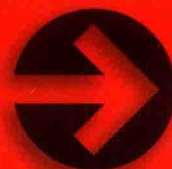
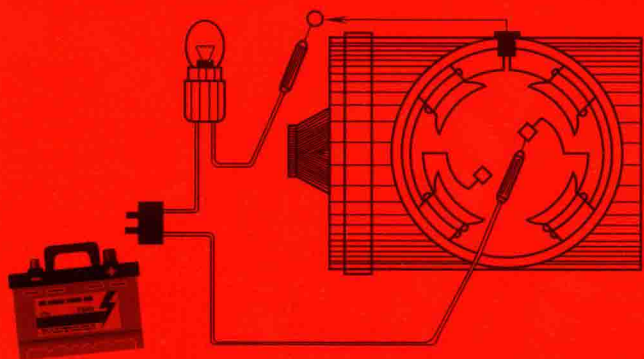


汽车电工 从入门到精通

麻友良 主编



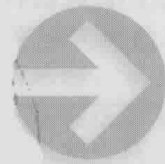
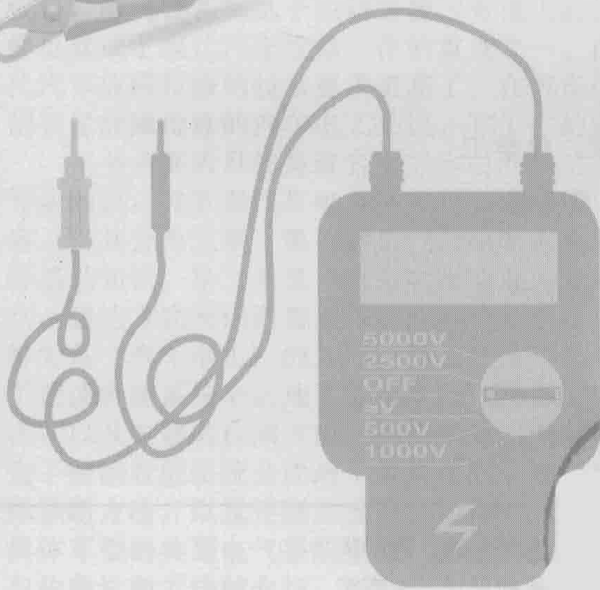
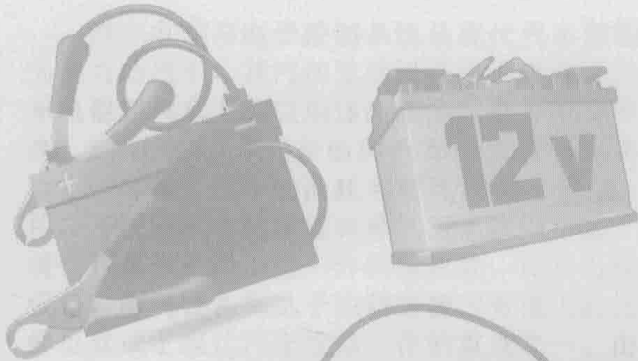
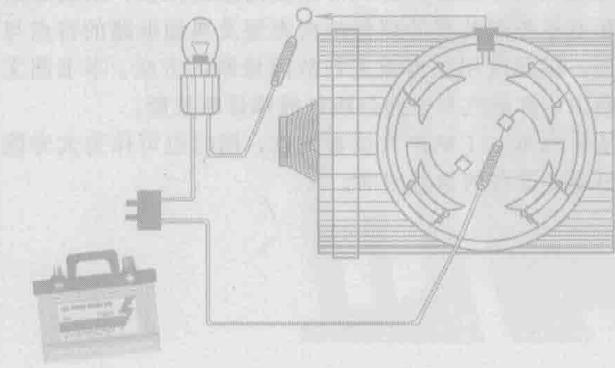
QICHE DIANGONG
CONG
RUMEN
DAO
JINGTONG



化学工业出版社

汽车电工 从入门到精通

麻友良 主编



QICHE DIANGONG
CONG
RUMEN
DAO
JINGTONG



化学工业出版社

· 北京 ·

ISBN 978-7-122-18888-8

本书简明扼要地介绍了电路及磁路、电器及电子基础元件、微型计算机等相关的基础知识，系统总结了汽车电路的特点及识图要点，详细阐述了汽车电器和电子控制装置的部件结构类型及典型电路的特点与故障诊断方法，总结了汽车数据流及数据流分析的作用，以及应用数据流进行故障诊断的方法。本书图文并茂，可帮助读者巩固和提高汽车电工所必备的基础知识，掌握汽车电路分析与故障诊断技能。

本书适合从事或准备从事汽车维修工作，特别是从事汽车电工的广大读者阅读，同时也可作为大专院校、职业技术学校学生学习汽车电器与电子控制技术等专业课程的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车电工从入门到精通/麻友良主编. —北京: 化学工业出版社, 2019. 2

ISBN 978-7-122-33459-6

I. ①汽… II. ①麻… III. ①汽车-电工技术②汽车-电子技术 IV. ①U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 286540 号

责任编辑: 辛 田
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 冯国庆
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 23 字数 556 千字 2019 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 88.00 元

版权所有 违者必究



前言

Preface

汽车电器与电子控制系统是现代汽车重要的组成部分。1886年诞生了第一辆以内燃机为动力的汽车，其汽油发动机采用了磁电机点火装置，这是该车唯一的电气设备。此后，汽车电器在汽车上的应用逐渐增多，汽车的使用性能也因这些电气设备的应用而不断地得以提高。20世纪60年代开始的汽车电气设备的电子化，不但提高了汽车电气设备的工作可靠性，还降低了汽车的油耗和排气污染。始于20世纪70年代末期的汽车电子控制装置的应用，不仅使汽车的油耗和排气污染降得更低，还使汽车的安全性和舒适性有了很大的提高。现代汽车早已经不是一台机械装置，而是机械、电器与电子控制装置高度一体化的交通运输设备，电气设备和电子控制装置占有很大的比例。因此，汽车电器与电子控制系统的故障检修也就成了现代汽车维修工作的重点之一。由于电子控制技术在汽车上的大量应用，使得现代汽车故障检修的技术要求更高了。在汽车使用与维修过程中，对于从事汽车电器和电子控制装置故障检修的汽车电工来说，其工作的重要性就显得更为突出。

本书主要的目的是读者通过本书的学习，能够很好地掌握汽车电工所必须具备的基础和专业知识，并掌握汽车电器与电子控制装置的故障检修技能。为此，本书精选了相关的内容，将其分为五章。第一章是“汽车电工基础知识”，内容包括电路、磁路、元件及计算机等基础知识。第二章是“汽车电路的表达方式与识图要点”，内容包括汽车电路的组成、特点、表达方式及识图要点等。这两章是学习和掌握汽车电器与电子控制技术的基础，可以理解为是“汽车电工”的入门。第三章是“汽车电器电路原理与故障检修”，这部分内容是为了使读者能系统全面地了解汽车电气设备的组成和工作原理，并掌握电路分析与故障诊断方法，以及电器的检测方法。第四章是“汽车电子控制系统原理与故障检修”，这部分内容是为了使读者能系统全面地了解汽车电子控制系统的组成与控制原理，掌握电子控制系统的故障诊断方法，以及控制系统部件的检测方法。为使读者更好地掌握这两章内容，精选了针对具体车型的典型电气系统电路，通过对这些典型电路的特点与原理分析、电路故障原因分析与故障诊断方法的介绍，可以帮助读者提高汽车电路阅读与理解、故障分析与诊断能力。这两章内容也是汽车电工所必须掌握的。第五章是“汽车数据流分析在汽车故障诊断中的应用”，内容主要包括数据流与数据流分析、数据流的获取、数据流分析方法等，通过数据流分析故障诊断实例，帮助读者理解汽车数据流分析的作用及故障诊断方法。数据流分析用于汽车故障诊断是近年来逐渐发展起来的汽车故障诊断技术，读者掌握了汽车数据流分析方法，那么汽车电工的水平就已经达到精通的程度了。

本书文字简洁明了、通俗易懂、图文并茂，方便读者更好地阅读和理解本书内容。

本书由武汉科技大学麻友良教授任主编，叶海见任副主编，参加编写的人员还有邵冬明、彭小晴、席敏、汤富强、王仁秋、杨谦等。在本书编写过程中，参考了大量相关的书籍资料，从中汲取了许多知识和经验，借此，向这些资料的作者表示感谢。由于笔者水平所限，书中会有不妥之处，恳请广大读者批评指正。



目 录

Contents

Chapter 1

第一章 汽车电路元器件功能与特性 / 1

第一节 电路的基本概念 / 1

- 一、电路的基本组成 / 1
- 二、电路的基本物理量 / 1
- 三、电路的工作状态 / 2
- 四、电路中电阻的串联与并联 / 3
- 五、电路中电位的概念 / 4

第二节 磁路的基本概念 / 4

- 一、磁场与电磁感应 / 4
- 二、磁路的概念及基本定律 / 7

第三节 电阻、电容与电感的基本特性 / 8

- 一、电阻元件的基本特性 / 8
- 二、电容元件的基本特性 / 8
- 三、电感元件的基本特性 / 9

第四节 电子元件的基本特性 / 10

- 一、半导体的导电方式 / 10
- 二、PN 结的形成与特性 / 11
- 三、二极管的特性 / 13
- 四、稳压管的特性 / 13
- 五、三极管的特性 / 14
- 六、晶闸管的特性 / 16

第五节 微型计算机基本知识 / 17

- 一、微型计算机的基本组成 / 17
- 二、微型计算机在汽车电子控制系统中的作用原理 / 18

Chapter 2

第二章 汽车电路的表达方式与识图要点 / 20

第一节 汽车电路的组成与特点 / 20

- 一、汽车电路的组成 / 20

- 二、汽车电路的特点 / 21
- 第二节 汽车电路基础元件 / 22
 - 一、导线 / 23
 - 二、熔断器与易熔线 / 24
 - 三、插接器 / 26
 - 四、开关 / 27
 - 五、继电器 / 29
- 第三节 汽车电路图的特点与识图要点 / 31
 - 一、汽车电路原理图 / 31
 - 二、汽车电路线路图 / 33
 - 三、汽车电路线束图 / 35
 - 四、汽车电路图的识图要点 / 39

Chapter 3

第三章 汽车电器电路原理与故障检修 / 41

- 第一节 充电电路原理与故障检修要点 / 41
 - 一、蓄电池 / 41
 - 二、发电机与调节器 / 42
 - 三、带充电指示灯继电器的充电电路 / 47
 - 四、九管整流发电机的充电电路 / 50
 - 五、整体式发电机的充电电路 / 52
 - 六、发电机的检修与性能测试 / 54
 - 七、调节器故障检修 / 58
 - 八、蓄电池的常见故障及检测 / 59
- 第二节 启动电路原理与故障检修 / 62
 - 一、起动机组成与工作原理 / 62
 - 二、启动开关控制的启动电路原理与故障检修 / 69
 - 三、带启动继电器的启动电路原理与故障检修 / 71
 - 四、具有驱动保护作用的启动电路原理与故障检修 / 72
 - 五、起动机的检修 / 75
 - 六、启动继电器的检修 / 79
- 第三节 点火系统电路原理与故障检修 / 81
 - 一、点火系统的基本工作原理 / 81
 - 二、点火系统电路主要部件的组成与原理 / 82
 - 三、磁感应式电子点火系统电路 / 91
 - 四、霍尔效应式电子点火系统电路 / 94
 - 五、点火线圈的检修 / 95
 - 六、分电器总成的检修 / 96
 - 七、电子点火器的检修 / 98

八、火花塞的检修 / 99

第四节 照明系统电路原理与故障检修 / 101

一、照明系统部件及功能电路的结构与原理 / 101

二、前照灯的新型光源及自适应前照灯 / 104

三、典型载货汽车照明系统电路 / 107

四、典型轿车照明系统电路 / 109

五、照明系统部件的检测与调整 / 112

第五节 信号系统电路原理与故障检修 / 113

一、信号系统部件的结构与原理 / 113

二、典型载货汽车信号系统电路 / 119

三、典型轿车信号系统电路 / 121

四、信号系统部件的检修 / 123

第六节 仪表及指示灯系统电路原理与故障检修 / 124

一、汽车仪表及指示灯系统的作用与结构类型 / 124

二、仪表及指示灯系统部件的结构与原理 / 125

三、汽车报警灯与指示灯的符号及作用 / 133

四、典型汽车仪表与指示灯系统电路 / 135

五、仪表系统部件的检修 / 138

Chapter 4

第四章 汽车电子控制系统原理与故障检修 / 141

第一节 发动机电子控制系统原理与故障检修 / 141

一、汽车电子控制系统的基本组成 / 141

二、发动机电子控制系统主要部件的结构与原理 / 141

三、燃油喷射控制系统的组成与工作原理 / 158

四、电子点火控制系统的组成与工作原理 / 162

五、发动机怠速控制系统的组成与工作原理 / 166

六、废气再循环控制系统的组成与工作原理 / 169

七、燃油蒸发排放控制系统的组成与工作原理 / 170

八、典型发动机电子控制系统的构成与电路原理 / 172

九、发动机电子控制系统部件检修——传感器的检测 / 183

十、发动机电子控制系统的检修——执行器的检测 / 188

十一、发动机电子控制系统的检修——电子控制器的检测 / 190

第二节 防抱死制动系统原理与故障检修 / 191

一、防抱死制动系统的基本组成与控制原理 / 191

二、防抱死制动系统主要部件的结构与原理 / 192

三、典型 ABS 电路原理与故障检修 / 198

四、ABS 检修注意事项 / 204

五、防抱死制动系统主要部件的检修 / 205

- 第三节 自动变速器电子控制系统原理与故障检修 / 206
 - 一、自动变速器的类型 / 206
 - 二、电控液力传动式自动变速器的基本组成及特点 / 207
 - 三、自动变速器电控系统主要组成部件的作用与原理 / 209
 - 四、典型自动变速器电子控制系统电路原理与故障检修 / 213
 - 五、自动变速器故障检修的一般程序与注意事项 / 220
 - 六、自动变速器的基础检验与试验 / 220
 - 七、自动变速器电子控制系统部件的检修 / 221
- 第四节 悬架电子控制系统原理与故障检修 / 223
 - 一、电控悬架的结构类型与基本控制原理 / 223
 - 二、悬架电子控制系统主要组成部件的作用与原理 / 224
 - 三、典型悬架电子控制系统电路原理与故障检修 / 230
 - 四、悬架电子控制系统部件的检修 / 237
- 第五节 动力转向电子控制系统原理与故障检修 / 238
 - 一、电子控制动力转向系统的结构类型与特点 / 238
 - 二、液力式电子控制动力转向系统的组成与控制原理 / 241
 - 三、电动式电子控制动力转向系统的组成与控制原理 / 244
 - 四、典型电子控制动力转向系统的构成与故障检修 / 247
- 第六节 安全气囊电子控制系统原理与故障检修 / 250
 - 一、安全气囊系统的组成与工作原理 / 250
 - 二、安全气囊系统部件的结构与工作原理 / 251
 - 三、典型安全气囊系统电路原理与故障检修 / 255
 - 四、安全气囊控制系统部件的检修 / 262
- 第七节 汽车巡航控制系统原理与故障检修 / 264
 - 一、汽车巡航控制系统的组成与控制原理 / 264
 - 二、汽车巡航控制系统部件的作用与工作原理 / 265
 - 三、典型汽车巡航控制系统原理与故障检修 / 269
 - 四、巡航控制系统部件的检修 / 272
- 第八节 中央门锁及防盗系统电路原理与故障检修 / 274
 - 一、中央门锁的组成与电路原理 / 274
 - 二、电子防盗系统的组成与电路原理 / 277
 - 三、典型的汽车中央门锁控制电路原理与故障检修 / 280
 - 四、典型的汽车防盗系统电路原理与故障检修 / 285
 - 五、中央门锁及防盗系统部件的检修 / 290

- 二、汽车数据流的作用 / 293
- 三、汽车数据流分析的作用 / 294
- 四、汽车数据流的类型 / 295
- 第二节 常用汽车数据流的测量方法 / 295
 - 一、电脑通信方式 / 295
 - 二、电路在线方式 / 296
 - 三、元器件模拟方式 / 297
- 第三节 汽车数据流分析的意义及应用前景 / 297
 - 一、汽车数据流分析的意义 / 297
 - 二、国内汽车维修行业汽车数据流分析应用现状 / 298
 - 三、汽车数据流分析应用前景 / 299
- 第四节 汽车数据流常用分析方法 / 300
 - 一、数值分析法 / 300
 - 二、时间分析法 / 300
 - 三、因果分析法 / 301
 - 四、关联分析法 / 302
 - 五、比较分析法 / 302
- 第五节 数据流分析的一般步骤 / 303
 - 一、有故障码时的分析步骤 / 303
 - 二、无故障码时的分析步骤 / 303
 - 三、数据流综合分析步骤 / 304
- 第六节 数据流分析和传统维修技术对比分析 / 305
 - 一、传统汽车维修技术排除故障 / 305
 - 二、数据流分析方法排除故障 / 306
- 第七节 汽车主要参数分析 / 306
 - 一、基本参数分析 / 306
 - 二、燃油控制参数分析 / 308
 - 三、发动机冷却液温度参数分析 / 310
 - 四、节气门位置和怠速控制参数分析 / 310
 - 五、进气状态参数分析 / 312
 - 六、电器和点火系统参数分析 / 313
 - 七、排放控制参数分析 / 315
 - 八、变速器参数分析 / 318
 - 九、ABS 参数分析 / 322
 - 十、汽车空调参数分析 / 323
- 第八节 汽车数据流应用误区分析 / 325
 - 一、简单地照搬维修手册上提供的数值分析结果 / 325
 - 二、数据流参数值在标准范围内时数据流就无作用 / 327

- 三、无参考数据时数据流就无法分析运用 / 328
- 四、仅按数据流数据字面含义分析数据 / 332
- 五、故障分析不能有效地与工作原理相结合 / 333
- 第九节 不同数据值情况下的数据流应用 / 334
 - 一、没有数据值超范围时的数据流应用 / 334
 - 二、多项数据值超范围时的数据流应用 / 335
 - 三、个别数据超范围时的数据流应用 / 341



附录 / 342

附录一 汽车电路图用图形符号 / 342

附录二 汽车电器接线柱标记 / 355

参考文献 / 358

第一章

汽车电路元器件功能与特性

第一节 电路的基本概念

一、电路的基本组成

电路就是电流的通路。具有某一特定功用的电路都是由电源、负载和连接导线这三个基本要素所组成。

1. 电源

电源在电路中提供电能，有交流电源和直流电源两种类型。汽车电气系统的电源是蓄电池和发电机，它们都是直流电源。

蓄电池储存的是化学能量，通过电化学反应转变成电能，主要用于向起动机提供启动电流；在发电机不发电或电压低时，汽车上的用电设备也是由蓄电池供电。

发电机由发动机驱动，将发动机的部分机械能转变成电能。发电机是汽车用电设备的主要电源；发电机还向电能不足的蓄电池充电，以及时恢复蓄电池的化学能量。

2. 负载

负载在电路中消耗电能，它将电能转变成光、声、热、机械等能量，以完成电路的功能。负载有电阻性、电容性和电感性三种类型，实际使用中的负载则可能是以电阻、电容、电感中的某种特性为主，兼有其他一种或两种负载特性。汽车上的用电设备都是汽车电路的负载。

汽车电路负载大都是电阻性的和电感性的。例如，照明、信号灯具和电热式仪表等均属于电阻性负载，这些电阻性负载将电源的电能转换为光和热；各种电动机、继电器、触点式电喇叭、点火线圈等则属于电感性负载，分别将电能转变为电磁转矩、触点的动作、声音、点火电压等。

3. 连接导线

连接导线在电路中连接电源和负载，起传输和分配电能的作用。连接导线通常是由铜、铝、银等金属导体制成，并用绝缘材料包装。汽车电路的连接导线就是连接电源与各用电设备的配线。汽车电路还通过发动机的机体、车身及车架等金属部分作为电流的回路，称其为搭铁。

电源、负载和连接导线再配以控制开关和/或熔断器等安全保障器件就组成各种汽车电路。

二、电路的基本物理量

1. 电动势

电动势的物理定义是电源力把单位正电荷从电源的负极移到正极所做的功。在电源的内部，电源的正极和负极之间存在着电场，要使电源对外有持续的供电能力，就必须用电源力来克服电源内部的电场力，将正电荷从电源的负极移动到电源的正极（图 1-1）。

电动势反映了电源力对电荷做功的能力，其单位是伏特，简称伏。电源力可由热能、机

机械能、化学能等其他能量转化而来。

车载电源中蓄电池的电动势是由其内部储存的化学能通过电化学反应建立起来的；交流发电机的电源力则是由发动机的机械能转化而来的。

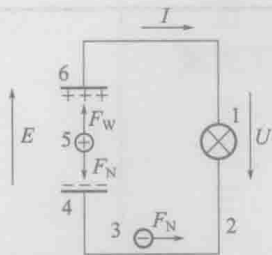


图 1-1 电动势与电压

1—负载；2—电路；3—电路中的负电荷（电子）；4—电源负极（带负电荷）；5—电场中的正电荷；6—电源正极（带正电荷）； F_w —电源力； F_N —电场力

2. 电压

电压就是静电场或电路中两点之间的电位差，它反映电场力对电荷做功的能力，数值上等于电场力把单位正电荷从电源的正极经外电路移到负极所做的功。电压的单位也是伏特，但其物理含义与电动势显然是不相同的。

3. 电流

电荷有规律的运动称为电流。导体通电流的实质是导体内的自由电子在电场力作用下做定向运动。电流的大小以单位时间里所通过的电荷来度量，以正电荷运动的方向为电流的方向（图 1-1）。电流的单位是安培。

4. 电阻与欧姆定律

电路中具有阻碍电流通过的器件称为电阻，电阻的单位为欧姆，简称欧。电路中流过电阻 R 的电流 I 与电阻两端的电压 U 成正比，这就是欧姆定律，其表达式如下。

$$R = \frac{U}{I}$$

三、电路的工作状态

实际电路中的负载可能有两个或两个以上，以串联或并联的方式连接，但都可以简化为如图 1-2 所示的最简单电路。

1. 有载工作状态

将电源开关接通，电路中就有电流，即电路处于有载工作状态。在有载工作状态下，电路中电压和电流的关系如下。

$$I = \frac{E}{R_0 + R}$$

$$U = IR$$

$$U = E - IR_0$$

从上面电压和电流的关系式可以得出以下结论。

① 电源输出电流的大小与电源电动势的高低、负载及电源内阻的大小均有关，电动势高，负载电阻和电源内阻小，电源输出的电流就大。

② 加在负载上的电压降，其数值上就是电流和负载电阻的乘积。

③ 由于电源有内阻，内阻的电压降使电源的输出端电压低于电动势。内阻和输出电流越大，电源电动势与输出电压的差值就会越大。比如，汽车蓄电池的电动势为 12V，而在启动时，由于启动电流很大，蓄电池内电阻上的电压降（ IR_0 ）可达 2~4V，因此，此时蓄电池输出的端电压就只有 8~10V 了。

2. 电源开路

将电源开关断开，电路就处于开路状态，电源输出电流 $I = 0$ ，此时电源的端电压就等于电源电动势。

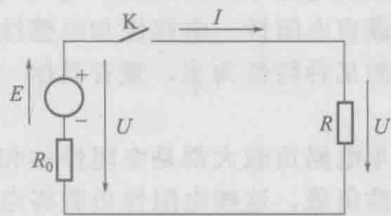


图 1-2 最简单的电路

R —负载电阻； R_0 —电源内阻； I —电源输出电流（负载电流）； E —电动势； U —电源端电压（负载电压降）； K —电源开关

$$U=E$$

在汽车所有的用电设备均不通电（相当于电源开关断开）时，蓄电池对外不输出电流，这时测得的蓄电池正负极柱之间的电压也就是蓄电池的静止电动势（不充电也不放电时的电动势）。

3. 电源短路

电源短路就是负载电阻为零的情况，此时电源的端电压 $U=0$ ，形成短路电流，短路电流的大小为：

$$I = \frac{E}{R_0}$$

由于电源的内阻一般都很小，故电源输出的短路电流很大，可将电源和线路烧毁。

四、电路中电阻的串联与并联

1. 电阻的串联

电路中有多个电阻，其中通过同一电流的电阻称为电阻串联（图 1-3）。

电路中电阻串联的等效电阻是各个串联电阻值之和。

$$R = R_1 + R_2$$

如图 1-3 所示的两个串联电阻上的电压为

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$$

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

从以上两式可看到，如果 $R_1 \ll R_2$ ，则 $U_1 \ll U_2$ ，即当串联的电阻大小相差太大时，小电阻的电压降可以忽略不计，电压几乎都加在了大电阻上。

2. 电阻的并联

电路中有两个或两个以上的电阻施加同一个电压的连接方式称为电阻的并联（图 1-4）。

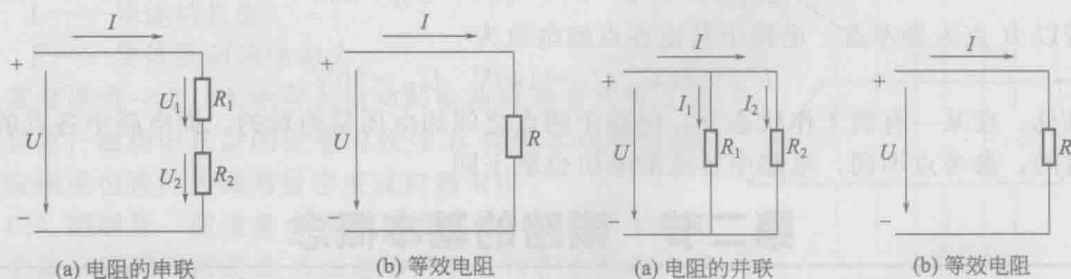


图 1-3 电阻的串联

图 1-4 电阻的并联

两个电阻并联的等效电阻为

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

即

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

可见，多个并联电阻的等效电阻比并联各个电阻中电阻值最小的电阻还要小。各并联电阻通过的电流为

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{IR}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

如果 $R_1 \ll R_2$, 则 $I_1 \gg I_2$, 即在电阻差值很大时, 电阻大的支路电流可以忽略不计。

五、电路中电位的概念

电路中各点电位的高与低, 实际上是针对某一个参考点而言的, 也就是说, 电路中各点的电位就是其相对于参考点的电压。选择不同的参考点, 电路中各点的电位也就不同。以如图 1-5 所示的电路为例, 说明电路中电位的概念。

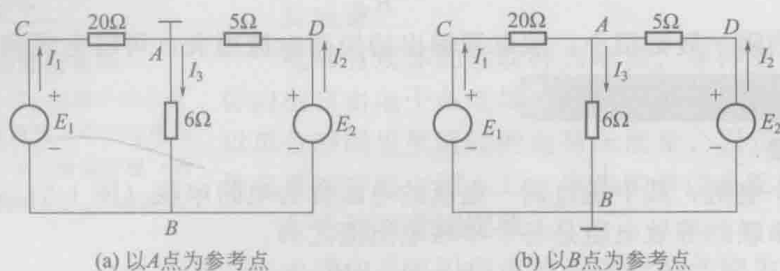


图 1-5 电路中的电位

$$E_1 = 140\text{V}; E_2 = 90\text{V}; I_1 = 4\text{A}; I_2 = 6\text{A}; I_3 = 10\text{A}$$

各段电路的电压为

$$U_{AB} = 10 \times 6 = 60(\text{V})$$

$$U_{CA} = 4 \times 20 = 80(\text{V})$$

$$U_{DA} = 6 \times 5 = 30(\text{V})$$

$$U_{CB} = 140\text{V} \quad U_{DB} = 90\text{V}$$

若以 A 点为参考点, 电路中其他各点的电位为

$$U_B = -60\text{V} \quad U_C = 80\text{V} \quad U_D = 30\text{V}$$

若以 B 点为参考点, 电路中其他各点的电位为

$$U_A = 60\text{V} \quad U_C = 140\text{V} \quad U_D = 90\text{V}$$

可见, 在某一有载工作状态下, 电路中两点之间的电压是绝对的, 而电路中各点的电位是相对的, 参考点不同, 电路中各点的电位也就不同。

第二节 磁路的基本概念

一、磁场与电磁感应

1. 电场与磁场

(1) 电场 静止不动的带电粒子(电荷)在其周围存在着电场, 电场对静止的电荷有电场力的作用。

(2) 磁场 运动的电荷周围不仅有电场, 还有另一种看不见的物质存在, 这种由运动电荷产生的物质称为磁场, 磁场只对运动的电荷有力的作用。

2. 电流的磁效应

电流是由电荷的运动形成的, 因此, 电流的周围就有磁场。

(1) 通电直导体的磁场 如果把磁场想象成布满沿磁场方向的磁力线, 通电导体周围的磁场就是围绕导体的同心圆。磁场的方向可用右手螺旋定则判定(图 1-6)。大拇指指向电流方向, 弯曲的四指就是磁场的方向。

(2) 通电线圈的磁场 通电线圈的磁场实际上是通电导体弯曲成螺旋状时形成的磁场,当电流按螺旋状轨迹流动时,形成的磁场及其分布形式和方向如图 1-7 所示。右手四指指向电流的方向,大拇指的指向就是磁场的方向。

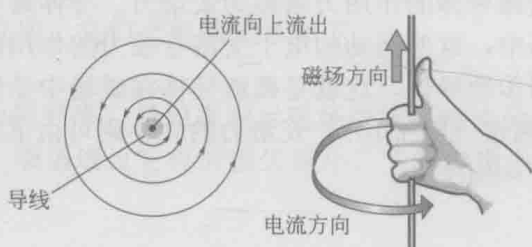


图 1-6 通电直导体周围的磁场



图 1-7 螺旋线圈产生的磁场

3. 磁场的基本物理量

(1) 磁感应强度 磁感应强度 B 是表示磁场内某点的磁场强弱和方向的物理量,其物理定义是,在单位速度下,单位电荷所受到的磁场力,可由下式表示。

$$B = \frac{F_m}{qv}$$

式中 q ——电荷;

v ——电荷的运动速度;

F_m ——电荷受到的电磁力。

B 的单位是特斯拉,简称特 (T),在数值上等于垂直于磁场方向长 1m、电流为 1A 的直导线所受磁场力的大小,因此, B 还可写成

$$B = \frac{F}{IL}$$

式中 I ——导体通过的电流;

L ——导体的长度;

F ——导体受到的电磁力。

需要说明一点,无论有无运动的电荷或是否放置了通电的导体,磁场中某点的磁感应强度 B 都是客观存在的。磁感应强度也被称为磁通量密度或磁通密度。

(2) 磁通量 磁通量 Φ 是表示通过某一面积 S 上的磁力线总数。磁感应强度 B 可以理解为单位面积上的磁力线总数,因而垂直于一个平面的均匀磁场 (图 1-8),其通过 S 面积的磁通量 Φ 为

$$\Phi = BS$$

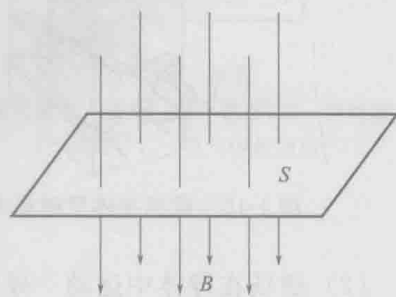


图 1-8 磁通量示意图

4. 磁场的力效应

(1) 磁场对运动电荷的作用 磁场对运动的电荷有力的作用。这种磁场力被称为洛伦兹力,其大小如下式表示。

$$F_m = qvB$$

电荷受力的方向可用左手定则判定:张开左手,左手掌心对着磁场的方向,左手四指指向电荷运动的方向,伸直的大拇指所指示的方向即为电荷受力的方向。也可用右手按如图 1-9 所示的方法来判断电荷受力的方向。右手四指从 v (电荷运动方向) 弯向 B (磁场方向),伸直的大拇指所指的方向就是电

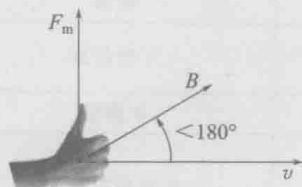


图 1-9 判断洛伦兹力的方向

荷受力的方向。

洛伦兹力总是与电荷的运动方向垂直，故只改变电荷的运动方向，不改变电荷的运动速度。

(2) 磁场对载流导体的作用 磁场对载流导体的作用力被称为安培力。导体通电后，导体内部的自由电子就会做定向运动，在磁场中，这些运动的电子受洛伦兹力的作用而向某一侧向漂移，与导体晶格的正离子碰撞而把力传给导体，这就是载流导体在磁场中受到的磁场力（安培力）。安培力的方向可由左手定则判定（图 1-10），安培力的大小则可由下式表示。

$$F = BLI$$

式中 F ——载流导体受到的安培力；

L ——载流导体的长度；

I ——载流导体的电流。

5. 电磁感应

当磁场发生变化时，置于磁场中的导体会产生一个电动势，力图阻碍磁场的变化，这种现象叫作电磁感应。通常把由电磁感应产生的电动势叫作感应电动势，由感应电动势所引起的电流称为感应电流。

感应电动势产生的方式有如下几种。

(1) 导体在磁场中运动 导体在磁场中沿某一方向运动而产生电动势，直流发电机发电就是用此种形式。直流发电机的定子是磁极，磁极绕组通电后产生磁场，转子（电枢）在磁场中旋转时，其电枢绕组所通过的磁通就会发生变化（切割磁力线），因而产生感应电动势。感应电动势的方向可用右手定则来判断（图 1-11）。

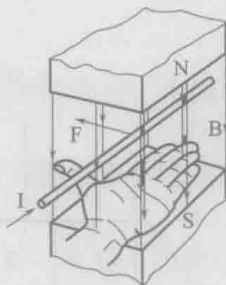


图 1-10 载流导体受磁场力方向

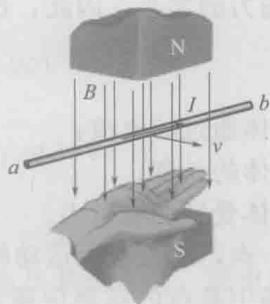


图 1-11 判断感应电动势的方向（右手定则）

(2) 磁场在导体中运动 导体不动、磁场运动而产生电动势，此种感应电动势产生方式的例子是交流发电机。交流发电机的转子是一个磁极，当转子旋转后，通过定子（电枢）绕组的磁场就会发生周期性的变化（切割磁力线），定子绕组就会产生感应电动势。

(3) 穿过线圈的磁通量变化 此种形式磁场和导体都没有运动，它是改变穿过线圈磁通量而使线圈产生感应电动势。点火线圈产生高压、磁感应式点火信号发生器、磁感应式转速传感器产生脉冲信号等，这些都是穿过线圈的磁通量变化而产生感应电动势的例子。

对于一个线圈（闭合回路），电磁感应定律的表达式如下。

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

式中 e ——感应电动势；

N ——线圈的匝数；

$d\Phi/dt$ ——磁通的变化速率。

式中的“—”号表示感应电动势的方向与原磁场变化方向相反。

二、磁路的概念及基本定律

1. 磁场强度 H 与磁导率 μ

磁场强度 H 是反应磁场实际存在的物理量，而磁感应强度 B 则是磁场表现出来的量值大小和方向。它们之间的关系如下。

$$B = \mu H$$

μ 为磁导率，是用来表示磁场中媒质磁性的物理量，它反映物质导磁的能力，磁导率高的物质，磁场通过它时的损失就小。实际应用中通常是用相对磁导率 μ_r 来表示物质的导磁性能。

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

式中 μ_0 ——真空的磁导率。

铁磁材料具有高导磁性 ($\mu_r \gg 1$)，磁场通过它时，损失很小，在磁通路中，可以忽略其对磁通路的阻力作用，就好像电路中忽略导线的电阻作用一样。

2. 磁路及其基本定律

磁路是磁通的路径，形成一个磁路应有产生磁源的磁动势和导磁媒体。如图 1-12 所示磁路的磁源是导电的线圈（磁源也可以是永久磁铁），通入电流 I 后就形成磁动势 F ，导磁媒体是铁芯和空气隙。

(1) 磁动势 磁动势产生磁通 Φ ，通电线圈产生的磁动势可由下式表示。

$$F = NI$$

式中 F ——磁动势；

N ——线圈匝数；

I ——线圈通过的电流。

(2) 磁路欧姆定律 磁路欧姆定律可由下式表示。

$$\Phi = \frac{F}{R_m}$$

式中 R_m ——磁阻，是表示物质对磁通具有的阻碍作用的物理量。

磁阻的大小可由下式表示。

$$R_m = \frac{l}{\mu S}$$

式中 l ——磁路的平均长度；

S ——磁路（导磁体）的截面积。

如图 1-12 所示的磁路中，铁磁材料的磁阻很小，可以忽略不计，而空气的磁阻则较大。因此，该磁路的磁阻就是空气隙的磁阻。

为更好地理解磁路及其基本物理量，将磁路与电路的有关物理量一一对应地列于表 1-1 中。

表 1-1 磁路与电路有关物理量对照

磁路	电路	磁路	电路
磁动势 F	电动势 E	磁阻 $R_m = \frac{l}{\mu S}$	电阻 $R = \frac{l}{rS}$
磁通 Φ	电流 I	磁导率 μ	导电率 r
磁感应强度 B	电流密度 J	$\Phi = \frac{F}{R_m}$	$I = \frac{E}{R}$

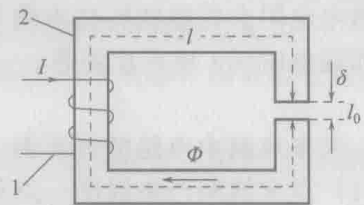


图 1-12 磁路

1—通电线圈（磁源）；2—铁芯； δ —空气隙； l —磁路； l_0 —空气中的磁路