可小到几百欧。在完全无光照时，光敏电阻的电阻值很大，可达几兆欧。它可以用于汽车上各种灯具亮灯、熄灯的自动控制。

二、电阻元件的连接

在电路中，电阻的连接形式多种多样，其中最基本的连接形式有两种：串联和并联。

1. 电阻的串联

两个电阻之间按照顺序依次连接在一起，即首尾相接，并且每一个电阻中通过的电流都相同，这样的电阻连接形式称为串联。具体连接方式如图 1-8a 所示。

(1) 采用串联方式连接的电阻电路具有如下特点:

1) 流过每个元件的电流相同。

2) 串联后的总等效电阻等于分电阻之和, 即

$$R_{\text{总}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (1-6)$$

3) 电路的总电压等于分电压之和, 即

$$U_{\text{总}} = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (1-7)$$

4) 每一个电阻上的电压与电阻的关系为

$$U_n = \frac{U_{\text{总}}}{R_{\text{总}}} R_n \quad (1-8)$$

5) 电路中的一个电阻损坏后, 电路断路, 其他电阻不能正常工作。

(2) 串联电路的应用 根据电阻串并联电路的基本特点, 实际中可以利用这种连接形式增加电路的电阻, 在电压一定的情况下, 限制电路中的总电流; 也可以利用串联分压的特点, 做成分压器; 或者在仪器仪表中用于扩大电压表的量程。

2. 电阻的并联

两个或多个电阻以首和尾分别相接, 使每个电阻上的电压都相同的连接形式称为电阻的并联。具体连接形式如图 1-8b 所示。

(1) 采用并联方式连接的电路具有如下特点:

1) 每个元件两端的电压相同。

2) 并联后的总电阻的倒数等于分电阻倒数之和, 即

$$\frac{1}{R_{\text{总}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (1-9)$$

讨论: 当分电阻都等于 R 时, 并联电路的总电阻为 $R_{\text{总}} = \frac{1}{n}R$ 。

3) 电路的总电流等于分电流之和, 即

$$I_{\text{总}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (1-10)$$

4) 电路分电流与总电流的关系

$$I_n = \frac{R_{\text{总}}}{R_n} I_{\text{总}} \quad (1-11)$$

5) 电路中的一个电阻损坏后, 其他电阻仍然可以正常工作。

(2) 并联电路的应用 根据电阻并联电路的基本特点, 对于额定电压相同的元器件, 都可以采用并联的接法, 而且相互之间并不影响。汽车的各个用电系统都采用并联的连接方式, 如照明系统中的前照灯、防雾灯、外部照明灯、内部照明灯等之间都是并联连接。当然

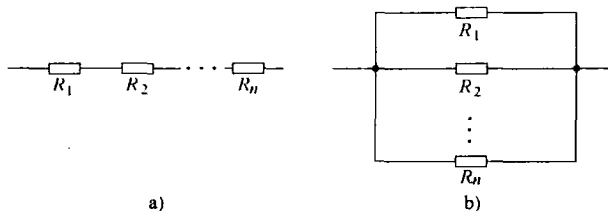


图 1-8 电阻的连接方式

a) 串联 b) 并联