

高等职业教育项目课程改革规划教材

# 电工电子技术 项目教程

黄文娟 陈亮 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



高等职业教育项目课程改革规划教材

# 电工电子技术项目教程

主 编	黄文娟	陈 亮
副主编	李杰峰	高云华
参 编	赵 伟	郑建红
	任黎明	牛静霞
主 审	陈丽芳	



机械工业出版社

本书围绕从事机电类专业职业工种必需的电工电子技术基本知识、基本方法和基本技能,将理论知识与技能紧密结合,体现了学做合一的教学过程。本书将传统的“电工电子技术”课程教学内容分解整合为13个工作过程(项目),即汽车信号灯电路的安装与测试、电桥电路的安装与测试、延时开关电路的设计与安装、家庭配电线路的设计与安装、变压器的设计与制作、三相异步电动机控制电路的分析与测试、直流稳压电源的制作与检测、扩音机电路的安装与调试、电冰箱冷藏室温控器的安装与调试、三人表决器电路的设计与调试、数码显示电路的设计与调试、抢答器电路的设计与调试、触摸式防盗报警电路的设计与调试。书末还附有综合实训。

本书根据“理论知识够用为度,注重应用能力培养”的原则,内容经过精心挑选,突出表现了职业教育的特色。

本书可作为高职高专院校机电类专业的教材,也可供相关人员自学使用。

为方便教学,本书配有电子课件、模拟试卷及解答等,凡选用本书作为教材的学校,均可来电免费索取。咨询电话;01088379375;电子邮箱:wangzongf@163.com。

## 图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术项目教程/黄文娟,陈亮主编. —北京:机械工业出版社,2013.8

高等职业教育项目课程改革规划教材

ISBN 978-7-111-43228-9

I. ①电… II. ①黄…②陈… III. ①电工技术—高等职业教育—教材  
②电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第150822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:王宗锋 责任编辑:王宗锋 曲世海

版式设计:霍永明 责任校对:姜艳丽

责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16.25印张·402千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-43228-9

定价:32.00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 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书是根据高职高专机电类专业的培养目标，以就业为导向，以专业岗位职业能力为依据，在深入开展项目化课程改革的基础上编写而成的。本书通过任务引领的方式将知识点融入在完成工作任务所必备的工作项目中，所选项目贴近实际，具有较高的可操作性和一定的实用价值。学生通过学习，可掌握必要的基本理论知识，并使自己的实践能力、职业技能、分析问题和解决问题的能力不断提高。

本书在内容编排上具有以下特点：

1. 作为一门应用性很强的课程，改变了传统的教材编写体系，从职业（岗位）需求分析入手，参照国家职业标准《维修电工》等的要求，以现代社会要求电工掌握的几类主要技术能力为标准，选取了13个实训项目和两个综合实训。每个项目中都设计了项目目标、工作情景、实践知识、理论知识、项目实训、习题及拓展训练6部分，突出了知识和实践的统一，强化了实践能力的培养。这些项目既适合不同院校结合自己的实际安排教学，也适合自学者根据项目的要求自行实践，使知识和技能得到同步提高。

2. 确定学生应具备的知识结构和能力结构，突出职业教育特色，在强调基础知识的同时，也注重基本能力培养和实践技能训练，突出了知识的实用性和够用性；且各部分内容前后贯通，有机结合，既有基础理论，又有新技术、新方法，力求与时俱进。

3. 按照教学规律和学生的认知规律，广泛吸收和借鉴各地教学的成功经验，合理编排教学内容，基础理论以够用为度，尽量以图片、图形代替文字说明，以降低学习难度，提高学生兴趣，在应用技术方面紧密结合工程实际需要，突出实用性。

本书由唐山职业技术学院黄文娟、陈亮担任主编，李杰峰、高云华担任副主编。项目一、三、四由黄文娟编写，项目二由河北联合大学赵伟编写，项目五、六、七和综合实训二由李杰峰编写，项目八、九、十由高云华编写，项目十一、十二、十三和综合实训一由陈亮编写，唐山职业技术学院任黎明、郑建红及河北联合大学牛静霞参与了部分内容的编写和校对工作。全书由黄文娟、陈亮统稿。

本书由河北联合大学的陈丽芳教授主审，她对全书进行了认真、仔细审阅，提出了许多具体、宝贵意见，在此表示诚挚的感谢！另外，本书在编写过程中，参考了许多文献、资料，在此对相关作者表示衷心感谢！

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中不妥和错误之处在所难免，望广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

## 项目一 汽车信号灯电路的安装与

### 测试 ..... 1

项目目标 ..... 1

工作情境 ..... 1

实践知识——常用电工工具 ..... 1

一、测电笔 ..... 1

二、螺钉旋具 ..... 2

三、钳类工具 ..... 3

四、电工刀 ..... 4

理论知识 ..... 4

一、电路及电路模型 ..... 4

二、电流、电压及其参考方向 ..... 6

三、电位与电动势 ..... 8

四、电能与功率 ..... 10

五、电阻 ..... 11

六、电压源与电流源 ..... 15

七、电路的三种状态 ..... 17

项目实训 ..... 19

习题及拓展训练 ..... 22

## 项目二 电桥电路的安装与测试 ..... 24

项目目标 ..... 24

工作情境 ..... 24

实践知识——万用表的使用 ..... 24

一、指针式万用表 ..... 25

二、数字式万用表 ..... 28

理论知识 ..... 29

一、基尔霍夫定律 ..... 29

二、支路电流法 ..... 31

三、叠加定理 ..... 32

四、戴维南定理 ..... 33

五、节点电压法 ..... 34

项目实训 ..... 35

习题及拓展训练 ..... 39

## 项目三 延时开关电路的设计与安装 ..... 41

项目目标 ..... 41

工作情境 ..... 41

实践知识——功率表和电能表 ..... 41

一、功率表 ..... 41

二、电能表 ..... 44

理论知识 ..... 47

一、电容和电感 ..... 47

二、正弦交流电的基本知识 ..... 49

三、单一参数的正弦交流电 ..... 52

四、RLC 串并联电路 ..... 56

五、电路的谐振 ..... 58

项目实训 ..... 60

习题及拓展训练 ..... 62

## 项目四 家庭配电线路的设计与安装 ..... 64

项目目标 ..... 64

工作情境 ..... 64

实践知识——兆欧表 ..... 64

一、兆欧表的工作原理 ..... 65

二、兆欧表的使用 ..... 65

理论知识 ..... 66

一、对称三相交流电及其特点 ..... 66

二、三相电源的连接 ..... 68

三、三相负载的连接 ..... 69

四、三相电路的功率 ..... 71

项目实训 ..... 73

习题及拓展训练 ..... 78

## 项目五 变压器的设计与制作 ..... 81

项目目标 ..... 81

工作情境 ..... 81

实践知识——变压器的选择和使用 ..... 81

一、变压器的分类 ..... 81

二、变压器的型号 ..... 82

理论知识 ..... 83

一、磁路 ..... 83

二、变压器的结构和工作原理 ..... 86

三、变压器的运行 ..... 89

项目实训 ..... 92

习题及拓展训练 ..... 94

## 项目六 三相异步电动机控制电路的

<b>分析与测试</b> .....	96	三、垂直偏转因数和时基选择 .....	145
项目目标 .....	96	四、输入通道选择和输入耦合方式 .....	146
工作情境 .....	96	五、触发 .....	146
实践知识——安全用电 .....	96	六、扫描方式 .....	146
一、触电类型及触电方式 .....	97	理论知识 .....	147
二、触电的预防 .....	98	一、半导体晶体管 .....	147
三、安全用电措施 .....	99	二、晶体管基本放大电路 .....	151
理论知识 .....	99	三、多级信号放大电路 .....	158
一、低压开关类电器 .....	99	项目实训 .....	159
二、交流接触器 .....	102	习题及拓展训练 .....	162
三、继电器 .....	102	<b>项目九 电冰箱冷藏室温控器的安装</b>	
四、三相异步电动机的结构与工作		<b>与调试</b> .....	164
原理 .....	104	项目目标 .....	164
五、三相异步电动机的起动、调速、		工作情境 .....	164
制动和正反转控制 .....	110	实践知识——电子电压表 .....	164
六、三相异步电动机的铭牌和选择		一、电子电压表的结构和原理 .....	164
原则 .....	114	二、DA-16 型晶体管毫伏表 .....	165
项目实训 .....	117	三、DA2 型超高频电压表 .....	166
习题及拓展训练 .....	119	理论知识 .....	167
<b>项目七 直流稳压电源的制作与检测</b> ...	121	一、集成运算放大器 .....	167
项目目标 .....	121	二、集成运算放大电路及其应用 .....	169
工作情境 .....	121	项目实训 .....	173
实践知识——焊接工艺 .....	121	习题及拓展训练 .....	176
一、锡焊的特点 .....	121	<b>项目十 三人表决器电路的设计与</b>	
二、锡焊工具与材料 .....	122	<b>调试</b> .....	179
三、手工锡焊基本操作 .....	123	项目目标 .....	179
四、装焊步骤 .....	124	工作情境 .....	179
理论知识 .....	125	实践知识——元器件的插装方法及线路	
一、半导体基础知识 .....	125	安装工艺 .....	179
二、二极管 .....	129	一、元器件的插装方法 .....	179
三、特殊二极管 .....	131	二、线路安装工艺 .....	180
四、整流电路 .....	133	理论知识 .....	181
五、滤波电路 .....	135	一、数制与编码 .....	181
六、稳压电路 .....	138	二、基本逻辑关系 .....	185
项目实训 .....	139	三、逻辑函数的运算 .....	188
习题及拓展训练 .....	141	四、门电路 .....	193
<b>项目八 扩音机电路的安装与调试</b> .....	144	项目实训 .....	196
项目目标 .....	144	习题及拓展训练 .....	200
工作情境 .....	144	<b>项目十一 数码显示电路的设计与</b>	
实践知识——示波器 .....	144	<b>调试</b> .....	202
一、荧光屏 .....	144	项目目标 .....	202
二、示波管 .....	145	工作情境 .....	202

实践知识——函数信号发生器 .....	202	<b>项目十三 触摸式防盗报警电路的 设计与调试</b> .....	234
一、函数信号发生器的认识 .....	202	项目目标 .....	234
二、函数信号发生器的分类 .....	202	工作情境 .....	234
三、函数信号发生器的几种实现方法 .....	203	实践知识——电气控制线路故障分析与 检查方法 .....	234
理论知识 .....	203	一、电气控制线路故障分析 .....	234
一、组合逻辑电路的分析与设计 .....	203	二、电气控制线路故障检查 .....	235
二、编码器 .....	205	理论知识 .....	236
三、译码器 .....	208	一、555 电路简介 .....	236
项目实训 .....	212	二、电路结构及工作原理 .....	236
习题及拓展训练 .....	215	三、555 电路的典型应用 .....	237
<b>项目十二 抢答器电路的设计与调试</b> ..	217	项目实训 .....	240
项目目标 .....	217	习题及拓展训练 .....	243
工作情境 .....	217	<b>综合实训</b> .....	244
实践知识——电气识图常识 .....	217	综合实训一 家庭室内用电系统布线 .....	244
一、电气图概述 .....	217	综合实训二 五管超外差式收音机的 组装 .....	246
二、电气图的绘制规则 .....	218	<b>附录</b> .....	251
理论知识 .....	220	附录 A 半导体器件命名方法 .....	251
一、触发器 .....	220	附录 B 常用电气图形符号 .....	252
二、时序逻辑电路的分析方法 .....	223	<b>参考文献</b> .....	254
三、计数器 .....	224		
四、数码寄存器与移位寄存器 .....	228		
项目实训 .....	229		
习题及拓展训练 .....	232		

# 项目一 汽车信号灯电路的安装与测试

## ◆ 项目目标

1. 了解电路的组成，建立电路模型的概念。
2. 熟悉电路基本物理量和电路的三种工作状态，掌握电路元件的特性及参数。
3. 熟悉电压源、电流源的概念及实际电源两种模型的等效变换。
4. 能够识读电路图，并能够根据电路图应用工具进行电路接线。
5. 能正确使用常用电工仪表对电路元件进行检测。
6. 熟悉电路连接的基本原则和安全规程，培养良好的职业素养和规范的操作习惯。

## ◆ 工作情境

### 1. 实训环境要求

本项目的教学应在一体化的电工技能实训室和电子装配室进行，实训室内设有教学区（配备多媒体）、工作区、资料区和展示区。要配备常用的电工实验台等设备、万用表等常用仪表及常用电工工具。

### 2. 指导要求

配备一名主讲教师和一名实验室辅助教师。

### 3. 学生要求

根据班级情况进行分组，一般每组 3~4 名同学，选出小组长。

### 4. 教学手段选择

- 1) 主要应用讲授法、任务教学法、讨论法和演示法进行教学。
- 2) 采取多媒体教学与实物演示相结合。
- 3) 现场教学与动手操作相结合。
- 4) 教师主导与学生自主学习相结合。

## ◆ 实践知识——常用电工工具

电工工具是电气操作的基本工具。在进行安装、调试和维修各种电气设备和线路时，都离不开正确使用各种电工工具。下面对部分常用电工工具进行介绍。

### 一、测电笔

为能直观地确定设备、线路是否带电，使用测电笔测试是一种既方便又简单的方法。测电笔是用来测试对地电压在 500V 及以下的低压电气设备外壳是否带电的常用工具，也是家庭中常用的电工安全工具。其检测电压范围为 60~500V（指带电体与大地的电位差）。测电笔主要有笔式、螺钉旋具式和数字显示式等几种，其外形及结构如图 1-1 所示。当用测电笔测试带电体时，电流经带电体、测电笔、人体到大地形成通电回路。只要带电体与大地之间



的电位差超过一定数值（通常为 60V），电笔中的氖管就会发光。

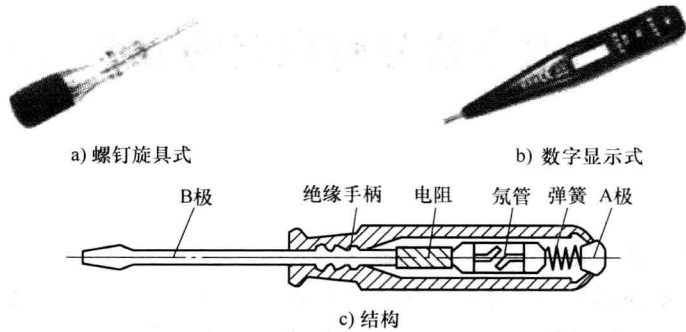


图 1-1 测电笔的外形及结构

测电笔的握法如图 1-2 所示，正确的操作方法是将食指与笔尾的金属接触，笔尖与被测导体接触，为便于观察应使氖管背光或将显示屏朝向自己。为防止笔尖金属体触及皮肤，避免触电，在螺钉旋具式测电笔的金属杆上，必须套上绝缘套，仅留出刀口部分供测试需要。使用测电笔时，首先应检查一下测电笔的完好性，然后在有电的地方验证一下，只有确认测电笔完好后，才可进行验电。

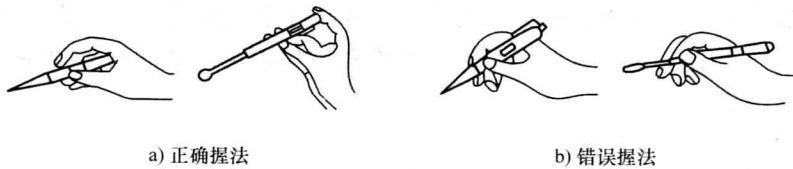


图 1-2 测电笔的握法

## 二、螺钉旋具

螺钉旋具俗称螺丝刀、起子，是用于安装、紧固或拆卸螺钉的工具。螺钉旋具的式样很多，根据其头部形状可将螺钉旋具分为一字形和十字形两种，按柄部材料可分为木柄和塑料柄两类，如图 1-3 所示。一字形螺钉旋具常用的规格有 50mm、75mm、100mm、125mm、150mm 及 200mm 等，电工常备的是 50mm 和 150mm 两种。十字形螺钉旋具常用的规格有五种：0 号（适用于 ≤ M2 螺钉）、1 号（适用于 M2.5、M3 螺钉）、2 号（适用于 M4、M5 螺钉）、3 号（适用于 M6 螺钉）和 4 号（适用于 M8、M10 螺钉）。

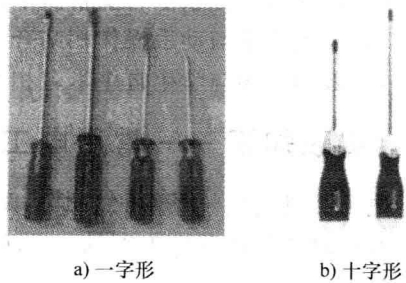


图 1-3 常用的螺钉旋具

螺钉旋具的正确使用方法如图 1-4 所示。

螺钉旋具使用安全事项：

- 1) 电工不可使用金属杆直通柄顶的螺钉旋具，否则操作时很容易造成触电事故。
- 2) 使用螺钉旋具拆卸带电的螺钉时，手不得触及螺钉旋具的金属杆，以免发生触电事故。

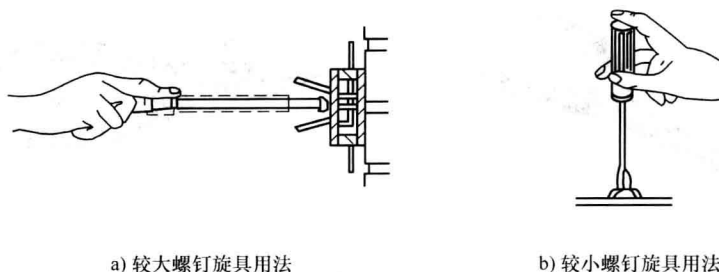


图 1-4 螺钉旋具的正确使用方法

3) 为避免螺钉旋具的金属杆触及皮肤或触及邻近的带电体, 应在金属杆上套绝缘套。

4) 使用螺钉旋具时, 应注意使螺钉旋具刀头与螺钉尾槽紧密结合, 用力均匀, 以防止打滑, 同时也可避免损坏螺钉槽口。

### 三、钳类工具

#### 1. 钢丝钳

钢丝钳又称老虎钳, 其外形如图 1-5a 所示。钢丝钳由钳头和钳柄两部分组成。钳头由钳口、齿口、刀口和侧口四部分组成, 钳柄主要有铁柄和绝缘柄两种, 如图 1-5b 所示。钢丝钳常用的规格有 150mm、180mm 和 200mm 三种。电工应使用具有耐压 500V 绝缘柄的钢丝钳。

钢丝钳的用途很多, 钳口可用来弯绞或钳夹导线线头, 齿口可用来紧固或起松螺母, 刀口可用来剪切导线或剥导线绝缘层, 侧口可用来侧切电线线芯、钢丝或铅丝等较硬金属。钢丝钳使用时的基本握法如图 1-5c 所示。

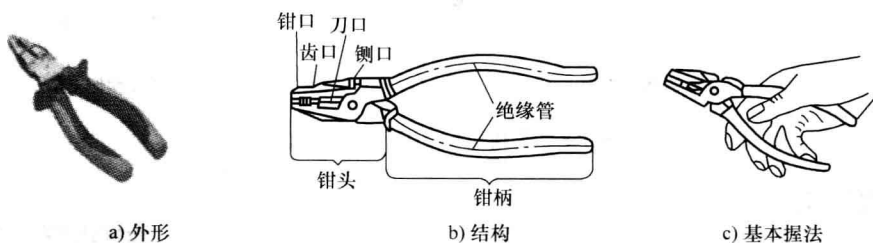


图 1-5 钢丝钳外形、结构与基本握法

钢丝钳使用安全事项:

1) 使用前必须检查绝缘柄的绝缘是否完好无损, 否则进行带电操作时会发生触电事故。

2) 钳头不可代替锤子作为敲打工具使用。

3) 钳头应采取防锈措施, 轴销处应经常加机油润滑, 以保证使用灵活。

#### 2. 尖嘴钳和斜口钳

尖嘴钳的外形如图 1-6a 所示, 主要由钳头和钳柄组成。钳柄有铁柄和绝缘柄两种, 如图 1-6b 所示。电工应使用带耐压 500V 绝缘柄的尖嘴钳。

尖嘴钳头部尖细, 适用于在窄小的空间操作, 可以用来剪断细小金属丝, 或者用来夹持

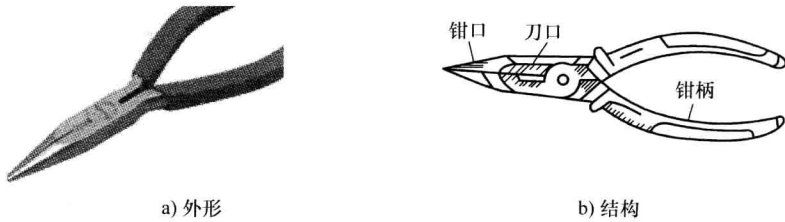


图 1-6 尖嘴钳外形与结构

较小螺钉、垫圈、导线等元件，其握法与钢丝钳的握法相同。

斜口钳又称为断线钳，常用于剪断较粗的金属丝、线材及电线电缆等，其外形如图 1-7 所示。

### 3. 剥线钳

剥线钳是用于剥削截面积为  $6\text{mm}^2$  及以下塑料或橡胶导线绝缘层的专用工具。剥线钳有直径为  $0.5 \sim 3\text{mm}$  的多个切口，可用于不同规格芯线导线绝缘层的剥削，手柄通常为耐压  $500\text{V}$  的绝缘柄，其外形及操作方法如图 1-8 所示。操作时，将要剥除的绝缘长度用标尺定好后，把导线放入相应的切口中（切口要比导线直径稍大），用手将钳柄一握然后放松，导线的绝缘层即被割破自动弹出。



图 1-7 斜口钳外形

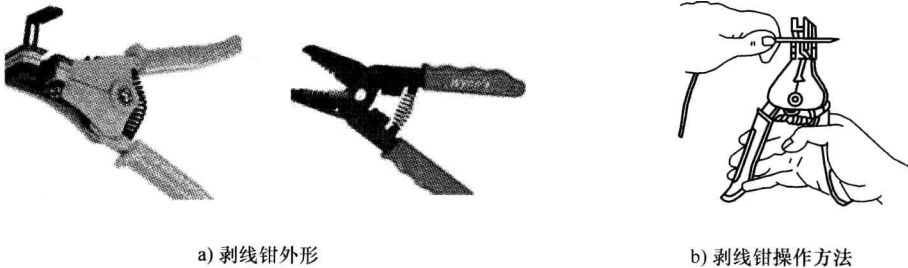


图 1-8 剥线钳的外形及操作方法

## 四、电工刀

电工刀是用来剖削或切割电工材料（如剖削电线、电缆等）的常用工具。电工刀主要由刀身和刀柄组成，如图 1-9 所示。使用电工刀时，刀口应朝外操作，在剖削电线时，刀口要放平一点，以免割伤线芯。使用后要及时把刀身折入刀柄内。

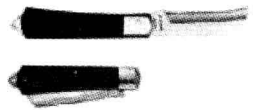


图 1-9 电工刀

## ◆ 理论知识

### 一、电路及电路模型

#### 1. 电路的组成

电路类型多种多样，结构形式也各不相同。但从大的方面来看，电路一般都是由电源、负载和中间环节 3 个部分按照一定方式连接起来的电流路径，如图 1-10 所示。

**电源：**是将其他形式的能转换成电能的装置。它是电路中能量的提供者，如干电池、蓄电池、发电机或信号源等。常见的直流电源如图 1-11 所示。

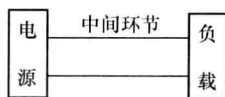


图 1-10 电路的组成

**负载：**是将电能转换成其他形式能的器件或设备，是电路中能量的消耗者，如电灯、电炉、电动机等。负载是各类用电器的统称。常见的负载如图 1-12 所示。

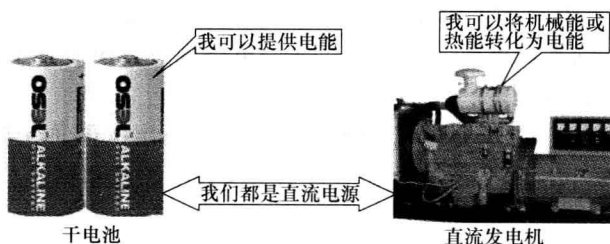


图 1-11 常见的直流电源

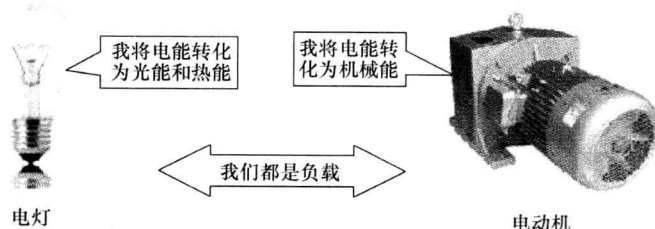


图 1-12 常见的负载

**中间环节：**连接电源和负载的部分统称为中间环节，起传输和分配电能的作用。中间环节包括导线及电气控制元件等。导线是连接电源、负载和其他电气元件的金属线，常用的有铜导线和铝导线等，如图 1-13 所示。电气控制元件是对电路进行控制的电器元件，例如低压断路器和熔断器等，如图 1-14 所示。

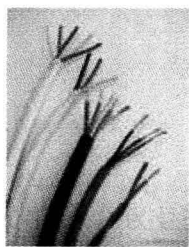


图 1-13 各种导线

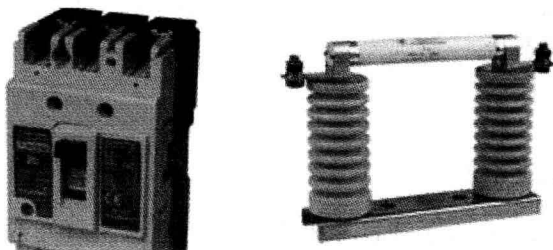


图 1-14 电气控制元件

## 2. 电路的功能

实际应用中，电路实现的功能是多种多样的，但从总体上可概括为以下两方面。

- 1) 进行电能的传输、分配与转换，例如图 1-15 所示的电力系统输电电路。图中，发电机是电源，家用电器和工业用电器等是负载，而变压器和输电线等则是中间环节。
- 2) 进行信号的传递与处理，例如图 1-16 所示的扩音器电路。其中，传声器是输出信号



图 1-15 电力系统输电电路

的设备，称为信号源，相当于电源。但与上述的发电机、电池等电源不同，信号源输出的电压或电流信号取决于其所加的信息。扬声器是负载，放大器等则是中间环节。

### 3. 电路模型

采用图 1-15 和图 1-16 所示的电路进行电路分析和计算是很不方便的，所以通常采用一些简单的理想元件来代替实际元件，这样一个实际电路就可以由若干个理想元件的组合来模拟，这样的电路称为**电路模型**。

将实际电路中各个部件用其模型符号来表示，这样画出的图称为实际电路的**电路模型图**，也称为**电路原理图**。图 1-17 所示为手电筒电路及其电路模型图。

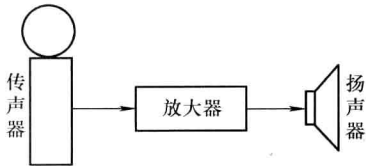


图 1-16 扩音器电路

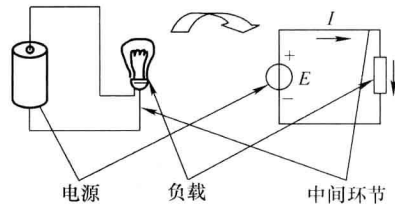


图 1-17 手电筒电路及其电路模型图

建立电路模型的意义十分重要，运用电路模型可以大大简化电路的分析，电路模型反映了电路的主要性能，忽略了它的次要性能，因此电路模型只是实际电路的近似，是实际电路的理想化模型。

## 二、电流、电压及其参考方向

### 1. 电流

电荷的定向移动形成电流。电流的大小是用电流强度来描述的，其定义为：单位时间内，通过导体横截面的电量称为电流强度，简称电流。交流电流用符号  $i$  表示，直流电流用符号  $I$  表示。

$$\text{交流电流为} \quad i = \frac{dq}{dt}$$

$$\text{直流电流为} \quad I = \frac{Q}{t}$$

式中， $dq$  或  $Q$  为通过导体横截面的电荷量（单位：库 [仑]，符号为 C）； $dt$  或  $t$  为时间（单位：秒，符号为 s）。

可见，电流一词不仅代表一种物理现象，而且也代表一个物理量。

本书中的物理量采用国际单位制（SI）。在 SI 中，电流的基本单位是安 [培]，符号为 A。电流的常用单位还有毫安（mA）和微安（ $\mu\text{A}$ ）。各单位的换算关系为

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

### 2. 电压

在电场中，单位正电荷从 a 点移动到 b 点电场力所做的功，定义为 a、b 两点间的电压。

交流电压用符号  $u$  表示, 直流电压用符号  $U$  表示。电压  $U_{ab}$  的标记方向是从起点  $a$  指向终点  $b$ , 用箭头表示, 如图 1-18 所示。

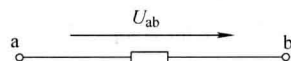


图 1-18 电压的标记方向

在 SI 中, 电压的基本单位为伏 [特], 符号为 V。电压的常用单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV) 和微伏 ( $\mu\text{V}$ )。各单位的换算关系为

$$1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V} = 10^{-3}\text{kV}$$

电压的实际方向规定为: 从高电位指向低电位。

### 3. 电流、电压的参考方向

在物理学中, 习惯上规定正电荷定向运动的方向为电流的方向。对于一段电路来说, 其电流的方向是客观存在的, 是确定的, 但在具体分析电路时, 有时候很难判断出电流的实际方向。为解决这一问题, 引入电流参考方向的概念, 具体分析步骤如下。

1) 在分析电路前, 可以任意假设一个电流的参考方向, 如图 1-19 所示的  $I$  方向。

2) 参考方向一经选定, 电流就成为一个代数量, 有正、负之分。若计算电流结果为正值, 则表明电流的设定参考方向与实际方向相同, 如图 1-19a 所示; 若计算电流结果为负值, 则表明电流的设定参考方向与实际方向相反, 如图 1-19b 所示。

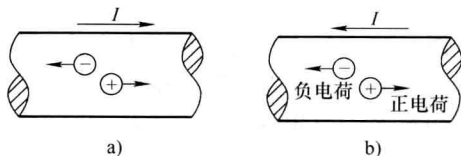


图 1-19 电流的参考方向

在未设定参考方向的情况下, 电流的正负值是毫无意义的, 本书电路图中所标注的电流方向都是参考方向, 而不一定是电流的实际方向。电流的参考方向除了可以用箭头表示外, 还可用双下标表示, 如  $I_{ab}$  表示电流的参考方向由  $a$  指向  $b$ , 而  $I_{ba}$  表示电流的参考方向由  $b$  指向  $a$ 。

【例 1-1】请说明图 1-20 所示电流的实际方向。

【解】图 1-20a 中, 电流的参考方向为由  $a$  到  $b$ ,  $I = 2\text{A} > 0$ , 为正值, 说明电流的实际方向和参考方向相同, 即电流的实际方向从  $a$  到  $b$ ;

图 1-20b 中, 电流的参考方向为由  $a$  到  $b$ ,  $I = -2\text{A} < 0$ , 为负值, 说明电流的实际方向和参考方向相反, 即电流的实际方向从  $b$  到  $a$ ;

图 1-20c 中, 电流的参考方向为由  $b$  到  $a$ ,  $I = 2\text{A} > 0$ , 为正值, 说明电流的实际方向和参考方向相同, 即电流的实际方向从  $b$  到  $a$ ;

图 1-20d 中, 电流的参考方向为由  $b$  到  $a$ ,  $I = -2\text{A} < 0$ , 为负值, 说明电流的实际方向和参考方向相反, 即电流的实际方向从  $a$  到  $b$ 。

电压同电流一样, 不但有大小, 也是有方向的。电压的方向总是对电路中的两点而言的, 如果正电荷从  $a$  点移动到  $b$  点时释放能量, 则  $a$  点为高电位,  $b$  点为低电位。规定电压的实际方向是由高电位指向低电位的方向。电压方向可以用箭头来表示, 也可以用双下标表示, 双下标中前一个字母代表正电荷运动的起点, 后一个字母代表正电荷运动的终点, 电压

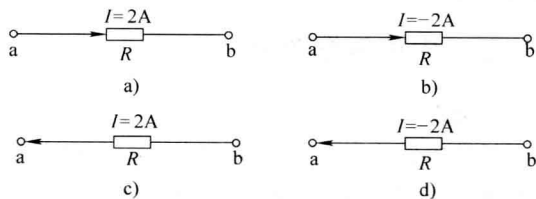


图 1-20 例 1-1 图

的方向则由起点指向终点。除此之外，还可以用“+”“-”符号来表示电压的方向。图 1-21 所示为电压方向的三种表示方法。

与电流一样，电路中任意两点之间的电压的实际方向往往不能预先确定，因此在对电路进行分析计算之前，先要设定该段电路电压的参考方向。若计算电压结果为正值，则说明电压的参考方向与实际方向一致；若计算电压结果为负值，则说明电压的参考方向与实际方向相反。

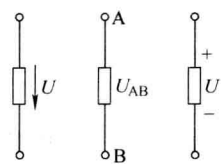


图 1-21 电压方向的三种表示方法

【例 1-2】元件  $R$  上电压参考方向如图 1-22 所示，请说明电压的实际方向。

【解】图 1-22a 中，电压的参考方向为由  $a$  到  $b$ ， $U = 4V > 0$ ，为正值，说明电压的实际方向和参考方向相同，即电压的实际方向从  $a$  到  $b$ ；

图 1-22b 中，电压的参考方向为由  $a$  到  $b$ ， $U = -4V < 0$ ，为负值，说明电压的实际方向和参考方向相反，即电压的实际方向从  $b$  到  $a$ ；

图 1-22c 中，电压的参考方向为由  $b$  到  $a$ ， $U = 4V > 0$ ，为正值，说明电压的实际方向和参考方向相同，即电压的实际方向从  $b$  到  $a$ ；

图 1-22d 中，电压的参考方向为由  $b$  到  $a$ ， $U = -4V < 0$ ，为负值，说明电压的实际方向和参考方向相反，即电压的实际方向从  $a$  到  $b$ 。

**注意：**在电路分析时，电压和电流参考方向是任意的，两者之间相互独立。但为了分析方便，对于同一元件或同一电路，电压和电流常取一致的参考方向，这称为关联参考方向；反之，称为非关联参考方向。

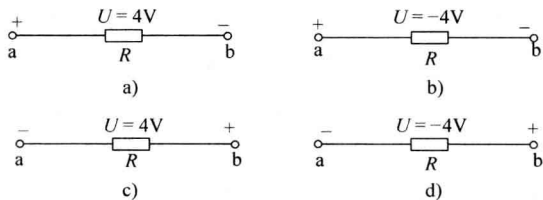


图 1-22 例 1-2 图

### 三、电位与电动势

#### 1. 电位

任选电路中的一点  $o$  为参考点，则电路中的某点  $a$  与参考点  $o$  间的电压  $U_{ao}$  就称为  $a$  点的**电位**，用  $V_a$  表示，单位也是伏 [特] (V)。

参考点的电位规定为零，故参考点又称为**零电位点**。

(1) 参考点的选择 物理学中常选无限远处或大地为参考点。

电工学中，若研究的电路有接地点，常选择接地点为参考点，用符号“ $\perp$ ”表示。

电子线路中，常取若干导线汇集的公共点或机壳作为电位的参考点，用符号“ $\perp$ ”或“ $\perp$ ”表示。

同一电路中，若选定不同的点为参考点，则同一点的电位是不同的。因此，参考点一经确定，其余各点的电位也就确定了。

(2) 电压与电位的关系 电路中  $a$ 、 $b$  两点间的电压等于  $a$ 、 $b$  两点的电位之差，即

$$U_{ab} = V_a - V_b$$

电位是相对的，它随参考点发生变化；但任意两点间的电压是绝对的，它不随参考点变

化。

**【例 1-3】** 电路如图 1-23 所示。求各点的电位及 c、d 间的电压。

**【解】** 如果选 b 点为参考点，则

$$V_a = U_{ab} = 10 \times 6V = 60V$$

$$V_c = U_{cb} = 140V$$

$$V_d = U_{db} = 90V$$

$$U_{cd} = V_c - V_d = 140V - 90V = 50V$$

如果选 d 点为参考点，则

$$V_a = U_{ad} = -6 \times 5V = -30V$$

$$V_b = U_{bd} = -90V$$

$$V_c = U_{cb} + U_{bd} = 140V - 90V = 50V$$

$$U_{cd} = V_c = 50V$$

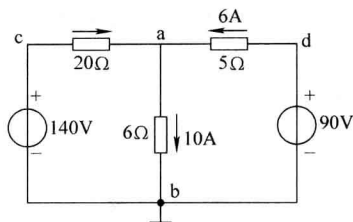
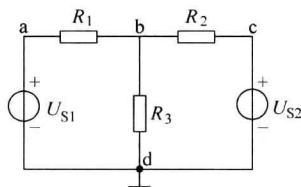


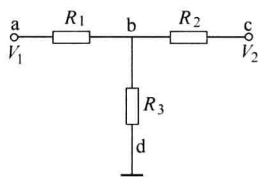
图 1-23 例 1-3 图

由此可见，选用不同的参考点，各点电位的数值不同，但任意两点之间的电压不随参考点的改变而变化。

在电子电路中，为了简化电路的绘制，常采用电位标注法。方法是：先确定电路的电位参考点，用标明电源端极性及电位数值的方法表示电源的作用。如图 1-24a 所示电路用电位标注时，可简化成图 1-24b 的形式。图中， $V_1 = U_{S1}$ ， $V_2 = U_{S2}$ 。



a) 电路



b) 简化电路

图 1-24 电路的简化表示

## 2. 电动势

电源的作用和水泵相似，水泵不断地把低处的水抽到高处，使供水系统始终保持一定的水压；电源则不断地把负极板上的正电荷移到正极板，以保持一定的电压，这样电路中才会有持续不断的电流。要使负极板上的正电荷逆着电场力的方向返回正极板，必须有外力克服电场力做功，电源克服电场力做功（把其他形式的能转换为电能）的这种能力称为电源力。

在电源内部，电源力将单位正电荷由负极移到正极所做的功定义为电源的电动势。交流电动势用符号  $e$  表示，直流电动势用符号  $E$  表示。

交流电动势为 
$$e = \frac{dw}{dq}$$

直流电动势为 
$$E = \frac{W}{Q}$$

电源的电动势在数值上等于电源两端的开路电压。例如 5V 干电池的电动势是 5V，它比 1.5V 干电池转换能量的本领大。



### 3. 电动势与电压的关系

电压源对外电路的作用效果既可以用电动势表示,也可以用电压表示。如图 1-25 所示,电源的正、负极性已知,电压  $U_{ab}$  的参考方向自电源的正极指向电源的负极。电动势  $E$  和电压  $U_{ab}$  反映了同样的事实:沿电动势的方向电位升高了  $E$ ,沿电压的方向电位降低了同样的数值,故有  $E = U_{ab}$ 。因此,对于电压源的作用效果,在很多情况下往往不用电动势表示,而是用正、负极间的电压来表示。

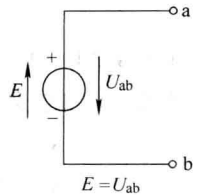


图 1-25 电源电动势与电压的关系

## 四、电能与功率

### 1. 电能

电能用电能表( $\text{kWh}$ )测量。

电动机转动、电炉发热、电灯发光,说明电能转换为其他形式的能。电能转换为其他形式的过程实际上就是电流做功的过程。电能的多少可以用电功来计量。

当用电器工作时,电能表转动并且显示电流做功的多少。电能的多少不仅与电压、电流的大小有关,还取决于用电时间的长短。

电能用字母  $W$  表示:

$$W = UIt$$

在实际生活中,电能的实用单位是  $\text{kW} \cdot \text{h}$  (千瓦·时),简称“度”。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

1度等于功率为  $1 \text{ kW}$  的用电器在  $1 \text{ h}$  内所消耗的电能。例如  $1000 \text{ W}$  的电炉加热  $1 \text{ h}$ 、 $100 \text{ W}$  的灯泡照明  $10 \text{ h}$ 、 $40 \text{ W}$  的灯泡照明  $25 \text{ h}$  都消耗 1 度电。

### 2. 电功率

(1) 功率的定义 单位时间内电路吸收或发出的电能称为**电功率**,简称**功率**,用符号  $p$  或  $P$  表示。习惯上常把吸收或发出电能说成是吸收或发出功率。

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw dq}{dq dt} = ui$$

直流情况下  $P = UI$ 。

(2) 功率的单位 在国际单位制中,功率的单位为瓦特 ( $\text{W}$ ),较小的单位有毫瓦 ( $\text{mW}$ ),较大的单位有千瓦 ( $\text{kW}$ )、兆瓦 ( $\text{MW}$ ) 等。

$$1 \text{ W} = 10^3 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ kW} = 10^{-6} \text{ MW}$$

功率常标注在各用电器的铭牌上,表示该用电器能量转换本领的大小。例如  $10 \text{ kW}$  的电动机正常工作  $0.1 \text{ h}$  即可消耗 1 度电,  $100 \text{ W}$  的白炽灯照明  $10 \text{ h}$  也消耗 1 度电。因此,功率大的用电器能量转换的本领大,但消耗能量相同的用电器的功率不一定相同。

(3) 功率的测量 功率用功率表( $\text{W}$ )测量。功率表的实物图及测量方法参见项目三。

(4) 功率正负的意义 在电路分析中,功率有正、负之分:当一个电路元件的功率为正值时,即  $p > 0$ ,这个元件是负载,它吸收(消耗)功率,即从电路取用电能;当一个电路元件的功率为负值时,即  $p < 0$ ,这个元件起电源作用,它发出功率,即向电路提供电能。故电功率有以下两种计算公式:

当一段电路或一个元件的电流、电压参考方向关联时,  $p = ui$ , 直流时为  $P = UI$ 。