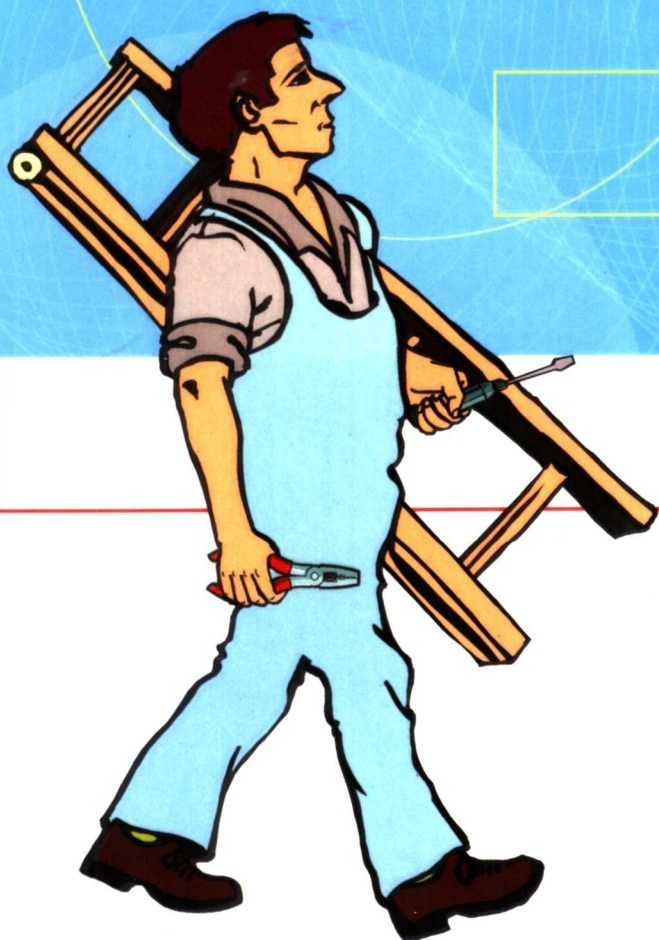


职业技能上岗培训教材

维修电工

(初级)

王宗贵 主编
张朝英 主审



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

职业技能上岗培训教材

维修电工(初级)

王宗贵 主编

张朝英 主审

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

维修电工. 初级/王宗贵主编. —北京: 人民邮电出版社, 2004.1

职业技能上岗培训教材

ISBN 7-115-11530-3

I. 维... II. 王... III. 电工—维修—技术培训—教材 IV. TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 107267 号

内 容 提 要

本书依据中华人民共和国劳动和社会保障部颁发的《维修电工国家职业标准》初级部分编写。全书共分 8 章, 主要包括维修电工的相关知识, 常用电工仪器仪表, 晶体管及应用知识, 变压器、电动机的拆卸、检查、修复、装配与测试, 常用低压电器的检修与调试以及一般电气控制线路的配线、安装与检修。

本书的特点是将基础知识和技能训练融为一体, 标准新, 针对性和实用性强。同时, 每章配有课后练习题, 符合岗前培训、鉴定和就业工作的需要。

本书不仅可作为上岗培训、职业鉴定教材, 同时也可供技工学校、职业学校师生学习、参考和自学。

职业技能上岗培训教材

维 修 电 工 (初 级)

◆ 主 编 王宗贵

主 审 张朝英

责任编辑 赵桂珍

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

读者热线 010-67129264

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京朝阳展望印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 13.5

插页: 1

字数: 320 千字

2004 年 1 月第 1 版

印数: 1-5 000 册

2004 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-11530-3/TN · 2142

定价: 19.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

维修电工职业技能上岗培训教材

编 委 会

主 任： 王杰恩 吕晓春

副 主 任： 胡本进 孙国旗 沙岩玉 王晓丹

委 员： 王宗贵 张朝英 朱学忠 巩华荣

李树岭 赵桂珍 姚予疆 唐素荣

执行委员： 李树岭 赵桂珍

丛 书 前 言

中华人民共和国劳动和社会保障部于2002年5月颁发了《维修电工国家职业标准》。该标准以从事机械设备和电气、系统线路及器件等的安装、调试与维护、修理人员为对象，共设初级、中级、高级、技师和高级技师等5个等级。

为了贯彻和实施这个标准，人民邮电出版社组织了高等职业院校和相关行业的技术专家和考评人员编写了这套《维修电工职业技能上岗培训教材》。这套教材共2册，即《维修电工(初级)》和《维修电工(中级)》。每册书的内容严格按照《维修电工国家职业标准》限定的范围，并且根据初级和中级等级的知识要求和专业技能的要求来编写。

本套教材打破了以往教材理论知识与技能操作相分离的传统，吸取了最新的职业培训“一体化”教材的编写理念，将理论与实践技能融为一体。既突出了考核、鉴定的针对性和实用性，又兼顾了实践中的典型事例和新技术、新材料，符合就业人员上岗培训、鉴定和就业工作的需要。

本套教材不仅适合作为上岗培训、职业鉴定教材，同时也可供职业学校、技工学校师生和技术人员学习参考和自学。

由于时间仓促，不足之处在所难免，欢迎使用单位和个人提出宝贵意见和建议。

维修电工职业技能上岗培训教材编委会

前 言

中国加入 WTO 后，企业对就业上岗人员的技能素质要求越来越高，使得岗前培训愈发朝气蓬勃。为了进一步完善国家职业标准体系，中华人民共和国劳动和社会保障部 2002 年 5 月颁布了最新的《维修电工国家职业标准》。针对这一新情况和原有有关培训教材的不足，为了满足岗前培训的需要，我们依据最新颁布的《维修电工国家职业标准》，组织一批有经验的专家和教师编写了初级维修电工上岗培训教材。

教材的内容紧扣《维修电工国家职业标准》规定的范围、知识和技能要求，由浅入深、通俗易懂地阐述了初级维修电工上岗考核鉴定的基础知识、专业知识和操作技能等相关内容。教材打破了以往教材理论知识与技能操作相分离的传统，吸取了最新的职业培训“一体化”教材的编写理念，将理论与实践技能融为一体。既突出了考核、鉴定的针对性和实用性，又兼顾了实践中的典型事例和新科技、新材料，符合就业人员上岗培训、鉴定和就业工作的需要。

本书编写分工如下：王宗贵、董小宁(第 1 章)，李菊(第 2 章)，王玲(第 3 章)，王世桥、高学民、蒋家响(第 4、5、8 章)，赵冰、肖学东(第 6、7 章)。张朝英、陈立成审稿。

本教材不仅适合作为上岗培训、职业鉴定教材，同时也可供职业学校、技工学校师生和技术人员学习参考和自学。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 基础知识	1
1.1 钳工基础知识	1
1.1.1 锯削	1
1.1.2 锉削	1
1.1.3 钻孔	2
1.1.4 手工加工螺纹	4
1.1.5 电动机拆装知识	4
1.2 电工基础知识	5
1.2.1 直流电与电磁的基础知识	5
1.2.2 交流电的基础知识	20
1.3 动力、照明线路及接地系统检修知识	23
1.3.1 导线的连接及线路敷设	23
1.3.2 照明与动力线路检修知识	32
1.3.3 接地系统检修知识	36
1.4 供电与用电的一般知识	37
1.4.1 维修电工的任务和职责	37
1.4.2 电能的生产、输送和分配概况	37
1.4.3 触电急救知识	38
1.5 防护用具及登高用具的使用知识	39
1.5.1 防护用具的使用	39
1.5.2 登高用具的使用	39
练习题	40
第 2 章 常用电工工具、量具、仪表、材料	42
2.1 常用工具与量具	42
2.1.1 电工常用工具与量具的使用方法	42
2.1.2 简易起重工具及搬运工具的使用	47
2.2 常用电工仪表	48
2.2.1 万用表	48
2.2.2 兆欧表	49
2.2.3 钳形电流表	50
2.2.4 直流电桥	51
2.2.5 功率表	53

2.3 电工材料知识	54
2.3.1 常用电工材料的种类、性能及用途	54
2.3.2 电工材料的选用	57
练习题	58
第3章 晶体管及应用知识	59
3.1 晶体管	59
3.1.1 PN结及其单向导电特性	59
3.1.2 晶体二极管	60
3.1.3 晶体三极管	61
3.1.4 电子电路基本原理和应用	65
3.2 晶体管整流与稳压电路	70
3.2.1 单相整流电路	70
3.2.2 稳压电路	73
3.2.3 电子电路焊接、安装、调试工艺方法	75
练习题	81
第4章 变压器	82
4.1 变压器的基本知识	82
4.1.1 变压器的结构及工作原理	82
4.1.2 变压器的连接与并联运行	86
4.2 小型变压器的绕制、拆卸、检查、修复、装配及测试	91
4.2.1 小型变压器的绕制、拆卸及装配	91
4.2.2 小型变压器的检查、修复及测试	96
练习题	97
第5章 电动机	98
5.1 交流电动机	98
5.1.1 交流电动机概述	98
5.1.2 三相异步电动机	98
5.2 中小型交流电动机的绕组	102
5.2.1 绕组的基本知识	102
5.2.2 三相异步电动机定子绕组	104
5.3 30kW以下电动机的拆卸、检查、修复、装配与测试	110
5.3.1 三相异步电动机的拆卸与装配	110
5.3.2 三相异步电动机的检查、修复与测试	116
练习题	118

第 6 章 低压电器	120
6.1 电器的基本知识	120
6.1.1 电器分类	120
6.1.2 主令电器	121
6.1.3 熔断器	122
6.1.4 低压开关	125
6.1.5 接触器	128
6.1.6 继电器	132
6.1.7 电磁铁	139
6.2 常用的低压电器的检修与调试	140
6.2.1 低压开关的检修与调试	140
6.2.2 低压熔断器的检修	143
6.2.3 主令电器的检修与调试	143
6.2.4 交流接触器的检修与调试	144
6.2.5 专用继电器的检修与调整	146
练习题	149
第 7 章 一般电气控制线路的配线、安装与检修	150
7.1 三相异步电动机控制线路的配线与安装	150
7.1.1 识图知识	150
7.1.2 三相异步电动机基本控制线路的配线与安装	151
7.1.3 三相异步电动机启动控制线路的配线与安装	160
7.1.4 三相异步电动机制动控制线路的配线与安装	166
7.2 常用生产机械电气控制线路	170
7.2.1 CA6140 型车床控制线路	170
7.2.2 Z37 摇臂钻床控制线路	179
7.2.3 20/5t 桥式起重机电气控制线路	183
练习题	186
第 8 章 安全文明生产与环境保护知识	188
8.1 安全文明生产	188
8.1.1 现场文明生产要求	188
8.1.2 安全操作知识	188
8.2 环境保护知识	190
8.2.1 有害因素的来源及危害	190
8.2.2 电工作业的环境保护	191
练习题	192

附录 193

 模拟题一 193

 模拟题二 198

第1章 基础知识

1.1 钳工基础知识

1.1.1 锯削

用手锯分割原材料或加工工件的操作叫锯削。

一、手锯

电工常用的锯削工具是手锯。手锯是由锯弓和锯条组成的。

1. 锯弓

锯弓用来拉紧锯条。锯弓分为固定式和可调式两种，常用的是可调式。

2. 锯条

锯条根据锯齿的牙距大小分为粗齿、中齿和细齿三种，电工常用的规格为长 300mm。

锯削软材料或锯缝长的工件应选用粗齿锯条，锯削硬的材料、管子、薄板料及角铁应选用细齿锯条。安装锯条时，应使锯齿尖向前，锯条的张紧程度要适宜，锯齿方向不应装反。

二、锯削方法

1. 棒料的锯削

如果要求锯削面精度较高，则应从一个方向锯到底；如果锯削端面要求不高，可按几个方向锯下，锯到一定程度后用手折断。

2. 管料的锯削

锯削前，要划出垂直于轴线的锯削线。当锯削到管子内壁时应停锯，把管料向推锯方向转过一个角度，并沿原锯缝继续锯削到内壁处，这样逐渐改变方向不断地转锯，直至锯断为止。

3. 薄板料的锯削

锯削时应尽量从宽面上锯削，必须从狭面上锯削时，则应该把它夹持在两块木板间，连木板一起锯下。

1.1.2 锉削

是利用锉刀对工件表面进行切削加工，使工件达到图纸所要求的尺寸、形状和表面粗糙

度，这种加工方法称为锉削。

一、锉刀

电工常用的普通锉刀有平锉(又叫板锉)、三角锉、半圆锉、圆锉和方锉。锉刀装柄后方可使用。

锉刀的齿纹有单齿纹和双齿纹两种。锉削较软的金属用单齿纹，此外都用双齿纹。双齿纹又分粗、中、细等各种齿纹。粗齿锉刀一般用于锉削软金属材料和加工余量大或精度表面粗糙度要求不高的工件，细齿锉刀则用在不易用粗齿锉刀の場合。

二、锉削的方法

1. 工件的夹持

工件应夹持在虎钳口的中间，且伸出钳口约 15mm 左右，以防止锉削时产生振动，夹持要牢靠又不使工件变形。夹持已加工或精度较高的工件时，应在钳口和工件之间垫入铜皮或其他软金属保护衬垫；表面不规则工件，夹持时要加垫块垫平夹稳；大且薄的工件，夹持时可用两根长度相适应的角钢夹住工件，并将其一起夹持在钳口上。

2. 锉削方法

(1) 锉削平面时先用交叉锉法做粗加工，再用顺向锉法做精加工。

(2) 锉削外圆弧面时，先横着圆弧面锉做粗加工，再顺着圆弧面锉做精加工。

(3) 锉削内圆弧面时，使用圆锉或半圆锉，锉削时锉刀一边做前进运动，一边随圆弧面移动。

1.1.3 钻孔

钻孔是利用钻头在工件上加工出孔的工作。

钻孔使用的设备和工具有立钻、台钻、手电钻及摇臂钻等。

一、钻头简介

常见的钻头是麻花钻。麻花钻一般用高速钢制成。其结构由柄部、颈部及工作部分组成。柄部是用来夹持、定心和传递动力的，直径 13mm 以下的一般都制成直柄式。用钻夹头夹持，用于台钻或更小的钻具。直径 13mm 以上的钻头一般都制成锥柄式，使用时要用钻头套，用于立钻或更大的钻床。

二、钻头的刃磨

1. 麻花钻的几何角度

麻花钻的几何角度如图 1-1-1 所示。

(1) 顶角 2φ (或峰角)

顶角(2φ)应根据工件的材料性质、厚薄以及排屑要求来选择。电工常选用的顶角是：一般钢材为 120° 左右；铝合金或薄板料为 135° 左右；一般铜材为 90° 左右。

(2) 后角 α

后角 α 越小，钻头强度越高，但后刀面与工件切削表面的摩擦面积就越大，因此材料越硬，后角应越小，进给量也越小。对于直径小于 15mm 的钻头，标准后角为 $10^\circ \sim 14^\circ$ 。

(3) 横刃斜角 Ψ

横刃斜角 Ψ 的大小决定于横刃的长度，而横刃长度决定于后角大小，后角大，横刃就长。横刃若太长则不利于切削加工，且不易定中心。所以横刃应该磨得短些，标准的横刃斜角为 $50^\circ \sim 55^\circ$ 。

2. 钻头的刃磨方法

(1) 主切削刃的修磨方法

用右手握住钻头的头部，食指尽可能靠近切削部分，作为定位支点，或将右手靠在砂轮的搁架上做好支点，左手握住钻头的尾部。使刃磨部分的主切削刃处于水平位置，钻头的轴心线与砂轮圆柱母线在平面内的夹角等于顶角的一半。刃磨时将主切削刃在略高于砂轮水平中心面处先接触砂轮，如图 1-1-2 (a) 所示，使钻头沿自己的轴线由下向上移动，同时施加合适的压力，使整个后刀面都磨到，在磨到刃口时要减小压力，停止时间不能太长。在钻头快要磨好时，应注意退回，两面要经常轮换，直至达到刃磨要求。

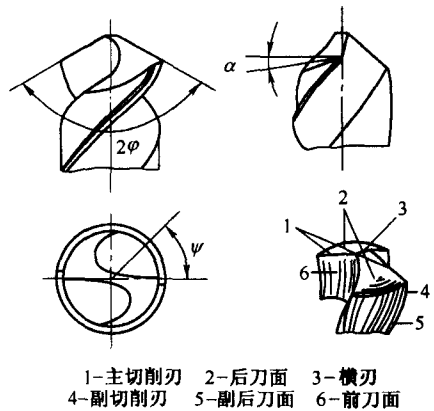


图 1-1-1 麻花钻的几何角度

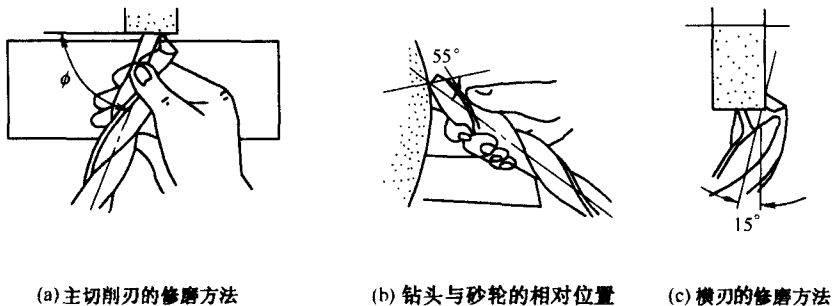


图 1-1-2 钻头的刃磨方法

(2) 横刃的修磨方法

标准麻花钻的横刃较长，对 5mm 以上的钻头，通常要修磨横刃，以改善切削的性能。图 1-1-2 (b) 给出了修磨横刃时钻头与砂轮的相对位置。修磨时先将刃背接触砂轮，然后转动钻头而磨到主切削的前刀面，以此把横刃磨短。

(3) 刃磨的注意事项

钻头刃磨时，要经常蘸水冷却，以防止因过热退火降低硬度。

三、钻孔操作方法

1. 划线冲眼

按钻孔位置尺寸划好孔位的十字中心线，并打出小的中心样冲眼，按孔的孔径大小划孔的圆周线和检查圆，再将中心样冲眼打大打深。

2. 工件的夹持

钻孔时应根据孔径和工件形状、大小采用合适的夹持方法，以保证质量和安全，工件的夹持方法很多，钻削直径为 8mm 以下的孔适合手握的工件可用手握法；不适合手握的小工件、薄板件，可用平口钳夹持；钻削较大直径或精度要求较高的孔用平口钳夹持；在较长的工件上钻较大直径的孔时可用螺栓定位法；在圆柱形工件上钻孔可用压板夹持法。

3. 钻孔时的切削用量

切削用量是切削速度、进给量和吃刀深度的总称。通常钻小孔的钻削速度可快些，进给量要小些；钻较大孔时，钻削速度要慢些，进给量要适当大些；钻硬材料，钻削速度要慢些，进给量也要小些；钻软材料，钻削速度要快些，进给量也要大些。

4. 钻孔操作方法

钻孔时，先将钻头对准中心样冲眼进行试钻，试钻出来的浅坑应保持在中心位置，如有偏移，应及时校正。校正方法：可在钻孔的同时用力将工件向偏移的方向推移，还可将样冲在偏移的位置斜着打冲眼，达到逐步校正。当试钻达到孔位要求后，即可压紧工件完成钻孔。钻孔时要经常退钻排屑。孔将钻穿时，进给力必须减小，以防止钻头折断或使工件随钻头转动造成事故。

1.1.4 手工加工螺纹

手工加工螺纹又称攻螺纹和套螺纹。

用丝锥在孔中切削出内螺纹称为攻螺纹。用板牙在圆柱杆上切削出外螺纹称为套螺纹。

一、内螺纹的加工工具与加工方法

攻螺纹使用的工具是丝锥和丝锥绞杠。螺纹大径是底孔直径的 1~1.05 倍螺距，孔口应倒角。攻螺纹时，丝锥应与工件垂直，开始时可稍微施加压力，随后均匀搅动丝杠，并经常倒转排屑，应按头锥、二锥、三锥顺序攻至标准尺寸。攻螺纹时，应随时添加切削液。攻钢件时用机油，攻铸铁件时用煤油。

二、外螺纹的加工工具与加工方法

套螺纹使用的工具是板牙和板牙绞杠。圆柱和圆管外径应比螺纹大径小 0.13 倍螺距，外端应先倒 30°角。套螺纹前，先将工件夹牢夹正，使板牙面与圆柱或圆管轴线垂直，旋转板牙绞杠时用力要平衡。套螺纹时要经常倒转，随时加切削液。

1.1.5 电动机拆装知识

一、电动机常用的轴承种类简介

中小型的电动机所用轴承多是普通的滚动轴承。选用轴承的基本依据是承受载荷的大小和性质、转速的高低、支撑刚度和结构状况。一般轴承以径向载荷为主，轴向载荷较小。转速较高时选用向心球轴承；径向载荷大，无轴向载荷，转速较低时选用向心滚珠轴承；同时

承受较大的径向和轴向载荷时选用向心推力轴承；只承受轴向载荷时选用推力轴承。

二、电动机常用轴承的拆装

1. 轴承的拆卸

拆卸电动机轴承时，拆卸器的大小选用要合适，拆卸器的脚应尽量卡住轴承的内圆将轴承拉出，也可用铜棒敲打的方法拆卸滚动轴承(如图 5-3-5 所示)。

2. 轴承的装配

轴承的装配有冷套和热套两种方法。

(1) 冷套法

把轴承套在清洗干净并加润滑脂的轴上，对准轴颈用一内径略大于轴颈直径且外径略小于轴承内圆外径的套管，套管的一端顶住轴承内圆，套管的另一端垫上木板，用锤子敲打木板，把轴承敲进去。如图 1-1-3 所示。

(2) 热套法

将轴承放置在 $80^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 变压器油中加热 30min 左右。加热时油面要超过轴承，且轴承要放在网架上不要与底壁接触，加热要均匀，把握好温度和时间。热套时，要趁热迅速将轴承一直推到轴颈。套好后用吹气球吹去轴承内的变压器油，并擦拭干净。

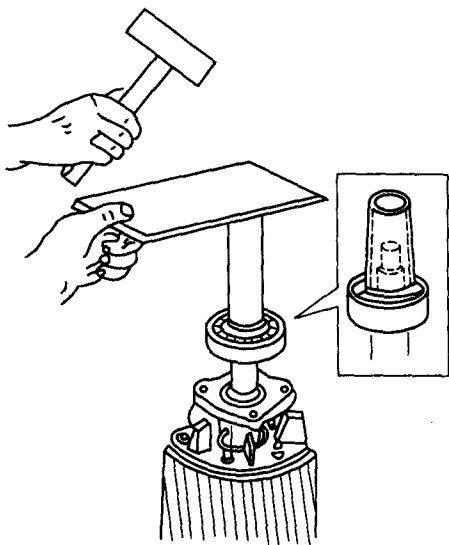


图 1-1-3 用套管冷套法装配轴承

三、电动机的拆装方法

电动机拆卸前要做好记录和标记，选择适当的工具按顺序拆卸，按顺序装配后应检查其牢固性、转动部分的灵活性和平衡性。

1.2 电工基础知识

1.2.1 直流电与电磁的基础知识

一、直流电基础知识

1. 电流

电荷有规则的定向运动形成电流，通常规定正电荷移动的方向为电流的方向。

电流的大小取决于单位时间内通过导体横截面的电量多少。通常规定，电流的大小(即电流强度)等于单位时间内通过导体横截面的电量，用字母 I 表示。如果在时间 t 内通过导

体横截面的电量为 Q (单位为库仑), 则电流为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2-1)$$

电流的单位是安培, 简称安(A)。若在 1s 内通过导体横截面的电量为 1 库仑(C), 则规定导体中的电流为 1A。常用的电流单位还有毫安(mA)、微安(μ A)等。它们之间的换算关系为

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

电流分直流电流和交流电流两大类。凡方向不随时间而变化的电流都称为直流电流。大小和方向都不随时间而变化的电流, 称为稳恒直流, 简称直流。凡大小和方向都随时间而变化的电流, 称为交变电流, 简称交流。

2. 电位与电压

(1) 电位

电位是用来表示电场中某点电场力做功本领大小的物理量。电场中某点 a 的电位在数值上等于电场力将单位正电荷自该点沿任意路径移动到参考点所做的功。设电场中 o 点为参考点, 将电荷 q 从 a 点移动到 o 点电场力所做的功为 A_{ao} , 则 a 点的电位为

$$\varphi_a = \frac{A_{ao}}{q} \quad (1-2-2)$$

如果功的单位是焦耳(J), 电荷的单位是库仑(C), 则电位的单位就是伏特(V), 简称伏。电位的常用单位还有千伏(kV), 毫伏(mV), 微伏(μ V)。换算关系为

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

我们规定参考点的电位为零。通常人们以大地、电子设备的金属底板和机壳等作为参考点。电位有正负之分, 低于参考点的电位为负值, 高于参考点的电位为正值。

(2) 电压

电场中某两点间的电位之差, 称为该两点间的电压。假设电场中 a 点和 b 点的电位分别是 φ_a 和 φ_b , 则 a、b 两点间的电压为

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b \quad (1-2-3)$$

电压与电位的单位相同, 都是伏特(V)。我们规定电压的方向是由高电位指向低电位。

注意: 电路中各点的电位与参考点的选择有关, 具有相对性; 而任意两点间的电压与参考点的选择无关, 具有绝对性。

3. 电动势

我们知道, 在电源的外部电路中, 正电荷是从电源的正极流向负极, 这是电场力推动正电荷做功的结果。为了维持电路中有持续的电流, 在电源内部靠非电场力把正电荷不断地从电源的负极移动到正极。在这个过程中, 电源把其他形式的能转换成了电能。可见, 电源是将非电能转换为电能的装置。

衡量电源转换能量本领大小的物理量称为电源的电动势。电动势在数值上等于非电场力把单位正电荷从电源的负极经电源内部移到正极所做的功。用符号 E 来表示, 即

$$E = \frac{A_{\text{非}}}{q} \quad (1-2-4)$$

其中 $A_{\text{非}}$ 是非电场力做的功。电动势的单位与电位、电压的单位相同, 都是伏特(V)。

我们规定电动势的方向，自电源的负极经电源内部指向正极。

4. 电阻

电流通过导体时，导体对电流有阻碍作用，表示这种阻碍作用的物理量叫做电阻。不但金属导体有电阻，其他物体也有电阻。实验表明，导体的电阻跟导体的长度成正比，跟导体的横截面积成反比，并与导体的材料有关。对于长度为 L 、截面为 S 的导体，其电阻为

$$R = \rho \frac{L}{S} \tag{1-2-5}$$

式中的 ρ 是与导体的材料有关的物理量，称为电阻率或电阻系数，单位是欧姆米($\Omega \cdot m$)。电阻率的大小反映了某种材料导电性能的好坏，电阻率越大，其导电性能越差。

表 1-2-1 几种常用材料的电阻率

材料	电阻率($\Omega \cdot m$)	材料	电阻率($\Omega \cdot m$)
银	1.65×10^{-8}	钨	5.30×10^{-8}
铜	1.75×10^{-8}	镍铬合金	1.50×10^{-6}
铝	2.83×10^{-8}	硬橡胶	1.0×10^{16}

5. 欧姆定律

(1) 部分电路欧姆定律

流过电阻的电流 I 与加在电阻两端的电压 U 成正比，与电阻的阻值 R 成反比，其表达式为

$$I = \frac{U}{R} \tag{1-2-6}$$

(2) 全电路欧姆定律

全电路是指包含电源的闭合电路，如图 1-2-1 所示。虚线框中的 E 代表电源的电动势， r 代表电源的内电阻。通常把电源内部的电路称为内电路，电源外部的电路称为外电路。

全电路欧姆定律的内容是：全电路中的电流强度与电源的电动势成正比，与整个电路的电阻成反比。其表达式为

$$I = \frac{E}{R + r} \tag{1-2-7}$$

根据公式 1-2-7 可得

$$U = E - Ir \tag{1-2-8}$$

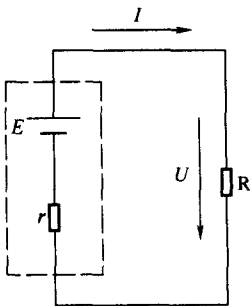


图 1-2-1 全电路

其中 U 为外电路的电压降，也称为电源的端电压。由(1-2-7)式和(1-2-8)式可知：当负载电阻为无穷大，即外电路开路时， $I = 0$ ，端电压 $U = E$ ；当负载电阻为 0，即电路短路时， $I = E/r$ ，端电压 $U = 0$ 。

6. 电功与电功率

(1) 电功

把电能转换成其他形式的能(如光能或热能)时，电流都要做功。电流所做的功称为电功。用字母 A 表示，其表达式为

$$A = UIt = \frac{U^2}{R}t = I^2 Rt \tag{1-2-9}$$