



普通高等教育“十二五”规划教材



汽车类高端技能人才实用教材

汽车电工技术

◎ 李鹏伟 主编 ◎



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十二五”规划教材
汽车类高端技能人才实用教材

汽车电工技术

李鹏伟 主编

王楠 王静 张运 李翠翠 参编
苟丹丹 金宜南 夏 梅

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书主要介绍直流电路的基本概念和电路分析定理, 正弦交流电路的特点和三相交流电路的相关知识, 磁路的基本知识和电磁器件在汽车上的应用, 三相异步电动机的结构、工作原理、起动、调速和制动, 直流电动机的结构、工作原理、起动、调速、制动、正反转控制及在汽车上的应用, 步进电动机的工作原理、驱动方法及在汽车上的应用, 电工安全知识和电工仪表的工作原理和使用方法, 最后介绍了电阻器、电容器和电感器的基本知识。

本书可作为汽车工程类高职高专的教材, 适用于汽车电子技术专业、汽车检测与维修专业、汽车运用与维修专业、新能源汽车方向等专业学生学习, 也可作为汽车类工程技术人员、中等职业学校电子专业和汽车专业教师的参考书。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工技术 / 李鹏伟主编. —北京: 电子工业出版社, 2013.7

汽车类高端技能人才实用教材

ISBN 978-7-121-20519-4

I. ①汽… II. ①李… III. ①汽车—电工—高等学校—教材 IV. ①U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 110638 号

责任编辑: 竺南直

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 13.75 字数: 352 千字

印 次: 2013 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 29.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

出版说明

自 2002 年起,中国汽车行业开始进入爆发式增长阶段。2009 年,中国取代美国成为世界上最大的汽车销售市场,当年中国的汽车产量超过了日本和美国的总和,成为名副其实的汽车产销量双重世界第一。2011 年,平均每月产销量突破 150 万辆,全年汽车销售超过 1850 万辆,再次刷新全球历史纪录。未来十年自主品牌将完成从“中国制造”到“中国创造”的发展过程。预计未来十年,我国汽车市场年均增长率将达到 7.1%,到 2020 年中国汽车市场的销量有望占据全球汽车总销量的一半以上,中国汽车市场前景非常广阔。汽车行业突飞猛进的发展对汽车专业人才特别是高端技能型人才的培养提出了前所未有的高要求。一个是行业的发展和扩张在人才数量上的要求,全国每年汽车专业高端技能型人才的缺口在数十万人;另一个是技术的进步和发展对于人才培养质量的要求,大量新技术、新工艺的应用对于从业技术人员在学科基础理论和职业技能方面提出了更高的要求。

作为全国最大的汽车类高等职业学校,西安汽车科技职业学院近年来根据汽车行业发展的需要,紧贴职业岗位,引进吸收德国奥迪、瑞典沃尔沃、英国捷豹路虎等世界顶尖企业汽车职业教育的先进理念和思想,深入开展教学改革,形成了一套独特的课程体系和教学模式。《汽车类高端技能人才实用教材》就是我们近年来教学改革成果的总结,是课程改革和新的教学模式的具体体现。

这套系列教材具有以下几个特点:

一是实用性。在编写过程中,从企业岗位需求和学生发展空间两个方面考虑编排内容,既注重专业基础和专业理论的系统性,又重点考虑了职业技能训练的需求,对于学习汽车类专业的学生而言,是一套学习效率很高的教材。

二是通俗性。在编写过程中,充分考虑到高职学生文化基础的现实状况,降低对学生文化基础知识的要求,让大多数学生能够学得懂。

三是系统性。从机械和电子技术基础课程,到汽车的基本理论,汽车的各种技术,再到汽车的最新技术的介绍;从基本的电工、机械实验,到专业实习,再到职业技能实训,形成了一整套较为完备的汽车理论教学和实训教学的体系。

四是适度超前性。除了涉及目前已经应用的各种汽车技术和技能知识之外,还在新能源汽车、先进车载网络技术等方面进行了介绍,为学生开拓了视野,为其将来向行业的深度和广度发展具有一定的引导作用。

五是实践性。力图采用项目教学和任务驱动教学等方法进行编排,强调理论验证实验、基本专业技能实习和职业技能实训的重要性,将实践教学环节贯穿于课程教学的始终。

本套教材紧紧把握高职教育的方向和培养目标，严格按照新的国家职业标准对人才的要求编排内容，贯彻以技能训练为主，着重提高学生操作技能的原则。在技能训练的内容安排上富有弹性，在保证教学的前提下积极培养学生的创新能力。

本套教材内容丰富、图文并茂、体例饱满，选材来源于最新的技术手册；难易适中、应用性强，有利于知识的吸收和技能的迅速提高。可作为高等职业技术学院或应用型本科汽车类各专业的必修课教材，也可作为成人高校汽车类各专业的教材，同时可作为相关从业人员的参考用书。

教材编写过程中，由于各种原因，疏漏和不尽如人意之处在所难免，敬请广大师生提出宝贵意见，以便再版时修订完善。

《汽车类高端技能人才实用教材》编委会

前 言

汽车电工技术是汽车类专业基础课的重要组成部分，在汽车类各个专业发挥着不可替代的作用。近年来随着电工电子技术和汽车工业的迅猛发展，使汽车上的电工知识应用量大增，结合电子知识在汽车上的普遍应用，使汽车的舒适性、安全性、排放性、通过性等性能得到很大的提高。

汽车类专业学生学习电工技术知识，选择电子类电工技术教材，与汽车联系不是很显著，学习完后不懂得在汽车上怎么用，不久就会遗忘；在汽车专业教材里，很多地方都用到了电工技术的知识，由于电工技术知识学习不扎实，所以造成专业课学习吃力，知识不够深入的问题，出现知识脱节。基于这一问题，我们在平时的教学摸索中，总结了电工技术在汽车上的应用，编写了《汽车电工技术》这本教材。

本书的特点是：通俗易懂，淡化了大量的理论推导和数学计算，降低了知识的难度，突出实用，最大特点是把汽车上的一些应用和实例加入本书的相关章节中，学生有了学习兴趣，学习完后就会掌握本部分知识在汽车上是怎么应用的，建立了一个初步的认识，给专业课的学习打下坚实的基础。因此本书可作为汽车工程类高职高专的教材，适用于汽车电子技术专业、汽车检测与维修专业、汽车运用与维修专业、新能源汽车方向等专业学生学习，也可作为汽车类工程技术人员、中等职业学校电子专业和汽车专业教师的参考书。

本书由西安汽车科技职业学院高级工程师李勇担任主审，讲师李鹏伟担任主编，电子工程系讲师王静、金宜南、王楠、李翠翠、张运、苟丹丹、夏梅参编。本书第1章由金宜南老师编写，第2章由苟丹丹老师编写，第3章由李翠翠老师编写，第4章由王静老师编写，第5章由夏梅老师编写，第6章由张运老师编写，第7章和附录由王楠老师编写，第8章和电工技术在汽车上的应用实例以及全书的统稿工作由李鹏伟老师完成。

本书在编写过程中参阅了大量的电工电子类教材和汽车专业教材，在此表示衷心的感谢。

欢迎广大读者对书中存在的误漏和不足之处提出批评指正，交流讨论，以便我们改正提高。

编 者

2013年4月于西安

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 直流电路	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路的基本组成与功能	2
1.1.2 电路模型 (电路图)	4
1.2 电路中的基本物理量	5
1.2.1 电流	5
1.2.2 电位和电压	6
1.2.3 电动势	9
1.2.4 电能和电功率	10
1.3 电阻、电容、电感元件及其 VCR 特性	12
1.3.1 电阻元件	12
1.3.2 电容元件	14
1.3.3 电感元件	16
1.4 欧姆定律	17
1.4.1 部分电路欧姆定律	17
1.4.2 全电路欧姆定律	18
1.5 电压源与电流源及其等效变换	19
1.5.1 电压源	20
1.5.2 电流源	21
1.5.3 电流源与电压源的等效变换	21
1.6 基尔霍夫定律	24
1.6.1 基本概念	24
1.6.2 基尔霍夫电流定律 (节点电流定律)	24
1.6.3 基尔霍夫电压定律 (回路电压定律)	26
1.7 叠加定理	27
1.8 戴维南定理	30
1.8.1 戴维南定理	30
1.8.2 惠斯登电桥	32
本章小结	33
本章习题与思考题	34

第 2 章 正弦交流电路	38
2.1 交流电路的基本概念	38
2.1.1 电力生产过程介绍	38
2.1.2 发电机的工作原理	39
2.1.3 瞬时值、有效值、最大值	41
2.1.4 周期、频率、角速度	42
2.1.5 相位、初相、相位差	42
2.2 正弦交流电的相量表示法	44
2.2.1 复数	44
2.2.2 相量	46
2.2.3 相量图	46
2.3 单一参数的正弦交流电路	47
2.3.1 纯电阻电路	47
2.3.2 纯电感电路	48
2.3.3 纯电容电路	49
2.4 RLC 串联电路及串联谐振	51
2.4.1 RLC 串联电路	52
2.4.2 串联电路的谐振	55
2.5 正弦交流电路的一般分析方法	58
2.5.1 简单串、并联电路的分析方法	58
2.5.2 复杂交流电路的一般分析方法	59
2.6 功率因数的提高	60
2.6.1 提高功率因数的意义	60
2.6.2 提高功率因数的方法	61
本章小结	61
本章习题与思考题	62
第 3 章 三相交流电路	64
3.1 三相交流电源	65
3.1.1 三相交流电源的产生	65
3.1.2 三相电源的连接	66
3.2 三相负载的连接	67
3.2.1 三相负载的星形连接	68
3.2.2 三相负载的三角形连接	69
3.3 三相电路的功率	71
3.4 汽车交流发电机	72
3.4.1 交流发电机结构	72
3.4.2 汽车交流发电机工作原理	74
本章小结	75
本章习题与思考题	75

第 4 章 磁路及电磁器件	77
4.1 磁场与电磁感应	77
4.1.1 磁场的基本概念	77
4.1.2 磁路计算中的基本物理量	78
4.1.3 电磁感应理论	79
4.2 铁磁材料及其磁性能	80
4.2.1 铁磁材料的磁导率	80
4.2.2 磁性材料及磁化	80
4.2.3 磁性材料的特性	81
4.2.4 磁性材料的分类	82
4.3 交流铁芯线圈	83
4.3.1 交流铁芯线圈的电磁关系	83
4.3.2 功率损耗	84
4.4 变压器	85
4.4.1 变压器的用途、结构和分类	85
4.4.2 理想变压器	86
4.4.3 变压器的额定值	88
4.5 几种特殊变压器	89
4.5.1 自耦变压器	89
4.5.2 仪用变压器	90
4.5.3 电焊变压器	91
4.6 电磁铁与继电器	92
4.6.1 电磁铁	92
4.6.2 继电器	93
4.6.3 电磁关系应用举例	97
本章小结	100
本章习题与思考题	101
第 5 章 三相异步电动机	103
5.1 三相异步电动机的结构及工作原理	103
5.1.1 三相异步电动机的结构	104
5.1.2 三相异步电动机的工作原理	105
5.2 三相异步电动机的铭牌	108
5.3 三相异步电动机的起动	109
5.3.1 直接起动	109
5.3.2 降压起动	110
5.4 三相异步电动机的调速	112
5.4.1 变频调速	112
5.4.2 变极调速	113
5.4.3 变转差率调速	113

5.5 三相异步电动机的制动	114
5.5.1 能耗制动	114
5.5.2 反接制动	115
5.5.3 回馈发电制动	115
5.6 三相异步电动机顺序控制线路举例	116
本章小结	117
本章习题与思考题	118
第6章 直流电动机与步进电动机	119
6.1 直流电动机的结构、工作原理和特性	120
6.1.1 直流电动机的结构	120
6.1.2 直流电动机的工作原理	122
6.2 直流电动机的分类	123
6.3 直流电动机的起动、制动、调速及正反转控制	126
6.3.1 直流电动机的起动	126
6.3.2 直流电动机的制动	127
6.3.3 直流电动机的调速	128
6.3.4 直流电动机的正反转控制	129
6.4 步进电动机	131
6.4.1 步进电动机的种类	132
6.4.2 步进电动机的工作原理	132
6.4.3 步进电动机的驱动	134
本章小结	135
本章习题与思考题	136
第7章 电工安全知识与电工仪表	137
7.1 常用基本安全用电知识	137
7.1.1 安全电压和电流	137
7.1.2 绝缘安全用具	138
7.1.3 触电方式及防止触电	138
7.1.4 其他防护措施	140
7.1.5 其他安全用电常识	140
7.1.6 触电急救技术	140
7.1.7 汽车安全用电注意事项	141
7.2 常用电工工具的使用	141
7.2.1 常用电工工具	142
7.2.2 网线水晶头的压制	145
7.2.3 视频头的连接	145
7.3 常用电工仪表的使用	146
7.3.1 万用表	146
7.3.2 钳形电流表	151

7.3.3 兆欧表	152
7.4 焊接工艺	153
7.4.1 焊接工具	153
7.4.2 焊前处理	154
7.4.3 焊接技术	155
7.4.4 印制电路板的焊接	156
本章小结	157
第 8 章 实验指导	158
实验一 电位、电压的测定及电路电位图的绘制	161
实验二 基尔霍夫定律的验证	163
实验三 叠加原理的验证	165
实验四 R、L、C 元件阻抗特性的测定	168
实验五 R、L、C 串联谐振电路的研究	170
实验六 三相交流电路电压、电流的测量	173
实验七 变压器的连接与测试	177
实验八 三相异步电动机顺序控制	179
附录 A 电阻器的基本知识	182
附录 B 电容器的基本知识	194
附录 C 电感器的基本知识	200
参考文献	205

第 1 章

电路与电子技术基础

直流电路



学习目标

1. 了解电路的基本组成、电路的三种工作状态。
2. 理解电流、电压、电动势、电位、电功率、电能等基本概念。
3. 掌握电阻定律、欧姆定律，了解电阻与温度的关系。
4. 理解电容、电感的特性。
5. 学会分析计算电路中各点电位。
6. 掌握电压源与电流源及其等效变换。
7. 掌握基尔霍夫定律、叠加定理、戴维南定理的内容及使用方法。
8. 掌握惠斯登电桥的结构、特点及其在汽车上的应用。

1.1 电路和电路模型

电路在我们的日常生活中无处不在，手电筒就是一种最简单的电路，还有空调、洗衣机、电视机、电冰箱等家用电器。电子电路知识的发展给我们的生活带来了很大的变化，让我们的家庭生活更加舒适、更加健康。随着电子技术的迅猛发展，电子技术广泛应用在航空、航天、航海、汽车、工业生产、家用电器等各行各业，使各个领域的技术不断更新。近些年，电子电路在汽车上的应用，使汽车的性能（经济性、排放性、安全性、舒适性、通过性等）得到较大的发展和提高，给发展智能化、网络化汽车及智能交通系统奠定了良好基础。

1.1.1 电路的基本组成与功能

在日常生活或在生产实践中人们广泛地接触着各种各样的电路,例如,手电筒就是一种非常简单的电路,汽车上的起动系就是汽车上最基本的电路。

电路是由各种元器件(或电工设备)按一定方式连接起来的总体,为电流的流通提供了闭合路径。

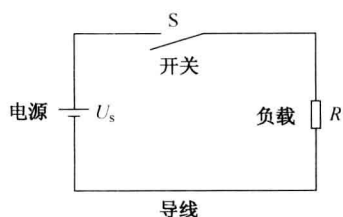


图 1-1 电路的组成图

一般来说,电路由电源、负载、连接导线、控制和保护装置四部分组成,如图 1-1 所示。

(1) 电源(供能元件):为电路提供能量的设备和器件。它能把其他形式的能转换成电能。常见的电源有干电池、蓄电池、发电机等。汽车上的电源有两个,一个是发电机,另一个是蓄电池。发动机不启动时由蓄电池供电,发动机启动后轻负荷下由发电机供电,大负荷下由蓄电池和发电机联合供电。

(2) 负载(耗能元件):使用(消耗)电能的设备和器件的总称。其作用是把电能转换成其他形式的能,如灯泡、电动机等用电器。汽车上的所有灯光,控制车窗升降、雨刮或中控锁的电机,喷油器,油泵,喇叭,所有的电控单元(Electronic Control Unit, ECU)等都是负载。

(3) 连接导线:将电源和负载按一定方式连接构成闭合回路,输送和分配电能。如各种铜线、铝线等。

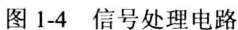
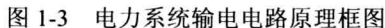
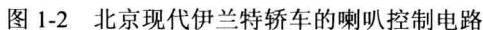
(4) 控制和保护装置:用来控制电路的通断,保护电路的安全,使电路能够正常工作,如开关、熔断器、继电器等。汽车上不同参数的保险丝、熔断器,灯光开关,雨刮开关,车窗开关,中控锁开关,点火开关,巡航开关,防盗继电器,启动继电器,油泵继电器,雨刮继电器等,这些都属于控制和保护装置。

汽车上的电路原理图分为整车电路原理图和局部电路原理图,如图 1-2 所示为北京现代伊兰特轿车的喇叭控制电路。

实际电路种类繁多,但就其功能来说可概括为以下四个方面。

(1) 进行能量的传输、分配与转换。典型的例子是电力系统中的输电电路,如图 1-3 所示。发电厂的发电机组将其他形式的能量(热能、水能、风能、原子能等)转换成电能,通过变压器、输电线等输送给用户,那里把电能转换成机械能(如负载是电动机)、光能(如负载是灯泡)、热能(如负载是电炉等),为人们生产、生活所利用。

(2) 实现信息的传递与处理。典型的例子有电话、收音机、电视机等,如图 1-4 所示。接收天线把载有语言、音乐、图像信息的电磁波接收后,通过电路把输入信号(又称激励)变换或处理为人们所需要的输出信号(又称响应),送到扬声器或显像管,再还原为语言、音乐或图像。



3



(4) 存储电路。所有的存储芯片内部都是由电路构成的。

实际电路多种多样，具体的功能也各不相同，但它们有其共性，正是在这种共性的基础上，形成电路理论这一学科。

电路的状态简单可分为三种：

(1) 通路（闭路）：电源与负载接通，电路中有电流通过，电气设备或元器件获得一定的电压和电功率，进行能量转换。

(2) 开路（断路）：电路中没有电流通过，又称为空载状态。

(3) 短路（捷路）：电源两端的导线直接相连接，输出电流过大对电源来说属于严重过载，如没有保护措施，电源或电器会被烧毁或发生火灾，所以通常要在电路或电气设备中安装熔断器、保险丝等保险装置，以避免发生短路时出现不良后果。

1.1.2 电路模型（电路图）

由理想元件构成的电路叫做实际电路的电路模型，也叫做实际电路的电路原理图，简称为电路图。例如，图 1-5 所示的手电筒电路图。

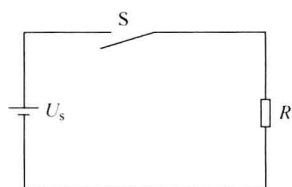


图 1-5 手电筒电路图

理想元件：电路是由电特性相当复杂的元器件组成的，为了便于用数学方法对电路进行分析，可将电路实体中的各种电器设备和元器件用一些能够表征它们主要电磁特性的理想元件（模型）来代替，而对实际上的结构、材料、形状等非电磁特性不予考虑。

在实际电路中使用着各种电气元器件（统称为电路部件），如电阻器、电容器、电感器、灯泡、电池、晶体管、变压器等。实际的电路部件虽然种类繁多，但在电磁现象方面却有许多共同的地方。譬如电阻器、灯泡、电炉等，它们主要是消耗电能的，这样我们可用一个理想电阻来反映消耗电能的特征，即电阻特性。当电流通过它时，在它内部进行着把电能转换为其他形式能量的过程。理想电阻的模型符号如图 1-6 (a) 所示。类似地，各种实际电容器主要是贮存电能的，用一个理想的二端电容来反映贮存电能的特征，即电容特性，理想电容的模型符号如图 1-6 (b) 所示。用一个理想二端电感来反映贮存磁能的特征，即电感特性，其模型符号如图 1-6 (c) 所示。

常用的理想元件名称和符号如表 1-1 所示。

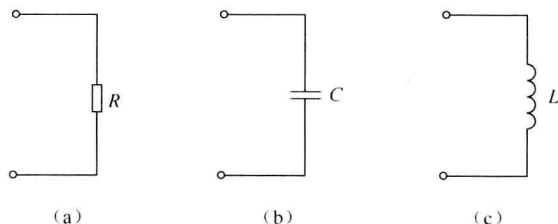
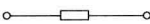
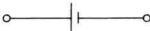
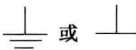


图 1-6 理想电阻、电容、电感元件模型

表 1-1 常用的理想元件及符号

名 称	符 号	名 称	符 号
电阻		电压表	
电池		接地	
电灯		熔断器	
开关		电容	
电流表		电感	

1.2 电路中的基本物理量

在电路分析中，我们常用到的物理量有电流、电压、电位和电功率等。在分析电路之前，作为常识，首先要深刻理解这些基本物理量的概念、符号和单位等。

1.2.1 电流

在物理课中已经学过，电荷的定向移动形成电流。电流的方向习惯上指正电荷运动的方向，电流的大小常用电流强度来表示。电流强度是指单位时间内通过导体横截面的电荷量。而我们常说的电流大小就是电流强度的大小。

我们知道，金属导体内含有大量的带负电荷的自由电子，通常情况下，这些自由电子在其内部做无规则的热运动。在这种情况下，金属导体内虽有电荷运动，但由于电荷运动是杂乱无规则的，因而不会形成电流。如果在金属导体的两端连接上电源，那么带负电荷的自由电子就要逆电场方向运动，这样，金属导体内就有电荷做规则的定向运动，于是就形成电流。在其他场合，如电解溶液中的带电离子做规则定向运动也会形成电流。

电流虽然看不见摸不着，但可通过电流的各种效应（如磁效应、热效应）来感觉它的客观存在，这是人们所熟悉的常识。所以，毫无疑问，电流是客观存在的物理现象。为了从量的方面量度电流的大小，引入电流强度的概念。

电流强度是指单位时间内通过导体横截面的电荷量。用 $i(t)$ 表示，即

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

式中， $q(t)$ 为通过导体横截面的电荷量。

若 $\frac{dq(t)}{dt}$ 为一常数，说明是直流电流，常用大写字母 I 表示。电流强度的单位是安培 (A)，简称“安”。常用的单位还有千安 (kA)，毫安 (mA)、微安 (μA) 等，其换算关系如下：

