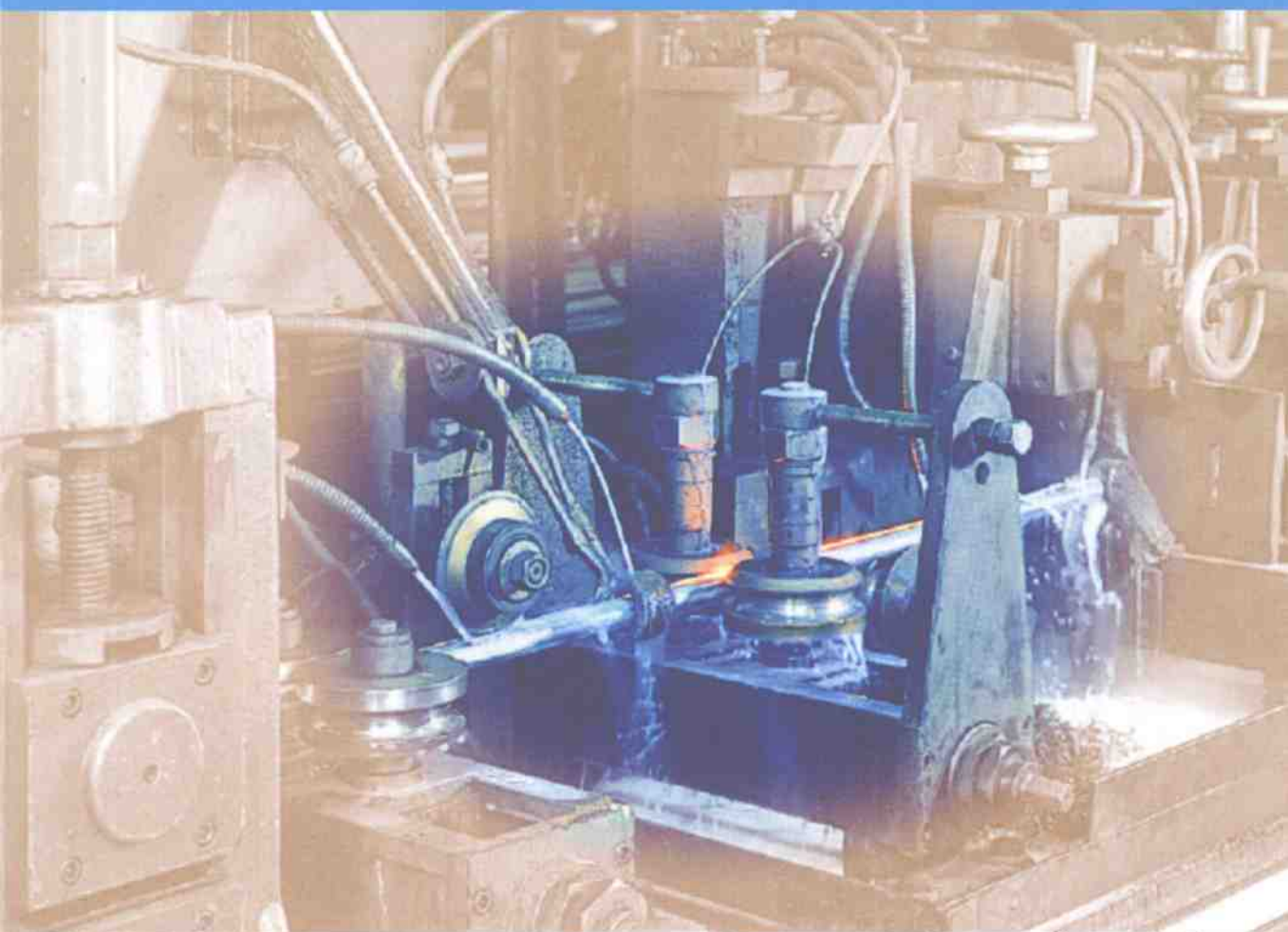


教育部规划教材  
中等职业学校机械专业  
(含岗位培训 行业中级技术工人等级考核)

# 维修电工工艺与技能训练

杜德昌 主编



 高等教育出版社

要點內容

教育部规划教材

中等职业学校机械专业

(含岗位培训 行业中级技术工人等级考核)

郑重声明

# 维修电工工艺与技能训练

杜德昌 主编

通信地址：北京... 邮编：100120

邮编：100120

联系电话：(010) 58581118

1. 维修电工工艺与技能训练 - 中等职业学校

教材 I·T·M03

中国标准书号(CIP) 081074 号

责任编辑：... 封面设计：... 版式设计：... 印刷：... 发行：...

ISBN 7-03-011118	定价：33.00元	2008年6月第1次印刷	2008年6月第1版	787×1092 1/16	33.00元	110-2221000	100120	北京海淀区中关村大街4号	高等教育出版社
------------------	-----------	--------------	------------	---------------	--------	-------------	--------	--------------	---------

高等教育出版社

23467-00

## 内 容 提 要

本书贯彻中等职业教育以服务为宗旨、以就业为导向的指导思想,紧密联系中等职业学校教学的实际,并参照国家职业标准(维修电工),根据国家职业鉴定维修电工应知应会的考核要求编写。

全书共分16个单元模块,主要内容包括:电工基础知识、识图知识、供用电安全技术知识、钳焊工基本技能操作工艺、电工工具的使用、电工材料的选择与导线加工工艺、电工仪器仪表的原理与使用、变压器的结构与维修、电动机的结构与维修、常用低压电器的选用与安装、电力拖动基本控制电路的安装与调试、照明及动力线路的安装与故障检修、电子元器件的识别与测试、模拟电路的安装与调试、数字电路的安装与调试、可编程控制器的使用与维护等。

本书从职业(岗位)分析入手,紧紧围绕国家职业技能鉴定标准,突出教材的实用性,吸收了当前电工电子技术领域中的新知识、新技术、新工艺、新方法。深入浅出、简明扼要、通俗易懂、图文并茂。

本书是中等职业学校学生学习用书,也是社会人员参加维修电工初、中级鉴定考核取证的必备用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

维修电工工艺与技能训练/杜德昌主编. —北京:  
高等教育出版社, 2008.6

ISBN 978 - 7 - 04 - 023467 - 1

I. 维… II. 杜… III. 电工 - 维修 - 专业学校 -  
教材 IV. TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 061074 号

策划编辑 陈大力      责任编辑 王莉莉      封面设计 李卫青      责任绘图 尹 莉  
版式设计 王艳红      责任校对 杨凤玲      责任印制 韩 刚

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 中原出版传媒投资控股集团  
北京汇林印务有限公司

开 本 787×1092 1/16  
印 张 25.5  
字 数 620 000

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008年6月第1版  
印 次 2008年6月第1次印刷  
定 价 33.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23467-00

# 前 言

本书编写贯彻中等职业教育以服务为宗旨、以就业为导向的指导思想，从维修电工职业（岗位）分析入手，紧密联系中等职业学校教学的实际，参照国家职业标准（维修电工），根据国家职业鉴定维修电工应知应会的考核要求编写的。

本书主要有以下特点：

一是综合性强。本书包含了维修电工考核标准的所有内容，参照国家职业标准（维修电工），根据国家职业鉴定维修电工应知应会的考核要求编写，力求覆盖职业技能鉴定考核的所有内容。从最基本的电工基础知识、识图知识、安全知识和钳焊工基本操作工艺、导线加工工艺等入手，介绍了电工仪器仪表、变压器、电动机、低压电器等的结构、选用与维修，以及电力拖动的基本控制线路、照明及动力线路、模拟电路、数字电路的安装与调试等，贯穿了“知识”、“工艺”、“技能”这一编写主线。

二是改革性强。全书按照维修电工考级的要求，共分为16个单元模块，每一单元模块均有“学习指导”，每一训练项目以“任务驱动”为开篇，体现“项目教学”的教学方式，可操作性强，体现以学生为主体，注重教学组织的科学性和灵活性，有利于中等职业学校人才的培养。

三是实用性强。本书以目前中等职业学校学生的实际为教学的起点，遵循中等职业学校学生的认知规律，由易到难、由知识到技能，从维修电工的职业（岗位）分析入手，紧紧围绕国家职业技能鉴定标准，确定教学目标、教学内容和课程结构等，着重实用技术的传授和动手能力的培养，突出技能操作。选取内容力求体现新知识、新技术、新工艺、新方法，培养学生的创业、就业能力。

四是灵活性强。充分考虑学生的认知水平和已有知识、技能、经验与兴趣，为每一个学生提供适应劳动力市场就业需要和有职业发展前景的、项目化的学习资源，力求满足社会不同层次人员考核取证的需要，因此，本书也可以作为社会人员培训用书。

考虑到中等职业学校学生学习和社会人员考工的需要，本书的学时安排建议为116学时，各单元学时分配建议如下：

单 元	单 元 名 称	学 时 数	备 注
第1单元	电工基础知识	8	
第2单元	识图知识	4	
第3单元	供用电安全技术知识	4	
第4单元	钳焊工基本技能操作工艺	8	
第5单元	电工工具的使用	8	
第6单元	电工材料的选择与导线加工工艺	4	

续表

单 元	单 元 名 称	学 时 数	备 注
第 7 单元	电工仪器仪表的原理与使用	6	
第 8 单元	变压器的结构与维修	4	
第 9 单元	电动机的结构与维修	10	
第 10 单元	常用低压电器的选用与安装	8	
第 11 单元	电力拖动基本控制电路的安装与调试	10	
第 12 单元	照明及动力线路的安装与故障检修	10	
第 13 单元	电子元器件的识别与测试	8	
第 14 单元	模拟电路的安装与调试	8	
第 15 单元	数字电路的安装与调试	8	
第 16 单元	可编程控制器的使用与维护	8	
合 计		116	

本书由杜德昌任主编，参加编写的有杜德昌、崔金华、何小青、李涛、贾春兰、曲珊珊、张莉等。

本书承蒙赵承荻老师审阅全书，审者为本书质量的进一步提高，提出了宝贵意见，在此表示诚挚的谢意。

由于编写时间仓促，经验不足，教材不足之处，诚望广大读者提出宝贵意见。

编 者

2008 年 1 月

# 目 录

<b>第1单元 电工基础知识</b> .....	1	<b>3.1 电力供电</b> .....	38
<b>1.1 直流电路</b> .....	1	3.1.1 电能的产生 .....	38
1.1.1 电路及其物理量 .....	1	3.1.2 电能的输送 .....	38
1.1.2 电路连接 .....	3	3.1.3 电能的分配 .....	39
1.1.3 电路定律 .....	5	<b>3.2 电气安全技术知识</b> .....	40
<b>1.2 交流电路</b> .....	10	3.2.1 保护接地 .....	40
1.2.1 交流电 .....	10	3.2.2 保护接零 .....	41
1.2.2 单相正弦交流电路 .....	12	3.2.3 电气安全技术操作规程 .....	42
1.2.3 三相正弦交流电路 .....	19	3.2.4 车间电气设备技术要求 .....	42
<b>1.3 电磁基础知识</b> .....	21	3.2.5 触电急救 .....	43
1.3.1 磁的基础知识 .....	21	<b>3.3 技能训练</b> .....	44
1.3.2 电磁感应 .....	22	预防触电及触电急救 .....	44
<b>1.4 技能训练</b> .....	23	<b>巩固练习题</b> .....	45
1.4.1 基尔霍夫定律的验证 .....	24	<b>第4单元 钳焊工基本技能</b>	
1.4.2 荧光灯电路及功率因数的提高 .....	25	<b>操作工艺</b> .....	46
<b>巩固练习题</b> .....	26	<b>4.1 钳工操作工艺</b> .....	46
<b>第2单元 识图知识</b> .....	29	4.1.1 常用量具 .....	46
<b>2.1 系统图</b> .....	29	4.1.2 平面划线 .....	49
2.1.1 系统图 .....	29	4.1.3 冲眼 .....	50
2.1.2 系统图的组成及绘制方法 .....	30	4.1.4 凿削 .....	51
2.1.3 标识 .....	31	4.1.5 锉削 .....	52
<b>2.2 电路图</b> .....	31	4.1.6 锯削 .....	53
2.2.1 常用电气图形符号和电气 项目代号 .....	31	4.1.7 钻孔 .....	54
2.2.2 元器件在电路中的布置 .....	31	4.1.8 攻螺纹 .....	55
2.2.3 电路图绘制方法步骤举例 .....	31	<b>4.2 焊工操作工艺</b> .....	56
2.2.4 电路图识读方法步骤举例 .....	32	4.2.1 焊接工具和焊料 .....	57
<b>2.3 接线图和位置图</b> .....	35	4.2.2 印制电路板上的焊接 .....	60
2.3.1 接线图 .....	35	4.2.3 集成电路的焊接 .....	62
2.3.2 位置图 .....	36	<b>4.3 技能训练</b> .....	64
<b>巩固练习题</b> .....	36	4.3.1 凿削加工操作训练 .....	64
<b>第3单元 供用电安全技术知识</b> .....	38	4.3.2 工件锯割训练 .....	65
		4.3.3 电烙铁的拆装与维修训练 .....	66

4.3.4 焊接接线训练	67	6.6.4 低压电缆中间接线盒的制作	110
巩固练习题	67	6.7 技能训练	111
<b>第5单元 电工工具的使用</b>	68	6.7.1 电工材料的识别	111
5.1 电工通用工具	68	6.7.2 导线的连接与绝缘恢复	112
5.1.1 螺丝刀	68	巩固练习题	113
5.1.2 电工刀	68	<b>第7单元 电工仪器仪表的原理</b>	
5.1.3 电工钳	69	<b>与使用</b>	115
5.1.4 活络扳手	70	7.1 模拟式仪表	115
5.2 电工防护用具	71	7.1.1 直流电流表、直流电压表	115
5.2.1 绝缘操作用具	71	7.1.2 交流电流表、交流电压表	117
5.2.2 绝缘防护用具	72	7.1.3 钳形电流表	118
5.3 技能训练	73	7.1.4 绝缘电阻表	119
识别电工工具	74	7.1.5 功率表	121
巩固练习题	74	7.1.6 电度表	123
<b>第6单元 电工材料的选择与</b>		7.1.7 万用表	125
<b>导线加工工艺</b>	75	7.2 数字式仪表	127
6.1 导电材料	75	7.2.1 数字式电压基本表	128
6.1.1 导电材料的种类	75	7.2.2 数字式万用表	130
6.1.2 常用导电材料的型号、规格	77	7.3 示波器	131
6.1.3 导电材料的性能和用途	81	7.3.1 通用示波器的组成	131
6.2 绝缘材料	83	7.3.2 通用示波器的原理	132
6.2.1 绝缘材料的种类	83	7.3.3 示波器的面板布置	133
6.2.2 绝缘材料的型号	86	7.3.4 示波器的使用与维护	135
6.2.3 绝缘材料的性能和用途	87	7.4 技能训练	136
6.3 磁性材料	89	7.4.1 用钳形电流表测量电动机电流	136
6.3.1 磁性材料的分类	89	7.4.2 用绝缘电阻表测量三相异步	
6.3.2 磁性材料的用途	90	电动机定子绕组的绝缘电阻	137
6.4 电动机轴承	92	7.4.3 用功率表测量单相负载的	
6.4.1 常用轴承的类别	92	实际功率	137
6.4.2 常用轴承的名称、牌号	93	7.4.4 电度表的安装	138
6.4.3 常用润滑油	95	7.4.5 指针式和数字式万用表的测量	139
6.5 导线线头的加工工艺	96	7.4.6 使用示波器测量信号的电压	
6.5.1 导线的连接	96	及周期	140
6.5.2 导线的绝缘恢复	102	巩固练习题	141
6.6 电缆的选择与加工工艺	104	<b>第8单元 变压器的结构与维修</b>	142
6.6.1 直埋电缆的敷设	104	8.1 单相变压器	142
6.6.2 电缆在电缆沟内或隧道内敷设	107	8.1.1 变压器的基本结构	142
6.6.3 低压电缆终端头的制作	109	8.1.2 变压器的基本工作原理	143

8.1.3	变压器的同名端及其测定	145			
8.1.4	变压器的运行特性	146			
<b>8.2</b>	<b>三相变压器</b>	146			
8.2.1	三相变压器的结构	147			
8.2.2	三相变压器的铭牌与额定值	148			
<b>8.3</b>	<b>特殊变压器</b>	149			
8.3.1	电焊变压器	149			
8.3.2	互感器	150			
8.3.3	自耦变压器	152			
<b>8.4</b>	<b>技能训练</b>	153			
8.4.1	测定变压器绕组的直流电阻 和绝缘电阻	153			
8.4.2	变压器变压比的测定	154			
8.4.3	单相变压器的空载试验 和短路试验	154			
8.4.4	变压器的同名端判定	156			
	巩固练习题	156			
<b>第9单元</b>	<b>电动机的结构与维修</b>	158			
<b>9.1</b>	<b>三相异步电动机</b>	158			
9.1.1	三相异步电动机的结构 和工作原理	158			
9.1.2	三相异步电动机的运行特性	162			
9.1.3	三相异步电动机的拆卸与装配	164			
9.1.4	三相异步电动机的选择与安装	166			
9.1.5	三相异步电动机定子绕组首 末端的判别	168			
9.1.6	三相异步电动机的使用、 维护与故障处理	169			
<b>9.2</b>	<b>单相异步电动机</b>	170			
9.2.1	单相异步电动机的结构 和工作特点	170			
9.2.2	单相异步电动机的分类	172			
9.2.3	单相异步电动机的反转和调速	174			
9.2.4	单相异步电动机的使用与检修	175			
<b>9.3</b>	<b>直流电动机</b>	176			
9.3.1	直流电动机的原理和结构	176			
9.3.2	直流电动机的运行特性	178			
9.3.3	直流电动机的起动、反转、调速 和制动	178			
9.3.4	直流电动机的使用、维护 及故障处理	181			
<b>9.4</b>	<b>伺服电动机</b>	182			
9.4.1	交流伺服电动机	182			
9.4.2	直流伺服电动机	183			
9.4.3	伺服电动机的使用与检修	184			
<b>9.5</b>	<b>特殊电动机简介</b>	185			
9.5.1	电磁调速异步电动机	186			
9.5.2	步进电动机	187			
9.5.3	双速三相异步电动机	188			
9.5.4	直线电动机	189			
<b>9.6</b>	<b>技能训练</b>	190			
9.6.1	三相异步电动机的拆装	191			
9.6.2	三相异步电动机直流电阻的测量	191			
9.6.3	用绝缘电阻表测量定子三相绕组的 对地绝缘电阻和相间绝缘电 阻值	192			
9.6.4	三相定子绕组首、末端的判别	192			
9.6.5	空载电流和起动电流的测量	193			
9.6.6	吊扇的测量与接线	193			
9.6.7	直流电动机的拆装	194			
	巩固练习题	195			
<b>第10单元</b>	<b>常用低压电器的选用 与安装</b>	197			
<b>10.1</b>	<b>熔断器</b>	197			
10.1.1	常用低压熔断器	197			
10.1.2	熔断器的型号和符号	199			
10.1.3	熔断器的选择	200			
10.1.4	熔断器的安装和使用	200			
10.1.5	熔断器的常见故障与处理	200			
<b>10.2</b>	<b>低压开关</b>	201			
10.2.1	闸刀开关	201			
10.2.2	组合开关	202			
10.2.3	低压断路器	203			
<b>10.3</b>	<b>交流接触器</b>	205			
10.3.1	交流接触器的结构	205			
10.3.2	交流接触器的工作原理	206			



10.3.3	交流接触器的选择	206	12.1.2	荧光灯	242
10.3.4	交流接触器的安装和使用	207	12.1.3	节能荧光灯	246
10.3.5	交流接触器的常见故障与处理	207	12.1.4	新型电光源	247
<b>10.4</b>	<b>继电器</b>	<b>208</b>	<b>12.2</b>	<b>灯座与插座</b>	<b>251</b>
10.4.1	热继电器	208	12.2.1	灯座	251
10.4.2	时间继电器	210	12.2.2	插座	252
<b>10.5</b>	<b>技能训练</b>	<b>212</b>	<b>12.3</b>	<b>室内配线</b>	<b>255</b>
10.5.1	熔断器的识别与检修	212	12.3.1	灯具基本控制线路	255
10.5.2	低压开关的拆装与检修	214	12.3.2	典型灯具及其控制线路的安装	256
10.5.3	交流接触器的拆装与检修	216	12.3.3	开关与插座的安装	262
10.5.4	继电器的识别与检修	217	<b>12.4</b>	<b>室内照明线路的施工</b>	<b>268</b>
巩固练习题		219	12.4.1	室内照明施工的一般步骤	268
<b>第 11 单元 电力拖动基本控制</b>			12.4.2	室内照明施工实例	273
<b>电路的安装与调试</b>		<b>221</b>	12.4.3	车间动力照明施工实例	275
<b>11.1</b>	<b>三相异步电动机的单向运转控制</b>	<b>221</b>	<b>12.5</b>	<b>室内线路的故障分析与处理</b>	<b>276</b>
11.1.1	点动控制电路	221	12.5.1	故障分析	276
11.1.2	连续运转控制电路	221	12.5.2	故障处理	277
11.1.3	点动与连续运转混合控制电路	223	<b>12.6</b>	<b>技能训练</b>	<b>279</b>
<b>11.2</b>	<b>三相异步电动机的正反转控制</b>	<b>224</b>	12.6.1	护套线照明线路的安装	279
11.2.1	接触器联锁正反转控制电路	224	12.6.2	线管照明线路的安装	280
11.2.2	按钮联锁正反转控制电路	225	巩固练习题		281
11.2.3	按钮、接触器双重联锁正反转控制电路	225	<b>第 13 单元 电子元器件的识别</b>		
<b>11.3</b>	<b>三相异步电动机的降压起动控制电路</b>	<b>227</b>	<b>与测试</b>		<b>282</b>
11.3.1	Y- $\Delta$ 降压起动控制电路	227	<b>13.1</b>	<b>电阻器</b>	<b>282</b>
11.3.2	自耦变压器降压起动控制电路	229	13.1.1	电阻器的分类和主要参数	282
<b>11.4</b>	<b>技能训练</b>	<b>229</b>	13.1.2	电阻器的标注方法	283
11.4.1	电动机单向连续运转控制电路的安装与检修	230	13.1.3	电阻器的质量判断	283
11.4.2	接触器联锁电动机正反转控制电路的安装与检修	233	13.1.4	电阻器的选用	284
11.4.3	时间继电器自动控制 Y- $\Delta$ 降压起动控制电路的安装与检修	234	13.1.5	电阻器使用注意事项	284
巩固练习题		236	<b>13.2</b>	<b>电容器</b>	<b>284</b>
<b>第 12 单元 照明及动力线路的</b>			13.2.1	电容器的分类和主要参数	285
<b>安装与故障检修</b>		<b>240</b>	13.2.2	电容器的标注方法	285
<b>12.1</b>	<b>照明灯具</b>	<b>240</b>	13.2.3	电容器的质量判断	286
12.1.1	白炽灯	240	13.2.4	电容器的选用	286
			13.2.5	电容器使用注意事项	287
			<b>13.3</b>	<b>电感器</b>	<b>287</b>
			13.3.1	电感器的分类和主要参数	287
			13.3.2	电感器的标注方法	287

13.3.3	电感器的质量判断	287	14.3	振荡电路	311
13.3.4	电感器的选用	288	14.3.1	LC 振荡电路	312
13.4	半导体二极管	288	14.3.2	RC 振荡电路	313
13.4.1	二极管结构、特性	289	14.3.3	应用举例——熄火报警电路的 安装与调试	314
13.4.2	二极管的主要参数	289	14.4	开关电路	315
13.4.3	二极管的识别和检测	289	14.4.1	基本组成	315
13.4.4	二极管的选用	290	14.4.2	应用举例——机外型彩色电视机 交流全自动停机电路	316
13.4.5	二极管使用注意事项	290	14.5	可控整流电路	317
13.5	晶体三极管	290	14.5.1	基本组成	317
13.5.1	晶体管结构、特性	291	14.5.2	应用举例——台灯调光电路的 安装与调试	320
13.5.2	晶体管的主要参数	291	14.6	技能训练	321
13.5.3	晶体管的识别和检测	292		串联型直流稳压电源的组装调试 与维修	321
13.5.4	晶体管的选用	293		巩固练习题	324
13.5.5	晶体管使用注意事项	294	<b>第 15 单元 数字电路的安装 与调试</b>		
13.6	晶闸管	294	15.1	逻辑门电路	326
13.6.1	晶闸管的结构、特性	294	15.1.1	基本逻辑门电路	326
13.6.2	晶闸管的主要参数	294	15.1.2	复合逻辑门电路	329
13.6.3	晶闸管的检测	295	15.1.3	逻辑门电路集成块简介	330
13.6.4	晶闸管的选用	295	15.2	组合逻辑电路	331
13.6.5	晶闸管使用注意事项	295	15.2.1	编码器	331
13.7	技能训练	295	15.2.2	译码器	333
13.7.1	电阻器的识别与检测	296	15.2.3	数码显示器	335
13.7.2	电容器的识别和检测	297	15.2.4	加法器	336
13.7.3	电感器的识别和检测	298	15.3	集成触发器	338
13.7.4	二极管的识别和检测	298	15.3.1	基本 RS 触发器	338
13.7.5	晶体管的识别和检测	299	15.3.2	同步 RS 触发器	339
13.7.6	晶闸管的识别和检测	300	15.3.3	JK 触发器	340
	巩固练习题	301	15.3.4	D 触发器	341
<b>第 14 单元 模拟电路的安装 与调试</b>			15.4	计数器	342
14.1	放大电路	304	15.4.1	异步二进制加法计数器	342
14.1.1	分类与工作原理	304	15.4.2	异步十进制加法计数器	343
14.1.2	单级低频小信号放大电路安装 与调试	306	15.4.3	集成计数器	344
14.2	直流电源电路	307	15.5	技能训练	345
14.2.1	整流电路	307			
14.2.2	滤波电路	309			
14.2.3	稳压电路	310			

集成触发器逻辑功能的测试 .....	345
巩固练习题 .....	347
<b>第 16 单元 可编程控制器的使用</b>	
<b>与维护</b> .....	349
<b>16.1 可编程控制器的基本知识</b> .....	349
16.1.1 PLC 的概念 .....	349
16.1.2 PLC 的分类 .....	350
16.1.3 PLC 的基本结构 .....	350
16.1.4 PLC 的基本工作原理 .....	351
<b>16.2 基本指令与编程举例</b> .....	352
16.2.1 编程语言 .....	352
16.2.2 基本指令 .....	353
16.2.3 编程规则 .....	359
16.2.4 常见的基本控制程序 .....	360
<b>16.3 编程举例</b> .....	362
16.3.1 三相异步电动机降压起动过程	
的控制 .....	362

16.3.2 报警器 .....	363
16.3.3 抢答器 .....	364
16.3.4 工作台前进 - 后退电路 .....	364
<b>16.4 PLC 的安装与维护</b> .....	366
16.4.1 安装环境 .....	366
16.4.2 正确接线 .....	366
16.4.3 系统防护 .....	368
16.4.4 使用与维护 .....	369
<b>16.5 技能训练</b> .....	371
交通信号灯控制 .....	371
<b>巩固练习题</b> .....	373
<b>附录</b> .....	374
<b>附录 1 维修电工国家职业标准</b> .....	374
<b>附录 2 维修电工模拟试卷</b> .....	382
<b>附录 3 常用电工电气图形符号</b>	
和文字符号 .....	389
<b>参考文献</b> .....	396

# 第1单元 电工基础知识

## 学习指导

本单元是学习维修电工理论知识的必备基础部分，特别是为学习后续的变压器、电动机等单元的知识奠定基础。主要介绍直流电路、交流电路及电磁的基础知识，重点是理解描述交流和直流电路基本物理量的含义、表示方法及相互关系；掌握四种单相交流电路，三相负载Y形联结和 $\Delta$ 形联结的特点及计算方法，并能灵活运用相关知识来正确解决交流和直流电路的实际问题。

## 1.1 直流电路

### 任务

本节主要介绍直流电路的基本物理量和电路定律等。通过本节的学习，希望能够达到如下要求：了解电路的构成和分类的基础知识；理解描述直流电路中电流、电位、电压和电动势等物理量的含义和单位；掌握电路的串联和并联及五大定律的内容，会灵活运用各定律解决简单或复杂直流电路的问题。

### 1.1.1 电路及其物理量

#### 1. 电路

##### (1) 电路的组成

电流通过的路径称为电路。电路一般由电源、负载、连接导线和控制装置四个部分组成，如图1-1所示。电源是提供电能的设备，它能把其他形式的能转换为电能，例如电池、发电机等；负载是取用电能的设备，例如白炽灯、电炉、电动机等，它们把电能转换为其他形式的能；连接导线的作用是传输电能；控制装置的作用则是接通或断开电路，或保护电路不被损坏等，例如开关和熔断器。

##### (2) 电路的状态

电路的状态一般有三种：当电路接通时，负载中有电流流过，电路处于通路（闭路）状态；若电路中有断开处，电路中没有电流流过，电路处于开路（断路）状态；当电源两端用导线直接相连时，电路中的电流不再经过负载，只经过连接导线直接流回电源，这种状态称为短路状态。短路

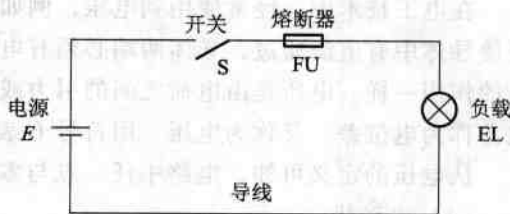


图1-1 电路

时电路中的电流很大,有可能损坏电源和电气设备等,应尽量避免。为此,电路中一般要安装熔断器。

## 2. 电路中的基本物理量

### (1) 电流

**电流的形成** 带电质点有规则的运动形成电流。导体中电流的方向规定为正电荷运动的方向。电流用符号  $I$  表示,在国际单位制(简称 SI)中,基本单位是安[培],符号为 A。实际应用中还用到毫安、微安等较小单位,  $1\text{ A} = 10^3\text{ mA} = 10^6\text{ }\mu\text{A}$ 。

当电流通过导体时,导体要发热,称为电流的热效应;在电流的周围存在着磁场,称为电流的磁效应。

**电流的参考方向** 对于较复杂的电路,电流的实际方向一般很难确定,为此引入参考方向的概念。参考方向是一种假定的方向,可以任意指定。在电路图中,参考方向用实线箭头表示。参考方向不一定就是电流的实际方向。实际方向必须根据计算结果判断:若结果为正,说明参考方向和实际方向一致;若结果为负,则说明参考方向和实际方向相反。如图 1-2 所示电路中,假设流过电阻的电流实际方向是从上向下,为了表达这个事实,既可以像图 1-2(a)那样标注参考方向,并写出  $I = 3\text{ A}$ ;也可以像图 1-2(b)那样标注参考方向,但应写明  $I = -3\text{ A}$ 。也就是说电流值的正、负是在选择了参考方向以后才有意义。对电路进行分析计算时,必须在电路图中标明电流的参考方向。今后除非特别说明,电路图中标出的电流方向都是参考方向。

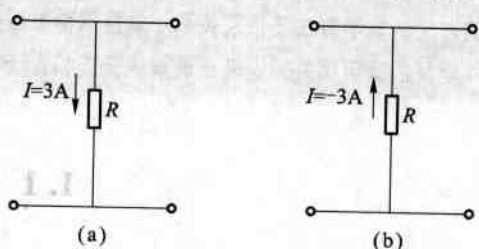


图 1-2 电流的参考方向

### (2) 电位

在电子线路中,经常要用到电位的概念。例如讨论半导体二极管和晶体管的工作状态时,必须分析各电极的电位。电路中的每一点都有一定的电位,就如同空间的每一处都有一定的高度一样,讲高度首先要确定一个计算高度的起点,讲电位也要先任意指定一个参考点,通常选大地为参考点。分析同一电路中各点电位时只能选择一个参考点,参考点的电位视为 0。

电场力将单位正电荷从电路的某点移至参考点时所消耗的电能称为该点的电位。电位用  $V$  表示,国际单位为伏[特](V)。常用到千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏( $\mu\text{V}$ )等单位,  $1\text{ kV} = 10^3\text{ V}$ ;  $1\text{ V} = 10^3\text{ mV} = 10^6\text{ }\mu\text{V}$ 。

### (3) 电压

在电工技术中,经常使用到电压,例如:荧光灯的电压是 220 V,电动机的电压是 380 V。要使导体中有电流通过,导体两端必须有电压的作用,正像自来水管中水的定向流动必须有水压的作用一样。电压是由电荷之间的引力或斥力即电场力的作用产生的,电路中任意两点电位之差称为电位差,又称为电压,用符号  $U$  表示,单位也是伏[特](V)。

从电压的定义可知,电路中任一点与零电位点之间的电压,也就是该点的电位。

### (4) 电动势

每个电源都有一定转换电能的本领,这个本领用电动势来表示。例如:人们常用的 5 号干

电池外壳所标示的 1.5 V 就是指电动势为 1.5 V。在电源内部，电源力（也称非静电力，如干电池中的化学力、发电机中的电磁力等）将单位正电荷从负极移动到正极所作的功称为电源的电动势，用符号  $E$  表示。单位也为伏(V)。在电动势的作用下，电源的正极不断地积累着大量的正电荷，负极积累着大量的负电荷，从而电源两端就产生了电压，如果电源的两端有负载相连，负载中就有电流通过。

### (5) 电功率

实验证明，不同的电路在相同的时间内转换能量的多少不同。通常用电功率衡量电路转换能量的速度。电功率简称功率，等于单位时间内电路吸收或释放的电能，用  $P$  表示，记为

$$P = \frac{W}{t} \text{ 或 } P = UI$$

在国际单位制中，功率的基本单位是瓦[特]，符号为 W；工程中常用千瓦(kW)作单位。

## 1.1.2 电路连接

### 1. 串联电路

串联电路是指负载电阻没有分支路的依次相连，使电流只有一条通路，如图 1-3 所示。

串联电路具有以下特点：

(1) 通过各电阻的电流为同一电流

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

(2) 外加电压等于各电阻电压之和

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

(3) 总电阻为各个电阻之和

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

(4) 各个电阻两端的电压与它们的阻值成正比

$$\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_3}{R_3} = \dots = I$$

(5) 各个电阻消耗的功率与它们的阻值成正比

$$\frac{P}{R} = \frac{P_1}{R_1} = \frac{P_2}{R_2} = \frac{P_3}{R_3} = \dots = I^2$$

两个电阻串联时，各电阻两端的电压分别为

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

串联电阻的分压原理应用广泛，工程实际中常用来降压、调压、调节电流、扩展电压表量程等。

**【例题 1-1】** 一个 110 V/8 W 的指示灯，欲接到 220 V 的电源上使用。为使该指示灯安全工作，应串联多大的分压电阻？该电阻的功率应为多大？

**解** 110 V/8 W 的指示灯的额定电流为

$$I = \frac{P}{U} = \frac{8}{110} \text{ A} \approx 0.0727 \text{ A}$$

将指示灯接到 220 V 的电源上使用，分压电阻所承受的电压为

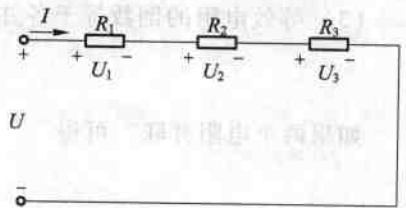


图 1-3 电阻的串联

$$U_R = (220 - 110) \text{ V} = 110 \text{ V}$$

所串分压电阻为

$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{110}{0.0727} \Omega \approx 1513 \Omega$$

分压电阻的功率为

$$P = U_R I = 110 \times 0.0727 \text{ W} \approx 8 \text{ W}$$

## 2. 并联电路

把几个电阻接到同一对接点上称为电阻并联,如图 1-4 所示。并联电路的实例很多,工农业生产中的电动机、日常生活中的照明设备大都采用并联接法,电压表的内阻和被测负载电阻也是并联。

并联电路具有以下主要特点:

(1) 各并联电阻承受同一电压

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \cdots = U_n$$

(2) 各电阻电流之和等于总电流

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n$$

(3) 等效电阻的倒数等于各并联电阻的倒数之和

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

如果两个电阻并联,可得

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

(4) 通过各电阻的电流与其阻值成反比

$$RI = R_1 I_1 = R_2 I_2 = R_3 I_3 = \cdots = U$$

两个电阻并联时通过各个电阻的电流分别为

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

(5) 各个电阻消耗的功率与其阻值成反比

$$RP = R_1 P_1 = R_2 P_2 = R_3 P_3 = \cdots = U^2$$

**【例题 1-2】** 如图 1-5 所示,已知流过  $R_2$  的电流为 3 A,求流过  $R_3$  的电流为多少,电动势  $E$  为多少?

解

$$U_2 = R_2 I_2 = 2 \times 3 \text{ V} = 6 \text{ V}$$

$$U_2 = U_3 = 6 \text{ V} = R_3 I_3 = 3 I_3$$

$$I_3 = \frac{6}{3} \text{ A} = 2 \text{ A}$$

$$I = I_2 + I_3 = (3 + 2) \text{ A} = 5 \text{ A}$$

$$E = RI = \left( R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \right) I = \left( 1.4 + \frac{2 \times 3}{2 + 3} \right) \times 5 \text{ V} = 13 \text{ V}$$

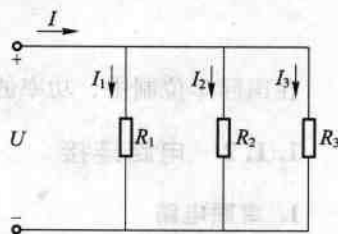


图 1-4 电阻的并联

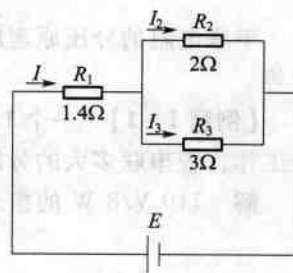


图 1-5 例题 1-2 图

### 1.1.3 电路定律

#### 1. 欧姆定律

##### (1) 部分电路欧姆定律

部分电路是指不包含电源的电路，如图 1-6 所示。部分电路欧姆定律是指：在不包含电源的电路中，流过导体的电流  $I$  与这段导体两端的电压  $U$  成正比，与导体的电阻  $R$  成反比。其表达式为

$$U = RI \quad \text{或} \quad I = \frac{U}{R}$$

部分电路欧姆定律揭示了电路中电流、电压、电阻三者之间的关系，是电路分析的基本定律，实际应用非常广泛。

##### (2) 全电路欧姆定律

全电路是指内电路和外电路组成的闭合电路的整体，如图 1-7 所示。图中的点画线线框内代表一个电源，称为内电路。电源内部一般都是有内阻的，这个电阻称为内电阻，用  $r$  或  $R_0$  表示。从电源的一端 A 经过负载  $R$  再回到电源另一端 B 的电路，称为外电路。

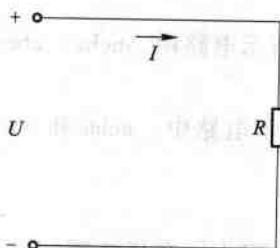


图 1-6 不包含电源的部分电路

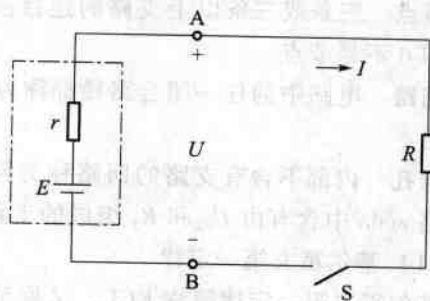


图 1-7 全电路

全电路欧姆定律是指：全电路中的电流与电源电动势成正比，与电路的总电阻（负载电阻和电源内阻之和）成反比。其表达式为

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

上式可改写为

$$E = RI + rI = U_{\text{外}} + U_{\text{内}}$$

式中， $rI$  是电源内部电压，称为内电压； $RI$  是整个外电路的电压，也是电源两端的电压，称为端电压。所以全电路欧姆定律又可以描述为：电源电动势在数值上等于闭合电路中各部分的电压之和。它反映了电路中的电压平衡关系。

**【例题 1-3】** 如图 1-7 所示，电源电动势  $E = 24 \text{ V}$ ，开关 S 闭合后负载  $R$  两端电压  $U_{\text{外}} = 14 \text{ V}$ ，电源内阻  $r = 1 \Omega$ ，求电流  $I$ 、负载电阻  $R$  及电源内电压  $U_{\text{内}}$ 。

**解** 电源的内电压

$$E = U_{\text{外}} + U_{\text{内}} \Rightarrow U_{\text{内}} = E - U_{\text{外}} = (24 - 14) \text{ V} = 10 \text{ V}$$



电路中的电流

$$I = \frac{U_{\text{内}}}{r} = \frac{10}{1} \text{ A} = 10 \text{ A}$$

负载电阻

$$R = \frac{U_{\text{外}}}{I} = \frac{14}{10} \Omega = 1.4 \Omega$$

## 2. 基尔霍夫定律

运用欧姆定律及电阻的串、并联关系就能对电路进行化简和计算的直流电路，称为简单直流电路。但在实际应用中，经常会遇到如图 1-8 所示的多网孔电路。这种不能用电阻串、并联关系化简的直流电路称为复杂直流电路。

分析复杂直流电路的基本方法是运用基尔霍夫定律。基尔霍夫定律既适用于直流电路，也适用于交流电路。学习基尔霍夫定律需要掌握以下几个电路的基本术语：

**支路** 电路中的各个分支称为支路。在图 1-8 所示电路中， $U_{S1}$  和  $R_1$ 、 $U_{S2}$  和  $R_2$ 、 $R_3$  分别组成三条支路。

**节点** 三条或三条以上支路的连接点称为节点。在图 1-8 所示电路中，a 和 c 是节点，而 b 和 d 不是节点。

**回路** 电路中的任一闭合路径都称为回路。在图 1-8 所示电路中，acba、abcd、acda 都是回路。

**网孔** 内部不含有支路的回路称为网孔。在图 1-8 所示电路中，acba 和 abcd 是网孔，而回路 acda 中含有由  $U_{S2}$  和  $R_2$  组成的支路，因而不是网孔。

### (1) 基尔霍夫第一定律

基尔霍夫第一定律简称 KCL，又称节点电流定律。其内容为：在任意瞬间，流入任一节点的电流总和等于从这个节点流出的电流总和。其表达式为

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$$

在分析未知电流时，可先任意假设支路电流的参考方向，列出节点电流方程。通常可将流进的电流取为正值，流出节点的电流取为负值，再根据计算值的正、负结果来确定未知电流的实际方向。

例如在图 1-8 所示电路中，KCL 可表示为

$$I_1 + I_2 = I_3$$

**【例题 1-4】** 电路如图 1-9 所示，试计算电流  $I_1$ 。

**解** 按图 1-9 所示电流参考方向，节点 a、b、c 的 KCL 方程分别为

$$I_1 = I_2 + 1$$

$$I_2 = I_3 + 3$$

$$I_3 = (2 - 1) \text{ A} = 1 \text{ A}$$

$$I_1 = 5 \text{ A}$$

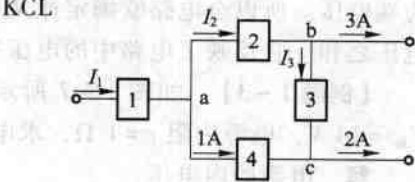


图 1-9 例题 1-4 图

根据 KCL 可以得到一个重要的推论：如果两个网络之间只