

中华人民共和国第一机械工业部统编

机械工人技术培训教材

# 电焊工工艺学

(初级本)

科学普及出版社

本书是第一机械工业部统编的机械工人技术培训教材。它是依据《工人技术等级标准》和《一机部审定的工人技术培训教学大纲》编写的。本书简要地介绍了各种常用的电焊方法，以较多篇幅讲述各种焊接的工艺要点、操作技术和规范参数，并对必要理论知识也作了阐述。设备方面着重介绍常用焊接设备的工作原理、结构和使用方法；材料方面除了常用的焊接材料外，重点介绍常用钢材和铸铁的焊接工艺。对焊接变形、缺陷检验和安全技术也有讲过。另外，还介绍了有关的化学和电工知识。

本书是焊工技术培训的基础教材，也可供有关技术人员和工人参考。

本书由祝如律、郭成仁、唐进法同志编写，由吕明辉、徐初雄、陈宝龄、华茂昌同志审核和修订。

中华人民共和国第一机械工业部统编  
机械工人技术培训教材  
电焊工工艺学  
(初级本)

责任编辑：戴生寅

\*

科学普及出版社出版(北京白石桥养竹院公园内)  
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售  
江苏新华印刷厂印刷

\*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：13 $\frac{1}{2}$  字数：226千字

1982年10月第1版 1982年10月第1次印刷

印数：1—136,000册 定价：1.30元

统一书号：15051·1056 本社书号：0541

对广大工人进行比较系统的技术培训教育，是智力开发方面的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地展开这项工作，教材是个关键。有了教材才能统一培训目标，统一教学内容，才能逐步建立起比较正规的工人技术教育制度。

教材既是关键，编写教材就是一件功德无量的事。在教材行将出版之际，谨向为编写这套教材付出辛勤劳动的同志们致以敬意！

第一机械工业部第一副部长 杨 铨

一九八二年元月

# 前 言

为了更好地落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对工人特别是青壮年工人进行系统的技术理论培训，以适应四化建设的需要，现确定按初级、中级、高级三个培训阶段，逐步地建立工人培训体系，使工人培训走向制度化、正规化的轨道，以期进一步改善和提高机械工人队伍的素质。为此，我们组织了四川省、江苏省、上海市机械厅(局)和第一汽车厂、太原重型机器厂、沈阳鼓风机厂、湘潭电机厂，编写了三十个通用工种的初级、中级的工人技术培训教学计划、教学大纲及其教材，作为这些工种工人技术理论培训的统一教学内容。

编写教学计划、教学大纲及其教材的依据，是一机部颁发的《工人技术等级标准》和当前机械工人队伍的构成、文化状况及培训的重点。初级技术理论以二、三级工“应知”部分为依据。是建立在初中文化基础上的。它的任务是为在职的初级工人提供必备的基础技术知识，指导他们正确地使用设备、工夹具、量具，按图纸和工艺要求进行正常生产。中级以四、五、六级工“应知”部分为依据，并开设相应的高中文化课，在学完了初级技术理论并具有一定实践经验的工人中进行。它的任务是加强基础理论教学，使学员在设备、工夹具、量具、结构原理、工艺理论、解决实际问题和从事技术革新的能力上有所提高（高级以七、八级工“应知”部分为依据，这次未编）。编写的教材计有：车工、铣工、刨工、磨工、齿轮工、镗工、钳工、工具钳工、修理钳工、造型工、化铁工、热处理工、锻工、模锻工、木模工、内外线电工、维修电工、电机修理工、电焊工、气焊工、起重工、煤气工、工业化学分析工、热工仪表工、锅炉工、电镀工、油漆工、冲压工、天车工、铆工等工艺学教材和热加工的六门基础理论教材；数学、化学、金属材料及其加工工艺、机械制图、机械基础、电工基础。

在编写过程中，注意了工人培训的特点，坚持了“少而精”的原则。既要理论联系生产实际，学以致用。又要有理论的高度和深度；既要少而精，又要注意知识的科学性、系统性、完整性；既要短期速成，又要循序渐进。在教学计划中对每个工种的培养目标，各门课程的授课目的，都提出了明确的要求，贯彻了以技术培训为主的原则。文化课和技术基础课的安排，从专业需要出发，适当地考虑到今后发展和提高的要求，相近工种的基础课尽量统一。

这套教材的出版，得到了有关省、市机械厅(局)、企业、学校、研究单位和科学普及出版社的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

编写在职工人培训的统一教材，是建国三十年来第一次。由于时间仓促，加上编写经验不足，教材中还难免存在缺点和错误，我们恳切地希望同志们在今后试行中提出批评和指正，以便进一步修改、完善。

第一机械工业部工人技术培训教材编审领导小组

一九八一年十二月

# 目 录

绪 论	1
第一章 电工与化学的基本知识	4
第一节 焊接方面的电学常识	4
第二节 焊接方面的化学常识	13
第二章 电弧焊冶金过程	24
第一节 焊接电弧及焊接冶金特点	24
第二节 熔化金属与气体的相互作用	27
第三节 熔渣的作用	29
第四节 焊缝结晶及焊接接头的显微组织	34
第三章 手工电弧焊设备	38
第一节 手工电弧焊对焊机的要求	38
第二节 交流弧焊机	41
第三节 旋转直流弧焊机	44
第四节 整流弧焊机	46
第五节 焊接设备的维护	47
第六节 手工电弧焊工具	50
第四章 电焊条	52
第一节 焊条的组成	52
第二节 焊条的分类及选用原则	56
第三节 焊条的规格、检验和保管	61
第五章 手工电弧焊工艺操作方法	63
第一节 手工电弧焊的基本操作方法	63
第二节 焊接接头型式和焊缝型式	68
第三节 焊接规范参数的选择	75
第四节 空间各种位置的焊接方法	77
第六章 埋弧焊	90
第一节 埋弧焊概述	90
第二节 埋弧焊焊接材料	91
第三节 埋弧焊设备	95
第四节 埋弧焊焊接工艺	99
第七章 气体保护电弧焊	105
第一节 二氧化碳气体保护焊	105
第二节 手工钨极氩弧焊	116
第八章 电渣焊	127
第一节 电渣焊概述	127
第二节 电渣焊设备	131

第三节	电渣焊接材料	124
第四节	丝极电渣焊工艺	125
第九章	碳弧气刨	141
第一节	碳弧气刨概述	141
第二节	碳弧气刨的设备、工具和材料	142
第三节	碳弧气刨工艺	145
第四节	碳弧气刨的操作与安全技术	148
第十章	常用钢铁材料的焊接	151
第一节	钢材的基本知识	151
第二节	可焊性概念	154
第三节	碳素钢的焊接	156
第四节	普低钢的焊接	160
第五节	铸铁的焊接	164
第六节	不锈钢的焊接	169
第十一章	焊接应力及变形	176
第一节	焊接应力和变形产生的原因及其影响因素	176
第二节	焊接变形的种类	179
第三节	减少和防止变形的措施	181
第四节	焊接变形的矫正	185
第五节	减少焊接应力的方法	187
第六节	焊接残余应力消除的方法	190
第十二章	焊接缺陷及检验方法	192
第一节	常见的焊接缺陷	192
第二节	焊接检验	198
第十三章	焊接安全技术	204
第一节	预防触电的安全知识	204
第二节	劳动保护	205
附    录		210
附录一	部分结构钢焊条简明表	210
附录二	手弧焊机的技术数据	211
附录三	电弧焊机新旧型号对照表	214

# 绪 论

## 一、 焊接的概念和分类

在金属结构和机械制造工业中,经常需要将两个或两个以上的零件联接在一起。按照其特点将联接分为两类:一类是可拆卸的联接,拆卸时零件基本上不破坏,如螺栓、键、销钉等的联接;另一类是永久的联接,其拆卸只有在毁坏零件后才能实现,如铆接、焊接等。

使两部分同质或非同质的材料,利用原子间或分子间的联系与质点的扩散作用,形成一个整体的过程称为焊接。

焊接不仅可以联接金属,也可联接象玻璃、塑料、陶瓷等非金属。

按照基本金属焊接时所处的状态和工艺特点,可以把焊接方法分为熔化焊、压力焊和钎焊三类,见表 0-1。

## 二、 焊接结构的优缺点

### (一)优点

焊接结构与铆接结构、铸件及锻件相比,具有下列优点:

(1)焊接结构重量轻,节省金属。根据大量的实践证明,它比铆接结构可节省金属 15~20%;比铸件节省金属 30~40%;比铸钢件节省金属 30% 左右;比锻件也有不同程度的节省。

(2)与铆接和铸件相比焊接结构强度高,接头密封性好。

(3)焊接结构劳动量小、生产率高,加工和装配容易,可以多人同时焊接。

(4)焊接时的噪音小,劳动条件较好。

(5)容易实现机械化和自动化。

### (二)缺点

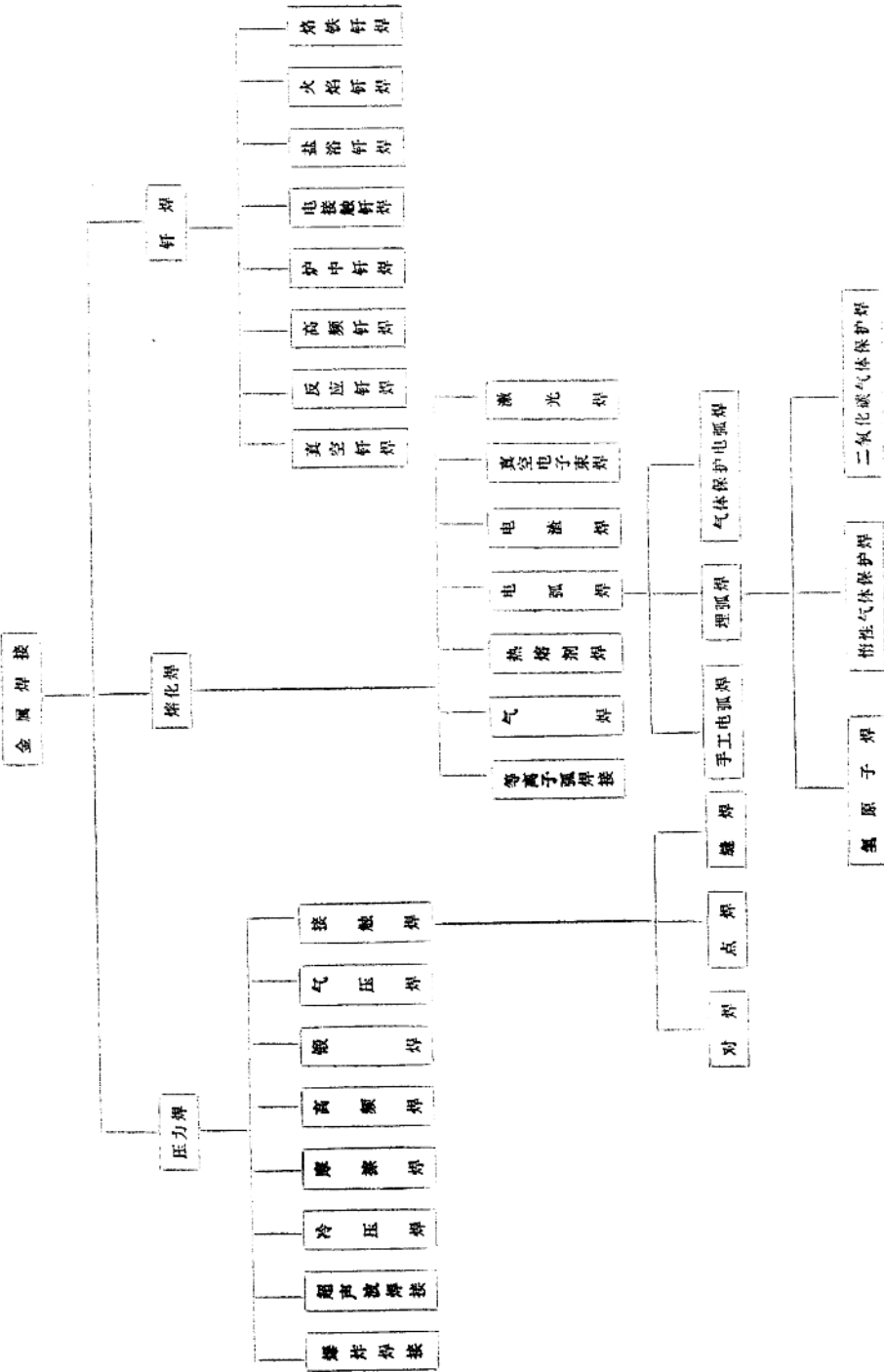
焊接的不足之处,首先是焊接容易引起变形和产生内应力,焊后有时要作校正处理,对重要构件还要进行焊后热处理,以消除内应力;其次是某些焊接方法会产生强光或有害气体和烟尘,必须采取相应的劳保措施,以保护工人的身体健康。

## 三、 焊接技术的现况和展望

我国是世界上最早应用焊接技术的国家之一。考古发现,远在战国时期的一些金属制品,就已采用焊接技术。如在河南辉县出土的玻璃阁战国墓中殉葬铜器的本体、耳、足就是利用钎焊来联接的。另据历史文献记载,宋代科学家沈括所著的《梦溪笔谈》一书,就提

金属焊接方法的分类

表 0-1





到了焊接方法。其后，明代科学家宋应星所著的《天工开物》一书，对锻焊和钎焊技术作了详细的叙述，如“凡铁性逐节粘合，涂黄泥于接口之上，入火挥锤，泥渣成枵而去，取其神气为媒合，胶结之后，非灼红斧斩，永不可断也。”证明当时已经懂得在锻焊时使用熔剂，以获得质量较高的焊接接头。还有“用响铜末者为大焊，用锡末者为小焊”的记载，说明我们至今还大量使用的铜、银、锡及其合金的钎焊方法，在当时就已获得了应用。

从1880年出现碳弧焊到现在，已有一百多年的历史。由于各国焊接工作者的努力，已形成较完整的焊接技术体系。

解放以来，我国的焊接技术发展很快，焊接技术在国防、造船、化工、石油、冶金、电站、建筑、桥梁、车辆、机械以及宇航、海洋开发等方面发挥着极其重要的作用。与此同时，全国已培养出大批焊接技术工人和大量焊接技术人员，为我国焊接技术打下了坚实的基础。

我国成功地焊接了12000吨水压机、22.5万千瓦水轮机、30万千瓦汽轮机低压转子、150大气压(直径1.8米)的加氢反应器、直径15.7米的球形容 器、25000吨远洋货轮、50000吨远洋油轮、1.7米大型轧钢机、铁路栓焊梁大桥等焊接结构，以及原子反应堆、火箭、人造卫星等尖端产品。

我国的焊接材料品种不断增加，焊条产量和质量逐年提高，专用焊条、高效率铁粉焊条和部分管状焊丝已定型生产。

目前国内已可生产多种焊机，许多焊机还采用了比较先进的控制系统。此外，还生产各种焊接检验设备和仪器。

对于一些先进的焊接方法，如窄间隙焊接、等离子弧焊接、电子束焊接、激光焊接、以及单面焊双面成形的自动焊、垂直自动焊、摩擦焊等在我国也获得越来越多的应用。

目前世界上已有50余种焊接方法应用于生产，为了进一步提高焊接质量和生产率，各国正在从事高效率的焊接方法的研究；正在从事提高焊接自动化水平和探索应用焊接新能源；正在发展电子计算机技术和机器人在焊接生产中的应用。

总之，焊接技术发展异常迅速，我们必须加倍努力，尽快赶上世界先进水平。

# 第一章 电工与化学的基本知识

## 第一节 焊接方面的电学常识

### 一、电的基本概念

#### (一)电的产生及其基本特性

自然界的物质大都是由分子组成的，分子具有该物质的一切特性。分子是由原子组成，而原子又是由居于原子中心的带正电荷的原子核和核外带负电荷的电子所组成。这些电子，分层围绕原子核作高速旋转。不同的物质有不同的原子，这些原子所具有的电子数目也不一样。例如铜原子有29个电子，铝原子有13个电子。图1-1所示是铝原子的结构示意图。

通常，原子核所带正电荷和电子所带负电荷在数量上相等，因此，物体就不显示带电现象。若物体由于某种外界原因，使原子失去或得到电子时，物体就带电。得到电子的物体带负电，失去电子的物体带正电。这种不流动的电称为静电。静电的基本特性是：同性电荷互相排斥，异性电荷互相吸引。原子核吸引电子的吸力大小与它们间的距离平方成反比。

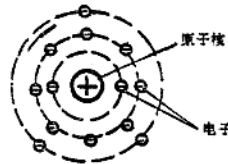


图 1-1 铝原子结构示意图

#### (二)电流

当我们按照图1-2用导线把电珠和电池的两极连起来，电珠就会发光，这就组成最简单的电路。

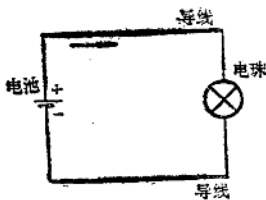


图 1-2 简单电路

一个电路一定要有电源，这里的电源就是电池。电源的负极，用符号“-”表示(电池的负极就是外壳)。电源的正极，用符号“+”表示(电池的正极就是中间的碳棒)。当电路接成闭合回路后，电荷就会由电位高的地方流向电位低的地方，这样就形成了电流。

电流的方向，习惯上规定正电荷定向移动的方向为电流方向，也就是和电子运动方向相反。若电流的方向始终不变我们称这种电流为直流电；反之，若运动方向和大小随时间而变化的电流，我们把它称为交流电。

电流的大小用电流强度来表示。电流强度在数值上等于一秒钟内通过导线横截面的电量多少。电流强度用“ $I$ ”表示，单位是安培(简称安)，用“A”表示。

$$1 \text{ 安培} = 1000 \text{ 毫安 (mA)}$$

$$1 \text{ 毫安} = 1000 \text{ 微安 (}\mu\text{A)}$$

电路中电流的大小可用电流表串联在电路中测量。

### (三)电压

电源的正极电位高, 负极电位低, 所以电路接通后, 电流从电源正极流出, 经过用电器流回电源负极。在电路中, 任意两点之间的电位差称为这两点的电压, 当负载一定时, 电压越高, 电流越大。电压用符号“ $U$ ”来表示。

电位有正电位和负电位, 根据在电路中选择那一点为零电位来决定。

由其他形式的能量转变为电能时, 在电源两端产生的电位差, 称为电源的电动势, 用“ $E$ ”来表示。

电动势、电压、电位的单位都是伏特(简称伏), 用“ $V$ ”表示。高电压可用千伏( $kV$ )表示, 低电压可用毫伏( $mV$ )表示。其换算关系:

1 千伏 = 1000 伏

1 伏 = 1000 毫伏

电压的大小可用电压表来测量, 测量时将表并联到电路中要测量的两点的上去。

## 二、导体、电阻和绝缘体

### (一)导体

比较容易传导电荷的物体叫做导体。常见的导体是金属, 如铜、铝、铁等。这是由于在金属原子中, 最外层的电子与原子核的结合比较松散, 因此这部分电子很容易脱离自己的原子, 在金属的各原子中间运动, 这样的电子, 称为自由电子。在通常情况下, 金属中虽有大量自由电子, 但他们只作无规则的热运动, 不会产生电流。当接上电源并且构成通路时, 金属导体中的自由电子在电源电动势的作用下, 作定向运动, 形成电流。所有金属及合金都是导体。除此以外, 大地、人体、石墨以及酸、碱、盐的水溶液也都是导体。

除了金属中自由电子能够导电外, 在外界因素(受光、热或电场)的作用下, 气体原子中的电子能够被激发成自由电子。失去电子的原子为正离子, 得到电子的原子为负离子, 这种现象称为电离。经电离后的气体, 在电场作用下, 自由电子和负离子向正极(阳极)方向运动, 而正离子则奔向负极(阴极), 形成电流。这就是离子导电。它是电弧焊时, 在两极间形成电弧和维持电弧的原因。

### (二)电阻

自由电子在金属导体中作定向运动时, 会与金属中其它电子或原子核等发生碰撞, 所以电流在导体中流动时要受到一定的阻力, 这种对于通电所表现的阻力, 称为导体的电阻。电阻用“ $R$ ”表示, 单位是欧姆(简称欧), 用“ $\Omega$ ”表示。测量大电阻值可用千欧( $k\Omega$ )或兆欧( $M\Omega$ )。其换算关系:

1 千欧 = 1000 欧姆

1 兆欧 = 1000000 欧姆

在一定温度下, 导体的电阻与导体截面面积成反比, 与导体长度成正比, 还与导体的材料有关, 用公式表示:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

式中  $L$ ——导体长度, 米;

$S$ ——导体截面积, 毫米<sup>2</sup>;

$\rho$ ——电阻系数, 欧·毫米<sup>2</sup>/米。

导体的电阻与温度有关, 一般的金属导体温度升高时其电阻值增大。工厂中常用万用表来测量电阻值。

### (三) 绝缘体

导电能力非常差, 电流几乎不能通过的物体, 称为绝缘体。这些材料的电阻极大(一般是兆欧级)。常用的绝缘材料有橡胶、塑料、云母、石棉、绝缘漆、陶瓷、干燥的木材等。

电气设备的绝缘性能, 常用兆欧计(俗称摇表)来检查。

## 三、欧姆定律

由实验发现: 在单纯的电阻电路中, 通过电阻( $R$ )中的电流( $I$ )值, 与电阻两端的电压( $U$ )值成正比, 与电阻值成反比。这种电压、电流和电阻的关系, 称为电阻电路的欧姆定律, 用公式表示:

$$I = \frac{U}{R}$$

式中  $I$  的单位是安培,  $U$  的单位是伏特,  $R$  的单位是欧姆。

## 四、电功和电功率

我们日常所看到的电动机转动、电炉发热以及电灯发光等现象, 都是由于电流做功的结果。电流所做的功叫电功, 用“ $W$ ”表示。电功的大小与通过用电器的电流强度和加在用电器两端的电压以及通电时间( $T$ )都成正比, 即

$$W = IUT$$

根据欧姆定律可得到:  $W = I^2RT = \frac{U^2}{R}T$

单位时间内电流所做的功叫电功率(简称功率), 用“ $P$ ”表示, 即

$$P = \frac{W}{T} = \frac{IUT}{T} = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}$$

电功率常用单位是瓦特(简称瓦, 符号是 W)和千瓦(kW)。其换算关系:

$$1 \text{ 瓦特} = 1 \text{ 安培} \times 1 \text{ 伏特}$$

$$1 \text{ 千瓦} = 1000 \text{ 瓦}$$

生产中还用马力作为功率单位, 换算关系:

$$1 \text{ 马力} = 736 \text{ 瓦}$$

实际生产中常用的电功单位是“度”。1度表示功率为1千瓦的用电器使用1小时所消耗的电能, 即

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ 千瓦} \times 1 \text{ 小时} = 1 \text{ 千瓦小时}$$

## 五、电流的热效应

电流通过导体时会发热,这种现象称为“电流的热效应”。这是由于电流通过导体时,克服导体的电阻作了功的结果。

电流流过电阻所产生的热量,与电流强度的平方成正比,与导体的电阻和通电时间成正比这个规律叫焦耳定律。如果电流产生的热量用  $Q$  表示,得

$$Q = 0.24I^2 \cdot R \cdot T$$

式中  $Q$  的单位是卡,  $I$  的单位是安,  $R$  的单位是欧,  $T$  的单位是秒。

电流热效应在生产中用途很广,常见的有电炉、电烙铁、熔断器和电阻焊等。但电流热效应也有不利的一面,它会使线圈发热,电器设备温度升高。若温度太高,会加速绝缘材料的老化变质,如橡皮硬化,漆包线漆层脱落等,从而会引起漏电或线圈短路,甚至使整个设备或线圈烧坏。因此,这就限制了电器设备的最大功率。

为了保证电器设备在正常温度下运行,必须对每个电器设备规定出最大允许功率,通常称为该设备的额定功率。在电压不变的情况下,也可规定最大允许电流,称为额定电流。在用电器电阻值不变时,也可以规定额定电压。电器设备的额定数据一般标在铭牌上,使用电器设备时,必须看清铭牌,实际数值不要超过额定值。

## 六、交流电

若电流在电路中流动的方向和大小不随时间发生变化,则这种电流叫做直流电;若电流在电路中流动的方向和大小随时间而改变,则这种电流叫做交流电。交流电是目前工厂企业中广泛使用的一种能源,例如平常的照明,感应电动机和交流弧焊机的用电,都是交流电。下面简单介绍交流电的特征。

### (一)频率和周期

电阻  $R$  接在直流电源  $E$  上(见图 1-3),则  $A$  点电位总比  $B$  点高。当把电阻  $R$  接在交流电源上(见图 1-4),  $A$  点电位有时比  $B$  点高,有时比  $B$  点低,而且是有规律地不断变化,交流电流和电压与时间的变化关系是一条正弦曲线,如图 1-5 所示,这可由实验和示波器测示出来。

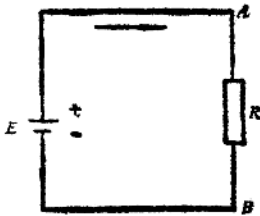


图 1-3 直流电路接线

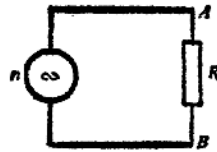


图 1-4 交流电路接线

交流电经过一个正向值和负向值所需的时间,称做一个周期,即交流电完成一周所需的时间。如图 1-5 中  $O$  到  $t_1$  点的时间为一个周期,用  $T$  表示,单位是秒。

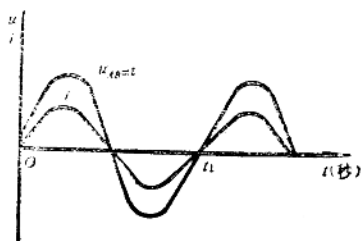


图 1-5 交流电流和电压与时间的变化关系

交流电在一秒钟内反复变化的次数，称为频率，用“ $f$ ”表示，单位是赫兹(周/秒)。我国工业用电是 50 赫兹(即一秒钟内变化 50 次)。因此 50 赫兹又称为工频。

周期  $T$  和频率  $f$  的关系：

$$f = \frac{1}{T}$$

工频交流电的周期为：

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02 \text{ 秒} = 20 \text{ 毫秒}$$

## (二)交流电的最大值、有效值、功率

图 1-4 中，用 50 赫兹的交流电压加在电阻  $R$  上，在 0 秒时(开始时)， $u = 0$ ， $i = 0$ ，以后  $u$  逐步上升， $A$  点电位逐步上升，并比  $B$  点电位高， $i$  也逐步上升，电流从  $A$  点流向  $B$  点，当  $u$  达到最大值时(用  $U_M$  表示)，交流电流也达到最大值(用  $I_M$  表示)，随后  $u$  又开始下降，一直到  $u = 0$ ， $i$  也跟着下降，直到  $i = 0$ ，这时刚好是半个周期，即  $\frac{1}{100}$  秒。再下去  $u$  变成负值，即  $A$  点电位比  $B$  点电位低了，电流从  $B$  点流向  $A$  点，一直到  $u$  达到负的最大值， $i$  也达到负的最大值，以后  $A$  点电位又开始上升(但比  $B$  点低，电流还是从  $B$  点流向  $A$  点)。直到  $u = 0$ ， $i = 0$ ，即  $A$  点和  $B$  点电位相等，这时刚好是一个周期 ( $\frac{1}{50}$  秒)。

和直流电一样，交流电流过电阻  $R$  也要消耗功率，消耗功率的大小和电阻、电流的大小有关。但是由于加在电阻  $R$  的交流电压和交流电流的大小都是随着时间不断变化的，如果把最大值  $U_M$  和  $I_M$  直接相乘是不对的。实践证明交流电在电阻上消耗的功率  $P$  等于有效值

$\frac{\sqrt{2}}{2} U_M$  和  $\frac{\sqrt{2}}{2} I_M$  的乘积，即：

$$P = \frac{\sqrt{2}}{2} U_M \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} I_M$$

设 
$$U = \frac{\sqrt{2}}{2} U_M, \quad I = \frac{\sqrt{2}}{2} I_M$$

则 
$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

这里  $U$  称为交流电压的有效值， $I$  称为交流电流的有效值。

一切交流电器、电机产品铭牌上的额定电压和额定电流，都是指交流电的有效值，如焊机一次接线电压 380/220 伏，焊接电流 40~130 安等。在三相交流电路中，如果负载平衡，不论是星形或三角形接法，功率的计算公式都是一样的，即：

$$P = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \cos \varphi$$

式中  $\cos \varphi$  —— 交流电路的功率因素

## 七、电 磁

电流与磁场有着不可分割的关系,电流周围总存在着磁场。很多电器设备,如电表、继电器、接触器、变压器、电动机、发电机等的工作原理,都是和电流、磁场有关的。

在通电导体或永久磁铁的附近存在着磁场,它是一种物质。磁铁能吸引铁屑,能指南北,这是由于磁铁周围存有磁力。磁铁的磁力在有效范围内所作用的空间就叫磁场。两块磁铁的磁场相互作用,具有同性极相斥,异性极相吸的特性。

磁场可用磁力线来表示,磁力线总是环绕电流闭合的。磁力线的方向规定为:从磁铁的北极(N极)出发,回到磁铁的南极(S极)再进入磁铁。在磁铁内部磁力线是从南极到北极,而形成回路,见图 1-6。

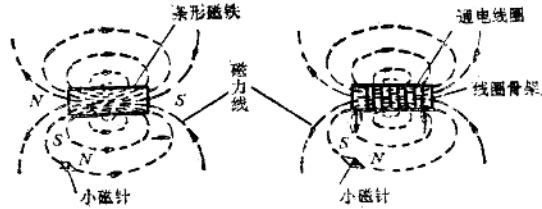


图 1-6 磁场与磁力线

把导线绕成线圈,当导线中有直流电通过时,线圈就有和磁铁一样的性能,即在线圈空间产生磁场。磁力线与电流之间的方向关系,可用右手螺旋定则来判断。用右手握住线圈,使弯曲四指的方向与线圈电流方向一致,则大拇指所指方向即为线圈的磁场方向,见图 1-7 a。

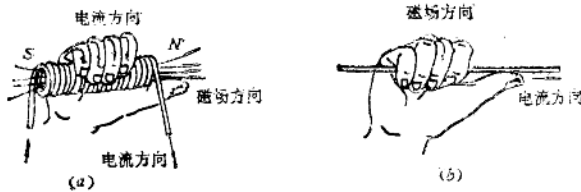


图 1-7 用右手螺旋定则判断磁场方向

当一根直导线通过电流时,在导线周围亦会产生磁场,其磁场方向判断的方法是:用右手握住导线,使大拇指方向与导线电流方向一致,则弯曲四指所指方向即为导线周围的磁场方向,见图 1-7 b。

当电流强度一定时,线圈的匝数越多,磁力就越强。当线圈里放入铁芯时,磁力也会大大加强。若用不同物体插入线圈内,则发现磁力的强度也不一样。这说明每种物质的导磁能力不一样。如铁、钴、镍和它们的一些合金,导磁能力很强,称为导磁体。铜、铝等其它不能导磁的物体,称为非导磁体。

在磁场中,垂直穿过某横截面的磁力线总根数,叫做磁通量,用“ $\Phi$ ”表示。单位是韦伯,较小的单位是麦克斯威(简称麦),1麦克斯威就是我们平常所说的一根磁力线。其换算关系:

$$1 \text{ 韦伯} = 10^8 \text{ 麦克斯威}$$

或

$$1 \text{ 麦} = 10^{-8} \text{ 韦伯}$$

在通电线圈中,单位横截面所通过的磁通量称为磁通密度,用“ $B$ ”表示。单位是韦/米<sup>2</sup>,较小的单位为高斯。其换算关系:

$$1 \text{ 高斯} = 10^{-4} \text{ 韦/米}^2$$

带有铁芯的线圈叫电磁铁。在闭合的铁芯中可产生最强的磁流,因为在磁力线引出时,

磁阻最小,如果有空隙,则大大增加磁阻,从而减少磁流。弧焊变压器就是利用电磁铁的这种性质来调节焊接电流大小的。

当磁棒对线圈作插入或抽出的相对运动时(即磁通发生变化时),线圈内将产生电动势,线圈接成闭合回路时,则线圈内产生电流(若磁棒和线圈相对静止时,则无电动势和电流),这种现象叫做电磁感应现象。这样形成的电动势,叫感应电动势。这样获得的电流叫感应电流。线圈中感应电动势的大小正比于磁通变化的速度和线圈的匝数。

感应电流所产生的磁场方向总是阻碍产生它的磁场变化的,这种变化的规律,称为电磁感应定律。

在焊接过程中,电流波动极大,如果这种波动不能被缓和,则焊接过程很难进行,因此在弧焊电源中,广泛利用电磁感应现象来缓和电流的波动。

变压器、发电机等就是根据电磁感应这一原理工作的。

要使电路产生电流,必须要有电源,产生电势;同样,要使线圈产生磁场,也必须要有磁势。我们把电流和线圈匝数的乘积叫磁势。磁势越大,产生的磁通越大,说明磁场越强。磁势的单位是“安培匝数”,简称“安匝”。

## 八、 变压器工作原理简介

电器设备中经常用到变压器,它可以改变交流电压的大小。变压器的工作原理,见图1-8。它是在铁芯柱上分别绕上两组线圈,即一次线圈(匝数为 $N_1$ )、二次线圈(匝数为 $N_2$ )。若将一次线圈接上交流电压 $e_1$ ,则二次线圈就产生一个感应电势 $e_2$ ,并按下列规律变化:

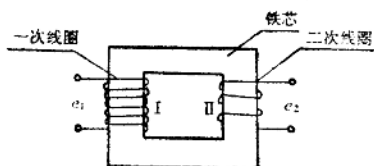


图 1-8 变压器工作原理

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} = n$$

式中  $n = \frac{N_1}{N_2}$  —— 变压器的匝数比(或变比)。

由上式可知,  $e_2 = \frac{e_1}{n}$ , 匝数比  $n$  越小, 二次得

到的感应电势越大;反之,匝数比  $n$  越大,二次线圈得到的感应电势越小。

## 九、 通电导线在磁场中受力运动情况

图1-9是一对永久磁铁,一个N极,一个S极,在N极和S极之间即产生了均匀磁场。磁场中通过很多磁力线,这些磁力线是由N极出发进入S极的。若把一根通有电流“ $I$ ”的导线放入这个磁场中,则导线在磁场中要受到力(即电磁力)的作用。导线受力“ $F$ ”的大小与磁通密度“ $B$ ”,导线电流“ $I$ ”及导线有效长度 $L$ 成正比。

$$F = BIL$$

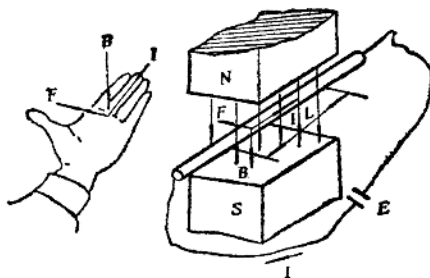


图 1-9 磁场对通电导体作用力



通电导线在磁场中受力的方向，可用左手定则来确定见图 1-9。人们利用通电导线在磁场中会产生运动的原理制成了电动机。

## 十、导线切割磁力线运动产生感应电势

若外力使导线与磁场作相对运动(即导线切割磁力线)，则导线两端会产生电动势，称为感应电动势，见图 1-10。若接通用电器，电路中就会出现感应电流，这样可以把机械能转换成电能。发电机就是根据这个原理制成的。

导线切割磁力线所产生感应电动势的大小与磁通密度、导线有效长度以及导线移动速度有关，用公式表示为：

$$e = BLV$$

式中  $B$ ——磁通密度，韦伯/米<sup>2</sup>；

$L$ ——导线有效长度，米；

$V$ ——导线移动速度，米/秒；

$e$ ——导线感应电动势，伏特。

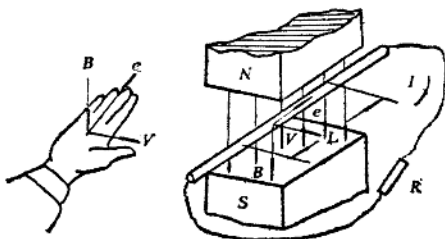


图 1-10 直导线中感应电动势

实践证明：感应电动势的方向可用右手定则来确定，见图1-10。如果导线不动，磁场移动，使磁力线切割导线，则导线中同样会产生感应电动势，但电动势的方向可看成磁场不动，导线作相反方向运动的情形来判断。

## 十一、异步电动机工作原理

当电机的定子绕组接通三相电源后，在定子内的空间便产生旋转磁场。假定旋转磁场按顺时针方向旋转，则转子与旋转磁场间就有相对运动，见图1-11。转子导线就会产生感

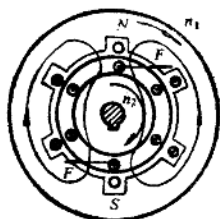


图 1-11 异步电动机工作原理

应电动势。由于磁场按顺时针方向旋转，相当于磁场不动，转子导线以逆时针方向运动切割磁力线，按照右手定则，可确定转子上半部导线的感应电动势方向是出来的，下半部导线的感应电动势方向是进去的。由于所有转子导线的两端分别被两个铝环联在一起，因而构成了闭合回路。在此感应电动势的作用下，转子导线内就有电流通过，称为转子电流。转子电流在旋转磁场中受力，其方向由左手定则决定。这些电磁力对转轴形成一个转矩，称为电磁转矩，其作用方向与旋转磁场方向一致，因此转子就顺着旋转磁场的方向转动起来。又因为这种电动机的转子电流是由电磁感应产生的，所以也称为感应电动机。只要任意调换电动机的二根电源进线，使旋转磁场的转向改变，就能改变电动机的旋转方向。

## 十二、直流发电机工作原理

直流发电机就是利用导线在磁场中做切割磁力线运动，而产生感应电动势的原理制成