



铁道车辆 电工电子基础

● 主编 曹 阳

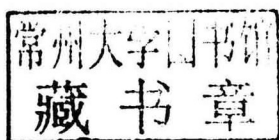
 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

铁道车辆电工电子基础

主 编 曹 阳

副主编 车威威 董 娜 刘德强

主 审 段金辉 孙志才



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

铁道车辆电工电子基础/曹阳主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2018. 2

ISBN 978-7-5682-5342-0

I. ①铁… II. ①曹… III. ①铁路车辆-电工-高等学校-教材②铁路车辆-电子技术-高等学校-教材 IV. ①U27

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 033052 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 19.5

字 数 / 452 千字

版 次 / 2018 年 2 月第 1 版 2018 年 2 月第 1 次印刷

定 价 / 74.00 元

责任编辑 / 张鑫星

文案编辑 / 张鑫星

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李 洋

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



前言

P R E F A C E

本书由一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师与行业一线专家共同编写。教材内容根据高等院校铁道车辆类毕业生就业岗位能力需求进行选取，突出能力培养，注重实践锻炼。

在教材编写中，贯彻了以下原则：

1. 根据铁道车辆专业知识的需要，梳理电工类基础知识，更新知识内容，简化理论的分析 and 计算，重新设计知识结构，体现铁道车辆专业特色；
2. 针对普通车辆电气装置和动车组所需要的电工类基础知识，探寻对重复知识点处理的方式和一般原则；
3. 以提高实践技能为主线，依托铁道车辆电气实训室，结合专业知识和行业技能比赛项目的技术要求，以任务驱动式的教学方法将铁道车辆电工基础知识有机融合；
4. 以岗位需求为导向，以“工作页”为载体，丰富教学资源，具有“工学结合”特征的电工基础课程的设计与研究。

本书可作为高等院校铁道车辆类专业基础教材，也可供其他专业如机械、汽车的师生及有关工程技术人员参考，同时可作为有关专业的参考教材。

本书由曹阳担任主编。全书共八个项目，其中，曹阳编写项目一，段金辉、孙志才编写项目二，李佰玲、张举、车威威编写项目三，关洪亮、刘增俊编写项目四，柳重阳、马琛编写项目五，刘德强、高凌峰编写项目六，郑涛、董娜编写项目七、项目八。本书由段金辉、孙志才主审。

本书编写过程中，参考了一些国内外同行优秀教材和资料，在此向这些资料、文献的作者深表谢意。

由于时间仓促，编者的学识有限，书中难免存在疏漏与不妥之处，敬请广大读者提出批评和改进意见。

编 者



目 录

C O N T E N T S

项目一 直流部分

任务1 电工基础知识	003
1.1 电路的基本概念	003
1.1.1 电路的组成	003
1.1.2 电路的作用	003
1.1.3 电路的基本元件	004
1.2 电路的基本物理量	005
1.2.1 电流	005
1.2.2 电位	006
1.2.3 电压	006
1.2.4 电动势	006
1.2.5 电阻	006
1.2.6 电功率	006
1.3 电路中电位的概念及计算	007
1.4 电流和电压的参考方向	008
1.5 电阻和欧姆定律	009
1.5.1 电阻	009
1.5.2 电阻率	009
1.5.3 电阻温度系数	010
1.5.4 各种不同导电材料的应用	010
1.5.5 欧姆定律	010
1.5.6 功率与功率平衡式	011
1.6 电气设备的额定值	012
1.7 电路的工作状态	012
1.7.1 电源开路	012
1.7.2 电源短路	013
1.8 负载的连接方式	013
1.8.1 电阻的串联	013



1.8.2 电阻的并联	014
1.8.3 电阻的混联	015
1.9 电源的连接方式	015
1.9.1 电池的串联	015
1.9.2 电池的并联	016
任务2 电路的基本定律	017
2.1 电压源与电流源及其等效变换	017
2.1.1 电压源	017
2.1.2 电流源	018
2.1.3 电压源与电流源的等效变换	019
2.2 基尔霍夫定律	020
2.2.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)	020
2.2.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)	021
2.3 支路电流法	022
2.4 结点电压法	023
2.5 叠加原理	025
2.6 戴维南定理	027
学生工作页 (一)	029
学生工作页 (二)	031

项目二

交流部分

任务3 正弦交流电路	037
3.1 正弦交流电的概念	037
3.1.1 交流电和正弦交流电	037
3.1.2 单相交流电的产生	038
3.1.3 正弦交流电的三要素	038
3.2 正弦量的相量表示法	041
3.3 单相交流电路	044
3.3.1 纯电阻电路	044
3.3.2 纯电感电路	046
3.3.3 纯电容电路	048
3.3.4 电阻与电感、电容串联电路	049
3.4 电路的谐振	052
3.4.1 串联谐振	053
3.4.2 并联谐振	054
3.5 功率因数的提高	055

任务4 三相交流电	058
4.1 三相交流电的产生	058
4.2 三相电源的连接方式	060
4.2.1 星形连接	060
4.2.2 三角形连接	061
4.3 三相负载的连接	062
4.3.1 负载的星形连接和中线的作用	062
4.3.2 负载的三角形连接	063
4.4 三相电功率	064
学生工作页（三）	065
学生工作页（四）	067
学生工作页（五）	072
学生工作页（六）	077

项目三

磁路及常用低压器件

任务5 电流的磁场	081
5.1 磁的基本知识	081
5.1.1 电流的磁场	082
5.1.2 磁的基本物理量	083
5.2 磁性材料的磁性能	084
5.2.1 磁饱和性	084
5.2.2 磁滞性	084
5.2.3 铁磁材料的分类	085
5.3 磁路基本定律	086
5.3.1 磁场对电流的作用	086
5.3.2 电磁感应	087
5.4 磁路欧姆定律	089
5.5 交流铁芯线圈电路及功率损耗	090
5.5.1 自感	090
5.5.2 互感	091
5.5.3 交流铁芯线圈的功率损耗	091
任务6 变压器	093
6.1 变压器的构造与工作原理	093
6.1.1 变压器的构造	093
6.1.2 变压器的工作原理	094
6.2 三相变压器的接法	095



6.3	自耦变压器	097
6.4	仪用互感器	098
6.4.1	电流互感器	098
6.4.2	电压互感器	098
6.5	变压器的额定值、损耗和效率	099
任务7	常用低压电器	100
7.1	主令电器	100
7.1.1	闸刀开关	100
7.1.2	转换开关	103
7.1.3	按钮	105
7.1.4	行程开关	107
7.2	自动控制电器	110
7.2.1	熔断器	110
7.2.2	自动空气开关	113
7.2.3	电磁铁	115
7.3	接触器	116
7.3.1	接触器的基本结构	116
7.3.2	直流电磁接触器	117
7.3.3	交流接触器的工作原理	117
7.3.4	接触器的选择	118
7.3.5	真空接触器	119
7.3.6	电空接触器	119
7.4	继电器	120
7.4.1	电流继电器	121
7.4.2	电压继电器	122
7.4.3	中间继电器	122
7.4.4	时间继电器	123
7.4.5	热继电器	124
7.4.6	继电器的选用与保护	126
7.5	电磁阀	126
	学生工作页(七)	128
	学生工作页(八)	130
	学生工作页(九)	132
	学生工作页(十)	134
	学生工作页(十一)	137
	学生工作页(十二)	138

项目四

电机部分

任务8 直流电机	143
8.1 直流电动机	143
8.1.1 定子部分	143
8.1.2 转子部分	144
8.2 直流电动机的工作原理	146
8.2.1 两条定律和两条定则	146
8.2.2 直流电动机的转动原理	147
8.3 直流电动机的励磁方式	148
8.4 直流电动机的铭牌及数据	149
8.5 直流发电机	151
8.6 直流电机中的基本物理量	151
8.7 直流电机的可逆性	153
任务9 交流电机	155
9.1 交流发电机	155
9.2 三相异步电动机	155
9.2.1 三相异步电动机的构造	156
9.2.2 旋转磁场	158
9.3 三相异步电动机的工作原理	160
9.4 三相异步电动机的启动	161
9.4.1 鼠笼式电动机的常用启动方法	161
9.4.2 绕线式异步电动机的启动	163
9.5 三相异步电动机的反转和制动	163
9.5.1 反转	163
9.5.2 制动	163
9.6 电动机的选用	165
9.7 异步电动机的基本控制电路	166
9.7.1 电动机单向运转控制电路	166
9.7.2 正反转控制	167
9.7.3 多台电动机的顺序启动控制	169
学生工作页（十三）	171
学生工作页（十四）	174

项目五

电子电路应用知识

任务10 常用半导体元器件	179
10.1 半导体的基础知识	179



10.1.1	半导体的特性	179
10.1.2	本征半导体	180
10.1.3	杂质半导体	181
10.2	PN 结及单向导电性	182
10.2.1	PN 结的形成	182
10.2.2	PN 结的单向导电特性	183
10.3	半导体二极管	184
10.3.1	基本结构	184
10.3.2	半导体二极管的命名方法	185
10.3.3	单向导电性	185
10.3.4	伏安特性	186
10.3.5	主要参数	187
10.4	二极管的简易测试	187
10.5	二极管的等效	188
10.6	特殊二极管	189
10.6.1	稳压二极管	189
10.6.2	发光二极管	190
10.6.3	光电二极管	191
10.6.4	LED 数码管	191
10.6.5	变容二极管	191
10.6.6	光电耦合器	192
任务 11	半导体三极管	194
11.1	外形与结构	194
11.1.1	基本结构	194
11.1.2	三极管的特性曲线	195
11.1.3	三极管的电流放大作用	196
11.2	场效应管	198
11.2.1	结构	198
11.2.2	电流放大作用	199
11.2.3	主要参数	199
11.3	晶闸管	199
11.3.1	晶闸管的结构	199
11.3.2	晶闸管的通断规律	200
11.3.3	晶闸管的工作原理	201
11.3.4	晶闸管触发导通的情况	201
11.3.5	晶闸管与三极管、二极管的区别	202
11.3.6	晶闸管的伏安特性	202
11.3.7	门极伏安特性	203
11.3.8	晶闸管的动态特性	204

11.3.9 晶闸管的主要参数	205
11.4 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT)	206
11.4.1 IGBT 的基本结构	206
11.4.2 IGBT 的工作原理	207
11.5 集成电路	208
学生工作页 (十五)	210
学生工作页 (十六)	213

项目六

半导体器件的典型应用

任务 12 简单直流电源	219
12.1 直流稳压电源的一般框图	219
12.2 单相半波整流电路	220
12.3 单相桥式整流电路	221
12.3.1 电路组成	221
12.3.2 工作原理	222
12.3.3 整流元件的选择	223
12.4 单相半控桥式整流电路	223
12.5 三相桥式整流电路	224
12.6 滤波电路分析	226
12.6.1 电容滤波电路	227
12.6.2 电感滤波电路	229
12.6.3 复式滤波电路	229
12.7 线性集成稳压器	230
12.7.1 W7800、W7900 系列三端固定输出集成稳压器	231
12.7.2 W317、W337 系列三端可调输出集成稳压器	233
任务 13 基本放大电路	235
13.1 基本的共发射极放大电路	235
13.2 分压式偏置共射极放大电路	237
13.3 多级电压放大电路	237
13.4 集成运算放大器	237
13.4.1 运算放大器的外形和符号	238
13.4.2 集成运算放大器的特点	239
13.5 基本的运算放大电路	240
学生工作页 (十七)	241
学生工作页 (十八)	242
学生工作页 (十九)	244



项目七

常用电工工具及仪器仪表

任务 14 常用电工工具与使用	249
14.1 通用工具	249
14.1.1 验电器	249
14.1.2 剥线钳	249
14.1.3 冲击钻	250
14.2 导线的选用	250
14.2.1 导线的分类	250
14.2.2 导线的选用	251
14.3 基本焊接工艺	253
14.3.1 电烙铁分类及结构	253
14.3.2 焊料及助焊剂	254
14.3.3 焊接操作的正确姿势	255
14.3.4 焊接操作的基本步骤	255
任务 15 常用的电工仪表	257
15.1 常用电工仪表的分类	257
15.2 万用表	258
15.2.1 指针式万用表	259
15.2.2 数字式万用表	260
15.2.3 使用万用表时应注意以下问题	262
15.3 兆欧表	263
15.4 钳形电流表	266
15.5 其他常用仪表	267
15.5.1 电压表	267
15.5.2 电流表	268
15.5.3 功率表	268
15.5.4 功率因数表	268
15.5.5 频率表	268
15.6 放电叉、电解液比重计	269
15.6.1 放电叉（电池容量检测仪）	269
15.6.2 电解液密度计	269
15.7 红外测温仪（点温计）	270
学生工作页（二十）	271
学生工作页（二十一）	272

项目八

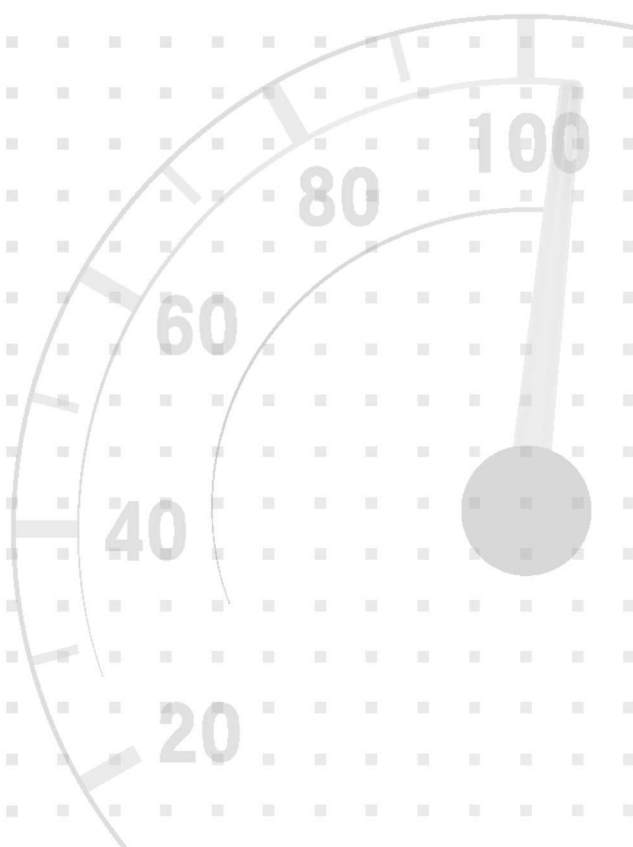
安全用电基础知识

任务 16 触电对人体的危害	279
16.1 触电对人体的危害	279
16.1.1 触电事故	279
16.1.2 触电的危害	280
16.1.3 人体的电阻	280
16.1.4 安全电压与安全电流	280
16.2 常见触电原因及预防措施	281
16.2.1 触电原因	281
16.2.2 触电形式	282
16.2.3 防止触电的措施	284
16.2.4 绝缘安全工具	287
16.3 触电紧急救护法	288
16.3.1 使触电者脱离电源	288
16.3.2 触电医疗救护方法	290
16.3.3 电工安全操作规程	292
学生工作页（二十二）	294
参考文献	296



项目一

直流部分



任务 1

电工基础知识

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成

电路是电流流通的路径,是为某种需要由若干电气元件按一定方式组合起来的整体,主要用来实现能量的传输和转换,或实现信号的传递和处理。图 1-1 所示为电路的实物图与电路图。

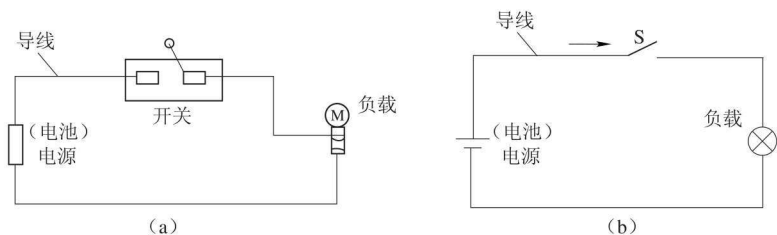


图 1-1 电路的实物图与电路图

(a) 电路实物图; (b) 电路图

在生产中把许多电气设备连接起来的电路比较复杂,但无论如何复杂,任何电路都由电源、负载、中间环节组成一个闭合回路。

电源是将非电能转换成电能的供电设备。例如,光电池将太阳能转换成电能,发电机将机械能转换成电能等。

负载是各种用电设备,它们将电能转换为其他形式的能量,如电灯将电能转换为光能,电炉将电能转换为热能,电动机将电能转换为机械能。

中间环节如导线、开关、电表等,导线起着传送信号、传输电能的作用,用来连接电源与负载,使电源与负载成为一个闭合回路,起到控制、传输、测量的作用。

实际应用中,电路除了电源、负载和连接导线外,还必须有一些辅助设备,例如控制电路通、断的开关及保障安全用电的熔断器等,这些辅助设备不仅保证了电路安全、可靠的工作,而且使电路自动完成某些特定工作成为可能。

1.1.2 电路的作用

电路的作用有:

(1) 提供能量,例如供电电路。

- (2) 传送和处理信号, 例如电话线路、放大器电路。
- (3) 测量电量, 例如万用表电路 (用来测量电压、电流和电阻等)。
- (4) 储存信息, 例如计算机的储存器电路, 存放数据、程序。

在电路分析中用电流、电压、磁通等物理量来描述其工作过程。然而, 实际电路是由电气设备和器件等组成的, 它们的电磁性质较为复杂, 难以用精确的数学方法来描述。因此, 对实际电路的分析和计算, 需将实际电路元件理想化 (或模型化), 即在一定条件下突出其主要的电磁性质, 忽略次要因素, 将它近似地看作理想元件。

如图 1-2 所示, 灯泡的电感极其微小, 把它看作一个理想电阻元件是完全可以的; 一个新的干电池组和灯泡电阻相比可以忽略不计, 把这个新的干电池组看作一个电压恒定的理想电压源也是完全可以的; 在连接导体很短的情况下它的电阻完全可以忽略不计, 可以把导线看作理想导体。于是这个理想电阻元件就构成了灯泡的模型, 这个理想电压源就构成了干电池的模型, 而理想导体则构成了连接导体的模型, 如图 1-3 所示。在对电路进行理论分析时分析的就是电路模型而不是实际电路。

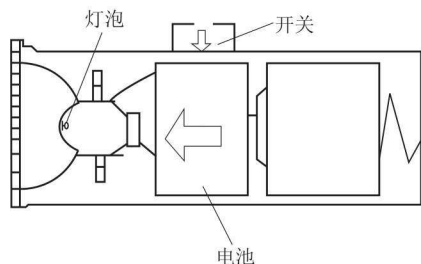


图 1-2 手电筒实际电路

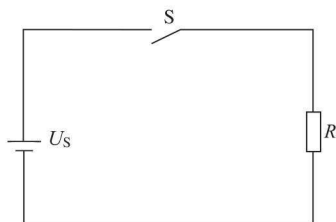


图 1-3 手电筒电路模型

1.1.3 电路的基本元件

1. 理想电路元件

- (1) 电阻元件表示消耗电能的元件。
- (2) 电感元件表示产生磁场, 储存磁场能量的元件。
- (3) 电容元件表示产生电场, 储存电场能量的元件。
- (4) 电压源和电流源, 表示将其他形式的能量转变成电能的元件。

2. 注意事项

- (1) 理想电路元件有 3 个特征:
 - ① 只有两个端子。
 - ② 可以用电压或电流按数学方式描述。
 - ③ 不能被分解为其他元件。
- (2) 具有相同的主要电磁性能的实际电路部件, 在一定条件下可用同一电路模型表示。
- (3) 同一实际电路部件在不同的应用条件下, 其电路模型可以有不同的形式。例如, 电感线圈的电路模型, 如图 1-4 所示。

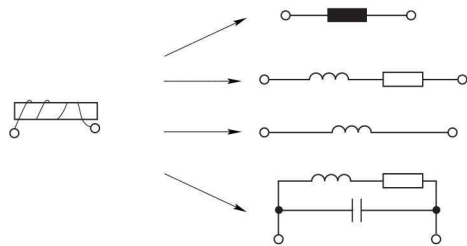


图 1-4 电感线圈的电路模型