

模具制造工人技术培训教材

模具制造电气基础

机械电子工业部 编



机械工业出版社

模具制造工人技术培训教材

模具制造电气基础

机械电子工业部 编



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书是根据《模具钳工培训大纲和计划》编写的。内容包括：直流电路、交流电路、变压器与电动机、机床电器与控制、半导体器件与应用、机床的数字控制、加工机床的数字显示系统和特种加工及其设备等共八章。每章末附有复习题，可供学员复习参考。本书可作为模具制造工人培训教材，也可作为技工学校教材和中专教学参考书。

本书由沈阳冶金机械专科学校周平之、王忠石、宋雪英、李德普编写，由沈阳大学刘家方、许发铤审稿。

模具制造电气基础

机械电子工业部 编

责任编辑：边 萌 版式设计：王 颖

封面设计：肖 晴 责任校对：何淑英

责任印制：王国光

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码：100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行、新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $7^{3/4}$ · 插页1 · 字数 169 千字

1993年10月北京第1版 · 1993年10月北京第1次印刷

印数0 001—7 300 · 定价：6.50元

ISBN 7-111-03618-2/TM·458

模具制造工人培训教材

编委会名单

主 任：许发樾

副主任：张晓林

顾问：张荫朗

委 员：（按姓氏笔画排列）王济成 方康华
邓石城 杨晓毅 杨溥泉 陈蕴博
周平之 钟秉毓 储家佑

前 言

(代 序)

模具是工业生产中使用极为广泛的主要工艺装备。采用模具生产零部件，具有高效、节材、成本低、保证质量等一系列优点，是当代工业生产的重要手段和工艺发展方向。许多现代工业的发展和技术水平的提高，在很大程度上取决于模具工业的发展水平。因此，模具工业已成为国民经济的基础工业之一。

目前，我国模具工业比较落后，与国民经济发展不相适应。为此，在1989年3月，国务院颁布的《关于当前产业政策要点的决定》中，把支持发展模具工业摆到了发展国民经济的重要战略地位。

振兴我国模具工业的根本任务之一是加强人才培养，大力提高模具工业职工队伍的素质。对此，除社会各类大、中专学校相关专业积极培养更多的适应模具工业发展的毕业生外，大力发展模具职业技术教育，逐步建立全国性的和以工业城市为中心的初、中、高三级模具制造工人教育培训网，形成模具制造工人的培训与教育体系，从而不断地提高模具制造工人队伍的素质，已是今后工作的重要一环。当前，尤为迫切的是抓好模具设计、数控机床编程及操作人员和高级模具制造工人的培训。培训一定要注重实效和规范化，这就需要有一套好的培训计划、大纲和实用的培训教材。

中国模具工业协会教育培训咨询委员会受机械电子工业部教育司的委托，并在其指导下，参考国际模协和德、美、日本等国的模具工人培训计划、大纲，编制了符合我国国情

的《模具工人培训计划、培训大纲》，并成立了模具制造工人培训教材编委会，根据大纲，组织有关院校和企业富有实践经验的专家：编写了《模具钳工工艺学》、《模具制造工艺和装备》、《模具公差与检测》、《模具材料与热处理》、《模具结构与设计基础》、《模具常用机构与机械基础》、《模具制造电气基础》等七种配套的中、高级模具制造工人培训教材。考虑到机电部统编的机械工人技术理论培训教材中已有较好的工具钳工培训教材，其初级部分完全适用于培训初级模具制造工人，各培训教育部门可选择使用，故未编写初级模具制造工人培训教材。

这套教材具有较强的针对性，注重了实践性和实用性，内容包括了我国模具企业在生产中采用的先进、典型结构、参数和图表，以及生产装备和工艺技术；同时注意了基础知识的系统性和广泛性，紧密结合模具生产技术，介绍了机械、电工、电子及计算机应用、压力加工、机床与工具、数学、制图等方面的基础知识，以适应现代模具生产采用高、新技术装备快，模具制造工人学习掌握高超操作技艺的需要。

这套教材也可以作为中专和技校相应专业的教材和模具工程技术人员的参考用书。

这套教材的问世，是我国模具行业的一件大事，为此，谨向为这套教材的编、审和出版付出辛勤劳动的同志们表示衷心的感谢。希望使用这套教材的单位和同志们多提宝贵意见，以便不断修订完善。

中国模具工业协会 理事长

杨 懿

1992年10月1日

目 录

前言

第一章 直流电路	1
第一节 电路及其基本物理量	1
第二节 电阻与欧姆定律	5
第三节 电功与电功率	8
第四节 电阻的串联与并联	11
第五节 电路的状态及电气设备的额定值	14
复习题	16
第二章 交流电路	17
第一节 正弦交流电	17
第二节 三相交流电	23
第三节 电阻在电路中的作用	28
第四节 电感在电路中的作用	32
第五节 电容在电路中的作用	37
复习题	42
第三章 变压器与电动机	43
第一节 变压器	43
第二节 三相笼型异步电动机	46
第三节 直流电动机	53
第四节 伺服电动机	58
第五节 步进电动机	60
复习题	63
第四章 机床电器与控制	64
第一节 控制电器	64

第二节	异步电动机的直接起动控制电路	73
第三节	异步电动机减压起动控制电路	76
第四节	异步电动机的制动控制电路	79
第五节	异步电动机的行程控制电路	83
复习题		86
第五章	半导体器件及其应用	87
第一节	二极管与整流电路	87
第二节	稳压管与稳压电路	94
第三节	晶闸管与可控整流电路	98
第四节	单结晶体管与触发电路	102
第五节	晶体管与放大电路	107
复习题		116
第六章	机床的数字控制	119
第一节	数控机床的工作原理及其分类	119
第二节	电子计算机简介	125
第三节	二进制及其算术运算	127
第四节	插补原理	132
第五节	程序编制	139
第六节	输入装置	149
第七节	运算器	151
第八节	控制器	153
第九节	伺服系统	155
复习题		157
第七章	加工机床的数字显示系统	159
第一节	检测元件	159
第二节	位置数字显示系统	170
第三节	数显装置的调试与维护	181
复习题		183
第八章	特种加工及特种加工设备	184
第一节	概述	184

第二节	电火花成形加工	185
第三节	电火花线切割加工	212
第四节	电解加工和化学加工	217
第五节	激光加工	225
第六节	复合加工	228
第七节	特种加工设备的操作	230
复习题		238

第一章 直 流 电 路

第一节 电路及其基本物理量

一、电路的组成及作用

各种电气设备在正常工作时，一般都有电流通过，电流流通的路径就是电路。

电路主要由电源、负载和中间环节三部分组成。

电源是电路中供给能量的装置，它将非电能量转换成电能，如干电池将化学能转换成电能，发电机将机械能转换成电能，光电池将光能转换成电能。

负载也叫用电设备，是吸收电能的装置。它将电能转换成其他形式的能量，以达到用电的目的。如电灯是将电能转换成光能和热能，电动机是将电能转换成机械能。

中间环节的作用是传输、分配和控制电能。最基本的中间环节是开关、导线及熔丝等。

图1-1是一个最简单的电路。电源 E 是电池，负载 R 是灯泡，开关 S 是中间环节之一，用来控制照明电路的接通或断开。

一般把电路分成两

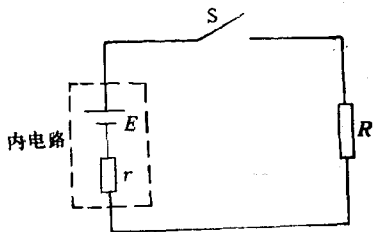


图1-1 最简单的电路

段：电源内部的通路称为内电路，由负载和中间环节构成的电路称为外电路。

电路的作用可概括为两方面：一是进行电能的传输和分配，并实现能量的转换；二是在电子电路和非电量测量电路中，用来实现信号的传递和信号的处理。

二、电路的基本物理量

1. 电流 电荷有规则的定向移动，称作电流。金属导体中的电流是自由电子在电场力作用下做有规则的运动而形成的；而在电解液或气体中，电流则是带正电和带负电的离子在电场力的作用下做有规则的运动而形成的。

电流的强弱用电流强度来表示，其符号为 I 。电流强度在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电量，即

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

式中 I —— 电流 (A)；

Q —— 电量 (C)；

t —— 时间 (s)。

电流的单位是安培，常用“安”或“A”来表示。如果在1s内通过导体横截面的电量是1C，那么通过该导体的电流就是1A。

常用的电流强度单位还有 千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 (μ A)，它们的换算关系是

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

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

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

为了简便，通常还把电流强度这个物理量简称为电流。因此电流这一词不仅代表一种物理现象，而且也代表一个物

理量。

习惯上规定正电荷移动的方向为电流方向，而负电荷移动的方向和电流的方向相反。

2. 电压 在图1-2中，a、b是电池的两个电极，a是正极带有正电荷，b是负极带有负电荷，这些电荷在空间产生了电场。如果用导线把灯泡和两个电极联接起来，则在电场力的作用下，正电荷要从电极a经过灯泡移至电极b（实际上是电子由电极b移至电极a），于是形成了电流，这时电场力移动电荷做了功。为了衡量电场做功的能力，引入了电压这个物理量。a、b两点的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从a点移到b点所做的功。

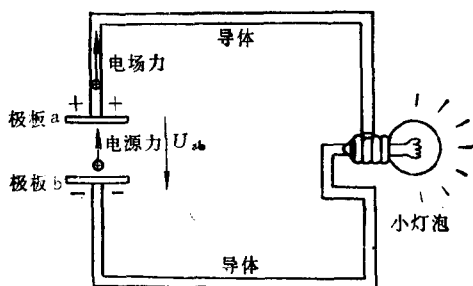


图1-2 电场力对电荷做功

电压的单位是伏特，简称伏，用符号V表示。

常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV)，它们之间的换算关系是

$$1\text{kV}=10^3\text{V}$$

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

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

电压的方向规定为由高电位指向低电位，即由电源的正极指向电源的负极。对负载而言，电压的实际方向与电流的方向是一致的。

3. 电位 电压是针对电路中某两点来说的。在比较复杂的电路中，要一一说明两点间的电压是很繁琐的。为此，引入了电位这一物理量。

电路中某一点的电位就是该点到参考点之间的电压。电位用 U 加下标表示。例如图1-3中若选 d 点为参考点，则 a 、 b 、 c 、 e 四点电位为

$$U_a = U_{ad}$$

$$U_b = U_{bd}$$

$$U_c = U_{cd}$$

$$U_e = U_{ed}$$

电压和电位的关系是：电路中任意两点间的电压等于这两点的电

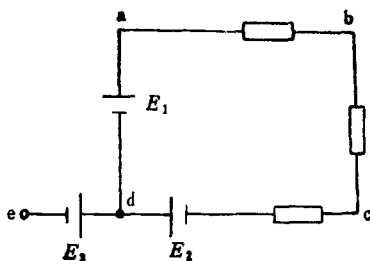


图1-3 电路中的电位

压等于这两点的电位差。例如 a 、 b 两点的电位分别为 U_a 和 U_b ，则 a 、 b 两点之间的电压为

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-2)$$

如同以海平面作为计算山脉高度的参考点一样，计算电位时首先要指定电路中某一点作为参考点，并规定参考点的电位为零。比参考点高的电位为正，比参考点低电位为负。不指定参考点，讨论电位是没有意义的。

电位的单位也是伏特。

4. 电动势 在电场力的作用下，正电荷总是从高电位端经过负载向低电位端移动并形成电流。由图1-2可看出，当正电荷移至电极 b 时，就要与极板 b 上的负电荷中和，使极

板上的电荷越来越少，这也将使极板间的电场越来越弱以至最后消失，导致电路中电流中断。要使电流不断维持下去，则必须使极板 a 、 b 间的电压 U_{ab} 保持恒定，也就是将电极极板 b 上所增加的正电荷再搬回到电极极板 a 上去，但由于电场力的作用，极板 b 上的正电荷不能逆电场而上，因此必须要有另一种力克服电场力而使极板 b 上的正电荷流向极板 a ，我们把这种力称为电源力。这种力在电池中就是电极和电解液进行化学反应时所产生的化学力；在发电机中就是电磁感应所产生的电磁力。

电源中电源力移送电荷的过程也就是电源将其他形式的能量转换为电能的过程。与此相似，电场力移送电荷的过程也就是负载将电能转换为其他形式能量的过程。

电源力在电源内部移动正电荷而做功，做功能力的大小用电动势这个物理量来衡量。电源电动势在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的低电位端经电源内部移到高电位端所做的功。电动势的方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端，即为电位升高的方向。电动势的符号用 E 表示。

电位、电压和电动势的单位都是伏特，但它们是性质完全不同的物理量，必须严格地把它们区别开来。

第二节 电阻与欧姆定律

一、电阻

当导体两端加上电压时，导体内的自由电子将要做定向移动并形成电流，这些定向移动的自由电子要互相碰撞，而且还要和组成导体的原子相碰撞，这种碰撞将对电子的运动起阻碍作用，即表现为对电流起阻碍作用，因此称它为电阻。电阻用字母 R 来表示。

电阻的单位是欧姆，简称欧，用字母 Ω 表示。

常用的电阻单位还有千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$)，它们之间的换算关系是

$$1k\Omega = 10^3\Omega$$

$$1M\Omega = 10^6\Omega$$

导体电阻的大小与导体的长度成正比，与导体的截面积成反比，且与导体的材料有关，即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-3)$$

式中 R ——导体的电阻 (Ω)；
 l ——导体的长度 (m)；
 S ——导体横截面积 (m^2)；
 ρ ——导体的电阻率 ($\Omega \cdot m$)。

导体电阻率的大小，在数值上等于长度为1m、横截面积为1m²的导体所具有的电阻值。

表1-1列出了几种材料在20℃时的电阻率。

表1-1 几种金属材料在20℃时的电阻率

材料名称	电阻率($\Omega \cdot m$)	用 途	材料名称	电阻率($\Omega \cdot m$)	用 途
银	1.6×10^{-8}	导线镀银	锰 铜	40×10^{-8}	标准电阻
铜	1.72×10^{-8}	导 线	康 铜	50×10^{-8}	标准电阻
铝	2.9×10^{-8}	导 线	镍 铬 丝	112×10^{-8}	电 炉 丝
钨	5.5×10^{-8}	灯 丝			

实验证明，导体的电阻与温度有关。一般金属材料的电阻随着温度的升高而增大；半导体材料和电解液的电阻，通常都是随温度的升高而减小的，利用这种现象可以作成温度检测装置。

例1 直径为1mm、长度为2m的锰铜线，电阻是多少欧姆？

解 锰铜线的截面积

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = 3.14 \times \frac{(0.001)^2}{4} = 7.85 \times 10^{-7} \text{m}^2$$

查表1-1得知锰铜的电阻率 $\rho = 40 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ，则有

$$R = \rho \frac{l}{S} = 40 \times 10^{-8} \times \frac{2}{7.85 \times 10^{-7}} = 1.02 \Omega$$

二、部分电路欧姆定律

部分电路欧姆定律是德国科学家于1826年得出的实验结论。其结论是：在一段不包含电动势的电路中，流过导体的电流 I 与这段导体两端的电压 U 成正比，与这段导体的电阻 R 成反比。 I 、 U 、 R 三者的关系为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-4)$$

式中 I —— 电流 (A)；

U —— 电压 (V)；

R —— 电阻 (Ω)。

式 (1-4) 也可写成

$$U = IR \quad (1-5)$$

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-6)$$

三、全电路欧姆定律

图1-4是最简单的全电路，它是一个含有电源的闭合电路，其中 R 是外电路上的负载电阻，电源部分可看作是一个电动势 E 和一个内电阻 r 的串联组合。

全电路欧姆定律的内容是：全电路中的电流强度 I 与电源电动势 E 成正比，与整个电路的电阻 ($R + r$) 成反比，即

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1-7)$$

式中 I ——电路中的电流强度(A);

E ——电源的电动势(V);

R ——外电路电阻(Ω);

r ——内电路电阻(Ω)。

由式(1-7)还可得

$$E = IR + Ir = U + Ir \quad (1-8)$$

例2 在图1-4的闭合电路中, 已知电源的电动势 $E = 60$ V, 内阻 $r = 1\Omega$, 外电阻 $R = 29\Omega$, 求: (1) 电路中的电流; (2) 电池的端电压。

解 (1) 按全电路欧姆定律, 电路中的电流为

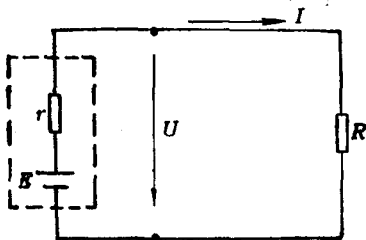


图1-4 最简单的全电路

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{60}{29 + 1} = 2\text{A}$$

(2) 电池的端电压为

$$U = E - Ir = 60 - 2 \times 1 = 58\text{V}$$

第三节 电功与电功率

一、电功

当电流通过电灯时, 电灯要发光; 电流通过电炉时, 电炉要发热; 电流通过电动机时, 电动机要旋转。这一切都说明电流流过负载时要做功。

电流所做的功简称为电功, 用符号 W 表示。