

AUTOMOTIVE ELECTRICAL AND ELECTRONIC

汽车电气与电子系统

[美] Barry Hollembeak等 著
韦焕典 卢勇威 主编

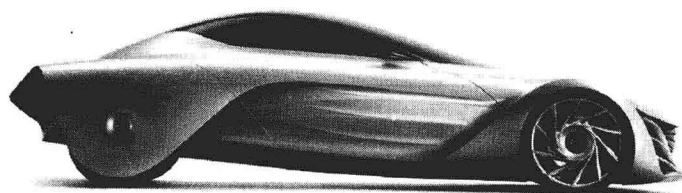


北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

国际高等教育精品教材引进项目

汽车电气与 电子系统



[美] Barry Hollembeak 等 著

韦焕典 卢勇威 主 编

廖建辉 程 艳 副主编

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书系统地介绍了汽车电气和电子技术,并与当今汽车新技术相衔接,内容着重于汽车电子元件及系统电路的识图和分析、电气原理、当今新技术。该书的特点是覆盖面广、实用性强、循序渐进、图文并茂,与新技术相衔接,通俗易懂,既适用于入门者,又适用于深入者。

本书可作为高等院校教材使用,也可供相关行业从业人员及各阶层人士参考使用。

automotive electrical and electronic

Barry Hollembeak 等 著, 韦焕典 卢勇威 主编

ISBN: 9781424075638

Copyright © 2011 Cengage Learning Asia Pte Ltd.

Beijing Institute of Technology Press is authorized by Cengage Learning to publish and distribute exclusively this textchoice edition. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only (excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan). Unau-
thorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any
means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

此客户定制版由圣智学习出版公司授权北京理工大学出版社独家出版发行。此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括
中国香港、澳门特别行政区及中国台湾)销售。未经授权的本书出口将被视为违反版权法的行为。未经出版者预先书面
许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Cengage Learning Asia Pte Ltd

151 Lorong Chuan, #02 -08 New Tech Park, Singapore 556741

本书封面贴有 Cengage Learning 防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2010-0499 号

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

汽车电气与电子系统 / (美) 霍莱姆比克等著; 韦焕典, 卢勇威主
编. —北京: 北京理工大学出版社, 2011. 12

ISBN 978 - 7 - 5640 - 5324 - 6

I. ①汽… II. ①霍…②韦…③卢… III. ①汽车 - 电气设备②汽
车 - 电子系统 IV. ①U472.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 250461 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

刷 / 北京高岭印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 18.75

字 数 / 434 千字

版 次 / 2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2500 册

定 价 / 55.00 元

责任编辑 / 张慧峰

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题,本社负责调换

出版说明

CHUBANSHUOMING

近年来，随着我国汽车保有量的迅猛增长，汽车维修技术人员存在很大的缺口。为此，教育部、交通运输部根据汽车维修业的实际情况，制定了汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养计划，着重培养汽车维修技术人员，力求缩小汽车服务业，特别是汽车维修业，在服务理念、服务设施、维修技术等方面与消费者需求上的差距。

随着世界经济一体化进程的不断推进，我国高等教育的国际化趋势越发明显。引入国际先进的教育理念、教学体系、教学内容和管理经验，大力改造人才培养模式，已经成为高等教育进一步发展的主要内容，引进相应教学产品的需求也显得更加迫切。为贯彻“服务教师、服务学校”这一高等教育研究与出版工作的永恒主题，北京理工大学出版社充分认识到高等教育出版国际化的重要性，积极探索为高等教育提供更高水准的服务与产品，与美国圣智学习出版集团（Cengage Learning，原汤姆森学习出版集团）展开战略合作，引进并改编了美国圣智学习出版集团“Today's Technician”系列教材（美国汽车维修资格认证协会（National Institute for Automotive Service Excellence，缩写为 ASE）考试指定用书），力求将国际化的教育教学理念、教学体系、教学手段引入国内高等院校。

ASE 成立于 1972 年，是一家非营利性组织，其颁发的 ASE 证书是世界上最具影响力的汽车行业资格认证证书。美国汽车维修资格认证协会通过汽车维修技师考试和认证来正确评价维修技师的知识和能力，提高汽车维修和服务质量。ASE 证书的持有人作为汽车行业的技术领袖及技术骨干，被遍及全美各地的 4S 服务站、大型汽车售后服务企业、专业的汽车机械设备经销商以及汽车类技术学院等机构所青睐。ASE 资格认证证书享有良好声誉的最重要原因是，其持有人掌握了作为一个高技能专业维修技师应具备的专业知识和技能。“Today's Technician”系列教材作为美国 ASE 考试指定用书，具有较高的认可度及知名度。

“Today's Technician”系列教材经国内优秀教师改编、知名学者和行业专家主审后，由北京理工大学出版社携手全球著名教育出版机构——美国圣智学习出版集团作为“汽车类引进版国际教育教学与出版项目”重点推出。首批确定出版以下十本：《汽车发动机构造与维修》、《汽车底盘构造与维修》、《汽车电气构造与维修》、《汽车发动机电子控制技术》、《汽车底盘电子控制技术》、《汽车空调结构与维修》、《汽车车身电子控制技术》、《汽车电

工与电子》、《汽车新技术》及《汽车概论》。本系列教材在改编过程中,充分考虑汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训计划的要求,顺应高等教育的发展趋势,配合高等院校的教学改革,体现高等教育思想和教学观念的转变,结合高等教育的教学特点,面向学生的就业岗位,注重基本技能的培养。

本系列教材配有原版插图、表格和大量的图片资料,介绍了大量的故障诊断案例。改编后,在吸收了国外先进教学理念和编写模式的基础上,完成了全套教材的本土化改造,在内容上强调面向应用、任务驱动、精选案例、严把质量;在风格上力求文字精练、脉络清晰、图表明快、版式新颖;在理论阐述上,遵循“必需”、“够用”的原则,在保证知识体系相对完整的同时,做到知识讲解实用、简洁和生动。改编后的教材既适合于国内高等教育现状,同时又顺应我国高等教育面向就业、注重操作、培养高素质应用型人才改革思路。

本套教材在编写上有如下特色:

- 以培养综合职业能力为目标
- 基于岗位技能、面向工作过程
- 引进国际化教育的先进教学理念
- 采用国际化教材的优秀编写模式
- 附有强化实践技能的工作表单或工作页
- 配有真实案例和 ASE 考试复习题
- 内容详实、图例丰富、难易适中

本系列教材结构体系严整,同时又不失灵活性。各章对操作安全和从业安全规范均做重点强调,使学生在学期间即可掌握安全、合理的工作规范。内容安排充分考虑职业技能和素质的养成规律,逐步引导学生掌握汽车各总成维修中正确的诊断程序和具体的维修操作方法等。各章节的总结和启发性提问,对培养学生独立思考和解决实际问题的能力大有裨益。此外,各章结尾还附有 ASE 考试题型和答案,可供学生自学。

本系列教材适合高等院校汽车类相关专业的学生使用,也可作为相关行业从业人员的培训和参考用书。

北京理工大学出版社

前言

QIAN YAN

汽车作为人类文明发展的标志，从 1886 年诞生到今天，已有 100 多年的历史。科学技术的发展，尤其是广泛应用电子技术，使汽车发生了质的变化。今天的汽车已由简单的机械控制发展为由几十台电脑，几百个传感器组成的集计算机技术、光纤传输技术、新材料、新工艺、新结构为一体的高科技集成物，它从动力性、经济性、排放性、安全性、舒适性等各方面进入了智能化、个性化控制的高级阶段。汽车工业是国家支柱产业，涉及众多的工业门类，成为代表一个国家工业水平的重要标志。随着汽车工业的发展，汽车产量逐年增多，汽车保有量急剧上升，汽车生产市场蓬勃发展伴随着汽车售后服务市场既是巨大的压力和挑战，同时也是机遇和发展，面临的是先进的汽车技术，车型和品种繁多，多元化、多层次、竞争力强的市场经济。目前，在新的汽车维修行业标准中，已把电子化检测装备列入法规的要求。在维修作业中广泛地应用电子技术。而电子技术应用的普及，目前我国维修行业暂时还处于薄弱时期，鉴于此背景，为了提高维修行业维修人员的技术素质，普及电子技术，我们主编了《汽车电气与电子系统》教材，详细而系统介绍汽车电气和电子技术，由浅入深，尽可能地与当今汽车新技术相衔接，内容着重在了解汽车电子元件及系统电路的识图和分析、电气原理、当今新技术。该书的特点是覆盖面广、实用性强、循序渐进、图文并茂、与新技术相衔接、通俗易懂，既适用于入门者，又适用于深入者，可作为大中专、技校、职校教材之用和维修专业、热爱本专业各阶层人员参考工具书，本书相关参考资料可以在北京理工大学出版社网站上查询。

在编写的过程中引用了一些参考文献和资料，在此向这些作者表示衷心的感谢和敬意，本教材由广西职业技术学院讲师封宇、罗云芳同志插图，并得到广西职业技术学院副教授韦禄民的关心和支持，以及得到广西职业技术学院李显圣、明鑫、蒋思中三位讲师许多帮助，本书完稿后经过广西职业技术学院汽车教研室全体同仁们集体审阅，在此对以上专家表示深深的谢意，由于时间仓促和水平有限，书中难免有错漏之处，敬请各位专家，读者批评指正，编者不胜感激。

编 者

目录

MULU

► 第1章 电的基本知识	1
1.1 概述	1
1.2 电的基本概念	2
1.3 电源的联接	4
1.4 电阻的联接	5
1.5 电容器	6
1.6 电功率	8
1.7 电路的基本定律和原理	8
1.8 戴维南定理	10
1.9 惠斯登电桥	11
1.10 电磁理论	12
1.11 电磁干扰的抑制	13
1.12 电气与电子技术的新发展	14
1.13 小结	15
► 第2章 汽车电路与分析	16
2.1 概述	16
2.2 现代汽车全车电路的组成	17
2.3 汽车电路的设计原则	18
2.4 汽车电路的构成原则	18
2.5 汽车电路的特点	18
2.6 汽车电路工作状态	19
2.7 汽车电路图的种类	20
2.8 中央控制盒	23
2.9 汽车电路原理图常用图形符号	23
2.10 汽车电路的识读	26
2.11 小结	30

► 第3章 传感器及信号装置	32
3.1 概述	32
3.2 空气流量计 (L 型)	33
3.3 进气歧管压力传感器 (D 型)	33
3.4 进气温度传感器	34
3.5 水温传感器	34
3.6 节气门位置传感器	35
3.7 曲轴位置传感器	35
3.8 氧传感器	35
3.9 爆震传感器 (KNK)	36
3.10 点火开关信号	38
3.11 启动信号 (STA)	38
3.12 空挡启动开关信号 (NSW)	38
3.13 空调信号 (A/C)	39
3.14 小结	39
► 第4章 汽车电气元件	40
4.1 概述	40
4.2 电气元件	40
4.3 集成电路	75
4.4 电路保护元件	80
4.5 显示器件	81
4.6 汽车专用模块	82
4.7 汽车专用电子组件	84
4.8 小结	88
► 第5章 启动系统	90
5.1 概述	90
5.2 起动机的组成、类型及型号	91
5.3 起动机用的直流电动机	98
5.4 直流电动机的工作原理	103
5.5 起动机启动机构	104
5.6 起动机控制电路元件	110
5.7 起动机使用注意事项	120
5.8 启动系统的新技术	120
5.9 小结	122

► 第6章 充电系统	124
6.1 概述	124
6.2 工作原理	125
6.3 交流（AC）发电机	127
6.4 交流（AC）发电机主要部件	129
6.5 交流（AC）发电机电路	139
6.6 交流发电机工作原理	140
6.7 整流原理	143
6.8 交流发电机的工作特性	146
6.9 电压调节	147
6.10 充电系统的新技术	151
6.11 常见车型充电电路系统	159
6.12 充电系统的新技术	171
6.13 小结	171
► 第7章 照明电路系统	174
7.1 概述	174
7.2 车灯	174
7.3 照明系统控制电路	178
7.4 前照灯电路	181
7.5 外部照明	184
7.6 照明系统的复杂性	201
7.7 计算机控制的隐藏式前照灯	204
7.8 前照灯自动变光	208
7.9 自动开灯/延时关灯系统	213
7.10 进门照明系统	217
7.11 仪表板亮度的调节	219
7.12 光导纤维	219
7.13 前照灯调平	224
7.14 白天运行灯	224
7.15 照明系统新技术	226
7.16 常见车型照明系统电路图	230
7.17 小结	241
► 第8章 车身计算机介绍	243
8.1 概述	243

8.2	模拟与数字电路原理	245
8.3	二进制数字	248
8.4	信号调节与转换	250
8.5	中央处理器	251
8.6	计算机内存	252
8.7	适应策略	254
8.8	信息处理	254
8.9	逻辑门	254
8.10	输入	260
8.11	输出	262
8.12	传感器	263
8.13	“多路”系统	270
8.14	小结	271
►	第9章 汽车通信网络	273
9.1	概述	273
9.2	多路复用通信协议	274
9.3	ISO9141 - 2 协议	274
9.4	ISO14230 - 4 协议	275
9.5	J1850 协议	275
9.6	J2284/ISO15765 - 4 协议	276
9.7	多路复用系统	276
9.8	小结	287
►	参考文献	289

1

第 1 章



电的基本知识

1.1 概 述

电学是一门研究电的自然规律及其应用的科学。电能不但在工业、农业、国防、科学技术等方面广泛应用，而且在人们的日常生活中应用也日趋广泛。掌握电路的基础知识和基本技能，就能更好地运用电能和对机电一体化设备的电气系统故障进行分析、诊断、排除、处理。当今汽车中使用的电气系统是非常复杂的（如图 1-1 所示），出现的故障也是多种多样的。然而，应用电路的基础知识和基本原理就可以简化并诊断电气故障问题。在本章，将学习电路的基础知识和基本原理，由于磁和电是紧密联系的，本章也介绍电磁感应的原理。

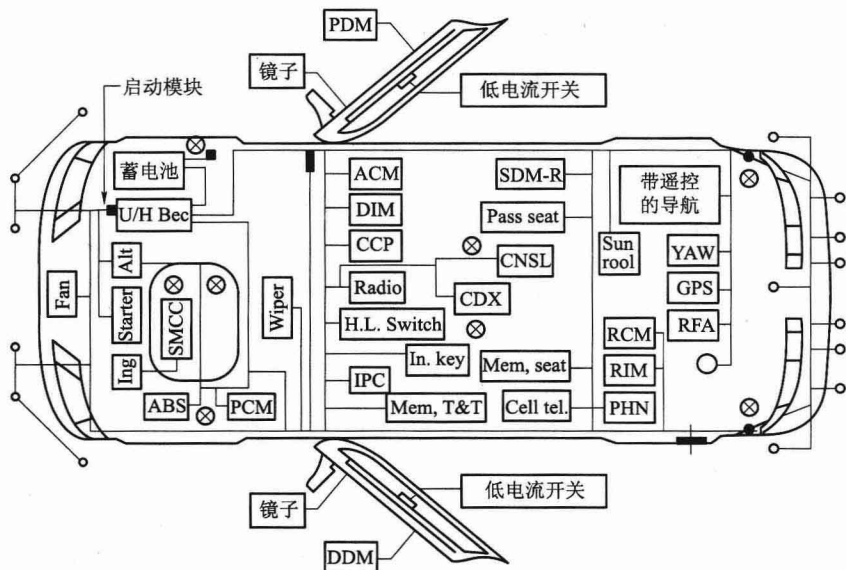


图 1-1 复杂的汽车电气系统

1.2 电的基本概念

1.2.1 电场

两个物体间的相互作用，有两种情况：一种是由于直接接触而产生，另一种是通过别的物质做媒介产生，二者必居其一。两个电荷发生相互作用时，并没有直接接触，因此，它们间的相互作用一定是通过别的物质做媒介而发生的，这个特殊物质就是电场。电荷和它周围的电场是一个统一的整体。电荷的周围存在着电场。静止电荷所产生的电场，叫做静电场。

电场具有两种重要特点：

- (1) 位于电场中的任何带电体都会受到电场的作用力。
- (2) 带电体在电场中受电场力移动时，电场要做功，这表明电场具有能量。

1.2.2 电流

水往一定方向流动，称为水流。同理，电荷在电场力的作用下定向移动就形成电流。电流强度是衡量电流大小的物理量，电流的大小取决于一定时间内通过导体截面的电荷量的多少，并规定正电荷移动的方向为电流强度的方向。

直流电，指大小和方向不随时间而变的电流，例如，干电池、蓄电池和直流发电机所产生的电流。

交流电，指大小和方向都随着时间变化的电流，例如，交流发电机发出的电流是交流电。

电流强度的单位是安培，简称“安”，常用“A”表示。对于较小电流称为“毫安”，常用“mA”表示。电流强度有时又简称为电流。

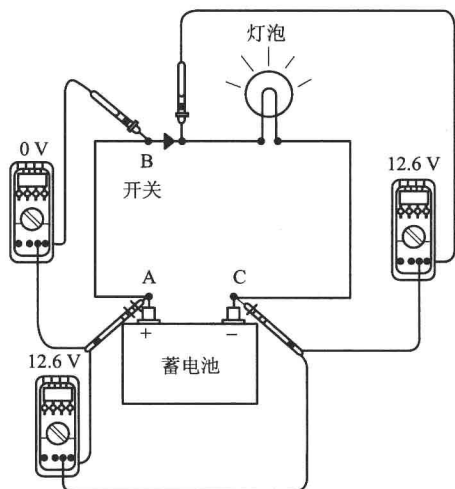


图 1-2 电压电位的简化照明电路

1.2.3 电压

电压是正电荷和负电荷间的吸引力，当电路中某点有大量的电子而电路的另一点缺少电子时，造成了一个电动势差。在汽车中，蓄电池或发电机用于产生电压。电压的高低用伏特数表示。如果一个伏特计跨接汽车蓄电池终端，它可指示出 12.6 V，这实际指示有 12.6 V 的电位差，在两个蓄电池终端间有 12.6 V 电压。

在图 1-2 中，A 点到 C 点间以及 B 点和 C 点间的电压电位是 12.6 V，A 点和 B 点间电位差是 0，并且伏特计指示 0 V。

从常识可知，水管里水流的形成，如果只有水

是不行的，还必须有水位的不同或水压的作用。同样原理，导体里电流的形成只靠导体中的自由电子是不行的，还必须有电位的不同或电的压力（即电场力）的作用。这实际上是电场力推动电荷定向运动，克服导体或负载的阻力而做的功，衡量电场力做功的物理量是电位和电压。

（1）电位 电路中某点的电位是指电场力将单位正电荷从该点移动到参考点（零电位点）所做的功。

如图 1-3 所示电位的高低与参考点的选择有关，电路中电位参考点选择不同，各点电位的数值也将不同，正如我们测量山的高度一样。选择基准点不同，各点电位的数值也将不同，电位的参考点就是假定电位为零的一点，它是可以任意选择的，在电学里常以电气设备外壳作为零电位的点，电位的概念很重要，在分析电子电路时要经常用到。

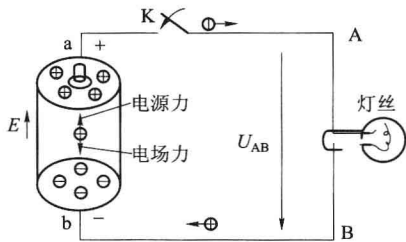


图 1-3 电路中的电压与电动势

（2）电压 促使物体内部自由电子定向流动的作用力，称为电压。电路中某两点间的电压，就是某两点间的电位差。它实际上是电场力将单位正电荷从某点移动到另一点所做的功。电压的单位是“伏特”，常用字母“V”表示。1 V 的电压可使电阻为 $1\ \Omega$ 的导线中通过 1 A 的电流。电压的方向规定为电位降低的方向，即从高电位指向低电位点，因为电压是电位之差，所以电路中某两点间的电压大小，只跟该两点的位置有关，而与参考点的选择无关。为使电路中有持续不断的电流通过，就必须在它的两端保持一定的电压。

1.2.4 电源

能够使电路中持续电流不断通过，需要有干电池、蓄电池、发电机等来提供电能，我们把化学能、机械能等非电能转换成电能的装置，称为电源。

如图 1-4 所示是一个简化了的电源示意图，虚线内是电源，A 是电源的正极，B 是电源的负极，R 是用电电器。电源外部的电路叫做外电路，电源内部的电路叫做内电路。

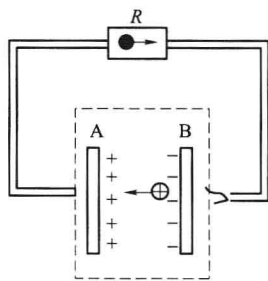


图 1-4 电源的示意图

1.2.5 电动势

电动势是指在电源内部产生推动电子流动的力量，常用字母 E 表示，电场力从电源的正极将正电荷通过负载移到电源的负极，这样正极的正电荷就会不断地和负极上负电荷中和，使电场减弱以至消失，但由于电路中电源的作用，又把正电荷从负极搬到了正极，保持了电源正、负极之间的电位差（电压）即保持了电场在电路中的作用。那么，电源内部是靠什么力把正电荷从负极移向正极的呢？因为正电荷逆着电场方向移送的，显然不可能是电场力，因此我们把这种力叫做非静电力，不同电源的非静电力来源是不同的，如干电池、蓄电池的非静电力来自化学作用，发电机的非静电力来自电磁作用。在具体电路中，电动势的作用是把已从电源的正极经灯泡移动到电源负极（电场力的作用）的正电荷，从电源的负极经电源的内部移动到电源的正极去以保持电源两端的电压，使电路有连续不断的电流流通，如水路中的水泵把水从低处不断送到高处，以保水压，使水流不断。电动势是电源力移

动单位正电荷所做的功，其作用方向与电场力相反，所以电动势的方向规定为沿电源内部从低电位点（负极）指向高电位点（正极），即表示电位升高的方向。

在图 1-3 所示电路中，开关 K 接通时整个电路的物理过程是：在电源内部（内电路）电源力克服电场力把正电荷从低电位的负极推到高电位的正极而做功，即把非电能转换为电能，在电源外部（外电路）电场力克服负载（这里指灯泡）的阻力把正电荷从高电位移动到低电位而做功，即把电能转换为非电能（这里指光能和热能）。只有当电路中有电流流动时才能实现能量的传输和转换。

1.2.6 电阻

导体对电流起阻碍作用的能力称为电阻，任何导体都有电阻，电阻用 R 表示。电阻的单位为欧姆，用 Ω 表示，导体的电阻取决于导体材料的物理性质、几何尺寸和导体的温度等因素。在金属材料中铜和铝的电阻率较小，是最好的导电材料，应用广泛；而绝缘体材料中的云母、电木、绝缘纸、橡胶、塑料、瓷等电阻率最大，应用于绝缘电的材料。导体的电阻与其长度成正比，与其横截面积成反比。利用不同电阻率材料制成不同规格的电阻器，利用电阻器可以调节电路中的电流和电压。

一个完整的电路由如下部分组成：① 电源；② 负载；③ 控制开关；④ 连接导线。电路中的任何工作设备都有电阻，例如灯泡、电动机、继电器、线圈或其他负载元件等。

在电路中可能存在不必要的电阻，这可能存在于被腐蚀的连线或断开的导体中。不必要的电阻会造成负载元件运行效率降低或者根本不能工作。

电阻对电路的影响有：① 当电流经过电阻时电压始终降低；② 电阻的增加造成电流的降低；③ 所有电阻在某种程度上将电能转换成热能。

1.3 电源的联接

在实际工作中，单个电源的电动势和额定电流有时不能满足工作需要，这时，可将单个电池连接起来，得到不同的效果，连接的方法有串联、并联、混联三种方法。

1.3.1 电源的串联

将甲电池的正极接到乙电池的负极，将乙电池的正极接丙电池的负极，依此类推将几个电池的异极联接起来，最后两端各留一极，这就是电源的串联。电池串联后总电动势（或电压）等于各单个电池的电动势（或电压）的总和。如图 1-5 所示。

如要想获得较高电压时，可将几只电池串联成一电池组，不过有一个前提条件，那就是串联的每个电池的电压必须是相等的，例如 6 V 和 12 V，要么全是 6 V、要么全是 12 V，不能是一个是 6 V、一个是 12 V 混合。电源串联后，电压会增高。

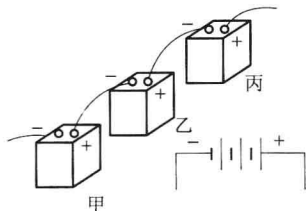


图 1-5 电源的串联示意图

1.3.2 电源的并联

若把几个电池的正极与正极相接、负极与负极相接，这种同极联接的方法，称为电源的并联。如图1-6所示。

电池并联后，电动势或电压不变，即总电动势或电压等于各单个电池的电动势或电压，总电流等于各单个电池供给电流之和，因此，如需要较大电流时，可将几个单电池并联起来以获得较大的电流。但应注意两个电源的电动势不同时，不能进行并联，如12 V的电池不能和6 V的电池并联，否则在两个电源之间构成的回路中将会产生很大的电流，使电源设备损坏。

1.3.3 电源的混联

将几只电池串联起来成为一组，然后再将几个同样的串联电池组并联起来，这样的联接方法叫做混联。电池混联适用于负载的工作电压和电流都超过了单个电池的额定值的情况，电池混联后总电动势加大了，总额定电流也加大了。混合联接如图1-7所示。

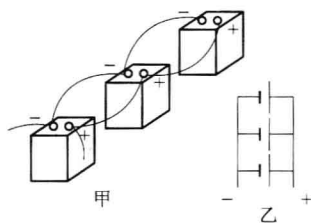


图1-6 电源的并联示意图

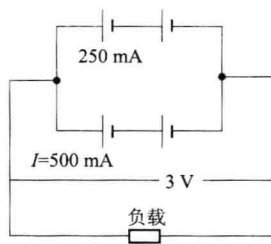


图1-7 电源的混联示意图

1.4 电阻的联接

1.4.1 电阻的串联

把几个电阻首尾依次成串的联接起来，中间没有分岔，使电流只有一个通路，这样的联接方法叫做电阻的串联，如图1-8所示。

电阻串联后，有如下特征：

- (1) 在串联电路中流过各电阻的电流相同；
- (2) 在串联电路中总电压等于各部分的电压之和；
- (3) 总电阻增大，总电阻等于各个电阻之和；
- (4) 串联电阻可以用一个等效电阻来代替，等效电阻等于各串联电阻之和。

电阻串联的应用较为广泛，例如两盏相同的110 V的灯泡可以串联起来接到220 V的电源上使用，当负载的额定电压低于电源电压时，可以串联一个电阻，降低一部分电压，以满足负载接入电源使用的需要，在必要时可以利用串联电阻的方法调节或限制电路中的电流。

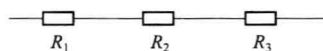


图1-8 电阻的串联

另外在电工测量中还广泛使用串联电阻的方法来扩大电表的电压量程。

1.4.2 电阻的并联

将几个电阻的首端和尾端分别连接在两个节点之间使电流有几个通路，每个电阻承受同一个电压，这样的联接方法叫电阻的并联。如图 1-9 所示。

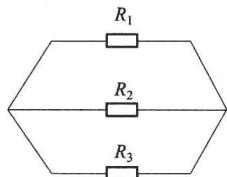


图 1-9 电阻的并联

电阻并联后，有如下特征：

- (1) 总电阻减小，总电阻的倒数等于各个电阻倒数的总和；
- (2) 几个电阻并联，各电阻两端所承受的电压相同；
- (3) 并联电路中的总电流等于各支路电流之和。

负载一般都有一定的额定电压，当负载并联运行时，它们处于同一电压之下，任何负载的工作情况不受其他负载的影响，这是负载并联的一个显著优点。

1.4.3 电阻的混联

电路中的电阻除了串联和并联外，有时还出现有串联又有并联的情况，这叫做电阻的混联，如图 1-10 所示。

图中 R_2 与 R_3 是串联的，串联后又与 R_4 并联，最后再与 R_1 串联，在计算混联电路的总电阻时，可以采用电阻逐步合并的办法，可以先计算 R_2 和 R_3 的串联电阻，然后再与 R_4 并联计算，最后将求得的并联电阻与 R_1 串联，计算出该电路的总电阻。

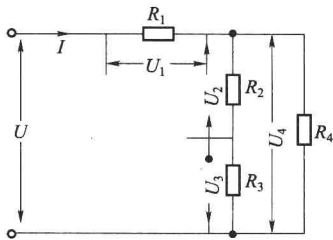


图 1-10 电阻的混联

1.5 电 容 器

任何两个彼此绝缘且相隔很近的导体（包括导线）就构成一个电容器。电容器是一种储存电荷和电能的器件。电容（或电容量）指的是在给定电压下储存的电荷量，记为 C ，国际单位是法拉（F）。工程技术上还用微法（ μF ）、纳法（nF）和皮法（pF）等单位。1 法拉（F）= 10^6 微法（ μF ）= 10^9 纳法（nF）= 10^{12} 皮法（pF）。电容器有时简称为电容，在电路中用字母 C 表示。

在实际使用电容器时，有时会遇到电容器的电容不够或耐压能力不够的问题，这就需要把几个电容器连接起来使用。电容器的耐压能力是指电容器正常工作时承受电压的能力。一般来讲，电容器的击穿电压高，它的耐压能力也就大。电容器连接的基本方法有串联和并联两种。

1.5.1 电容器的串联

把几个电容器的电极首尾相接，连成一串，这就是电容器的串联。图 1-11 所示是电容分别为 C_1 、 C_2 、 C_3 的三个电容器的串联。

当电路两端加电压 U 后, 电容两极板带的电量分别为 $+Q$ 和 $-Q$, 由于静电感应, 中间各极板所带的电量也等于 $+Q$ 或 $-Q$, 所以串联时每个电容器带的电量都是 Q 。如果各个电容器的电压分别为 U_1 、 U_2 、 U_3 , 就有

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}, U_2 = \frac{Q}{C_2}, U_3 = \frac{Q}{C_3}。$$

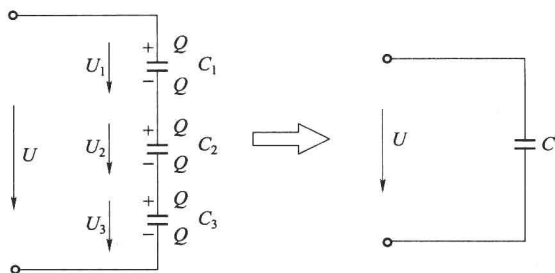


图 1-11 三个电容器的串联电路

由于总电压 U 等于各个电容器上的电压之和, 所以,

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

设串联电容器的总电容为 C , 则 $U = \frac{Q}{C}$, 所以,

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

这就是说, 串联电容器的总电容的倒数等于各个电容器的电容的倒数之和。电容器串联之后, 相当于增大了两极的距离, 因此总电容小于每个电容器的电容。

1.5.2 电容器的并联

把几个电容器的正极、负极分别连在一起, 这就是电容器的并联。图 1-12 是电容分别为 C_1 、 C_2 、 C_3 的三个电容器的并联。

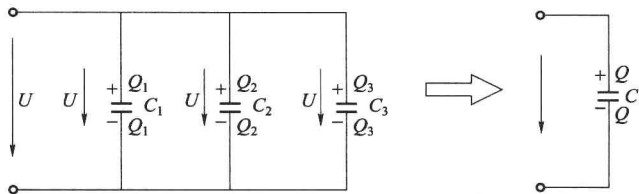


图 1-12 三个电容器的并联电路

把并联好的电容器接到电动势为 U 的电源上, 每个电容器的电压都是 U 。如果各个电容器所带的电量分别为 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 , 那么, $Q_1 = C_1 U$, $Q_2 = C_2 U$, $Q_3 = C_3 U$ 。由于电容器组储存的总电量 Q 等于各个电容器所带电量之和, 所以,

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = (C_1 + C_2 + C_3) U。$$

设并联电容器的总电容为 C , 则 $Q = CU$, 所以,

$$C = C_1 + C_2 + C_3。$$

这就是说, 并联电容器的总电容等于各个电容器的电容之和。电容器并联之后, 相当于增大了两极的面积, 因此总电容大于每个电容器的电容。

可以看出, 电容器串联后, 电容减小了, 但耐压能力提高了, 所以要承受较高的电压时, 可以把电容器串联起来; 电容器并联后, 电容增大了, 耐压能力没有提高, 所以在需要大电容时, 可以把电容器并联起来。