

校本教材

# 《工程认知实习》

工程训练中心

# 目 录

项目一 数控机床认知.....	2
1.1 数控技术概述.....	2
1.2 数控车床加工.....	13
1.3 数控铣床加工.....	18
项目二 电气工程认知.....	30
2.1 电的发展史.....	30
2.2 电力拖动控制线路.....	80
2.3 实用电子技术.....	91
项目三 车辆工程认知.....	103
3.1 车辆工程概述.....	103
3.2 汽车底盘构造.....	106
3.3 汽车发动机构造.....	111
3.4 汽车电气设备.....	116
项目四 钳工认知.....	119
4.1 钳工概述.....	119
4.2 钳工基本操作技能—锉削.....	124
项目五 机械加工认知.....	132
5.1 车削加工技术.....	132
5.2 铣削加工技术.....	136
项目六 焊接认知.....	142
6.1 焊条电弧焊.....	142
6.2 二氧化碳气体保护焊.....	165

# 项目一 数控机床认知

## 1.1 数控技术概述

### 一、数控机床的产生

数字控制技术（Numerical Control），简称数控技术，是指用数字化的信息实现加工自动化的控制技术。控制对象不仅可以是位移、角度、速度等机械量，也可以是温度、压力、流量、颜色等物理量，这些量的大小不仅是可测量的，而且可以经 A/D 或 D/A 转换，用数字信号来表示。数控技术是近代发展起来的一种自动控制技术，是机械加工现代化的重要基础与关键技术。

计算机数控技术（Computer Numerical Control），是采用存储程序的专用计算机或通用计算机来实现部分或全部数控功能。

数字控制机床是用数字代码形式的信息（程序指令），控制刀具按给定的工作程序、运动速度和轨迹进行自动加工的机床，简称数控机床。

早期数控装置采用电子管元件，体积庞大，价格昂贵，只在航空工业等少数有特殊需要的部门用来加工复杂型面零件；1959 年，制成了晶体管元件和印刷电路板，使数控装置进入了第二代，体积缩小，成本有所下降；1960 年以后，较为简单和经济的点位控制数控钻床，和直线控制数控铣床得到较快发展，使数控机床在机械制造业各部门逐步获得推广。

1948 年，美国帕森斯公司接受美国空军委托，研制飞机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备。由于样板形状复杂多样，精度要求高，一般加工设备难以适应，于是提出计算机控制机床的设想。1949 年，该公司在美国麻省理工学院伺服机构研究室的协助下，开始数控机床研究，并于 1952 年试制成功第一台由大型立式仿形铣床改装而成的三坐标数控铣床，不久即开始正式生产。

1965 年，出现了第三代的集成电路数控装置，不仅体积小，功率消耗少，且可靠性提高，价格进一步下降，促进了数控机床品种和产量的发展。60 年代

末，先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统(简称 DNC)，又称群控系统；采用小型计算机控制的计算机数控系统(简称 CNC)，使数控装置进入了以小型计算机化为特征的第四代。

1974 年，研制成功使用微处理器和半导体存贮器的微型计算机数控装置(简称 MNC)，这是第五代数控系统。第五代与第三代相比，数控装置的功能扩大了一倍，而体积则缩小为原来的 1/20，价格降低了 3/4，可靠性也得到极大的提高。

80 年代初，随着计算机软、硬件技术的发展，出现了能进行人机对话式自动编制程序的数控装置；数控装置愈趋小型化，可以直接安装在机床上；数控机床的自动化程度进一步提高，具有自动监控刀具破损和自动检测工件等功能。

随着数控技术的发展，采用数控系统的机床品种日益增多，有车床、铣床、镗床、钻床、磨床、齿轮加工机床和电火花加工机床等。此外还有能自动换刀、一次装卡进行多工序加工的加工中心、车削中心等。

## 二、数控机床的分类

数控机床的品种规格很多，分类方法也各不相同。一般可根据功能和结构，按下面 4 种原则进行分类

### 1. 按机床运动的控制轨迹分类

#### (1) 点位控制的数控机床

点位控制只要求控制机床的移动部件从一点移动到另一点的准确定位对于点与点之间的运动轨迹的要求并不严格，在移动过程中不进行加工，各坐标轴之间的运动是不相关的。

#### (2) 直线控制数控机床

直线控制数控机床也称为平行控制数控机床，其特点是除了控制点与点之间的准确定位外，还要控制两相关点之间的移动速度和路线（轨迹）。

### (3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床也称连续控制数控机床，其控制特点是能够对两个或两个以上的运动坐标的位移和速度。（二轴、三轴、三轴、四周及多轴）

#### 2. 按伺服控制的方式分类

##### (1) 开环控制系统

这类机床的进给伺服驱动是开环的，即没有检测反馈装置，一般它的驱动电动机为步进电机。

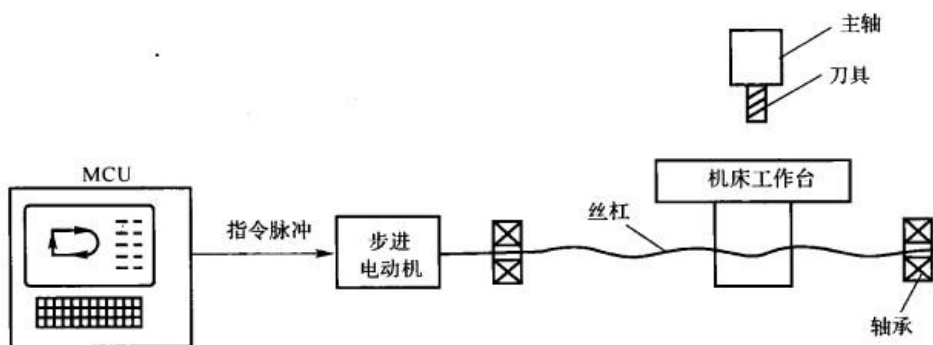


图 1-1 开环控制系统框

##### (2) 半闭环控制系统

半闭环控制系统其检测原件安装在机床旋转部件上，（伺服电机或丝杠端部）。

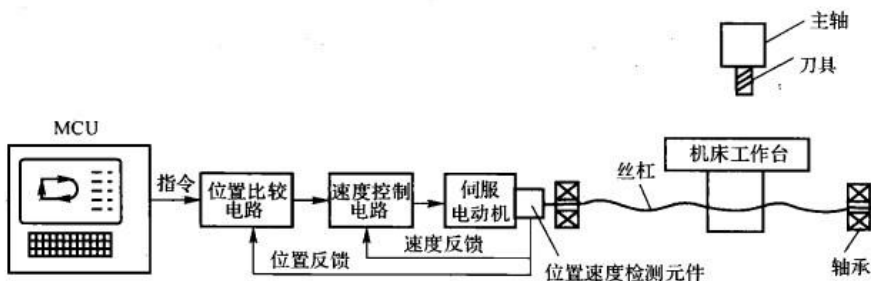


图 1-2 半闭环控制系统

##### (3) 闭环控制系统

闭环控制系统其检测原件安装在机床执行部件上。采用直线位移检测元件

（目前一般采用光栅尺），安装在机床的床鞍部位，即直接检测机床坐标的直线位移量，通过反馈可以消除从电动机到机床床鞍的整个机械传动链中的传动误差，从而得到很高的机床静态定位精度。

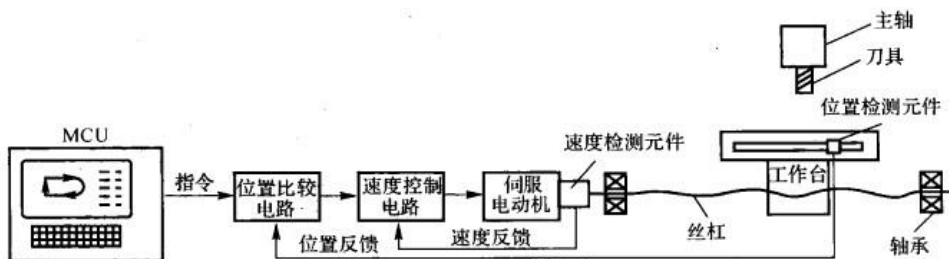


图 1-3 全闭环控制系统

### 3. 按数控系统的功能水平分类

按数控系统的功能水平，通常把数控系统分为低、中、高三类。这种分类方式，在我国用的较多。低、中、高三档的界限是相对的，不同时期，划分标准也会不同。就目前的发展水平看，将各种类型的数控系统分为低、中、高档三类。其中、高档一般称为全功能数控或标准型数控在我国还有经济型数控的提法。经济型数控属于低档数控，是指由单片机和步进电动机组成的数控系统，或其他功能简单、价格低的数控系统。

经济型数控主要用于车床、线切割机床以及旧机床改造等。

### 4. 按加工工艺及机床用途分类

(1) 金属切削类：金属切削类数控机床指采用车、铣、刨、磨、钻、镗、铰、钻、磨、刨等各种切削工艺的数控机床。它又可分为以下两类。

①普通型数控机床。如数控车床、数控铣床、数控磨床等。

②加工中心。其主要特点是具有自动换刀机构和刀具库，工件经一次装夹后，通过自动更换各种刀具，在同一台机床上对工件各加工面连续进行铣（车）、锐、铰、钻、攻螺纹等多种工序的加工，如（镗/铣类）加工中心、车削中心、钻削中心等。

(2) 金属成形类：金属成形类数控机床指采用挤、冲、压、拉等成形工艺的数控机床。常用的有数控压力机、数控折弯机、数控弯管机、数控旋压机等。

(3) 特种加工类：特种加工类数控机床主要有数控电火花线切割机、数控电火花成形机、数控火焰切割机、数控激光加工机等。

### 三、数控机床的组成

数控机床一般由输入输出设备、CNC 装置（或称 CNC 单元）、伺服单元、驱动装置（或称执行机构）、可编程控制器 PLC 及电气控制装置、辅助装置、机床本体及测量反馈装置组成。

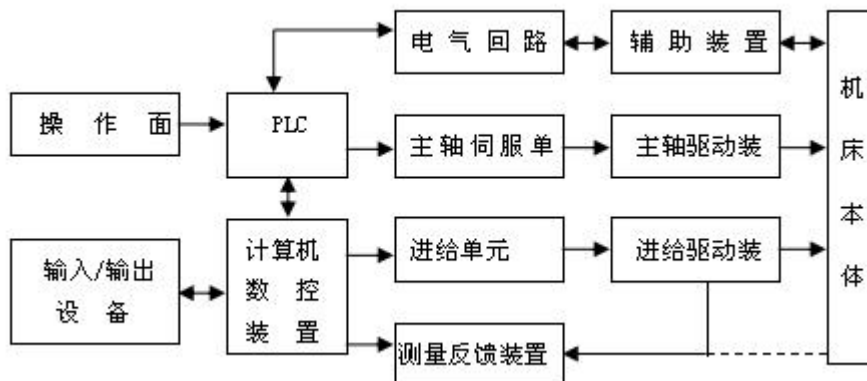


图 1-4 数控机床的组成框图

### 四、数控机床的加工原理

数控机床的加工原理是：首先要将被加工零件的图样及工艺信息数字化，用规定的代码和程序格式编写加工程序；然后将所编程序指令输入到机床的数控装置中；再后数控装置将程序（代码）进行译码，运算后，向机床各个坐标的伺服机构和辅助控制装置发出信号，驱动机床各运动部件，控制所需要的辅助运动，最后加工出合格零件。

### 五、数控机床的特点

#### 1. 适应性强

由于数控机床能实现多个坐标的联动，所以数控机床能完成复杂型面的加工，特别是对于可用数学方程式和坐标点表示的形状复杂的零件，加工非常方便。当改变加工零件时，数控机床只需更换零件加工的 NC 程序，不必用凸轮、靠模、样板或其它模具等专用工艺装备，且可采用成组技术的成套夹具。因此，生产准备周期短，有利于机械产品的迅速更新换代。所以，数控机床的适应性非常强。

## 2. 加工质量稳定

对于同一批零件，由于使用同一机床和刀具及同一加工程序，刀具的运动轨迹完全相同，且数控机床是根据数控程序自动进行加工，可以避免人为的误差，这就保证了零件加工的一致性且质量稳定。

## 3. 生产效率高

数控机床上可以采用较大的切削用量，有效地节省了机动工时。还有自动换速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能，使辅助时间大为缩短，而且无需工序间的检验与测量，所以，比普通机床的生产率高 3~4 倍甚至更高。

## 4. 加工精度高

数控机床有较高的加工精度，一般在 0.005~0.1mm 之间。数控机床的加工精度不受零件复杂程度的影响，机床传动链的反向齿轮间隙和丝杠的螺距误差等都可以通过数控装置自动进行补偿，其定位精度比较高，同时还可以利用数控软件进行精度校正和补偿。

## 5. 工序集中，一机多用

数控机床特别是带自动换刀的数控加工中心，在一次装夹的情况下，几乎可以完成零件的全部加工工序，一台数控机床可以代替数台普通机床。这样可以减少装夹误差，节约工序之间的运输、测量和装夹等辅助时间，还可以节省车间的占地面积，带来较高的经济效益。

## 6. 减轻劳动强度



在输入程序并启动后，数控机床就自动地连续加工，直至零件加工完毕。这样就简化了工人的操作，使劳动强度大大降低。数控机床是一种高技术的设备，尽管机床价格较高，而且要求具有较高技术水平的人员来操作和维修，但是数控机床的优点很多，它有利于自动化生产和生产管理，使用数控机床的经济效益还是很高的。

## 六、数控机床的发展趋势

近 20 年来，随着科学技术的发展，先进制造技术的兴起和不断成熟，对数控技术提出了更高的要求。目前数控技术主要朝以下方向发展：

### 1. 高速度、高精度方向发展

速度和精度是数控机床的两个重要指标，直接关系到产品的质量和档次、产品的生产周期和在市场上的竞争能力。

在加工精度方面，近 10 年来，普通级数控机床的加工精度已由  $10\ \mu\text{m}$  提高到  $5\ \mu\text{m}$ ，精密级加工中心则从  $3\text{--}5\ \mu\text{m}$  提高到  $1\text{--}1.5\ \mu\text{m}$ ，并且超精密加工精度已开始进入纳米级 ( $0.001\ \mu\text{m}$ )。加工精度的提高不仅在于采用了滚珠丝杠副、静压导轨、直线滚动导轨、磁浮导轨等部件，提高了 CNC 系统的控制精度，应用了高分辨率位置检测装置，而且也在于使用了各种误差补偿技术，如丝杠螺距误差补偿、刀具误差补偿、热变形误差补偿、空间误差综合补偿等。

在加工速度方面，高速加工源于 20 世纪 90 年代初，以电主轴和直线电机的应用为特征，使主轴转速大大提高，进给速度达  $60\text{m}/\text{min}$  以上，进给加速度和减速度达到  $1\text{--}2\text{m}/\text{s}^2$  以上，主轴转速达  $100000\text{r}/\text{min}$  以上。高速进给要求数控系统的运算速度快、采样周期短，还要求数控系统具有足够的超前路径加（减）速优化预处理能力（前瞻处理），有些系统可提前处理 5000 个程序段。为保证加工速度，高档数控系统可在每秒内进行 2000–10000 次进给速度的改变。

### 2. 柔性化、功能集成化方向发展

数控机床在提高单机柔性化的同时，朝单元柔性化和系统化方向发展，如出现了数控多轴加工中心、换刀换箱式加工中心等具有柔性的高效加工设备；出现了由多台数控机床组成底层加工设备的柔性制造单元（Flexible Manufacturing Cell, FMC）、柔性制造系（Flexible Manufacturing System, FMS）、柔性加工线（Flexible Manufacturing Line, FML）。

在现代数控机床上，自动换刀装置、自动工作台交换装置等已成为基本装置。随着数控机床向柔性化方向的发展，功能集成化更多地体现在：工件自动装卸，工件自动定位，刀具自动对刀，工件自动测量与补偿，集钻、镗、铣、磨为一体的“万能加工”和集装卸、加工、测量为一体的“完整加工”等。

### 3. 智能化方向发展

随着人工智能在计算机领域不断渗透和发展，数控系统向智能化方向发展。在新一代的数控系统中，由于采用“进化计算”（Evolutionary Computation）、“模糊系统”（Fuzzy System）和“神经网络”（Neural Network）等控制机理，性能大大提高，具有加工过程的自适应控制、负载自动识别、工艺参数自生成、运动参数动态补偿、智能诊断、智能监控等功能。

（1）引进自适应控制技术。由于在实际加工过程中，影响加工精度因素较多，如工件余量不均匀、材料硬度不均匀、刀具磨损、工件变形、机床热变形等。这些因素事先难以预知，以致在实际加工中，很难用最佳参数进行切削。引进自适应控制技术的目的是使加工系统能根据切削条件的变化自动调节切削用量等参数，使加工过程保持最佳工作状态，从而得到较高的加工精度和较小的表面粗糙度，同时也能提高刀具的使用寿命和设备的生产效率。

（2）故障自诊断、自修复功能。在系统整个工作状态中，利用数控系统内装程序随时对数控系统本身以及与其相连的各种设备进行自诊断、自检查。一旦出现故障，立即采用停机等措施，并进行故障报警，提示发生故障的部位和原因等，并利用“冗余”技术，自动使故障模块脱机，接通备用模块。

(3) 刀具寿命自动检测和自动换刀功能. 利用红外、声发射、激光等检测手段, 对刀具和工件进行检测。发现工件超差、刀具磨损和破损等, 及时进行报警、自动补偿或更换刀具, 确保产品质量。

(4) 模式识别技术。应用图像识别和声控技术, 使机床自己辨识图样, 按照自然语言命令进行加工。

(5) 智能化交流伺服驱动技术。目前已研究能自动识别负载并自动调整参数的智能化伺服系统, 包括智能化主轴交流驱动装置和进给伺服驱动装置, 使驱动系统获得最佳运行。

#### 4. 高可靠性方向发展

数控机床的可靠性一直是用户最关心的主要指标, 它主要取决于数控系统各伺服驱动单元的可靠性。为提高可靠性, 目前主要采取以下措施:

(1) 采用更高集成度的电路芯片, 采用大规模或超大规模的专用及混合式集成电路, 以减少元器件的数量, 提高可

(2) 通过硬件功能软件化, 以适应各种控制功能的要求, 同时通过硬件结构的模块化、标准化、通用化及系列化, 提高硬件的生产批量和质量。

(3) 增强故障自诊断、自恢复和保护功能, 对系统内硬件、软件和各种外部设备进行故障诊断、报警。当发生加工超程、刀损、干扰、断电等各种意外时, 自动进行相应的保护。

#### (4) 向网络化方向发展

数控机床的网络化将极大地满足柔性生产线、柔性制造系统、制造企业对信息集成的需求, 也是实现新的制造模式, 如敏捷制造 (Agile Manufacturing, AM)、虚拟企业 (Virtual Enterprise, VE)、全球制造 (Global Manufacturing, GM) 的基础单元。目前先进的数控系统为用户提供了强大的联网能力, 除了具有 RS232C 接口外, 还带有远程缓冲功能的 DNC 接口, 可以实现多台数控机床间的数据通信和直接对多台数控机床进行控制。有的已配备与工业局域网通信

的功能以及网络接口，促进了系统集成化和信息综合化，使远程在线编程、远程仿真、远程操作、远程监控及远程故障诊断成为可能，见图 1-5 所示。



图 1-5 自主管理

## 5. 标准化方向发展

数控标准是制造业信息化发展的一种趋势。数控技术诞生后的 50 多年间的信息交换都是基于 ISO6983 标准，即采用 G、M 代码对加工过程进行描述，显然，这种面向过程的描述方法已越来越不能满足现代数控技术高速发展的需要。为此，国际上正在研究和制定一种新的 CNC 系统标准 ISO14649(STEP-NC)，其目的是提供一种不依赖于具体系统的中性机制，能够描述产品整个生命周期内的统一数据模型，从而实现整个制造过程，乃至各个工业领域产品信息的标准化。

## 6. 驱动并联化方向发展

并联机床（又称虚拟轴机床）是 20 世纪最具革命性的机床运动结构的突破，引起了普遍关注。并联机床（参见图 1.2）由基座、平台、多根可伸缩杆件组成，每根杆件的两端通过球面支承分别将运动平台与基座相连，并由伺服电机和滚珠丝杠按数控指令实现伸缩运动，使运动平台带动主轴部件或工作台部件作任意轨迹的运动。并联机床结构简单但数学复杂，整个平台的运动牵涉到相当庞大的数学运算，因此并联机床是一种知识密集型机构。并联机床与传

统串联式机床相比具有高刚度、高承载能力、高速度、高精度、重量轻、机械结构简单、制造成本低、标准化程度高等优点，在许多领域都得到了成功的应用。

由并联、串联同时组成的混联式数控机床，不但具有并联机床的优点，而且在使用上更具实用价值，是一类很有前途的数控机床。

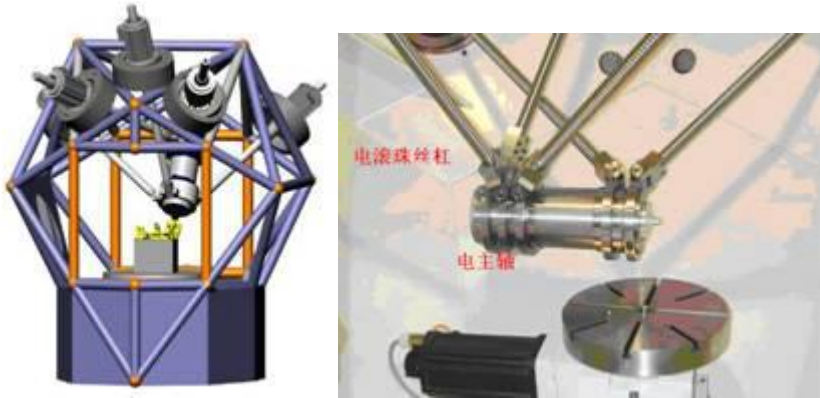


图 1-6 并联机床

## 1.2 数控车床加工

### 一、数控车床面板操作



图 1-7 FANUC 0 标准车床面板

#### 面板说明

按键	名称	功能	
	模式选择	DNC	进入 DNC 模式，输入输出资料。
		DRY RUN	进入空运行模式。
		JOG	进入手动模式，连续移动机床。
		STEP/HANDLE	进入点动/手轮模式。
		MDI	进入 MDI 模式，手动输入并执行指令。
		REF	进入回零模式，机床必须首先执行回零操作，然后才可以运行。
		AUTO	进入自动加工模式。
	EDIT	进入编辑模式，用于直接通过操作面板输入数控程序和编辑程序。	
	循环启动	程序运行开始，模式选择旋钮在“ <b>AUTO</b> ”或“ <b>MDI</b> ”位置时按下有效，其余模式下使用无效。	

	进给保持	程序运行暂停，在程序运行过程中，按下此按钮运行暂停，再按“START”从暂停的位置开始执行。
	停止运行	程序运行停止，在程序运行过程中，按下此按钮运行暂停，再按“START”从头开始执行。
	单段	将此按钮按打开后，运行程序时每次执行一条数控指令。
	跳段	当此按钮按下时，程序中的“/”有效。
	选择性停止	当此按钮按下时,程序中的“M01”代码有效。
	紧急停止	紧急停止
	主轴控制	主轴旋转、主轴停止
	手动进给	机床进给轴正向移动、机床进给轴负向移动
	进给倍率调节	将光标移至此旋钮上后，通过点击鼠标的左键或右键来调节进给倍率。
	进给轴选择	将光标移至此旋钮上后，通过点击鼠标的左键或右键来选择进给轴。
	点动步长选择	X1、X10、X100 分别代表移动量为 0.001mm、0.01mm、0.1mm。
	手动进给速度	将光标移至此旋钮上后，通过点击鼠标的左键或右键来调节手动进给速度。
	手轮	将光标移至此旋钮上后，通过点击鼠标的左键或右键来转动手轮。

## 二、数控车床的分类

### 1. 按车床主轴位置分类

(1) 立式数控车床：立式车床简称数控立床，其车床主轴垂直于水平面，具有一个直径很大的圆形工作台，用来装夹工件，如图 1-8 所示



图 1-8 立式数控车床

(2) 卧式数控机床：卧式数控机床又分为数控水平导轨卧式车床和数控倾斜导轨卧式车床，其倾斜导轨结构可以使车床具有更大的刚性，并易于排出切屑。如图 1-9 所示：



图 1-9 卧式数控车床

## 2. 按加工零件的基本类型分类

(1) 卡盘式数控机床：卡盘式数控机床没有尾座，如图 1-10 所示：





图 1-10 卡盘式数控车床

(2) 顶尖式数控机床：配有普通尾座或数控尾座，适合车削较长的零件及直径不太大的盘式类零件。

按刀架数量分类：单刀式数控机床和双刀式数控机床

按功能分类：经济型数控机床、普通数控机床、车削加工中心等

### 三、数控车床的特点

1. 从加工对象看，数控车床具有以下特点。

- (1) 精度要求高的零件
- (2) 表面粗糙度好的回转体零件
- (3) 轮廓形状复杂的零件带
- (4) 一些特殊类型螺纹的零件
- (5) 超精密、超低表面粗糙度的零件，见图 1-12 所示。



图 1-12 数控车床超精密零件

2. 与结构和工作特点看，数控车床具有以下特点

- (1) 采用了全封闭或半封闭防护装置
- (2) 采用自动排屑装置
- (3) 主轴转速高，工件装夹安全可靠。
- (4) 可自动换刀
- (5) 双伺服电路驱动
- (6) 无极变速
- (7) 数控车床的最后一个结构特点是轻拖动

## 1.3 数控铣床加工

### 一、数控铣床的操作面板及操作简介

现以 XKN714 型数控铣床上配置的 FANUC-0I 数控系统操作面板为例，见下图所示。其分为两大区：系统操作面板和机床控制面板。

操作面板简介：



图 1-13 FANUC-0I 操作面板

#### 1. 数控系统操作面板

XKN714 数控铣床的数控系统操作面板如下图所示。它是由 CRT 显示器和 MDI 键盘两部分组成。



图 1-14 数控系统操作面板 CRT 显示器区

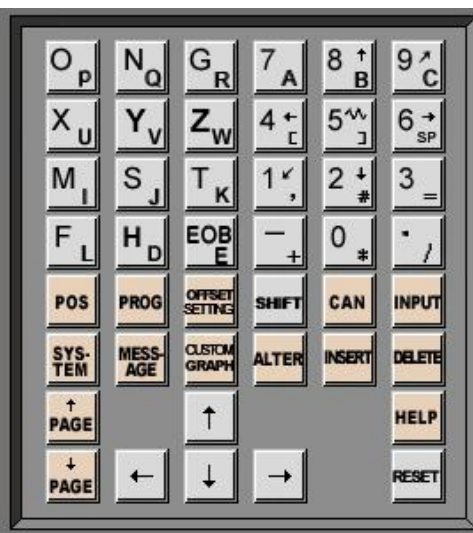
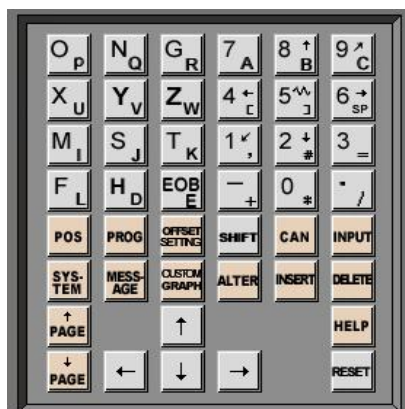


图 1-15 数控系统操作面板 MDI 键盘区



## 2. 机床控制面板

XKN714 数控铣床的数控机床操作面板如下图所示。

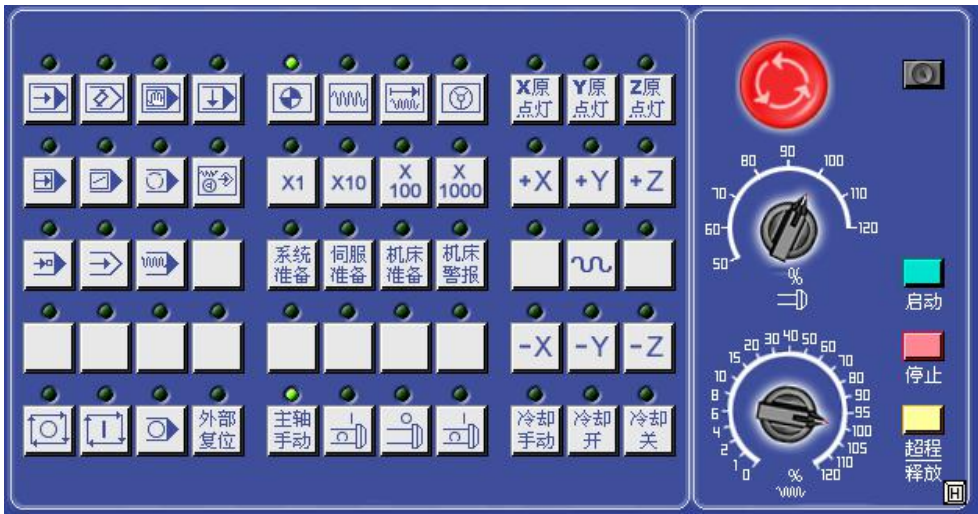



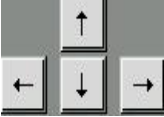












图 1-16 FANUC-0I 机床控制面板

### FANUC -0I 数控系统操作面板 MDI 键盘区名称及用途

MDI 软键	功能
	软键  实现左侧 CRT 中显示内容的向上翻页；软键  实现左侧 CRT 显示内容的向下翻页。
	移动 CRT 中的光标位置。软键  实现光标的向上移动；软键  实现光标的向下移动；软键  实现光标的向左移动；软键  实现光标的向右移动。
	实现字符的输入，点击  键后再点击字符键，将输入右下角的字符。例如：点击  将在 CRT 的光标所处位置输入“O”字符，点击软键  后再点击  将在光标所处位置处输入 P 字符；软键中的“EOB”将输入“；”号表示换行结束。
	实现字符的输入，例如：点击软键  将在光标所在位置输入

	“5”字符，点击软键  后再点击  将在光标所在位置处输入“j”。
	在 CRT 中显示坐标值。
	CRT 将进入程序编辑和显示接口。
	CRT 将进入参数补偿显示接口。
	系统参数键
	机床报警显示键
	在自动运行状态下将数控显示切换至轨迹模式。
	输入字符切换键。
	删除单个字符。
	将数据域中的数据输入到指定的区域。
	字符替换。
	将输入域中的内容输入到指定区域。
	删除一段字符。
	帮助键
	机床复位。

## FANUC-0I 机床控制面板功能键(按钮)的用途

按钮	名称	功能说明
	自动运行	此按钮被按下后，系统进入自动加工模式。
	编辑	此按钮被按下后，系统进入程序编辑状态。
	MDI	此按钮被按下后，系统进入 MDI 模式，手动输入并执行指令。
	远程执行	此按钮被按下后，系统进入远程执行模式(DNC 模式)，输入输出数据。
	单节	此按钮被按下后，运行程序时每次执行一条数控指令。
	单节忽略	此按钮被按下后，数控程序中的注释符号“/”有效。
	选择性停止	点击该按钮，“M01”代码有效。
	机械锁定	锁定机床。
	试运行	空运行。
	进给保持	程序运行暂停，在程序运行过程中，按下此按钮运行暂停。按“循环启动”  恢复运行。
	循环启动	程序运行开始；系统处于自动运行或“MDI”位置时按下有效，其余模式下使用无效。
	循环停止	程序运行停止，在数控程序运行中，按下此按钮停止程序运行。
	外部复位	在程序运行中点击该按钮将使程序运行停止。在机床运行超程时若“超程释放”

		按钮不起作用可使用该按钮使系统释放。
	回原点	点击该按钮系统处于回原点模式。
	手动	机床处于手动模式，连续移动。
	增量进给	机床处于手动，点动移动。
	手动脉冲	机床处于手轮控制模式。
	手动增量步长选择按钮	手动时，通过点击按钮来调节手动步长。X1、X10、X100 分别代表移动量为 0.001mm、0.01mm、0.1mm。
	主轴手动	点击该按钮将允许手动控制主轴。
	主轴控制按钮	从左至右分别为：正转、停止、反转。
	X 正方向	在手动时控制主轴向 X 正方向移动。
	Y 正方向	在手动时控制主轴向 Y 正方向移动。
	Z 正方向	在手动时控制主轴向 Z 正方向移动。
	X 负方向	在手动时控制主轴向 X 负方向移动。
	Y 负方向	在手动时控制主轴向 Y 负方向移动。
	Z 负方向	在手动时控制主轴向 Z 负方向移动。
	主轴倍率选择旋钮	将光标移至此旋钮上后,通过点击鼠标的左键或右键来调节主轴旋转倍率。



	进给倍率	调节运行时的进给速度倍率。
	急停按钮	按下急停按钮，使机床移动立即停止，并且所有的输出如主轴的转动等都会关闭。
	超程释放	系统超程释放。
	手轮显示按钮	按下此按钮，则可以显示出手轮。
	手轮面板	点击  按钮将显示手轮面板。再点击手轮面板上右下角的  按钮，又可将手轮隐藏。
	手轮轴选择旋钮	在手轮状态下，将光标移至此旋钮上后，通过点击鼠标的左键或右键来选择进给轴。
	手轮进给倍率选择旋钮	在手轮状态下，将光标移至此旋钮上后，通过点击鼠标的左键或右键来调节点动/手轮步长。X1、X10、X100 分别代表移动量为 0.001mm、0.01mm、0.1mm。
	手轮	将光标移至此旋钮上后，通过点击鼠标的左键或右键来转动手轮。
	启动	启动控制系统。
	关闭	关闭控制系统。

## 二、数控铣床的分类

### 1. 按主轴布置形式分类

按机床主轴的布置形式及机床的布局特点分类，可分为数控立式铣床、数

控卧式铣床和数控龙门铣床等。

### (1) 立式数控铣床

一般可进行三坐标联动加工，目前三坐标数控立式铣床占大多数。如图 1-17 所示



图 1-17 立式数控铣床

数控立式铣床主轴与机床工作台面垂直，工件装夹方便，加工时便于观察，但不便于排屑。一般采用固定式立柱结构，工作台不升降。主轴箱做上下运动，并通过立柱内的重锤平衡主轴箱的质量。为保证机床的刚性，主轴中心线距立柱导轨面的距离不能太大，因此，这种结构主要用于中小尺寸的数控铣床。

此外，还有的机床主轴可以绕 X、Y、Z 坐标轴中其中一个或两个做数控回转运动的四坐标和五坐标数控立式铣床。通常，机床控制的坐标轴越多，尤其是要求联动的坐标轴越多，机床的功能、加工范围及可选择的加工对象也越多。但随之而来的就是机床结构更加复杂，对数控系统的要求更高，编程难度更大，设备的价格也更高。数控立式铣床也可以附加数控转盘，采用自动交换台，增加靠模装置来扩大它的功能、加工范围及加工对象，进一步提高生产效率。

### (2) 卧式数控铣床

卧式数控铣床与通用卧式铣床相同，其主轴轴线平行于水平面。如图 1-18 所示，数控卧式铣床的主轴与机床工作台面平行，加工时不便于观察，但排屑顺畅。为了扩大加工范围和扩充功能，一般配有数控回转工作台或万能数控转盘来实现四坐标、五坐标加工，这样不但工件侧面上的连续轮廓可以加工出来，

而且可以实现在一次安装过程中，通过转盘改变工位，进行“四面加工”。尤其是万能数控转盘可以把工件上各种不同的角度或空间角度的加工面摆成水平来加工，这样可以省去很多专用夹具或专用角度的成形铣刀。虽然卧式数控铣床在增加了数控转盘后很容易做到对工件进行“四面加工”。使其加工范围更加广泛。但从制造成本上考虑，单纯的数控卧式铣床现在已比较少，而多是在配备自动换刀装置(ATC)后成为卧式加工中心。

### (3) 数控龙门铣床

对于大尺寸的数控铣床，一般采用对称的双立柱结构，以保证机床的整体刚性和强度，这就是数控龙门铣床。如图 1-19 所示，数控龙门铣床有工作台移动和龙门架移动两种形式。主要用于大、中等尺寸，大、中等质量的各种基础大件，板件、盘类件、壳体件和模具等多品种零件的加工，工件一次装夹后可自动高效、高精度的连续完成铣、钻、镗和铰等多种工序的加工，适用于航空、重机、机车、造船、机床、印刷、轻纺和模具等制造行业。



图 1-18 卧式数控铣床

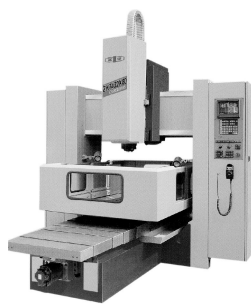


图 1-19 数控龙门铣床

## 2. 按数控系统的功能分类

按数控系统的功能分类，数控铣床可分为经济型数控铣床、全功能数控铣床和高速数控铣床等。

### (1) 经济型数控铣床

经济型数控铣床一般采用经济型数控系统，如 SE. MENS802S 等采用开环控制，可以实现三坐标联动。这种数控铣床成本较低，功能简单，加工精度不高，

适用于一般复杂零件的加工，一般有工作台升降式和床身式两种类型。如图 1-20 所示。

### (2) 全功能数控铣床

全功能数控铣床采用半闭环控制或闭环控制，其数控系统功能丰富，一般可以实现四坐标以上的联动，加工适应性强，应用最广泛，如图 1-21 所示。



图 1-20 经济型数控铣床



图 1-21 全功能数控铣床



图 1-22 高速数控铣床

### (3) 高速数控铣床

高速铣削是数控加工的一个发展方向，技术已经比较成熟，已逐渐得到广泛的应用。这种数控铣床采用全新的机床结构、功能部件和功能强大的数控系统，并配以加工性能优越的刀具系统，加工时主轴转速一般在 8000~

40000r/min，切削进给速度可达 10~30m/min，可以对大面积的曲面进行高效率、高质量的加工，如图 1-22。但目前这种机床价格昂贵，使用成本比较高。

### 三、数控铣床加工的特点

#### 1. 具有复杂形状加工能力

复杂形状零件在飞机、汽车、造船、模具、动力设备和国防军工等制造部门具有重要地位，其加工质量直接影响整机产品的性能。数控加工运动的任意可控性使其能完成普通加工方法难以完成或者无法进行的复杂型面加工。

#### 2. 高质量

数控加工是用数字程序控制实现自动加工，排除了人为误差因素，且加工误差还可以由数控系统通过软件技术进行补偿校正。因此，采用数控加工可以提高零件加工精度和产品质量。

#### 3. 高效率

与采用普通机床加工相比，采用数控加工一般可提高生产率 2—3 倍，在加工复杂零件时生产率可提高十几倍甚至几十倍。特别是五面体加工中心和柔性制造单元等设备，零件一次装夹后能完成几乎所有表面的加工，不仅可消除多次装夹引起的定位误差，还可大大减少加工辅助操作，使加工效率进一步提高。

#### 4. 高柔性

只需改变零件程序即可适应不同品种的零件加工，且几乎不需要制造专用工装夹具，因而加工柔性好，有利于缩短产品的研制与生产周期，适应多品种、中小批量的现代生产需要。

#### 5. 减轻劳动强度，改善劳动条件

数控加工是按事先编好的程序自动完成的，操作者不需要进行繁重的重复手工操作，劳动强度和紧张程度大为改善，劳动条件也相应得到改善。

#### 6. 有利于生产管理

数控加工可大大提高生产率、稳定加工质量、缩短加工周期、易于在工厂或车间实行计算机管理。数控加工技术的应用，使机械加工的大量前期准备工作与机械加工过程联为一体，使零件的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺规划(CAPP)和计算机辅助制造(CAM)的一体化成为现实，宜于实现现代化的生产管理。

#### 7. 控机床价格昂贵，维修较难

数控机床是一种高度自动化机床，必须配有数控装置或电子计算机，机床加工精度因受切削用量大、连续加工发热多等影响，使其设计要求比通用机床更严格，制造要求更精密，因此数控机床的制造成本较高。此外，由于数控机床的控制系统比较复杂，一些元件、部件精密度较高以及一些进口机床的技术开发受到条件的限制，所以对数控机床的调试和维修都比较困难。

# 项目二 电气工程认知

## 2.1 电的发展史

### 一、电子科学

电子科学，或简称电子学。一般认为电子学是研究电子运动、相关器件及其组成的线路与系统。随着科技的发展，使得电子科学的含义更加广泛，它的研究对象已经包括通信、广播、电视、雷达、导航、电子对抗、微电子、光电子、自动控制、人工控制、生物工程、信息处理、电磁场理论、各类真空和固态电子元器件等。并和信息论、控制论、系统工程学等工程相互交叉、渗透，形成十分复杂的学科网。

### 二、电的产生与发展

#### 1. 自然中的电现象

电是一种自然现象，是一种能量。电是像电子和质子这样的亚原子粒子之间的产生排斥力和吸引力的一种属性。它是自然界四种基本相互作用之一。

电鳐：在对电的具体认知很多年前，人们就已经知道发电鱼（electric fish）会发出电击。根据公元前 2750 年撰写的古埃及书籍，这些鱼被称为“尼罗河的雷使者”，是所有其它鱼的保护者。大约两千五百年之后，希腊人、罗马人，阿拉伯自然学者和阿拉伯医学者，才又出现关于发电鱼的记载。古罗马医生 Scribonius Largus 也在他的大作《Compositiones Medicae》中，建议患有像痛风或头疼一类病痛的病人，去触摸电鳐，也许强力的电击会治愈他们的疾病。阿拉伯人可能是最先了解闪电本质的族群。他们也可能比其它族群都先认出电的其它来源。早于 15 世纪以前，阿拉伯人就创建了“闪电”的阿拉伯字“raad”，并将这字用来称呼电鳐。



图 2-1 电鳗



图 2-2 自然中的雷电现象

雷电：在公元前的中国，打雷被认为是神的行为。到了亚里斯多德时代，认为雷的发生是由于大地上的水蒸气上升，形成雷雨云，雷雨云遇到冷空气凝缩而变成雷雨，同时伴随出现强光。

1708 年英国人沃尔认为雷是静电而产生的。

1748 年，富兰克林基于同样的认识设计了避雷针。

事实上大气中的水蒸气是雷云形成的内因；雷云的形成也与自然界的地形以及气象条件有关。根据不同的地形及气象条件，雷电一般可分为热雷电、锋雷电（热锋雷电与冷锋雷电）、地形雷电 3 大类。



图 2-3 摩擦起电现象

摩擦起电：物体因摩擦而带电，叫摩擦起电。



用毛皮摩擦过的橡胶棒与用毛皮摩擦过的橡胶棒相互靠近时也表现出相互排斥。用丝绸摩擦过的玻璃棒与用毛皮摩擦过的橡胶棒相互靠近时也表现出相互吸引。

在科学上规定：用毛皮摩擦过的橡胶棒带负电，用丝绸摩擦过的玻璃棒带正电。

摩擦起电的实质是电荷的分离和转移。

摩擦起电并没有创造出电荷，只是使电荷从一个物体转移到另一个物体，摩擦过程中两个物体所带的电荷是等量异种的。电荷总量没有发生改变——电荷守恒。



图 2-4 自然中的静电现象

接触起电：带电体和不带电体相互接触后使不带电的物体带电的方法叫接触起电。

接触起电实质是带电体上的电荷转移到不带电物体的过程。

接触起电也并没有创造出电荷，只是使电荷在带电物体和不带电体之间生了转移。接触起电的过程中一个物体失去一些电荷，另一个物体得到等量的向种电荷。

电磁学发展早期简史



图 2-5 电磁学发展早期简史

### 发现阶段：

在东方，中国人的祖先早在公元前 2500 年前后就已经具有天然的磁石知识。古人将磁石称为慈石来形容磁石“以为母也，故能引其子”的功能。

据《吕氏春秋》一书记载，中国在公元前 1000 年前后就已经有的指南针，他们在古代就已经用磁针来辨别方向了。

古代春秋战国时期关于磁石吸铁的记载。（公元前 770 年~公元前 221 年）《管子·地数》载：“山上有慈石(即磁石)者，其下有铜金。”

公元前 585 年，希腊的 Thales 也有琥珀摩擦吸引草屑、磁铁矿石吸引铁片的记载。据说他的解释是：“万物皆有灵。磁吸铁，故磁有灵。”这里所说的“磁”就是磁铁矿石。但是他把磁石吸引铁屑和琥珀吸引麦秆、草屑现象当作同一回事，这一错误见解一直持续了 2100 多年。

希腊人把琥珀叫做“elektron”（与英文“电”同音），他们认为琥珀吸

引羽毛是神灵或者魔力的作用。

公元 1 世纪：司徒南：东汉时期思想家王充写的《论衡》书中“司南之杓，投之于地，其柢指南”的记载。

而磁铁罗盘则在 13 世纪就已经在航海中得到了应用。那时的罗盘是把加工成针形的磁铁矿石放在秸秆里，使之能浮在水面上。到了 14 世纪初，又制成了用绳子把磁针吊起来的航海罗盘。这种罗盘在 1492 年哥伦布发现美洲新大陆以及 1519 年麦哲伦发现环绕地球一周的航线时发挥了重要的作用。

### 研究的开端：

电磁学真正的科学研究来自于英国的物理学家、医生吉尔伯特 William Gilbert 对电和磁的实验。他做了多年的实验，发现了“电力”，“电吸引”等许多现象，并最先使用了“电力”“电吸引”等专用术语，因此许多人称他是电学研究之父。他的主要著作作为 1600 年出版的《论磁性、磁体和巨大地磁体》。这本书堪称物理学史上第一部系统阐述磁学的科学专著。

书中指出，物体摩擦后对其他物体的吸引力或排斥力称作电力，把磁石对铁屑的吸力称作磁力。吉伯（Gb）为磁通势单位，用以纪念这位磁学的先驱者。

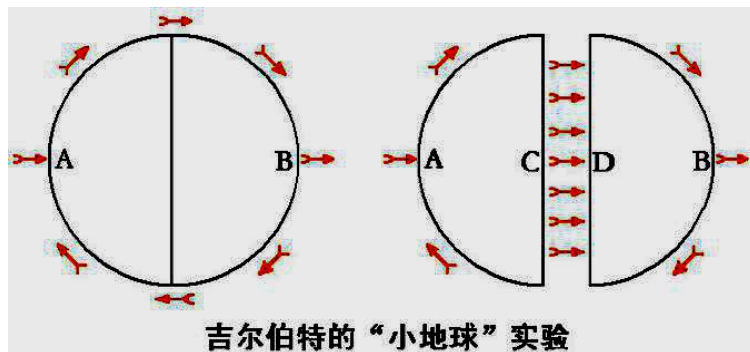


图 2-6 吉尔伯特的“小地球”实验



图 2-7 吉尔伯特锻打使铁产生磁性

吉伯关于锻打使铁产生磁性的一幅画(图中 septentrio 表示北, avster 表示南)

### 贮存电荷:

1745 年, 荷兰莱顿大学教授马森布洛克 (Musschenbrock) 发明了收集电荷的莱顿瓶。为贮存电荷找到了一个方法。

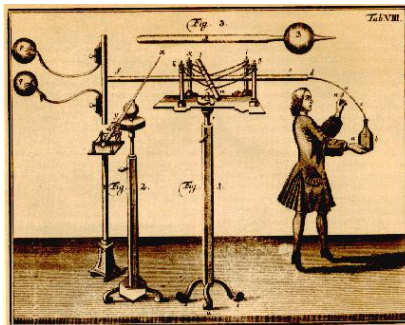


图 2-8 莱顿瓶

18 世纪中期, 美国科学家富兰克林经过分析和研究, 认为有两种性质不同的电, 叫做正电和负电。物体因摩擦而带的电, 不是正电就是负电。比如与用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电是为正电; 与用毛皮摩擦过的橡胶棒带的电为负电。使用麻绳和风筝收集雷电, 并发明了避雷针。

### 从定性到定量——库仑定律的发现：

1785 年法国工程师库仑 (c. a. Coulomb, 1736-1806) 制成电秤，用以测定电力，叫作库仑扭秤。但对于异种电荷，由于两球相吸，接触后电荷中和，无法继续进行实验。得出电的引力和斥力都遵守平方反比规律，并在法国科学院发表论文，提出著名的库仑定律。

$$f = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

表论文，提出著名的库仑定律。

### 由静电到“动电”（电流）：

1780 年意大利解剖学教授贾法尼（1737-1798）与学生解剖青蛙，发现电火花会使蛙腿抽搐，后来他又发现当用铜钩倒挂蛙腿，再用铁梁横挑，蛙腿也会痉挛。

1791 年发表了论文《论肌肉运动中的电力》。他是发现电流的第一人，但认为是一种动物电。贾法尼创造出动物电，导致电生理学的建立。

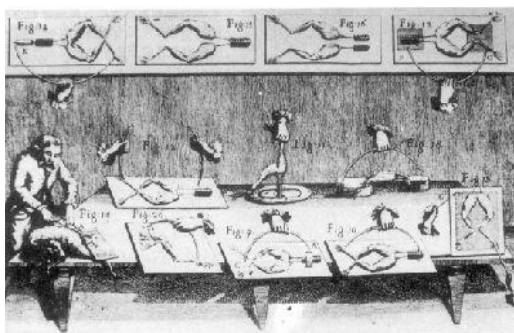


图 2-9 贾法尼发现电流

### 第一个电池：

1800 年，意大利帕维大学教授伏打 (A. Volta, 1745~1827) 发明了第一个直流电源伏打电池。今天电学中的一个重要单位电压的单位“伏特”，就是为了纪念他。

电池的发明，提供了产生恒定电流的电源，为人类带来可持续很久且又可靠的电力来源。使电学从静电走向动电，为人们研究电流的各种效应提供了

条件。从此电学进入了飞速发展时期。

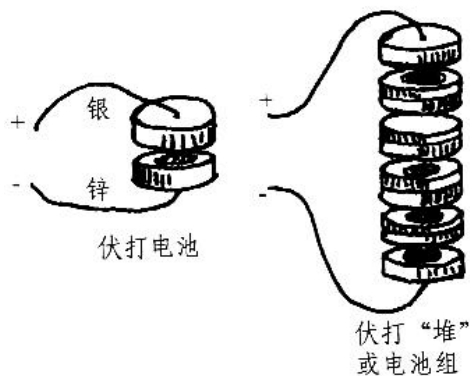


图 2-10 伏打电堆

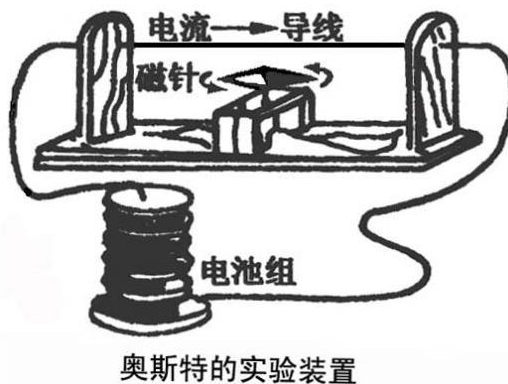


图 2-11 奥斯特的实验装置

### 欧姆定律:

1826 年 德国人欧姆 (G. S. Ohm, 1787-1854), 在傅立叶的热传导理论的启发下进行的电学研究。他将付里叶在热学中提出的热流、热阻, 类比电学中的电流、电阻, 温度差类比电势差。认为导线中两点之间的电流也许正比于这两点间的某种推动力之差 (欧姆称之为电张力)。发现了欧姆定律, 使与电流相关的物理量可以测定和推出。人们为纪念他, 将电阻的单位定为“欧姆”。

自吉尔伯特开始以来的二百多年, 电和磁一直是毫无关系的两门学科, 围绕电与磁寻找自然现象之间的联系, 成为一种潮流。

### 电流的磁效应:

1820 年奥斯特发现通电导线周围小磁针发生偏转; 当年 7 月 21 日在法国杂志《化学与物理学年鉴》上发表了他的研究成果《电流对磁针的作用的实验》, 继泰勒斯 2400 年之后, 建立了电与磁的联系。

电流的磁效应的发现, 在当时的科学界中, 引起极大的震惊和重视。奥斯特的这一伟大发现, 被作为划时代的一页载入了史册。为了纪念他, 从 1934 年起, 磁场强度单位命名为奥斯特。

## 电动力学：

安培听了 1820 年奥斯特的关于电流磁效应实验细节的报告后，第二天就重复了奥斯特的实验，并且发现了电流的方向和它的磁场的方向有着一定的规律，可以用右手来表示它们之间的关系，这就是安培定则或右手螺旋定则。

安培运用高度的数学技巧总结出电流元之间作用力的定律，描述两电流元之间的相互作用同两电流元的大小、间距以及相对取向之间的关系。后来人们把这定律称为安培定律。

1821 年，安培提出了著名的“分子电流假说”，成功的解释了物质宏观磁性形成的内在原因。安培假设：磁性物质内存在无数微小的“分子电流”，它们永不衰竭地沿着闭合的路径流动，从而形成一个个小磁体。

1827 年，安培发表了《电动力学现象的数学理论》，这是电磁学史上一部重要的经典论著。在书中安培总结了已知的电磁现象，得出了磁场的安培环路定理。安培把牛顿力学引入电学，从而创立了电动力学。安培第一个把研究动电的理论称为“电动力学”。

安培首先研制了电流计，用来测量回路电流。为了纪念他，电流的国际单位命名为安培，符号为 A。

## 磁生电：

运动电荷（电流）周围存在磁场，而电和磁又是有相互联系的，那么磁场是否可以产生电场呢？

戴维（1778-1827）先后在电化学、建立酸的氢学说、发现碘元素、发明矿用安全灯、创制电弧灯等方面作出贡献；1303 年他被选为英国皇家学会会员，1807 年出任皇家学会秘书，1820 年被选为皇家学会会长。发现与培养法拉第的“伯乐”。

1830 年，美国物理学家亨利曾先于法拉第发现电磁感应现象，但他没有立即发表实验结果。

1831年8月26日法拉第终于获得成功。这次实验因为是用伏打电池在给一组线圈通电（或断电）的瞬间，在另一组线圈获得的感生电流，他称之为“伏打电感应”。

1831年11月24日，法拉第总结了一系列实验研究，向英国皇家学会提交了论文。后来概括出五类情况可以产生感生电流：

- ①变化着的电流；
- ②运动的恒稳电流；
- ③变化的磁场；
- ④运动的磁铁；
- ⑤在磁场中运动的导体。

在此基础上，法拉第发明了人类历史上第一台感应发电机。

1832年，俄国物理学家楞次受法拉第启发，开始做这方面的研究，并发现了感应电流方向的规律。

1832年，法拉第提出“电力线”概念。

1837年法拉第定义了电容器的介电常数。

1832年，法国人毕克西发明了手摇式直流发电机；

1832年美国物理学家亨利在论文《在长螺线管中的电自感》中公布了自己的一个新发现：一只线圈的电流不仅能在另一只线圈中感生出电流，而且也能在自身中感生出电流。在这个线圈中实际观测到的电流则为原电流的许多倍，这种现象叫自感。

1833年11月29日楞次发表的《关于动电感应引起的伽伐尼电流的方向的决定》中宣布了楞次定律：感应电流的方向总是使它产生的磁场与产生它的原磁场的变化方向相反。

1834年，俄罗斯的雅可比试制出了由电磁铁构成的直流电动机，1838年，这种电动机开动了一艘船，电动机电源用了320个电池。



1836年，美国的文波特和英国的戴比德逊也造出了直流电动机，用作印刷机的动力设备。由于这些电动机都以电池作为电源，所以未能广泛普及。

1837年9月4日，莫尔斯制造出了一台电报机。

19世纪中期，描述电场、磁场的性质以及电、磁场相互关系的库仑定律、高斯定理、安培定律、法拉第电磁感应定律已相继建立，法拉第关于力线和场的概念已经提出，创立电磁场理论的条件已趋成熟。麦克斯韦洞悉已有的电磁场理论，发现内部的不对称性和矛盾，大胆提出“位移电流”和“涡旋电场”假说，并用一组方程概括了原有的各个电磁学定律，对电磁场理论进行了一次大综合，实现了科学认识的革命性变革。

1865年麦克斯韦预言了电磁波的存在，电磁波只可能是横波，并计算了电磁波的传播速度等于光速，同时得出结论：光是电磁波的一种形式，揭示了光现象和电磁现象之间的联系。

麦克斯韦于1873年出版了科学名著《电磁学通论》，系统、全面、完美地阐述了电磁场理论。这一理论成为经典物理学的重要支柱之一。

麦克斯韦是继法拉第之后，集电磁学大成的伟大科学家。他依据库仑、高斯、欧姆、安培、毕奥、萨伐尔、法拉第等前人的一系列发现和实验成果，建立了第一个完整的电磁理论体系，不仅科学地预言了电磁波的存在，而且揭示了光、电、磁现象的本质的统一性，完成了物理学的又一次大综合。这一理论自然科学的成果，奠定了现代的电力工业、电子工业和无线电工业的基础。

### **发电机：**

1867年，德国的西门子发明了自励式直流发电机，从此人类有了“电”，它至今仍为我们带来光明和幸福。

1869年，比利时的格拉姆制成了环形电枢，发明了环形电枢发电机。这种发电机是用水力来转动发电机转子的。

## 电灯：

1879 年，爱迪生发明了电灯。

1882 年，美国的戈登制造出了输出功率 447KW，高 3 米，重 22 吨的两相式巨型发电机。

1882 年，爱迪生建成了世界上第一座正规发电厂，有 6 台直流发电机，共 661.5kW，通过 110V 电缆供照明使用，送电距离为 1.6km。

1886 年，美国的乔治·威斯汀豪斯建成了第一个单相交流输电系统。

1887 年，特斯拉两相电动机作为实用化感应电动机的发展计划开始启动；

1888 年，德国物理学家赫兹用实验验证了电磁波的存在。

1889 年，西屋公司在俄勒冈州建设了发电厂。

1891 年德国建成了第一条三相交流送电线路。

三相交流制很快显示了优越性，直流制很快被淘汰。电力的广泛应用，电力需求的大大增加，促使电力技术和电力工业进一步向高电压、大机组、大电网的方向发展。

1892 年，特斯拉成功地将 15000 伏电压送到了皮茨菲尔德。

1896 年，特斯拉的两相交流发电机在尼亚拉发电厂开始劳动营运，3750KW，5000V 的交流电一直送到 40 公里外的布法罗市。

1897 年，西屋公司制成了感应电动机，设立专业公司致力于电动机的普及。

二十世纪电子科学技术得到了广泛发展，推动了人类文明的现代化，现实世界人类在享用着前人的科学研究成果。人类社会已经步入电信时代。

目前，世界上输电线路电压最高已达到 1150kV、输送距离最长已达到 1900km，一个电力系统的总装机容量已达到 32340 万 kW，最大的火电机组容量已达到 130 万 kW。

### 3. 电子信息技术时代

电子信息技术属于“技术科学”和“应用科学”范畴，它是“工学”大类

各学科中涵盖面最广、渗透力最强的学科。它和强电结合，产生了“电力电子”，它同机械结合，产生了“机械电子”。

大量使用电子管的持续期，只有约 50~70 年，大量使用晶体管的持续期，只有约 20~30 年，80、90 年代大量使用的软盘已被闪存取代。磁带录音机、磁带录像机已被 MP3、MP4、VCD、DVD 取代。固定电话作为主要通话工具将让位给移动电话、网络电话；电灯泡将被半导体照明取代……，而好多人工岗位已经被机器人取代……

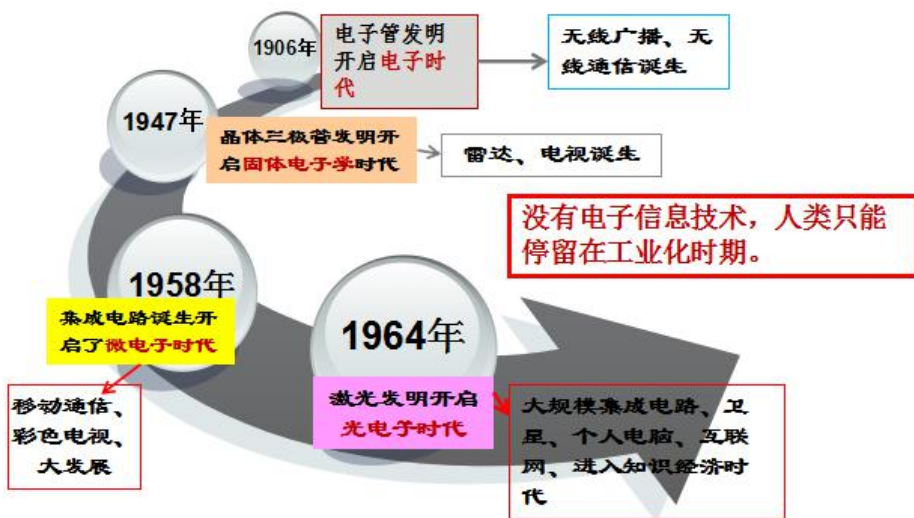


图 2-12 电子技术发展

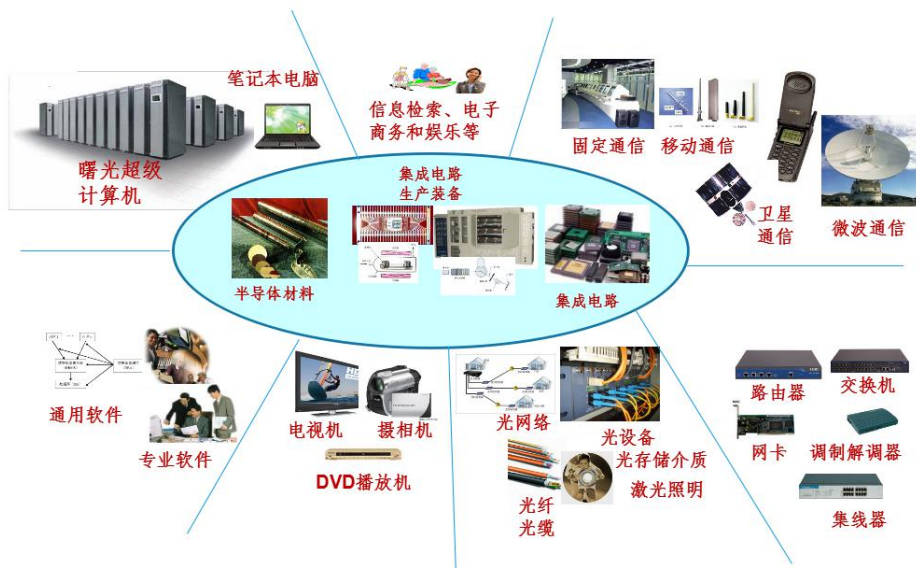


图 2-13 电子信息领域

电子信息技术以其高度的创新性、渗透性、倍增性和带动性，在国民经济发展中起着不可替代的作用，给传统产业改造升级注入了新的活力。

电子信息技术的发展催生了一批新兴产业，形成了微电子、计算机、软件、通信等关联产业的协同发展；加速了生物工程与生命科学、新材料与能源、航空航天等高新技术产业的成长；促进光电子、汽车电子等产业的兴起。同时使传统的劳动密集型产业、资本密集型产业、服务业日趋信息化和知识化。

### 三、前沿技术

#### 1. 微电子技术

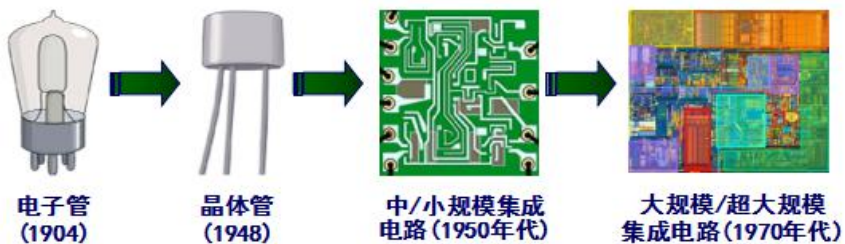


图 2-14 微电子技术发展

微电子技术是实现电子电路和电子系统超小型化及微型化的技术，它是以

集成电路为核心的电子技术。

微电子技术是信息技术领域中的关键技术，是发展电子信息产业和各项高技术的基础。微电子技术的核心是集成电路技术。

集成电路 (Integrated Circuit, 简称 IC):

以半导体单晶片作为基片,采用平面工艺,将晶体管、电阻、电容等元器件及其连线所构成的电路制作在基片上所构成的一个微型化的电路或系统。



图 2-15 中小规模集成电路



图 2-16 大规模集成电路

集成电路的优点：体积小、重量轻、功耗小、成本低、速度快、可靠性高

## 2. EDA 技术

电子设计技术的核心就是 EDA 技术。EDA 是指以计算机为工作平台，融合应用电子技术、计算机技术、智能化技术最新成果而研制成的电子 CAD 通用软件包，主要能辅助进行三方面的设计工作，即 IC 设计、电子电路设计和 PCB 设计。EDA 技术发展的三个阶段：

计算机辅助设计 (CAD) 阶段 (70 年代)：用计算机辅助进行 IC 版图编辑、PCB 布局布线，取代了手工操作。

计算机辅助工程 (CAE) 阶段 (80 年代)：与 CAD 相比，CAE 除了有纯粹的图形绘制功能外，又增加了电路功能设计和结构设计，并且通过电气连接网络表将两者结合在一起，实现了工程设计。CAE 的主要功能是：原理图输入，逻

辑仿真，电路分析，自动布局布线，PCB 后分析。

电子系统设计自动化(ESDA)阶段（90 年代以后）：设计人员按照“自顶向下”的设计方法，对整个系统进行方案设计和功能划分，系统的关键电路用一片或几片专用集成电路（ASIC）实现，然后采用硬件描述语言（HDL）完成系统行为级设计，最后通过综合器和适配器生成最终的目标器件。

### 3. 光电子技术

光学与电子学相互渗透的一门学科。

包括：激光技术、光波导技术、光检测技术、光信息处理技术、光存储技术、光显示技术、太阳能电池等。

形成了光电子材料与元件产业、光信息产业、现代光学产业、光通信产业、激光器与激光应用产业。

### 4. 纳米电子技术

纳米电子学主要在纳米尺度空间内研究电子、原子和分子运动规律和特性，研究纳米尺度空间内的纳米膜、纳米线。纳米点和纳米点阵构成的基于量子特性的纳米电子器件的电子学功能、特性以及加工组装技术。其性能涉及放大、振荡、脉冲技术、运算处理和读写等基本问题。其新原理主要基于电子的波动性、电子的量子隧道效应、电子能级的不连续性、量子尺寸效应和统计涨落特性等。

从微电子技术到纳米电子器件将是电子器件发展的第二次变革，与从真空管到晶体管的第一次变革相比，它含有更深刻的理论意义和丰富的科技内容。在这次变革中，传统理论将不再适用，需要发展新的理论，并探索出相应的材料和技术。

### 5. 光子计算机技术

光能够像电一样来传递信息，甚至效果更好。而且，更重要的一个特点在于它不会和周围环境发生相互干扰的作用。

## 6. 量子计算机技术

量子计算机是运用量子力学来设计的。从理论上说，它们的速度提高可以说是没有止境的，因为量子计算技术可以在同一时间内执行各种操作，同时有足够的力量来完成现在电子计算机还很难完成的任务，比如说完成密码的破译和语音的识别等等。这是因为量子不像半导体只能记录 0 与 1，它可以同时表示多种状态。如果把半导体比成单一乐器，量子电脑就像交响乐团，一次运算可以处理多种不同状况。

## 7. 分子计算机技术

现在已经开发出来一种能够由氮气和二氧化碳来开动和关闭的分子计算机，这种超高速的微型计算机离现实已经很近了。分子计算机能够比硅计算机更小、更便宜，耗能更低等优点。

分子计算机的各种应用：手表中的超级计算机、可缝进到衣服里等等。

## 8. 生物计算机技术

实际上随着生物技术的发展，人们将模仿人的大脑制造一种用基因学的机制来开发的新一代计算机。

现在生物计算机的模型已经问世。以色列的科学家制造了一个有可能会比单个活细胞还要小的计算机的模型。这么微小的计算机也可能将在我们的体内漫游，监视我们的健康。也许会纠正它所发现人体内哪个地方脂肪的堆积，帮助解决问题。其实每一个细胞实际上都是一个复杂的生物机件，一个系统。用这么一种仿生技术来制造生物计算机。

## 四、电能的产生、传输、配电、使用

### 1. 电力的特点

电力生产的特点包含以下四个方面。

一是同时性，电能不能大量存储，各环节组成的统一整体不可分割，过渡过程非常迅速，瞬间生产的电力必须等于瞬间取用的电力，电能的生产、输送、

分配、使用是同时进行的。所以电力生产的发电、输电、配电到用户的每一环节都非常重要。

二是集中性，电力生产是高度集中、统一的，无论多少个发电厂、供电公司，电网必须统一调度、统一管理标准，统一管理办法；安全生产，组织纪律，职业品德等都有严格的要求。

三是适用性，电力行业的服务对象是全方位的，涉及到全社会所有人群，电能质量、电价水平与广大电力用户的利益密切相关。

四是先行性，国民经济发展电力必须先行。

## 2. 电力系统的构成

电能是一种十分重要的二次能源，它能方便、经济地从蕴藏于自然界中的一次能源（如：煤炭、石油、天然气、水力、核燃料、风能等）转换而来，并且可以转换为其它能量供人们使用。

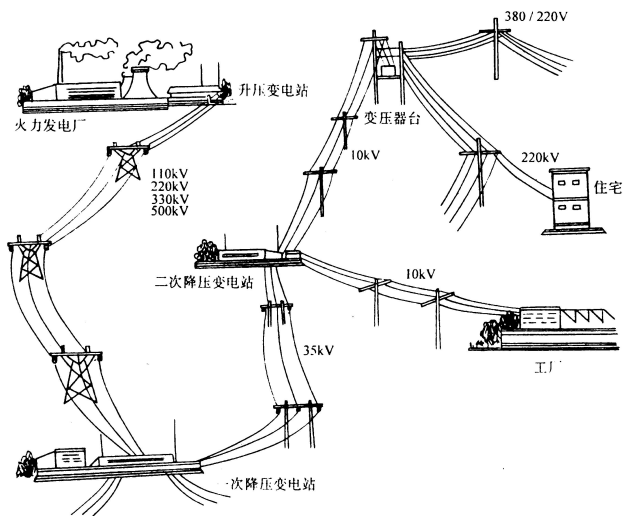


图 2-17 电力系统

电力系统：是指能够完成电能的生产、变换、输送、分配和消费，并将各发电厂、变电所并列运行以提高整个系统的可靠性和经济性的一个统一的整体。是现代社会中最重要、最庞杂的工程系统之一。



电力系统=发电厂+电力网+电能用户。

发电厂：是把各种天然能源，如煤炭、水能、核能等转换成电能的工厂。

根据发电厂所使用的一次能源的不同，发电厂可分为火力发电厂、水力发电厂、核发电厂等类型。

动力系统：在电力系统的基础上，把发电厂的动力部分（例如火力发电厂的锅炉、汽轮机和水力发电厂的水库、水轮机以及核动力发电厂的反应堆等）包含在内的系统。

电力网：其中输电、变电、配电所组成的部分。它包括升、降压变压器和各种电压的输电线路。它的任务就是把远处发电厂生产的电能输送到负荷中心，同时还联系区域电力网形成跨省，跨地区的大电力系统，如我国的东北、华北、华中、华东、西北和南方等电力网，就属于这种类型。

电力网=各电压等级变电所+输配电线路。

其中：

输电网：电厂→负荷中心，是以高压甚至超高电压将发电厂、变电所或变电所之间连接起来的输电网络，所以又称为电力网中的主网架。

配电网：负荷中心→各配电变电所，直接将电能送到用户的网络。它的作用是将电能分配给各类不同的用户，变换电压、传送电能。

配电网的电压因用户的需要而定，因此，配电网中又分为：

高压配电网：110KV 及以上电压、

中压配电网：（35KV）10KV、6KV、3KV

低压配电网：220V、380V。

电力用户：高压用户额定电压在 1kV 以上，低压用户额定电压在 1kV 以下。

用电设备：消耗电能。

### 3. 发电的方式

传统的发电方式为：水力发电、火力发电、核能发电、人力发电。

其它能源发电：太阳能、风力、地热、潮汐、燃料电池、垃圾、磁流体。



图 2-18 火力发电



图 2-19 水力发电



图 2-20 风力发电

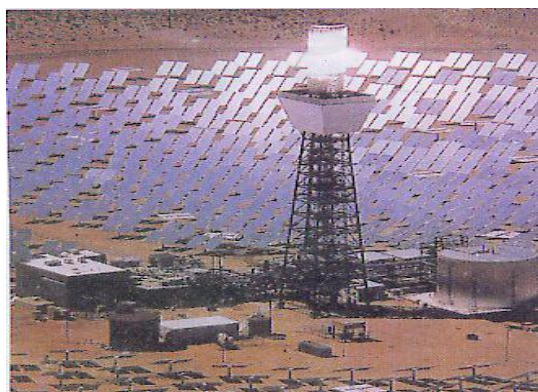


图 2-21 太阳能发电



图 2-22 地热发电

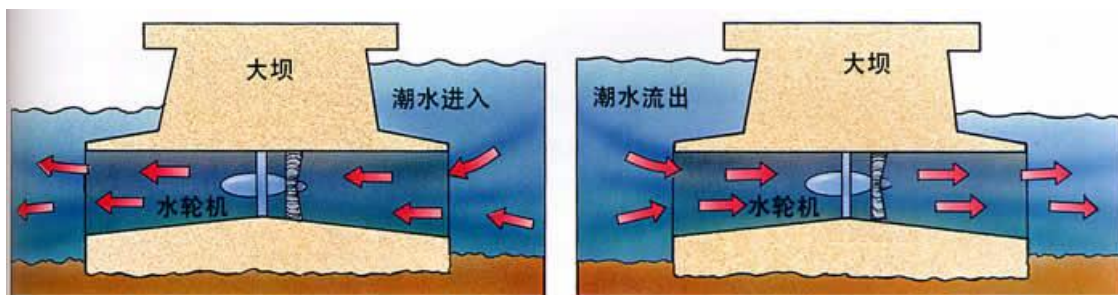


图 2-23 潮汐能发电

#### 4. 配电系统

配电是由 10KV 级以下的配电线路和配电(降压)变压器所组成。它的作用是将电能降为 380/220V 低压再分配到各个用户的用电设备。

降压变电所内安装有受电、变电和配电设备，其作用是接受输送来的高压电能，经过变压，然后再将低压电能进行分配。

对于低压供电的用户，不用变压，只需设置仅有受电和配电设备的配电所（室）。

##### (1) 大型工业与民用建筑设施的供电

电源进线为 35~110kV，需经二次降压，先将 35~110kV 的电压降为 6~10kV，用高压配电线送到各车间或用电地点的变电所，再降为 380/220V 电压。

##### (2) 中型工业与民用建筑设施的供电

电源进线为 6~10 kV，经高压配电所，再由 6~10 千伏高压配电线将电能送各车间或建筑物变电所，降为 380/220 V 低压，供给用电设备。

##### (3) 小型工业与民用建筑设施的供电

一般只需设立一个简单的降压变电所，电源进线为 6-10 千伏，降为低压 380/220 伏。

常用配电系统：

三相四线制：现代电力系统中的供电方式几乎全是采用三相正弦交流电。

低压供电系统中普遍采用三相四线制。

三相四线制系统：

相电压：相线与中性线之间的电压

线电压：相线与相线即两根火线之间的电压

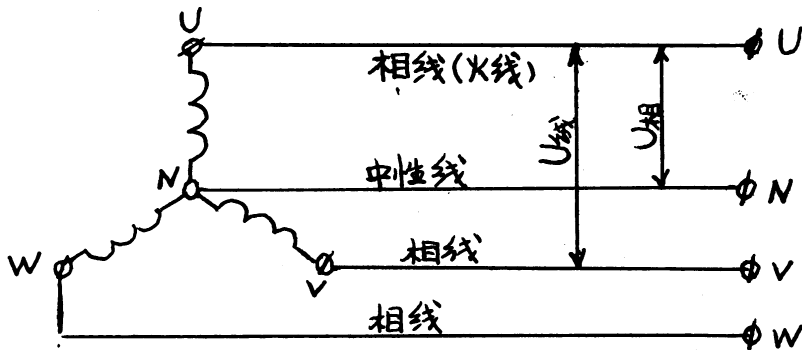


图 2-24 三相四线制系统

三相三线制系统：

现代电力系统中的输电线路几乎全是采用三相三线制。三相三线制就是无中线 N。

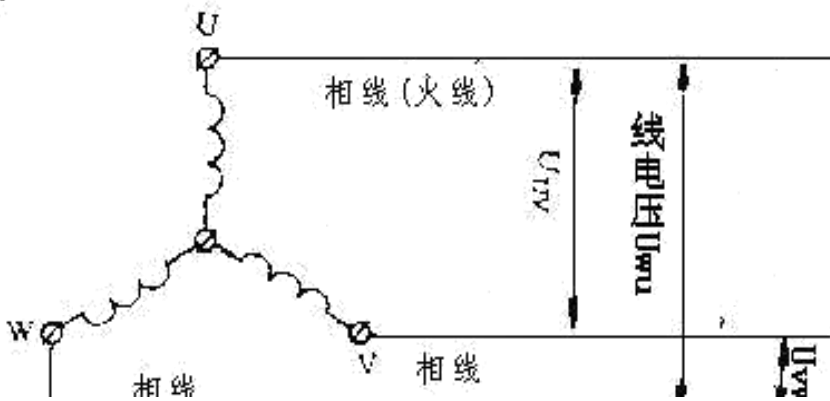


图 2-25 三相三线制系统

导线颜色的选择：敷设导线时，相线 L、零线 N 和保护零线 PE 应采用不同颜色的导线。

火线：分别从发电机绕组三个始端引出的线，红、绿、黄。

零线：中性点接地时的中性线，黑线。

地线：接地装置引出的线，对人身设备起保护作用。黄绿双色线

## 5. 用户和用电负荷的分类

电力用户对供电可靠性的要求并不一样，即使一个企业中各个部门或车间，对供电持续性的要求也有所差别。根据对供电持续性的要求，可把用户分为三级。

一类负荷：如停止供电，将会危害生命、损坏设备、产生废品、使生产过程混乱、造成重大的政治经济影响，给国民经济带来重大损失，或者使市政生活发生重大混乱。

二类负荷：如停止供电，将造成大量减产，城市大量居民的正常活动受到影响、造成较大的政治经济影响。

三类负荷：不属于一、二类电力负荷 对供电没有什么特别要求，如非连续生产的车间及辅助车间和小城镇用电等。

对于一级负荷，至少要由两个独立电源供电，其中每一电源的容量，都应在另一电源发生故障时仍能完全保证一级负荷的用电；对于三级负荷，不需要备用电源；对于二级负荷是否需要备用电源，要进行技术经济比较后才能确定。

直流电：大小和方向不随时间变化。电池提供的就是直流电，有正负极性的区分。

交流电：大小和方向随时间做周期性变化，我国交流电的频率是 50HZ。

## 五、安全用电常识

电在造福人类的同时，对人及物也构成了很大的潜在危险。如果对安全用电认识不足，对电气设备的设计、安装、维修、使用不当，由于错误操作等原因，均可造成触电事故、线路设备事故或遭受自然中雷击、静电危害、电磁场危害以及引发电气火灾和爆炸等事故。

安全用电的研究对象是人身触电事故和电气设备事故发生的规律及防护

对策。

### （一）触电

#### 1. 电流对人体的伤害形式

人体触及带电体时，电流通过人体，会对人体造成生理和病理的伤害，其伤害的形式有电击和电伤 2 种。

##### （1）电击

是指电流通过人体内部，影响呼吸、心脏和神经系统，造成人体内部组织的损坏、乃至死亡。

##### （2）电伤

是指电对人体外部造成的局部伤害，常常与电击同时发生，如电弧烧伤、电灼烧、电烙印、皮肤金属化等。

绝大部分触电事故是由电击造成的，通常所说触电事故基本上是电击。

#### 2. 电流对人体伤害程度的主要影响因素

电流通过人体内部对人体伤害的严重程度与电流的大小、通电的持续时间、流过人体的路径、电流的种类以及人体的状况等多种因素有关。各因素之间有十分密切的联系和影响，是比较复杂的问题。

##### （1）电流大小

通过人体的电流越大，人体的生理反应越强烈，致命危险越大，致死所需时间越短。对工频交流电，根据通过人体电流的大小和人体呈现的表现，将电流划分三级：

###### ① 感知电流

引起人体感觉的最小电流称为感知电流。实验表明，成年男性的平均感知电流约为 1.1mA，成年女性约为 0.7 mA。

###### ② 摆脱电流

人触电后能自主摆脱电源的最大电流称为摆脱电流。成年男性最小摆脱电

流约为 9 毫安，成年女性约为 6 毫安，儿童比成年人的小。

### ③ 致命电流

在较短的时间内危及人的生命的最小电流称为致命电流。由于电击致命的主要原因是电流引起心颤动或窒息造成的，可认为引起心室颤动的电流为致命电流。

引起心室颤动的电流即致命电流大小与电流作用于人体时间的长短有关。作用时间越长，便越容易引起心室颤动，危险性也就越大。

通过人体的电流大小，主要取决于：

- ① 施加于人体的电压，电压愈高，通过人体的电流愈大；
- ② 人体电阻，电阻大电流就小，反之则大。

#### (2) 人体电阻

人体电阻包括皮肤电阻和体内电阻。体内电阻基本不受外界因素影响，其值约为 500  $\Omega$  左右。

#### (3) 电流通过人体的路径

电流通过心脏会引起心室颤动致死。较大电流会立即使心脏停止跳动。通电路径以胸至左手最危险。

电流通过中枢神经或有关部位会引起中枢神经系统失调，强烈时造成呼吸窒息导致死亡。

电流流过头部使人昏迷，对脑产生损害，严重时造成不醒而死。

电流通过脊髓使人截瘫。

电流纵向通过人体比横向通过时心脏上的电场强度要高，更易发生心室颤动，危险性更大。

表 1-1 不同途径下流经心脏电流的比例

电流通过人体的途径	通过心脏的电流占通过人体总电流的比例 (%)
从一只手到另一只手	3.3
从左手到脚	6.7
从右手到脚	3.7
从一只脚到另一只脚	0.4

#### (4) 通电时间和电压高低

按安全电流范围和人体电阻曲线得出的安全电压范围为 50V。我国规定安全电压在没有高度危险的环境下是 64V，在有高度危险的环境下是 36V，在特殊危险的环境下是 12V。

通电时间越长越容易引起心室颤动，电击危险性越大。

通电时间长，使人体电阻因出汗而降低，导致通过人体电流进一步增加，使电击危险性加大。

触电电压为 220V 时与允许通电时间的为 0.05s。

当人的心脏每收缩、扩张一次，中间约有 0.1s 间歇，此时心脏对电流最敏感，这一瞬时，即使很小电流（几十 mA）通过心脏也会引起心室颤动。如电流不在这一瞬时通过心脏，即使电流很大（几 A 以上）也不会引起心脏麻痹。当通电时间小于心脏搏动周期时，时间越长，通电时间与间歇相遇的机会越大，心室颤动可能性越大，即电击危险性越大。

#### (5) 电流种类

直流电流、高频电流、冲击电流对人体都有伤害作用。但伤害程度一般较工频电流轻。

##### ① 直流电的危险性

直流电危险性相对小于交流电。



最小感知电流：男性为 5.2mA，女性约为 3.5 mA。

平均摆脱电流：男性约为 76 mA（交流电为 16 mA），女性约为 51 mA（交流电为 10.5 mA）。

可能引起心室颤动的电流在通电时间为 0.3s 时约为 1300 mA。

## ② 交流电的危险性

交流电中，频率为 25~300Hz 的交流电对人体的伤害最为严重，低于或高于这个频段，伤害程度明显减轻。

1000Hz 高频交流电的最小感知电流：男性约 12 mA；平均摆脱电流：男性约 75 mA；通电 3s 时引起心室颤动的电流约为 500 mA。

高频电流比工频电流易于灼伤皮肤，不能忽视使用高频电流的安全问题，尤其是高压、高频电流仍有电击致命的危险。

## ③ 雷电和电容器放电的危险性

雷电和电容器放电都能产生冲击电流。冲击电流通过人体时能引起强烈的肌肉收缩。由于这种电流通过人体的时间很短，导致心室颤动的电流要高得多。

## （6）人体状况。

电对人体的伤害程度与人体状况有密切联系。

人体状况除人体电阻外还有以下几方面：

① 性别：女性对电的敏感度比男性高。资料表明，女性感知电流和摆脱电流约比男性低 1/3。

② 年龄：儿童比成年人遭受电击的伤害要重。

③ 体重：引起心室颤动的电流约与体重成正比。

④ 健康状况：有心脏病等严重疾病患者或体弱多病者比健康人遭电击伤害重。

## 2. 人体触电的方式及常见的原因

人体发生触电事故的情况是多种多样的，经过长期研究和对触电事故的大

量分析，确认发生触电的情况分为三类方式：包含单相触电和两相触电的直接接触触电；包含跨步电压触电和接触电压触电的间接接触触电。此外还有雷击触电、电高压电场、高频电场、静电感应等对人体造成的伤害。

### (1) 直接接触触电

① 单相触电。人体的某一部位碰到相线或绝缘性能不好的电气设备外壳时，电流由相线经人体流入大地的触电现象，称为单相触电，也称单线触电。

② 两相触电。人体的不同部位分别接触到同一电源的两根不同相位的相线，电流由一根相线经人体流到另一根相线的触电现象，称为两相触电，也称双线触电。

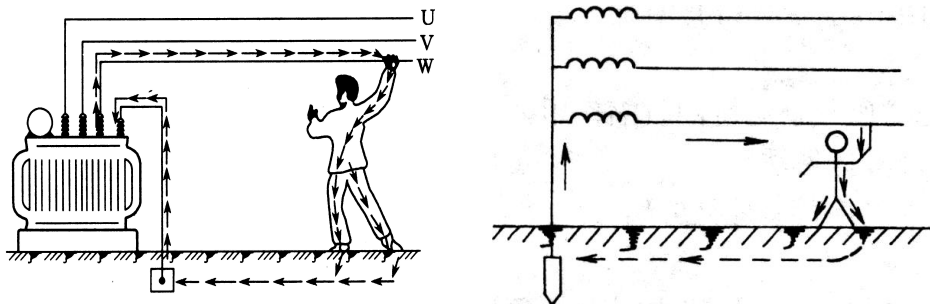


图 2-26 中性点直接接地系统的单相触电

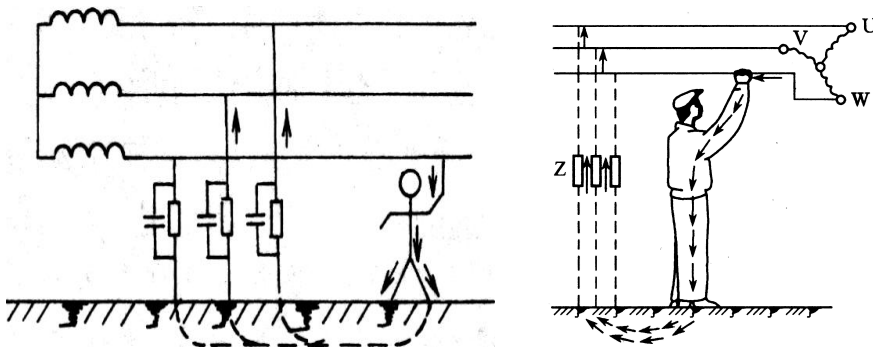


图 2-27 中性点不接地系统的单相触电

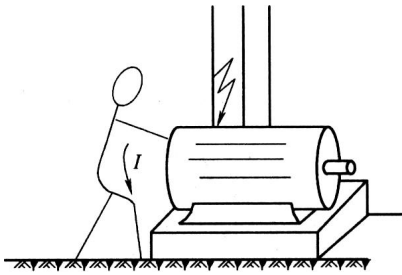


图 2-28 接触触电

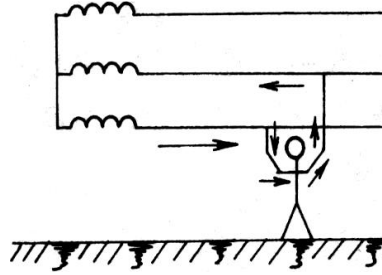


图 2-29 两相触电

## (2) 间接接触触电

① 高压电弧触电。人靠近高压线（高压带电体），因空气弧光放电造成的触电，称为高压电弧触电。

② 跨步电压触电。人走近高压线掉落处，前后两脚间电压超过了 36V 造成的触电，称为跨步电压触电。如果人行走前后两脚间（0.8m）电位差达到危险电压而造成触电，称跨步电压人离接地点越近跨步电压越高、越危险，一般距接地点 20m 以上认为地电位为零。检查高压设备的接地故障时，室内不得接近 4m 以内，室外不得接近 8m 以内，若进入必须穿绝缘鞋。

② 接触电压触电。电气设备或带电导线发生接地短路故障不但会引起跨步电压触电，还容易产生接触电压触电，

## (3) 雷击触电

雷击触电。雷电时发生的触电现象称为雷击触电。它是一种特殊的触电方式。雷击感应电压高达几十至几百万伏，其能量可把建筑物摧毁，使可燃物燃烧，把电力线、用电设备击穿、烧毁，造成人身伤亡，危害性极大。

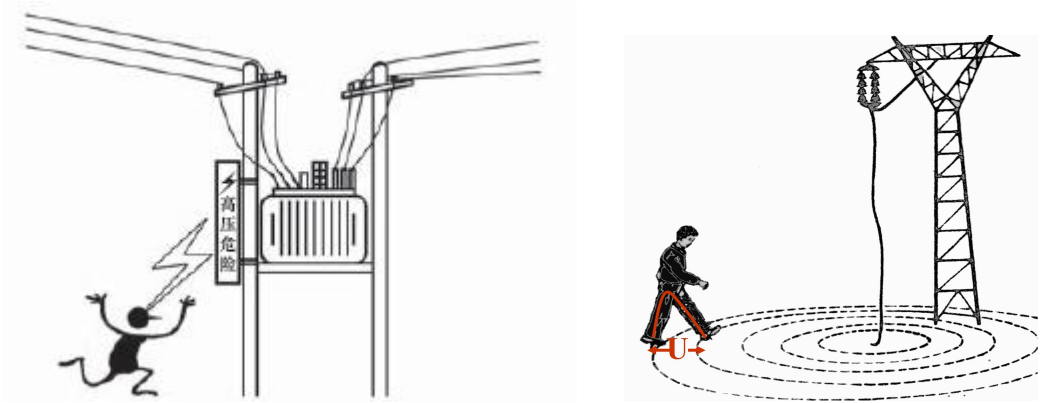


图 2-30 高压电弧触电与跨步触电

### (3) 其他危害

高压电场、高频电磁场、静电、雷电。

### (4) 人体触电的原因

- ① 电工违规操作。
- ② 用电人员安全意识淡薄。
- ③ 电气设备绝缘受损。
- ④ 设备不合格。
- ⑤ 维修管理不善。
- ⑥ 其他原因。

## (二) 安全电压

安全电压是指在各种不同环境条件下，人体接触到有一定电压的带电体后，其各部分组织（如皮肤、心、脏、呼吸器官和神经系统等）不发生任何损害时，该电压称安全电压。

安全电压的额定值为 6 伏、12 伏、24 伏、36 伏、42 伏。

42V 和 36V 可在一般较干燥的环境中使用，24V 以下是在较恶劣的环境中允许使用的电压等级。

## (三) 触电急救

人触电后不一定立即死亡，往往呈“假死”状态，如抢救及时，方法得当，“假死”的触电者可获救。及时抢救非常重要。前苏联资料记载，触电后1分钟内急救，90%以上可得到良好效果。6分钟后再救只有10%有效。12分钟后再救，救活可能性较小。和电击的轻重有关，说明抢救时间是重要因素。触电急救应在现场争分夺秒进行，不能等候医务人员而贻误时机。

### 1. 触电急救的要点

触电急救的要点：抢救迅速与抢救得法，否则会事与愿违，不但救不活人还会造成更严重后果。

### 2. 解救触电者脱离电源的方法

触电急救首先是要使触电者脱离电源，期间一定要防摔防碰避免造成二次伤害。其次是动作迅速、方法正确，迅速对症救治。

脱离低压电源的方法：“拉”“切”“挑”“拽”“垫”五字概括。

脱离高压电源的方法：电话通知有关部门拉闸停电；断开就近电源开关或（高压跌落熔断器）；往架空线路抛挂裸金属软导线等。

### 3. 现场救护

现场救护关键是“判别情况与对症救护”。

心脏跳动和呼吸是互相联系、相互配合的。心脏跳动停止了，呼吸很快就会停止；呼吸停止了，心脏跳动也维持不了多久。心肺复苏法就是用人工的方法恢复呼吸或心脏跳动，是触电急救行之有效的科学方法。

心肺复苏法包括人工呼吸和胸外心脏挤压两种方法。根据触电者的具体情况，这两种方法可以单独使用，也可以配合使用。实施心肺复苏前均应将触电者身上妨碍呼吸的衣服、裤带等解开；将触电者口腔中呕吐物、假牙、血块等取出，如果舌根后缩，应将舌头拉出，以使呼吸道畅通。如果触电者牙关紧闭，救护人可将两手的四指托住触电者的下腭骨的后角，大拇指放在下腭边沿上，然后用力将下腭骨慢慢向前推移，使下牙移到上牙前，促使触电者把口张开。

也可用开口器、小木片、金属片等比较坚硬的物品从触电者的口角伸入牙缝，撬开牙齿使其张口。

#### (1) 人工呼吸法：

如果触电者呼吸停止、但心脏还在跳动，则应采用人工呼吸法抢救。人工呼吸法有三种：口对口（鼻）法、俯卧压背法和仰卧牵臂法。其中口对口（鼻）人工呼吸法效果最好、简单易学、容易掌握，其操作方法如下：

① 使触电者仰卧，颈部放直，头部尽量后仰，鼻孔朝天，这样舌根就不会阻塞气流。触电者的颈部下方可以垫起，但不可在触电者头部下方放枕头或其他物品。

② 救护人员蹲跪在触电者头旁，一手捏紧触电者的鼻孔（不要漏气），另一支手将其下颌拉向前下方，使嘴巴张开（嘴上可盖上一块纱布或薄布），做好吹气的准备。

③ 救护人作深吸气后，紧贴触电者的嘴巴（防止漏气）向他吹气。（如掰不开触电者的嘴，可捏紧其嘴巴向其鼻孔吹气）。同时观察触电者胸部的膨胀情况，以判断吹气是否有效和是否适度。吹气以胸部略有起伏为宜。起伏过大，表示吹气太多，容易把肺泡吹破；无起伏，表示吹气用力过小。

④ 吹气完毕后，立即离开触电者的嘴（或鼻），并放开其鼻孔（或嘴巴），让其自动向外呼气（排气）。这时要注意触电者胸部的复原情况，观察呼吸道有无梗阻现象。

按以上步骤连续不断地进行，对成年人每分钟大约吹气 11~16 次，每 5 秒钟一次，即吹气约 2 秒钟，呼气约 3 秒钟。对儿童每分钟大约吹气 18~24 次。给儿童吹气时，可不必捏紧鼻孔，任其漏气，并只可小口吹气以免肺泡破裂。

#### (2) 胸外心脏挤压法：

如果触电者呼吸没有停止，而是心脏跳动停止了，则应当采用心脏挤压法

抢救。这里讲的心脏挤压是胸外心脏挤压，其操作方法如下：

① 使触电者仰卧。仰卧姿势同口对口人工呼吸法。背部着地处应平整牢固，以保证挤压效果。

② 选好正确压点，救护人跪在触电者腰部一侧，或跪骑在他的髂腰部，两手相叠，将下边那只手的掌根放在触电者心窝稍高一点的地方，即两乳头间略下一点，在胸骨的下三分之一部位，其中指尖约在触电者颈部凹陷的下边缘，所谓“当胸放手掌，中指对凹膛”，这时的手掌根就是正确的压点。

③ 选好压点后，救护人伸直肘关节，然后用力适当地有冲击性地向下（脊背方向）压挤触电者的胸骨，压出心脏里的血液。对成年人应压陷3~4厘米，对于儿童可只用一只手挤压，用力要轻些，以免损伤胸骨。

④ 挤压后，掌根突然放松（但手掌不必完全离开胸廓），使触电者胸部自动复原，使血液又回到心脏。

⑤ 按以上步骤连续不断地进行，成年人以每分钟挤压60次为宜；儿童只需用一只手挤压，用力轻一些以免损伤胸骨，以100次左右为宜。

一旦呼吸和心脏跳动都停止了，则应同时进行口对口人工呼吸和胸外心脏挤压。由两个救护人共同进行。如果现场仅有一个人进行抢救，两种方法则应交替进行，每吹气2~3次，再挤压心脏10~15次。

心肺复苏法抢救触电者往往需要很长时间（有时要进行1~2小时），必须连续进行，切不可轻率中止，即使在送往医院的途中也必须继续做心肺复苏。在心肺复苏过程中，如果发现触电者的皮肤由紫变红、瞳孔由大变小，则说明心肺复苏收到了效果。触电者自己开始呼吸时则可停止心肺复苏。如果心肺复苏停止后，触电者不能维持正常的心脏跳动和呼吸，则应继续进行心肺复苏。在抢救过程中，只有触电者身上出现尸斑或身体僵冷，经医生作出无法救治的诊断后方可停止心肺复苏。

（3）外伤处理：

- ① 对于与触电同时发生的外伤，应酌情处理。
- ② 不危及生命的轻度外伤，可放在触电急救之后处理。
- ③ 严重外伤，应与人工呼吸和胸外心脏挤压同时处理。
- ④ 如伤口出血，应予以止血，为了防止伤口感染，最好予以包扎。

#### (4) 急救用药要求

- ① 任何药物都不能代替心肺复苏。

人工呼吸和胸外心脏挤压是基本的、第一位的急救方法。

- ② 应慎重使用肾上腺素。

肾上腺素有使停止跳动的的心脏恢复跳功的作用。但肾上腺素可能使跳动不正常的心脏变为心室颤动，由此导致心脏停跳死亡。

用心电图仪观察有心脏跳动的触电者不得使用肾上腺素。只有在触电者已经过心肺复苏急救，用心电图仪鉴定心脏确已停止跳动，又备有心肌除颤装置的情况下，才可注射肾上腺素。

### (四) 安全防护技术及应用

#### 1. 预防触电的主要措施

触电原因和触电的具体情况是多种多样的。因此，防止触电的方法也是多样的。根据触电一般规律，要防止触电，主要措施可分为以下 3 大类：

##### (1) 电气系统保证安全的基本措施

电气系统在正常运行情况下，只要是绝缘、屏护（遮拦、护罩、护盖、箱体等）、间距（安全净距）、载流量等几个要素符合要求，电气安全就可以得到保证。这些因素在电气系统设计、安装时要给予保证，使用时也要充分注意，并经常加以检查。

##### (2) 电气系统保证安全的预防性措施

由于绝缘的破坏、线路的断线、过载等，使正常时不带电体带电、碰壳短路等意外事故发生。



为了保证发生事故时的电气安全，防止触电，要采取一些预防性的安全措施。如设置熔断器、断路器、漏电开关、采用低电压、保护接地、保护接零等安全措施。

### (3) 安全管理措施

行之有效的安全管理措施，可防止错误操作、违章操作，维护电气系统的正常安全运行。《电气安全工作规程》是操作和检修电气设备时必须执行的规章、制度，是保证安全的技术措施和组织措施。

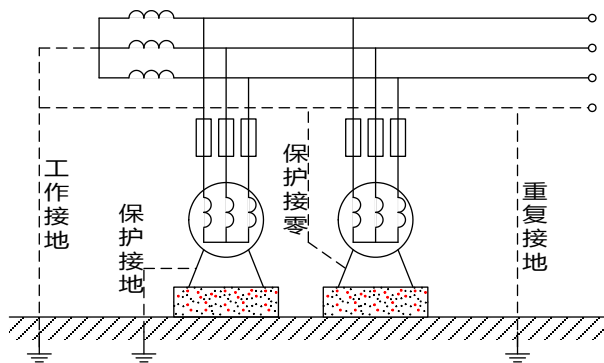


图 2-31 安全防护技术

## 2. 保护接地和保护接零

保护接地与保护接零是防止间接触电（如绝缘损坏引起的漏电）最重要、最基本的保护措施。了解保护接地和保护接零的基本原理和安全条件对于安全用电有十分重要的意义。

**保护接地：**把电气设备在正常情况下不带电的金属部分与大地连接起来。用于中性点不接地三相三线制电力系统。

**保护接零：**把电气设备在正常情况下不带电的金属部分与电网的零线连接。用于中性点接地（称工作接地）三相四线制电力系统。

我国绝大多数地面的低压配电网都采取低压中性点直接接地的运行方式。保护接零就适用于这种配电电压 0.23kV / 0.4kV、低压中性点直接接地三相四

线配电网。

在这种配电网中，凡正常时不带电而故障时可能带危险电压(包括感应电)的电器的金属外壳均应采取保护接零措施。例如：电脑、空调、扩音器、电风扇、洗衣机、电冰箱等民用电器的金属管等均应采取保护接零措施。

国际电工委员会 IEC 将低压电网的配电制及保护方式分为 IT、TT、TN 三类：

#### (1) IT 系统

无保护接地情况：在不接地配电系统中，如电器金属外壳未采取安全措施，当外壳故障带电时，通过人体的电流经线路对地绝缘电阻构成回路。

有保护接地（IT 系统）：将电器外壳接地，构成 IT 系统（I：配电网不接地或经高阻抗接地；T：电器金属外壳接地）。

当外壳故障带电时，接地电阻  $R_A$  与人体电阻  $R_P$  并联，由于  $R_A$  远远小于  $R_P$ ，外壳上的故障对地电压将大大降低。这种将电器金属外壳经接地线、接地体与大地连接起来的作法就称为保护接地。即保护接地的实质是当电器金属外壳意外带电时，将对地电压限制在安全范围内，从而将流过人体电流限制在某一范围内，消除电击危险。此外，保护接地还能消除感应电的危险。

保护接地运用于各种不接地配电网。

在不接地配电网中，凡正常不带电，而由于绝缘损坏或其他故障可能带危险电压的各种电器的金属部分，如室内外配线的金属管，靠近带电部分的金属遮拦、金属门，电缆的金属外皮，的金属外壳等，除另有规定外均应接地。

低压不接地配电网一般只用于煤矿井下配电。

民用配电基本上不采用这种方式。

保护接地的接地电阻一般限制在  $4\ \Omega$  以下；如配电变压器容量不超过  $100\text{kVA}$ ，接地电阻可放宽至  $10\ \Omega$  以下。

#### (2) TT 系统防护

接地配电系统中，将电器外壳接地即构成 TT 系统。前一个 T 表示配电网中性点接地，后一个 T 表示电器金属外壳接地。

一般情况下不应采用 TT 系统。如不得不采用 TT 系统，必须采取措施防止零线带电的危险，并装设能快速自动切断电源的保护装置、将故障持续时间限制在允许范围内。

TT 系统主要用于低压共用用户，即用于未装备配电变压器、从外面引进低压电源的小型用户。

### (3) TN 系统安全原理和基本安全条件

TN 系统是接地的配电网中，电器金属外壳采取接零措施的系统。T 表示配电网(低压中性点)直接接地，N 表示电器金属外壳接零。

电器金属外壳与保护零线连接的方式称为保护接零。

A、B、C 为相线，N 为工作零线，PE 为保护零线，PEN 线为工作零线与保护零线的共用线。

在 TN 系统中，当相线直接连接电器金属外壳时，即形成单相短路。短路电流势必促使线路上的短路保护装置迅速动作，在规定时间内将故障电器断开电源，消除电击危险。

应当指出，这样依靠回路阻抗分压，将漏电电器故障对地电压限制在安全范围以内一般是不可能的。故障时迅速切断电源是保护接零第一位的安全作用，而降低漏电电器对地电压是其第二位的安全作用。

TN 系统中故障时对地电压的允许持续时间，由于保护零线分布的复杂性和地面电位分布的复杂性，难以求得准确的对地电压。国际电工委员会以额定电压为依据作简明规定：

① 对仅有普通、基本绝缘的 I 类手持式电器、移动式电器和家用插座，额定电压 110V 者故障持续时间不得超过 0.8s，额定电压 220V 者故障持续时间不得超过 0.4s。

② 对于固定电器，故障持续时间不得超过 5s。

#### (4) TN 系统种类及应用

接零的保护作用不是由单独接零来实现的，而是要与其他线路保护装置（如熔断器、断路器等）配合使用才能完成。

TN 系统有三种类型：TN-S 系统、TN-C-S 系统和 TN-C 系统。

##### ① TN-S 系统的应用

TN-S 系统有专用保护零线 (PE 线)，即保护零线与工作零线 (N 线) 完全分开的系统。

安全要求较高的场所或装有配电变压器的大楼应采用 TN-S 系统。

##### ② TN-C-S 系统的应用

TN-C-S 系统是干线部分保护零线与工作零线前部共用 (构成 PEN 线)、后部分开的系统。

没有装备配电变压器，低压进线的住宅宜采用 TN-C-S 系统。

##### ③ TN-C 系统的应用

TN-C 系统是干线部分保护零线与工作零线完全共用的系统。用于安全条件较好、安全要求不高的场所。

#### (5) 混合系统注意事项

由同一台变压器供电的配电网中，一般不允许采用部分电器接零、部分电器仅接地的运行方式，即一般不允许同时采用 TN 系统和 TT 系统的混合运行方式。

当接地电器漏电时，该电器和零线及所有接零电器的对地电压都可能给人以致命的电击。

混合运行方式一般是不允许的。如不得不采用混合系统，则属于 TT 保护方式的电器必须装设符合要求的自动保护装置或采取其他有效的防电击措施。

### 3. 漏电保护开关

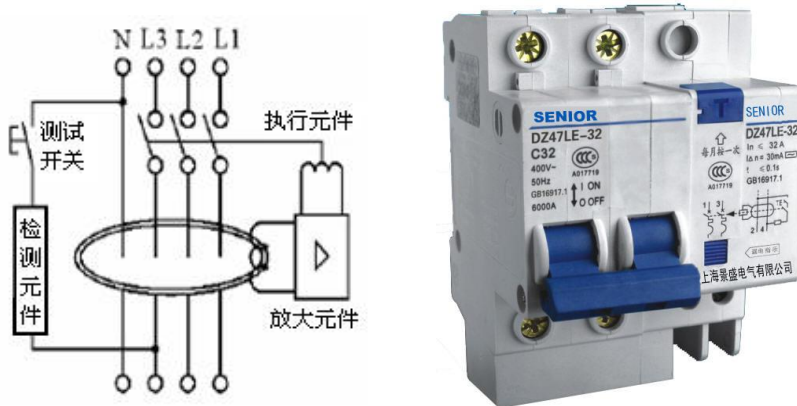


图 2-32 漏电保护开关

定义：漏电保护器（漏电保护开关）是一种电气安全装置。将漏电保护器安装在低压电路中，当发生漏电和触电时，且达到保护器所限定的动作电流值时，就立即在限定的时间内动作自动断开电源进行保护。

漏电保护为近年来推广采用的一种新的防止触电的保护装置。在电气设备中发生漏电或接地故障而人体尚未触及时，漏电保护装置已切断电源，或者在人体已触及带电体时，漏电保护器能在非常短的时间内切断电源，减轻对人体的危害。

#### 4. 重复接地与工作接地

线路保护装置能否迅速动作，主要取决于单相短路电流的大小和保护装置动作电流的大小。单相短路电流越大或保护装置动作电流越小，保护装置动作越快。反之动作越慢。

重复接地：TN 系统中，中性线上除工作接地外其他点的再次接地称为重复接地。

重复接地最主要的作用是减轻 PE 线或 PEN 线断开或接触不良时电击的危险性。一些发达国家，不强调重复接地，强调等电位联结。但我国民用配电系统，很多场合难以实现等电位联结，必须靠重复接地提高保护接零的可靠性。

PE 干线和 PEN 线的最远端、线路引入大型建筑物的第一面配电装置处(进

户处)应装设重复接地。

当工作接地电阻不超过  $4\ \Omega$  时，每处重复接地电阻不得超过  $10\ \Omega$ ；当允许工作接地电阻不超过  $10\ \Omega$  时，允许重复接地电阻不超过  $30\ \Omega$ ，但不得少于 3 处。

工作接地：也称系统接地，指变压器低压绕组中性点的接地。工作接地的作用是保持系统电位的稳定性，即减轻低压系统由于一相接地，由于高、低压短接等原因所产生过电压的危险性。

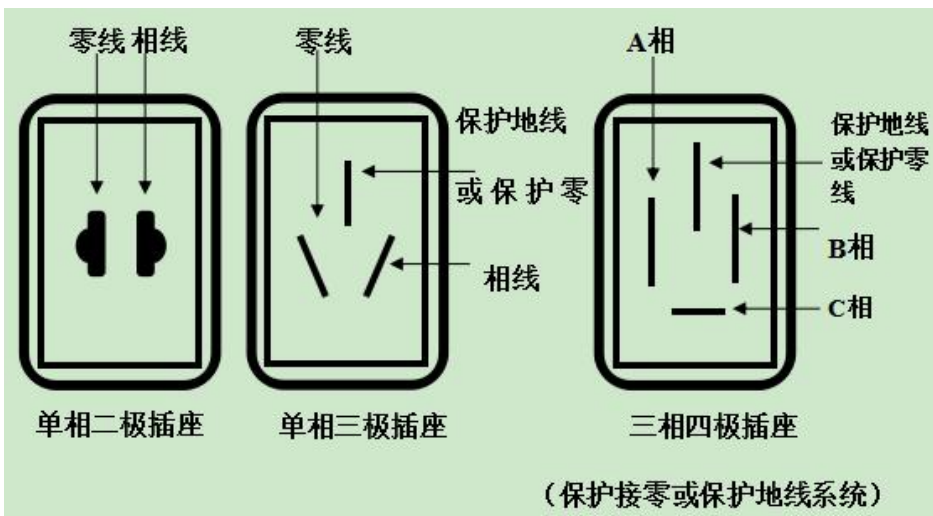


图 2-33 插座的安全防护技术

### 5. 等电位联结

等电位联结：是使电气装置各外露可导电部分和装置外可导电部分电位基本相等的一种电气联结。其作用在于降低接触电压，以保障保人身安全。如下图所示。

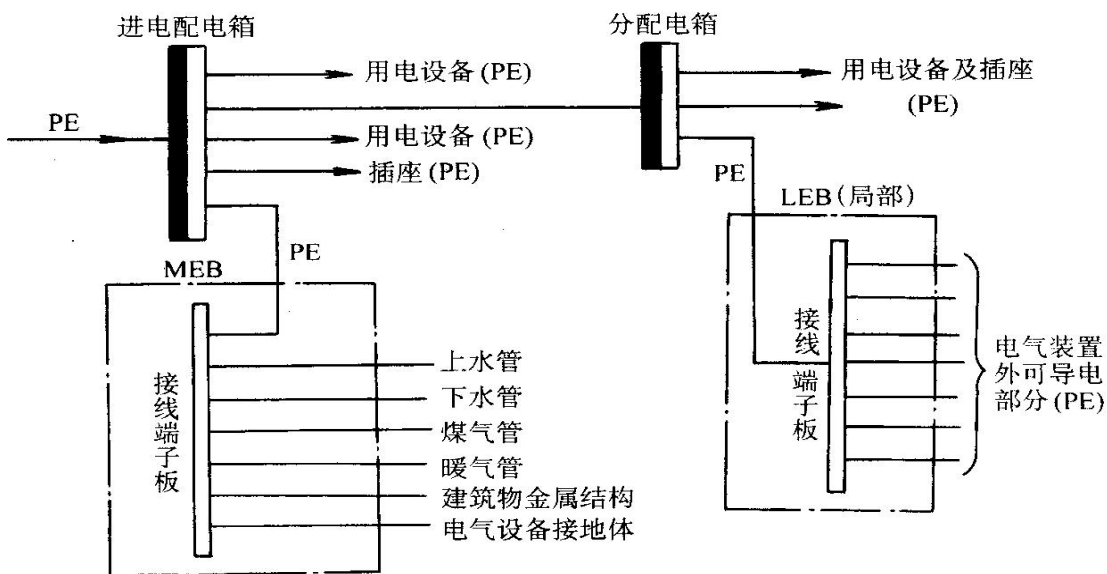


图 2-34 接地体

## 6. 接地装置和保护导体

接地装置由接地体(极)和接地线组成。接地体分为自然接地体和人工接地体；相应地，接地线分为自然接地线和人工接地线。

保护导体包括接地线和其他所有 PE 线和 PEN 线。保护导体各部必须连接牢固、接触良好；PE 线和 PEN 线上不装设单极开关或熔断器。

## 7. 防雷与防静电

静电感应过电压和电磁感应过电压统称为感应过电压。感应过电压和直击雷过电压统称为大气过电压。

由于雷击，在架空输电线路路上产生的冲击电压能以波的形式沿线路两侧迅速传播，构成雷电侵入波。

雷电危害形式的共同特点就是放电时总要伴随机械力、高温和强烈火花的产生。使建筑物破坏，输电线或电气设备损坏，油罐爆炸、堆场着火。黄岛油库因球雷起火，就是一例。

防雷装置：直击雷防护主要是考虑直击雷的遮避及防止反击，主要措施是

采用避雷针，避雷线，避雷网和避雷带等避雷装置。后来又研制了新一代防雷产品——拒雷器、绝缘型磁性引雷针及拒引结合的防雷装置。

避雷器的作用是用来保护电力系统中各种电器设备免受雷电过电压、操作过电压、工频暂态过电压冲击而损坏的一个电器。避雷器的类型主要有保护间隙、阀型避雷器和氧化锌避雷器。

静电防护具体的措施是：静电接地、增湿、加抗静电添加剂、静电中和法、工艺控制法。

## 8. 电磁场的防护

人体在电磁场作用下，会吸收辐射能量，使人体内发生生物学作用，这对人体将造成不同程度的伤害。

人体在一定强度的高频磁场内，所受的伤害主要是中枢神经系统功能失调。表现有神经衰弱症状，植物神经功能失调，同时还有脱发、手指轻微颤抖、皮肤划痕、视力衰退等。在超短波和微波电磁场的作用下情况更加严重。

电磁场防护具体的措施是：根据现场实际情况，采用不同结构形式和不同金属材料的屏蔽装置；改善高频设备的工艺结构和高频设备的配置，并采用高频接地措施，以降低现场的电磁场强度。

### （四）电气火灾的扑救

发生火灾，应立即拨打 119 火警电话报警，向公安消防部门求助。

扑救电气火灾时注意触电危险，为此要先及时切断电源，再通知电力部门派人到现场指导和监护扑救工作。

正确选择使用灭火器：

在扑救尚未确定断电的电气火灾时，应选择适当的灭火器和灭火装置，否则，有可能造成触电事故和更大危害，如使用普通水枪射出的直流水柱和泡沫灭火器射出的导电泡沫会破坏绝缘。通常用四氯化碳和干粉灭火器。

使用四氯化碳灭火器灭火时，灭火人员应站在上风侧，以防中毒；灭火后



空间要注意通风。使用二氧化碳灭火时，当其浓度达 85%时，人就会感到呼吸困难，要注意防止窒息。

## 六、常用电工工具和仪器仪表

### 1. 常用电工工具

电工工具是电气操作的基本工具，工具不规格、质量不好或使用不当，都将影响施工质量、降低工作效率，甚至造成事故。电气操作人员必须掌握常用电工工具的结构、性能和正确的使用方法。

#### (1) 验电笔

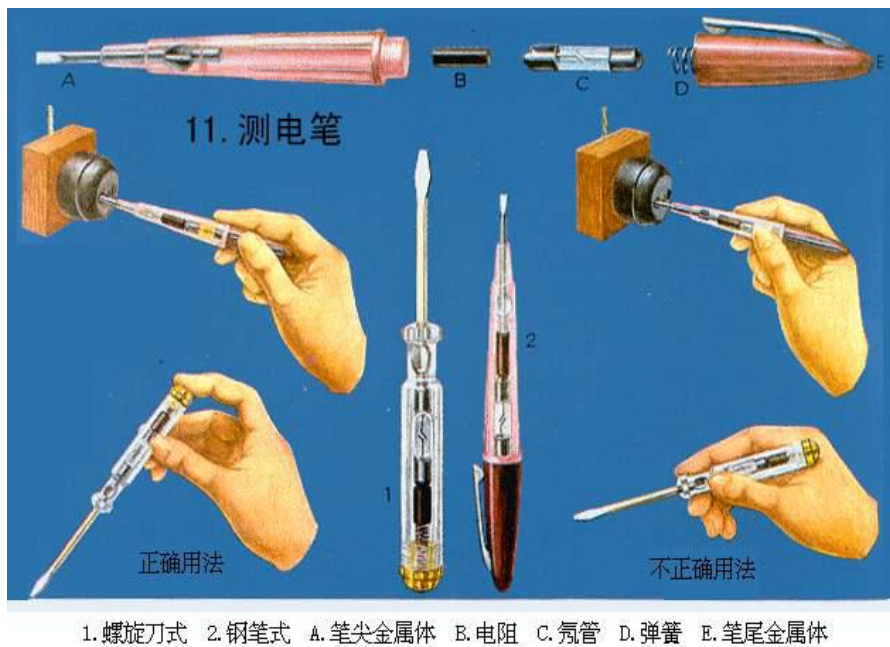


图 2-35 验电笔

#### (2) 螺丝刀

螺丝刀是拆卸或安装坚固螺钉的稳固工具（俗称起子）。根据头部可分为（平头）一字或（梅花）十字两种。如图：

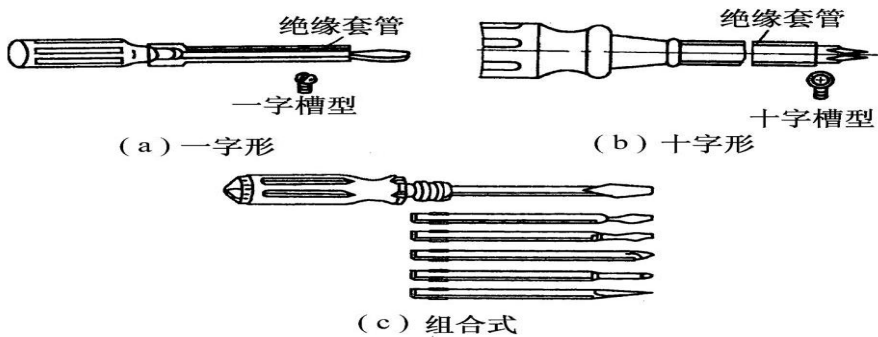


图 2-36 螺丝刀

使用螺丝刀的注意事项:

不可使用金属杆直通柄顶的螺丝刀, 因带电作业时容易引起电线短路及触电的危险。螺丝刀头部应与螺丝尾槽紧密结合, 用力均匀、防止打滑损坏螺丝槽口。

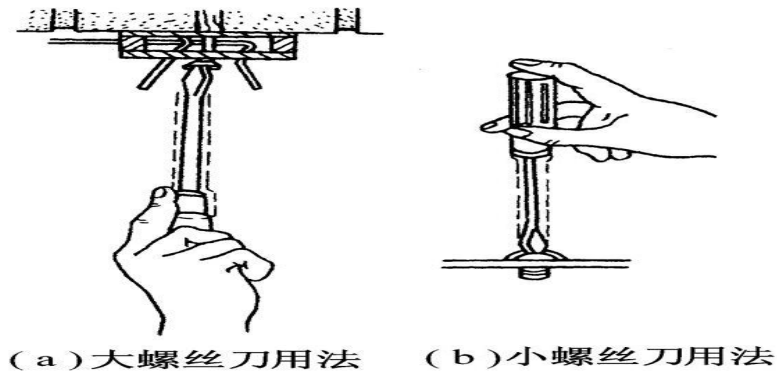


图 2-37 螺丝刀的使用

### (3) 电工刀

电工刀主要用来剖削和切割导线绝缘层及其它电工器材, 电工刀一盘没有绝缘层, 为安全起见禁止带电操作使用。电工刀的结构及使用方法如图:

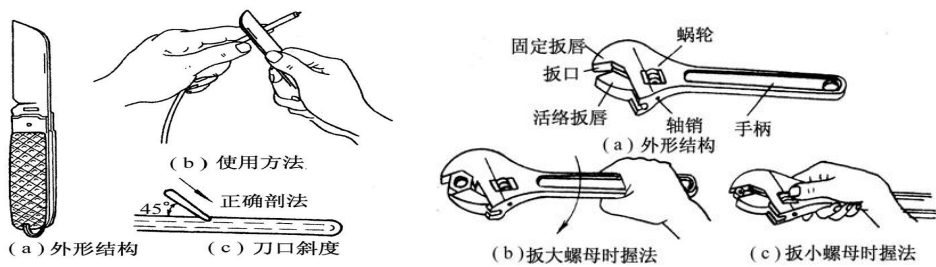


图 2-38 电工刀与活动扳手

#### (4) 活动扳手

活动扳手是紧固或松开螺母的工具，常用活动扳手的规格有：150mm×19mm、200mm×24mm、300mm×36mm 等。使用方法如图：

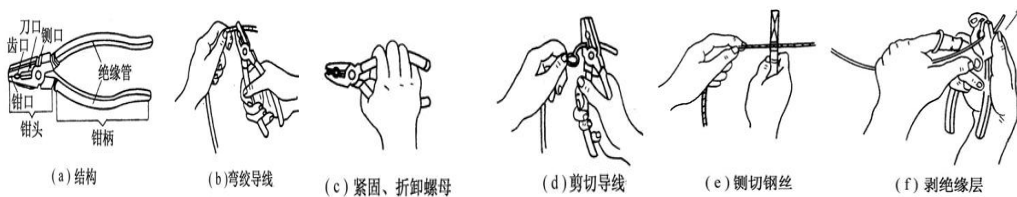


图 2-39 电工钢丝钳

#### (5) 电工钢丝钳

电工钢丝钳又称克丝钳、老虎钳、俗称钳子，有铁柄和绝缘柄两种，电工应使用 500V 以上带绝缘柄的电工钳，其结构及用途如图所示：

使用电工钳的注意事项：

① 使用前应检查钳子的绝缘状况，以免带电操作时发生触电事故。②用钳子剪切导线时，若导线带电，应单根剪切以免发生短路故障。③带电作业时，手与钳子金属部份应保持 2cm 以上的距离，不得触到金属部份。

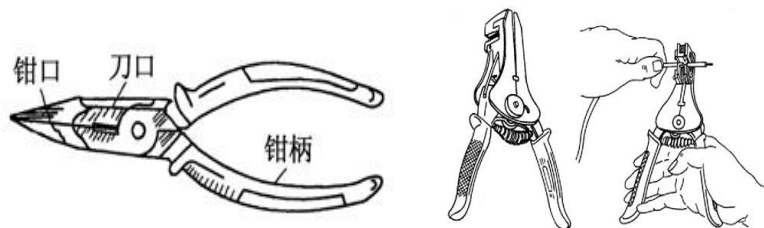


图 2-40 尖嘴钳与剥线钳

### (6) 尖嘴钳

用法和钢丝钳基本一样，主要是用于狭小的操作空间。其结构如图 2-40 所示。

### (7) 剥线钳

剥线钳是用来剥除截面积为 4 平方以下导线端头的绝缘层的专用工具，剥线有 0.5~3mm 的多个切口，使用时应注意选择切口直径，使切口与导线匹配，否则达不到理想的切口效果。结构及使用方法如图 2-40 所示。

### (8) 斜口钳：

斜口钳又称断线钳，主要用来剪断导线。其结构如图所示。



图 2-41 斜口钳

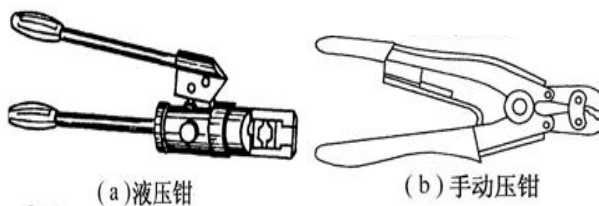


图 2-42 压线钳

### (9) 压线钳

压线钳分为手动压钳和手动液压钳两种，用于导线或电缆的连接，不同规格的导线应用不同规格的铜线耳端子或铜线直通进行连接。液压钳及手动压线钳的结构如图 2-42 所示：

### (10) 手电钻及冲击电钻

电钻分为手电钻和冲击钻两种，将钻头装好后可在建筑物或工件上钻孔，普通手电只能旋转无冲击动作，适用于工件上无冲击的转孔工作。冲击电钻有旋转也有冲击动作，可在建筑墙体或水泥板上钻孔，视功率大小可钻 6 厘或 20 厘等孔径。其外型结构如右图 2-43 所示：

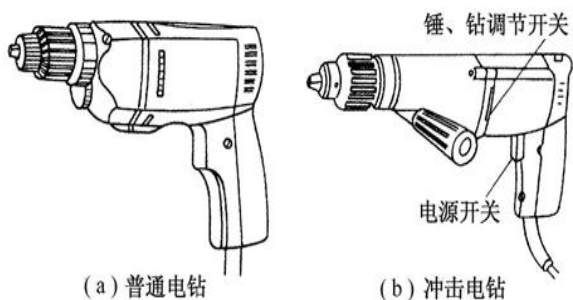


图 2-43 手电钻

### (11) 脚扣及安全带

脚扣及安全带是电工登杆及高空作业时的必备工具，脚扣一般和安全带配合使用，脚扣分木杆脚扣和水泥杆脚扣两种，由脚和防弧形扣环组成，可调节扣环大小。安全带由腰带和保险带组成，高空作业时一定要扣好安全带方可进行作业，而且安全带不可以扣在可移动的物体或梯子上，脚扣及安全带的结构使用如下图所示：

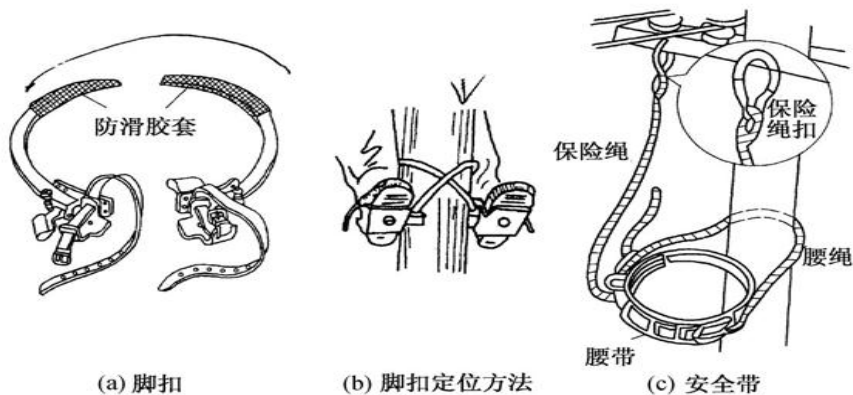


图 2-44 脚扣和安全带

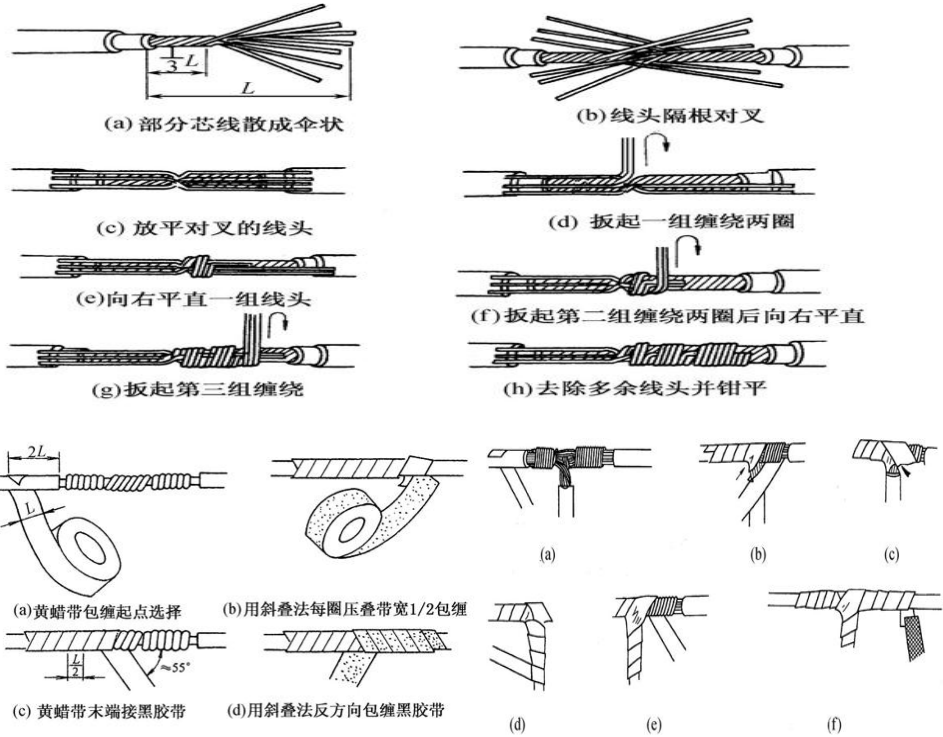


图 2-45 导线连接方式和胶带使用方式

## 2. 常用电工仪器仪表

电工仪表主要用于测量线路电流、电压、电阻、电能、功率及电器线路安全，在电器线路故障检修起到重大作用。仪表有万用表、钳型电流表、欧表、接地电阻测量仪等。

### (1) 电工仪表的分类

按测量方法可分为比较式和直读式两类。

按被测量的种类可分为电流表、电压表、功率表、频率表、相位表等。

按电流的种类可分为直流、交流和交直流两用仪表。

按工作原理可分为磁电式、电磁式、电动式仪表等。

按显示方法可分为指针式（模拟式）和数字式。

指针式仪表用指针和刻度盘指示被测量的数值。


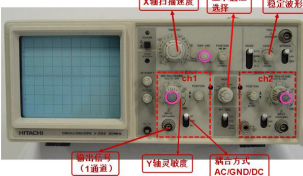

数字式仪表先将被测量的模拟量转化为数字量，然后用数字显示被测量的

数值。

按准确度可分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 共 7 个等级。

(2) 常用电工仪器仪表

仪器仪表	设备图示	功能及用途
万用表		<p>多功能、多量程的便携式电工仪表，又叫多用表、三用表，一般可以测量直流电流、直流电压、交流电压、电阻、音频电平等，有些还可以测量三极管的直流放大系数。</p>
数字万用表		<p>数字万用表可用于测量交直流电压、电流，也可测量电阻、电容和半导体的一些参数等。</p>
毫伏表		<p>毫伏表是用于测量正弦交流信号电压大小的电压表，其读数为被测电压的有效值。</p>
数字多用表		<p>测量电压、电流、电阻；所测电压、电流信号可以是直流（DC），也可以是交流（AC）；交流信号测量值为有效值。</p>
钳形电流表		<p>主要用于在不剪断导线的情况下直接测量电路中的交流电流。使用中只要选好量程，将待测电流的导线穿过钳口中间即可读数。</p>
摇表	 <p>(a) 外形 (b) 测量线路对地绝缘电阻</p>	<p>欧表的接线端钮有 3 个，分别标有“G（屏）”、“L（线）”、“E（地）”。被测的电阻接在 L 和 E 之间，G 端的作用是为了消除表表面 L、E 两端间的漏电和被测绝缘物表面漏电的影响。在进行一般测量时，把被测绝缘物接在 L、E 之间即可。但测量表面不干净或潮湿的对象时，为了准确地测出绝缘材料内部的绝缘电阻，就必须使用 G 端。</p>

函数信号发生器		产生信号（正弦波、三角波、方波）输出。
模拟示波器		显示外接信号波形（可以同时显示两路信号） 本身不产生信号。
数字示波器		示波器是用于观察各种电信号的波形并测量电压的幅值、频率和相位等综合参数的测量仪器。



## 2.2 电力拖动控制线路

### 一、电力拖动概述

1. 定义：电力拖动指用电动机拖动生产机械的工作机构，使之运转的一种方法。

### 2. 电力拖动系统组成

电源：电动机和控制设备的能源，分为交流电源和直流电源。

控制设备：用来控制电动机的运转，由各种控制电动机、电器、自动化元件及工业控制计算机组成。

电动机：生产机械的原动机，将电能转换成机械能。分交流电动机和直流电动机。



图 2-46 车床操作工正在车削工件



图 2-47 磨床操作工正在磨削工件

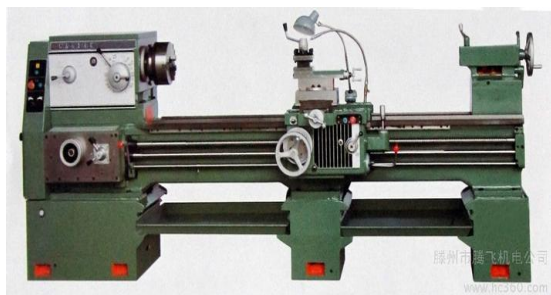


图 2-48 车床



图 2-49 铣床

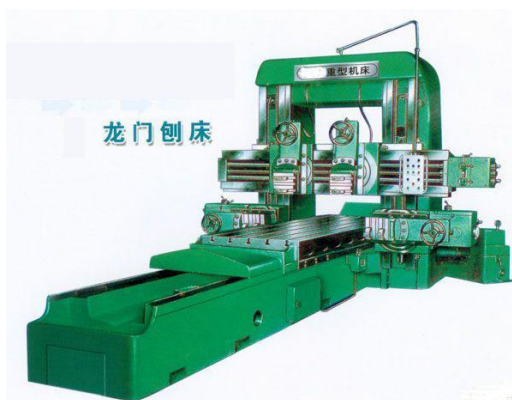
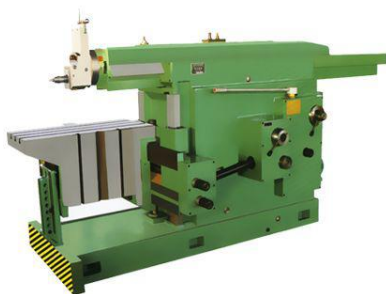


图 2-50 刨床



图 2-51 钻床

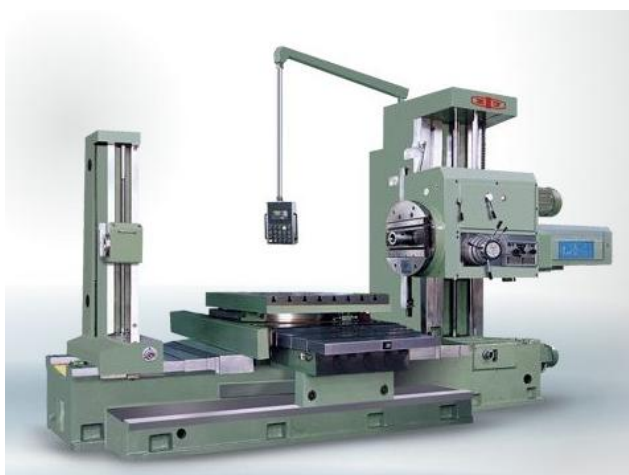


图 2-52 镗床

### 3. 应用例子

各种机床的控制线路。车床、铣床、刨床、磨床、钻床等，如图所示。

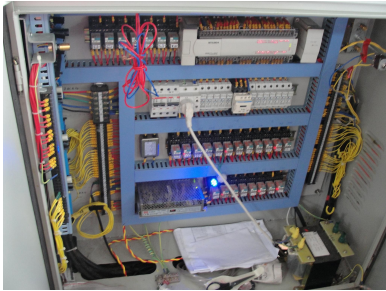


图 2-53 机床控制线路



图 2-54 电气控制柜

## 二、常见低压电器

### 1. 定义

电器就是一种能根据外界的信号和要求，手动或自动的接通或断开电路，实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测和调节的元件或设备。

### 2. 分类

根据工作电压的高低，电器可分为：高压电器和低压电器。

低压电器：指工作在交流额定电压 1200V 及以下、直流额定电压 1500V 以下，工作在此值以上的电器称为高压电器。

### 3. 低压电器元件

(1) 熔断器：主要用作短路保护的电器。



图 2-55 熔断器

(2) 低压开关：主要用作隔离、转换及接通和分断电路用。



图 2-56 低压开关

(3) 主令电器：用作接通或断开控制电路，以发出指令或作程序控制的开关电器。常用的有按钮、位置开关、万能转换开关。



图 2-57 主令电器

(4) 接触器：一种自动的电磁开关，可实现远距离频繁地接通和断开电路。分为交流接触器和直流接触器。



图 2-58 接触器

(5) 热过载继电器：利用电流的热效应而动作的继电器，主要起过载保护。



图 2-59 热继电器

(6) 时间继电器：自得到信号到触头动作需要一定时间，该延时时间又符合其精度要求的继电器。



图 2-60 时间继电器

(2) 中间继电器：用于继电保护与自动控制系统中，以增加触点的数量及容量。



图 2-61 中间继电器

#### 4. 常见低压电器符号

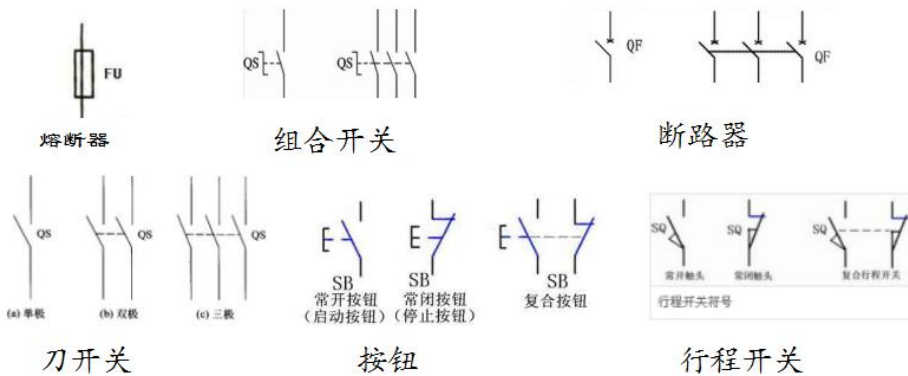


图 2-62 常见低压电器符号

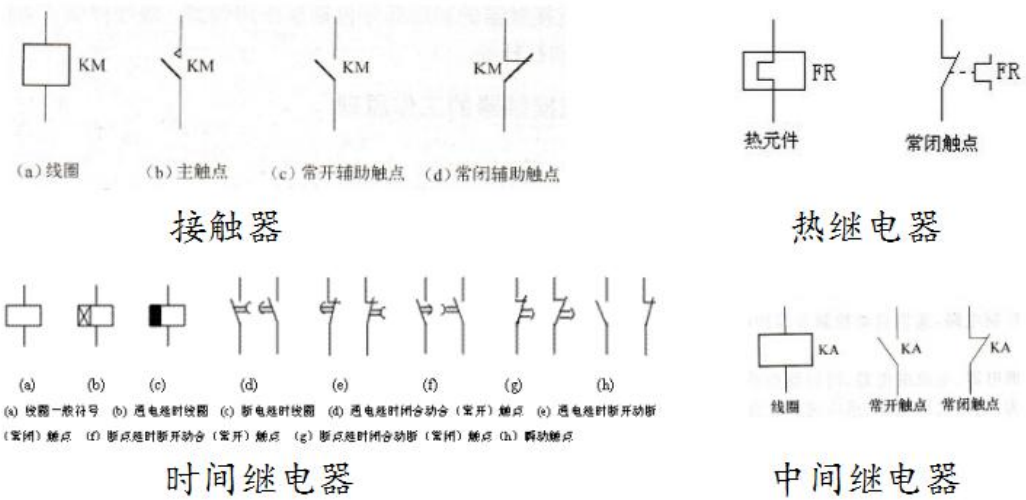


图 2-63 常见低压电器符号

### 三、可编程控制器

#### 1. 可编程控制器

简称 PLC，是在继电器控制的基础上生产的一种新型的工业控制装置，是将微型计算机技术、自动化技术及通信技术融位一体，应用到工业控制领域的一种高可靠性控制器，是当代工业生产自动化的重要支柱。



图 2-64 PLC

#### 2. 可编程控制器的特点

现代工业生产是复杂多样的，它们对控制的要求也各个要求不相同。可编程程序控制器一经出现就受到了广大工程技术人员的欢迎。它们的主要特点如下：

### (1) 抗干扰能力强，可靠性高

微机虽然具有很强的功能，但抗干扰能力差，工业现场的电磁干扰，电源波动，机械震动，温度和湿度的变化，都可以使一般通用微机不能正常工作。而 PLC 在电子线路、机械结构以及软件结构上都吸取生产厂家厂家积累的生产控制经验，主要模块均采用大规模与超大规模集成电路，I/O 系统设计有完善的通道保护与信号调理电路；在结构上对耐热、防潮、防尘、抗震等都有精确考虑；在硬件上采用隔离、屏蔽、滤波、接地、等抗干扰措施；在软件上采用数字滤波等抗干扰和故障诊断措施；所以这些使 PLC 具有较高的干扰能力。PLC 的平均无故障时间通常在几万小时以上，这是一般微机不能比拟的。

### (2) 在线修改程序

同一个 PLC 装置用于不同的控制对象，只是输入输出组件和应用软件的不同。PLC 的输入输出可直接与交流 220 V，直流 24 V 等强电相连，并具有较强的带负载能力。

### (3) 编程方便，易于使用

PLC 是面向用户的设备，PLC 的设计者充分考虑到现场工程技术人员的技能和习惯，PLC 程序的编制，采用梯形图或面向工业控制的简单指令形式。梯形图与继电器原理图相类似，这种编程语言形象直观，容易掌握，不需要专门的计算机知识和语言，只要具有一定的电工和工艺知识的人员都可在短时间学会。

### (4) 功能完善

PLC 的输入输出系统功能完善，性能可靠，能够适应于各种形式和性质的开关量和模拟量的输入输出。在 PLC 内部具备许多控制功能，诸如时序、计算器、主控继电器以及移位寄存器、中间寄存器等。由于采用了微处理器，它能够很方便地实现延时、锁存、比较 跳转和强制 I/O 等诸多功能，不仅具有逻辑运算、算术运算、数制转换以及顺序控制功能，而且还具备模拟运算、显示、



监控、打印及报表生成功能。此外，它还可以和其他微机系统、控制设备共同组成分布式或分散式控制系统，还能实现成组数据传送、矩阵运算、闭环控制、排序与查表、函数运算及快速中断等功能。因此 PLC 具有极强的适应性，能够很好得满足各种类型控制的需要。

#### （5）设计、施工、调试的周期短

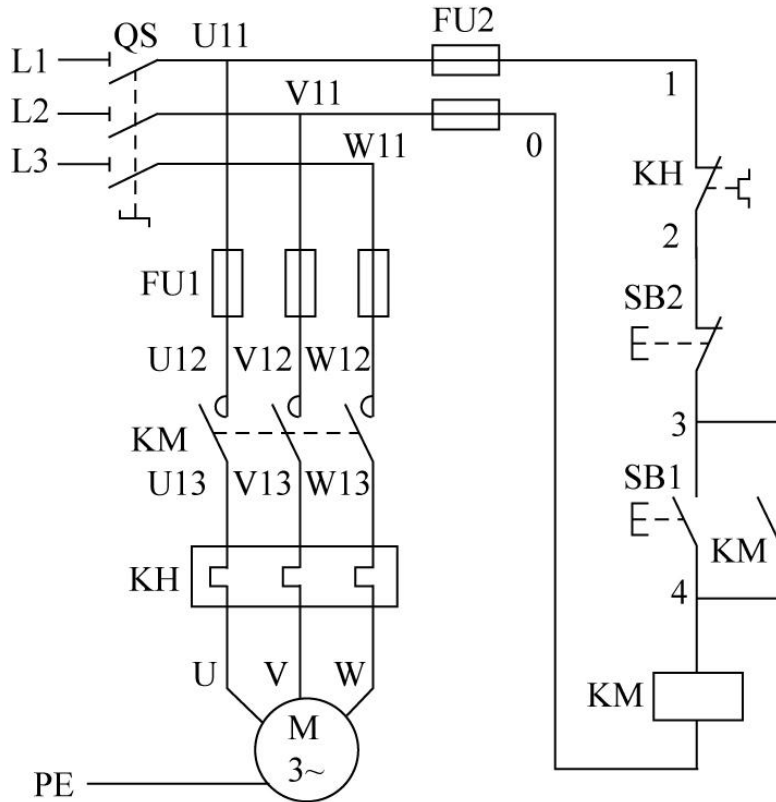
用继电器控制完成一项控制工程，必须首先按工艺要求画出电气原理图，然后画出继电器屏（柜）的布置和接线图等，进行安装调试，以后修改起来十分不便。而采用 PLC 控制，由于其硬软件齐全，为模块化积木式结构，且已商品化，故仅需要按性能、容量（输入输出点数、内存大小）等选用组装，而大量具体的程序编制工作也可以在 PLC 到货前进行，因而缩短了设计周期。使设计和施工可同时进行。由于用软件编程取代了硬接线实现控制功能，大大减轻了繁重的安装接线工作，缩短了施工周期。因为 PLC 是通过程序完成控制任务的，采用了方便用户的工业编程语言，且都具有强制和仿真的功能，故程序的设计、修改和调试都很方便，这样可大大缩短设计和投运周期。

#### （6）体积小，维护操作方便

PLC 体积小，质量轻，便于安装。PLC 的输入输出系统能够直观地反应现场信号的变化状态，还能通过各种方式直观地反映控制系统的运行状态，如内部工作状态、通讯状态。

## 四、实验项目

### 1. 带过载保护的电动机连续正转线路



Y112M-4 4kW  $\Delta$ 形接法, 380V, 8.8A, 1440r/min

图 2-64 带过载保护的电动机连续正转线路

要求:

- ①按图安装电动机控制线路, 2 人一组, 注意分工合作, 互相配合。
- ②注意用电安全: 强电实验一定要规范操作, 通电前要仔细检查线路及相关人员, 通电后不要随意触碰。
- ③实验结束拆除线路接线, 注意接线和拆线都必须在切断电源的情况下进行。
- ④实验打分: 指导教师按照实验完成情况评定。

### 2. 可编程控制器 (PLC) 应用

编制电动机连续正转的 PLC 程序，并进行实物接线、调试和试车。

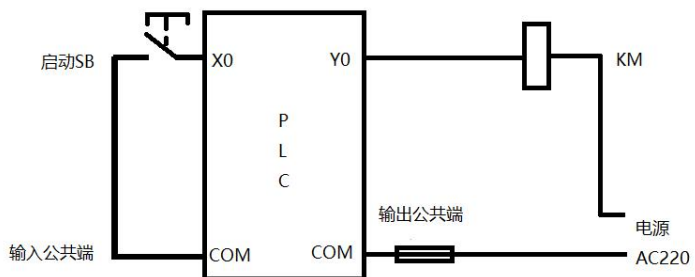


图 2-65 PLC 外部接线图

要求：2 人一组，按照要求打开编程软件进行程序录入。接线时确保电源是断开状态，通电前告知老师。

## 2.3 实用电子技术

### 一、常用电子元器件

#### 1. 电阻器

在物理学中表示导体对电流阻碍作用的大小。导体的电阻越大,表示导体对电流的阻碍作用越大。符号为R,单位为欧姆( $\Omega$ )。



图 2-66 电阻

#### 色环电阻识别

色 标	代表数	第一环	第二环	第三环	%	第五环	字母
棕	1	1	1	1	10	$\pm 1$	F
红	2	2	2	2	100	$\pm 2$	G
橙	3	3	3	3	1K		
黄	4	4	4	4	10K		
绿	5	5	5	5	100K	$\pm 0.5$	D
兰	6	6	6	6	1M	$\pm 0.25$	C
紫	7	7	7	7	10M	$\pm 0.1$	B
灰	8	8	8	8		$\pm 0.05$	A
白	9	9	9	9			
黑	0	0	0	0	1		
金	0.1				0.1	$\pm 5$	J
银	0.01				0.01	$\pm 10$	K
无		第一环	第二环	第三环	第四环	$\pm 20$	M

图 2-67 色环电阻识别的色码表

2. 电容器: 通常简称其容纳电荷的本领为电容, 用字母C表示。



图 2-68 电容

### (1) 直标法

用数字和单位符号直接标出。如  $1\mu\text{F}$  表示 1 微法，有些电容用“R”表示小数点，如 R56 表示 0.56 微法。

### (2) 文字符号法

用数字和文字符号有规律的组合来表示容量。如 p10 表示  $0.1\text{pF}$ 、 $1\text{p}0$  表示  $1\text{pF}$ 、6P8 表示  $6.8\text{pF}$ 、 $2\text{u}2$  表示  $2.2\mu\text{F}$ 。

### (3) 色标法

用色环或色点表示电容器的主要参数。电容器的色标法与电阻相同。

电容器偏差标志符号： $+100\%-0$ --H、 $+100\%-10$ --R、 $+50\%-10$ --T、 $+30\%-10$ --Q、 $+50\%-20$ --S、 $+80\%-20$ --Z。

### (4) 数学计数法

数学计数法一般是三位数字，第一位和第二位数字为有效数字，第三位数字为倍数。标值 272，容量就是： $27 \times 10^2 = 2700\text{pF}$ 。如果标值 473，即为  $47 \times 10^3 = 47000\text{pF}$ （后面的 2、3，都表示 10 的多少次方）。又如： $332 = 33 \times 10^2 = 3300\text{pF}$ 。电容器如何命名 各国电容器的型号命名都很不统一，国产电容器的型号一般有四部分组成（不适用于压敏电容器、可变电容器和真

空电容器) 依次分别代表名称、材料、分类和序号。

### 3. 电感器

能够把电能转化为磁能而存储起来的元件。电感器的结构类似于变压器，但只有一个绕组。又称扼流器、电抗器、动态电抗器。



图 2-69 电感

电感器参数表示：电感器电感量的大小，主要取决于线圈的圈数（匝数）、绕制方式、有无磁心及磁心的材料等等。通常，线圈圈数越多、绕制的线圈越密集，电感量就越大。有磁心的线圈比无磁心的线圈电感量大；磁心导磁率越大的线圈，电感量也越大。

电感量的基本单位是亨利（简称亨），用字母“H”表示。常用的单位还有毫亨（mH）和微亨（ $\mu\text{H}$ ），它们之间的关系是： $1\text{H}=1000\text{mH}$ ， $1\text{mH}=1000\mu\text{H}$ 。

### 4. 二极管

电子元件当中，一种具有两个电极的装置，只允许电流由单一方向流过，许多的使用是应用其整流的功能。



图 2-70 二极管

## 二、SMT（表面安装）技术

### 1. SMT 技术

早期的电路板上电子元件的安装形式大多是以分立元件为主，而电路板一般以单面板和双面板居多，在过去的十几年里，随着 PCB（印刷电路板）技术的发展，已经出现多层电路板，有的电路板甚至达到 10 层以上，实现了功能多样化并高度集成化，电子产品制造技术已经全面采用以 SMT，即表面安装技术为核心的第四代主流工艺技术，是使用 SMT 技术生产的产品已经在总量中占有绝对多数。

图 2-71 为一块采用 SMT 技术生产的电路板，它的特点是全部元器件采用表面贴焊的方式装配的电路板上，电子元器件不但体积变得非常小巧，引脚也发生了很大的变化。

贴片式电阻器和电容器是按照它们的尺寸来分类的。例如 1206 系列元件，长 0.12 英寸，宽 0.06 英寸，约合 3.2mm 长，1.6mm 宽，类似的还有 0805、0603、0402 系列，0201 系列的元件，比一粒芝麻的体积还小。

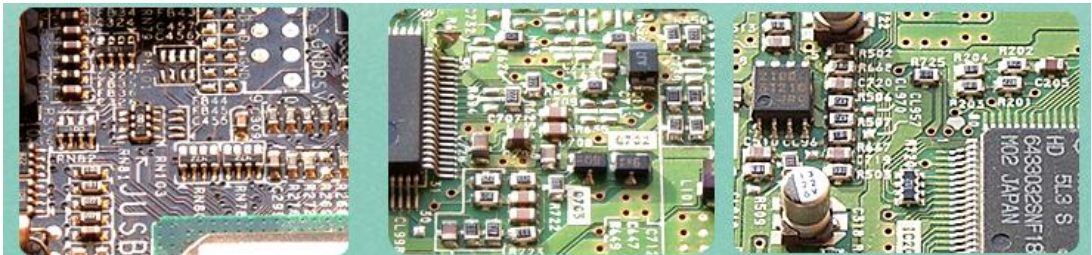


图 2-71 SMT 生产的电路板

### 2. SMT 贴片元器件

下图中展示了几种贴片集成电路。

### (1) SOP 封装

贴片式集成电路按照不同的封装方式可以分成几类：芯片宽度小于 0.15 英寸，电极引脚数目小于 18 脚的叫做 SOP 封装；0.25 英寸宽的，电极引脚数目在 20 脚以上的叫做 SOL 封装，这两种都为小外形封装。

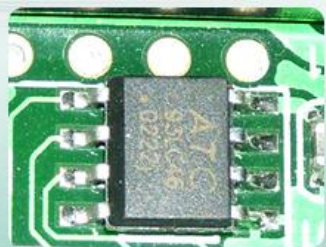
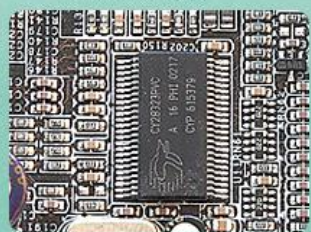


图 2-72 SOP 封装

### (2) SOL 封装



翼形 SOL 封装集成电路，引脚象鸟翼一样向外伸，翼形焊接检测方便，占用印制板面积大些。



钩形 SOL 封装集成电路，引脚向封装体底部两侧勾回。

图 2-73 SOL 封装

### (3) QFP 封装

即四边扁平封装，为四边都有电极引脚的矩形封装。芯片引线间距小的为 0.3 mm，引脚数可达 567 条，普遍用于专用集成电路、逻辑电路等大规模集成电路。

在装配焊接时，对贴装的精度要求非常严格，偏差不得大于 0.08 mm。



图 2-74 QFP 封装

### (4) PLCC 封装

也是一种矩形封装，其四边向封装体底部弯成钩形。PLCC 封装的集成电路引脚数有 18 ~ 84 条，大多是可编程的存储器。PLCC 芯片安装在专用的插座上，取下改写其中的数据很方便。

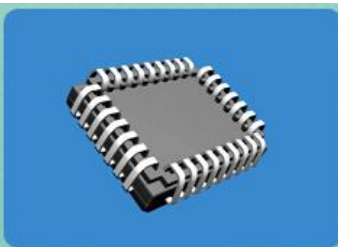


图 2-75 PLCC 封装



### (5) BGA 封装

它将 PLCC 封装的钩形电极引脚改变成球形，在芯片本体下面形成全平面式的栅格阵列，既可疏散电极引脚的间距，又能够增加引脚的数目。降低了精度要求，减少了焊接缺陷，还能显著地缩小芯片的封装表面积。在功能相同条件下，采用 BGA 封装的尺寸要比 QFP 小得多，有利于在印制电路板上提高装配的密度。

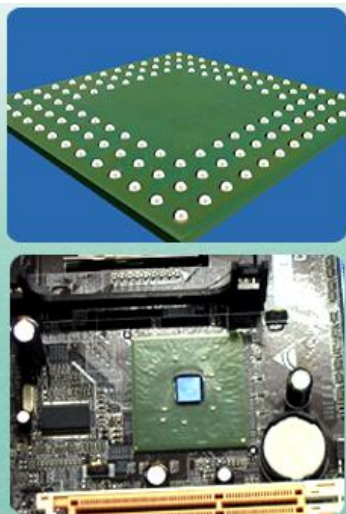


图 2-76 BGA 封装

### 3. SMT 电路板

在 SMT 电路板上。为适应 SMT 工艺的要求，传统的阻容元件、电感元件、二极管、三极管、开关、插座等改变了形状。通孔——这个在双面印刷板上最常用的装配方式在采用表面装配方式的电路板上，仅用于连接不同板层的印制导线，不再用来插装元器件。因此，在 SMT 印制电路板上。孔的数量要少得多，孔径也小得多，从而极大的提高了电路板的装配密度。

在传统的印制电路板上，元器件和焊点分别在板的两面，而在 SMT 电路板上，焊点和元器件处在相同的层面。



图 2-77 SMT 电路板

#### 4. SMT 产品生产过程

SMT 产品生产过程包含图中 9 个步骤。



图 2-78 SMT 产品生产过程

### 三、手工焊接技术

#### 1. 电烙铁

电烙铁分为外热式和内热式两种。

外热式电烙铁由烙铁头、烙铁芯、外壳、木柄、电源引线、插头等部分组成。由于烙铁头安装在烙铁芯里面，故称为外热式电烙铁。烙铁芯是电烙铁的关键部件，它是将电热丝平行地绕制在一根空心瓷管上构成，中间的云母片绝缘，并引出两根导线与 220V 交流电源连接。外热式电烙铁的规格很多，常用的有 25W、45W、75W、100W 等，功率越大烙铁头的温度也就越高。

内热式电烙铁由手柄、连接杆、弹簧夹、烙铁芯、烙铁头组成。由于烙铁芯安装在烙铁头里面，因而发热快，热利用率高，因此，称为内热式电烙铁。内热式电烙铁的常用规格为 20W、50W 几种。由于它的热效率高，20W 内热式电烙铁就相当于 40W 左右的外热式电烙铁。

内热式电烙铁的后端是空心的，用于套接在连接杆上，并且用弹簧夹固定，当需要更换烙铁头时，必须先将弹簧夹退出，同时用钳子夹住烙铁头的前端，慢慢地拔出，切记不能用力过猛，以免损坏连接杆。



图 2-79 电烙铁

## 2. 电烙铁的握法

常见的电烙铁握法有以下 3 种。a 反握法、b 正握法、c 握笔法。

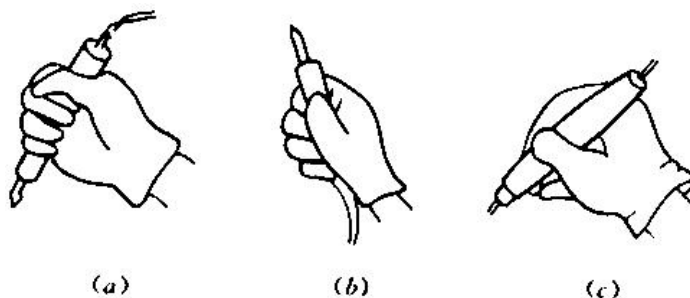


图 2-80 电烙铁的握法

## 3. 手工焊接步骤（五步法）

①准备施焊 准备好焊锡丝和烙铁。此时特别强调的施烙铁头部要保持干净，即可以沾上焊锡（俗称吃锡）。

②加热焊件 将烙铁接触焊接点，注意首先要保持烙铁加热焊件各部分，例如印制板上引线和焊盘都使之受热，其次要注意让烙铁头的扁平部分（较大部分）接触热容量较大的焊件，烙铁头的侧面或边缘部分接触热容量较小的焊件，以保持焊件均匀受热。

③熔化焊料 当焊件加热到能熔化焊料的温度后将焊丝置于焊点，焊料开始熔化并润湿焊点。

④移开焊锡 当熔化一定量的焊锡后将焊锡丝移开。

⑤移开烙铁 当焊锡完全润湿焊点后移开烙铁，注意移开烙铁的方向应该是大致  $45^\circ$  的方向。

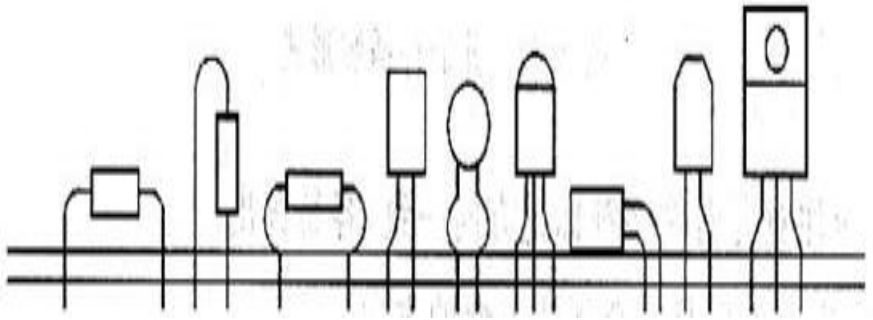


图 2-81 印制板上的元器件引线成型

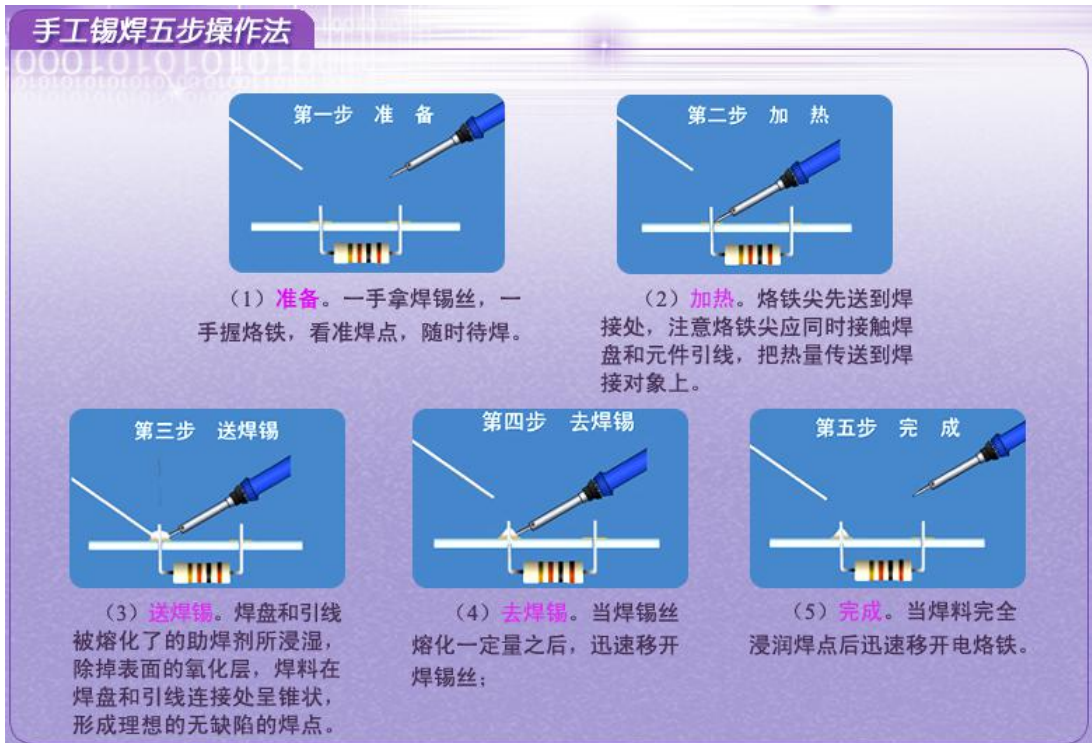


图 2-82 手工焊接的五步法

#### 4. 手工焊接质量

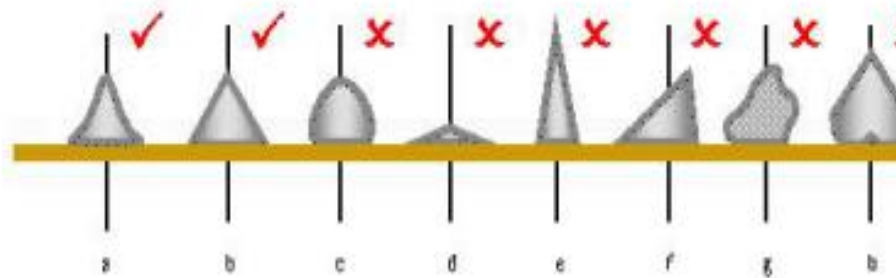


图 2-83 焊点质量



图 2-84 焊点质量



图 2-85 焊点质量

## 四、单片机技术应用

### 1. 单片机

单片机 (Microcontrollers) 是一种集成电路芯片，是采用超大规模集成电路技术把具有数据处理能力的中央处理器 CPU、随机存储器 RAM、只读存储器 ROM、多种 I/O 口和中断系统、定时器/计数器等功能集成到一块硅片上构成的一个小而完善的微型计算机系统。

### 2. 应用范围

仪器仪表、家用电器、医用设备、航空航天、专用设备的智能化管理及过程控制等领域。

### 3. 单片机应用系统组成

直流电源、单片机、时钟模块（晶振和谐振电容）和复位电路。

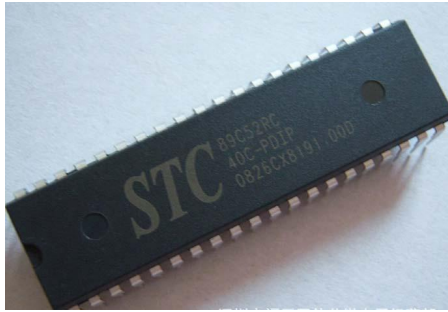


图 2-86 STC 单片机

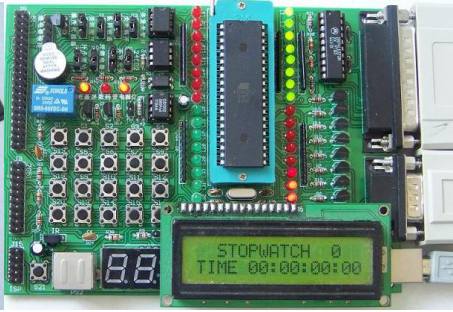


图 2-87 单片机开发板

## 五、电子焊接实验

据图所示，按照要求完成电路装配。

注意事项：

- ①通电后电烙铁很热，注意不要接触烙铁头，以防烫伤。
- ② 555 芯片在安装时必须先装底座。
- ③芯片管脚不要装错，分清发光二极管的管脚极性。

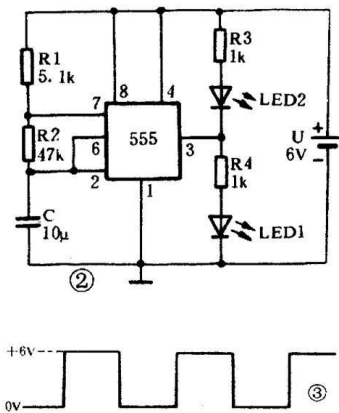


图 2-88 555 闪烁电路

# 项目三 车辆工程认知

## 3.1 车辆工程概述

### 一、中国汽车发展史

1953 年第一汽车制造破土动工，这是中国有史以来第一次建设自己的汽车厂。

1956 年我国生产的第一辆汽车下线，毛泽东又亲自为其命名——解放。

1956 年 5 月第一汽车制造厂试制成功（东风）牌轿车，送往北京向党的人大献礼，这是中国自制的的第一辆轿车。造出东风后的 4 个月，一汽就造出了造型精美具有民族特色，实用性较好的高级轿车红旗。

1965 年 9 月 19 日一辆崭新的红旗 770 型三排座样车开进北京，该车长 5.7 米，内饰精美。

1969 年 10 月，我国第一台 32 吨矿用自卸车在沪问世。

1984 年—1987 年，为了迅速提高中国轿车生产能力和技术水平，我国汽车工业开始走上和国外汽车企业合作引进消化外国先进技术的发展道路。

### 二、汽车前沿知识

电子新技术在汽车电子技术的发展相比汽车机械类技术的发展要快得多可谓日新月异。各种新奇电子设备让人目不暇接，往往让人们面对新车那一堆电子设备而无所适从那么就让我们来一一分解。

#### 1. 自动泊车科技

用来造福人类的并让我们的生活变得更加简单快捷车辆的自动泊车系统对于新手而言绝对是个好东西。常见的自动泊车系统的基本原理是基于车辆的四距离传感器的低速开过有空缺车位的一排停车位传感器扫描到有空缺的车位足够可以放下这辆车的话人工就可以启动自动泊车程序。将回波的距离数据发送给中央计算机并由中央计算机控制车辆的转向机构，但是仍然需要人工来



控制油门，因此并不是全自动的。但这种设备的确使顺列式驻车更加容易，尽管驾驶员仍然必须踩着制动踏板控制车速。有些车辆现在已经可以实现全自动泊车，但是只限于横列和纵列的标准车位这些车辆可以由人下车来操作按动按钮车辆就可以实现完全自动的泊车入位。

## 2. 智能灯光系统

我们知道，汽车在行驶过程中是需要灯光来照明的，新科技灯光系统则让前路照得更光明。比如有些车辆的智能灯光系统是可以根据对面来车的距离来自动控制左侧灯光的高低角度和照射强度的，一旦错车完成将会立即恢复原有灯光角度位置和亮度。而有些车辆更是在远光未开启的情况下，通过前照雷达探测，如果探测到障碍物，如停泊或慢速行驶在主路上的车辆或者行人时，自动将远光打向无限远角度，提醒驾驶者注意前方情况。

## 3. 安全新技术行车安全系统

汽车驾驶中最需要重视的环节毕竟人的生命只有一次。如何保护驾驶者和与行车相关人员的安全，如何突破传统的汽车安全技术成为厂商日益需要认真思考的问题。疲劳驾驶是造成大多数交通事故的主要元凶之一据统计绝大多数的交通事故都与疲劳驾驶有关。因此在如何防止疲劳驾驶的技术上，欧美各大车厂都投入了很大的研发力度，各大车厂的研发成果总体而言都是针对驾驶者的状态侦测从而获得判断驾驶者是否疲劳的数据，如果系统认为此时驾驶者处于疲劳驾驶状态，则会启动相应的程序。奔驰的技术是在方向盘内部的传感器可以感应我们对航向纠正的速率和频度。如果它感应到我们对方向的掌控变得迟钝，并且已经连续行驶超过2个小时以上时会提醒驾驶者需要休息，这个时候会在仪表盘中央的显示屏上显示一个小咖啡杯的图标，要想让这个图标消失除非我们停车熄火再着车。日本丰田开发的系统是针对驾驶者眼部的侦测内置在驾驶者前方的摄像头会记录驾驶者的眼部状态，如果系统侦测驾驶者的眼睛已经闭上车内会立即发出警报提醒驾驶者。

#### 4. 红外夜视系统

夜间行车对于驾驶者来说是最危险的，因为夜间驾驶者的能见度差，汽车灯光的照射范围和明亮度都有限，因此各大车厂纷纷研发如何在黑暗中看清前方的技术。源自军用设备的夜视仪应运而生，这套安全技术可以高亮度显示出前方的行人的细节。车前面安装着一个红外线大灯，大灯发射出不可见的红外线，当发出的红外线遇到障碍后会反射回来，反射回来的红外线被特制摄像机接收到，车内显示屏上所产生效果就像无声黑白电影一样。有些车辆还具有生物识别功能，根据生命体热量比背景热量更高的特点，会自动用红色的框框显示出生命体的位置并用声音提醒驾驶者前方有行人，对于驾驶者有很大帮助。未来这一显示技术还将显示出生命体的前进方向和速度等参数，如果距离车辆过近，或者有可能和车辆发生冲撞它会报警提醒最大限度地避免因视觉盲区造成的交通事故。

## 3.2 汽车底盘构造

底盘作用是支承、安装汽车发动机及其各部件、总成，形成汽车的整体造型，并接受发动机的动力，使汽车产生运动，保证正常行驶。底盘由传动系、行驶系、转向系和制动系四部分组成。

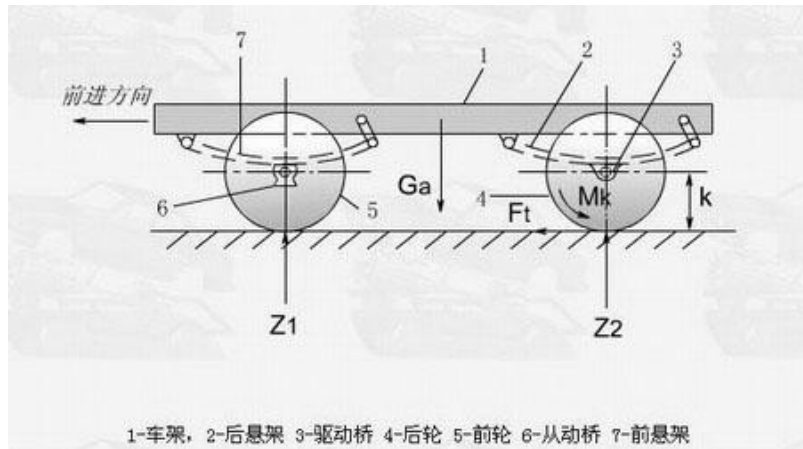


图 3-1 汽车底盘组成

### 一、传动系

传动系一般由离合器、变速器、万向传动装置、主减速器、差速器和半轴等组成。

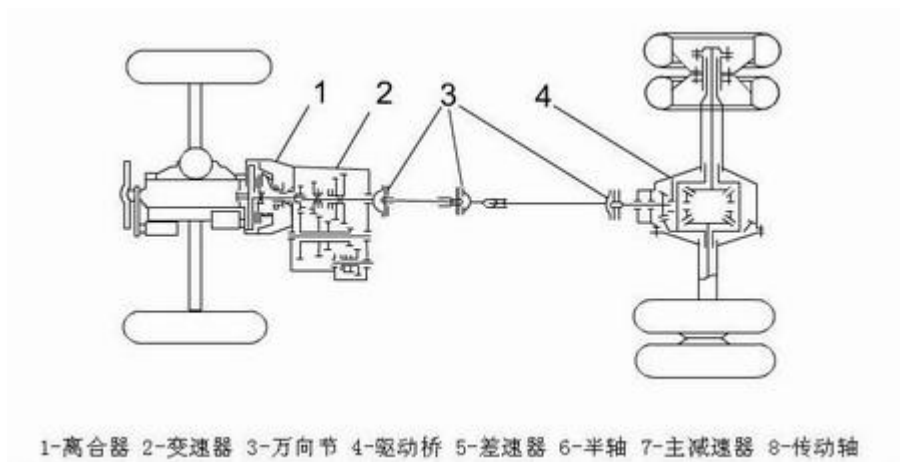


图 3-2 汽车传动系组成

### 1. 传动系的功用

汽车发动机所发出的动力靠传动系传递到驱动车轮。传动系具有减速、变速、倒车、中断动力、轮间差速和轴间差速等功能，与发动机配合工作，能保证汽车在各种工况条件下的正常行驶，并具有良好的动力性和经济性。

### 2. 传动系的种类

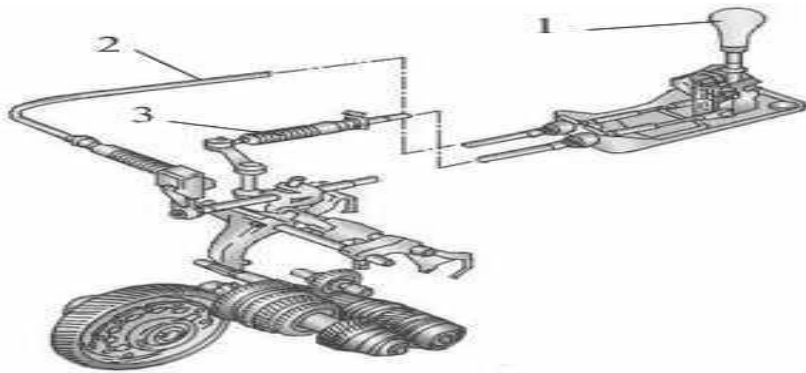
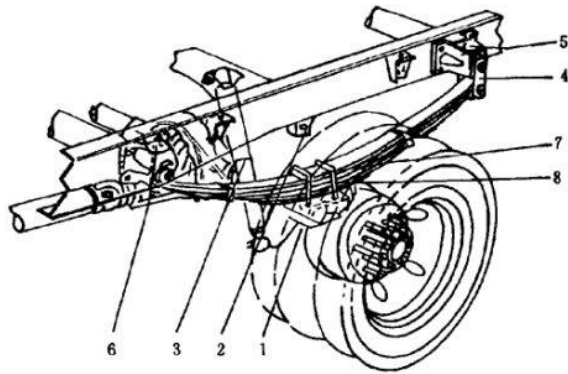


图 3-3 汽车传动系操作机构

传动系可按能量传递方式的不同，划分为机械传动、液力传动、液压传动、电传动等。

## 二、行驶系

汽车行驶系由车架、车桥、悬架、车轮与轮胎四部分组成（如图 3-4）。车轮支承着车桥，车桥又通过弹性悬架与车架相连接。车架是整个汽车的基体，它将汽车的各个相关总成连接成一个整体，构成汽车的装配基础。其作用是将汽车构成一个整体，支承汽车的总质量；将传动系传来的转矩转化为汽车行驶的驱动力；承受并传递路面对车轮的各种反力及力矩；减振缓冲，保证汽车平顺行驶；与转向系配合，正确控制汽车的行驶方向。



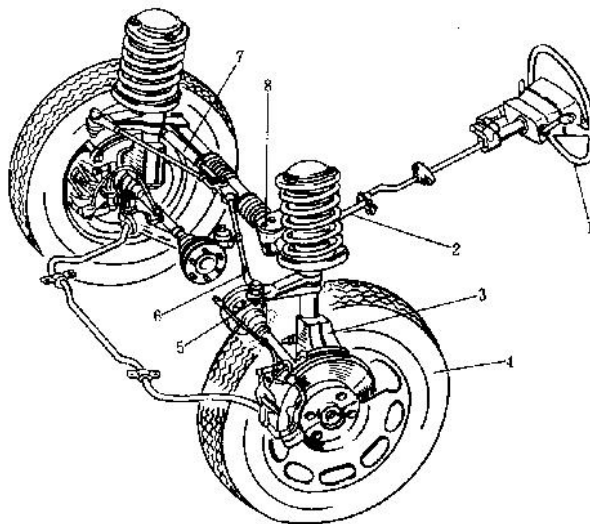
依维柯 S 系列后悬架

1—后钢板弹簧;2—缓冲块;3—减振器;4—吊耳;5—后钢板弹簧后支架;6—前支架;7—盖板;8—U 形螺栓

图 3-4 后悬架组成

### 三、转向系

下图为转向系结构图,主要由转向操纵机构和转向传动机构组成。转向操纵机构包括转向盘 1 和安全转向柱 2,转向传动机构包括转向器 8、左右横拉杆 6、转向节臂 5 和转向节 3 等。



1-转向盘、2-安全转向柱、3-转向节、4-车轮、5-转向节臂、6-左、右横拉杆、7-转向减振器、8-转向器

图 3-5 转向系结构图

汽车转向时，司机转动转向盘，安全转向柱和转向器中的转向齿轮一起转动，带动转向器中的转向齿条横向移动，转向齿条带动左右转向横拉杆移动，横拉杆与左右转向节臂相连，推动转向节臂转动；转向节臂与转向节固定在一起，转向节随着转动；转向节上装有转向车轮，于是转向车轮被转向节带动偏转一定转向角度，使汽车改变行驶方向。转向结束后，转向盘转回原位，带动转向车轮恢复原位，汽车恢复直线行驶。

#### 四、制动系

为了保证汽车安全行驶，提高汽车的平均行驶车速，提高运输生产率，在各种汽车上都设有专用制动机构。这样的一系列专门装置即称为制动系。

##### 1. 汽车制动系作用

- (1) 保证汽车行驶中能按驾驶员要求减速、停车；
- (2) 保证车辆可靠停放。

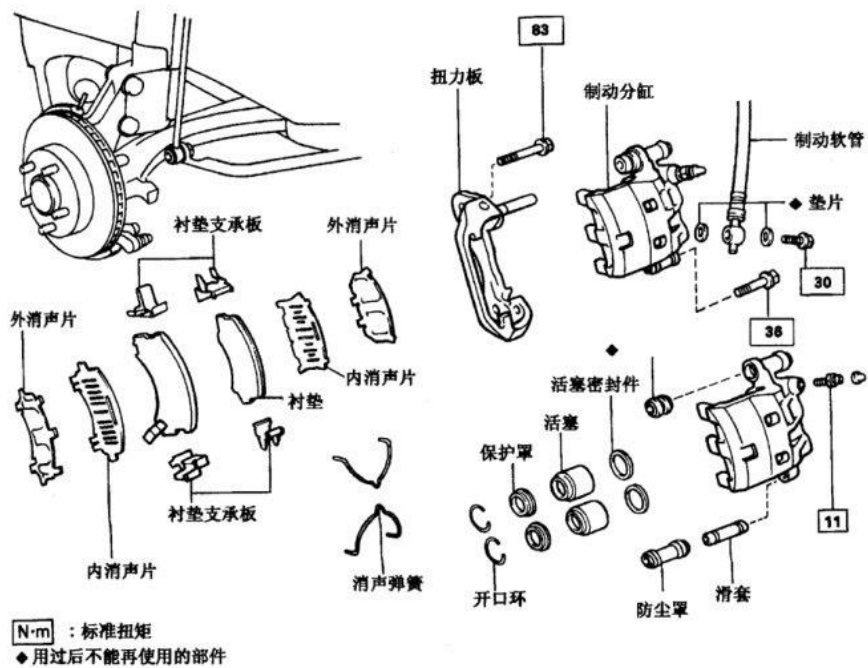
##### 2. 制动系统一般由制动操纵机构和制动器两个主要部分组成。

(1) 供能装置：包括供给、调节制动所需能量以及改善传动介质状态的各种部件。

(2) 控制装置：产生制动动作和控制制动效果各种部件，如制动踏板。

(3) 传动装置：包括将制动能量传输到制动器的各个部件，如制动主缸、轮缸。

(4) 制动器：产生阻碍车辆运动或运动趋势的部件。



AD45T 型盘式制动器结构

图 3-6 盘式制动器组成

### 3.3 汽车发动机构造

发动机是一种由许多机构和系统组成的复杂机器。无论是汽油机，还是柴油机；无论是四行程发动机，还是二行程发动机；无论是单缸发动机，还是多缸发动机。要完成能量转换，实现工作循环，保证长时间连续正常工作，都必须具备以下这些机构和系统。

#### 一、曲柄连杆机构

曲柄连杆机构是发动机实现工作循环，完成能量转换的主要运动零件。它由机体组、活塞连杆组和曲轴飞轮组等组成。在作功行程中，活塞承受燃气压力在气缸内作直线运动，通过连杆转换成曲轴的旋转运动，并从曲轴对外输出动力。而在进气、压缩和排气行程中，飞轮释放能量又把曲轴的旋转运动转化成活塞的直线运动。



图 3-7 曲柄连杆机构

#### 二、配气机构

配气机构的功用是根据发动机的工作顺序和工作过程，定时开启和关闭进气门和排气门，使可燃混合气或空气进入气缸，并使废气从气缸内排出，实现



换气过程。配气机构大多采用顶置气门式配气机构，一般由气门组、气门传动组和气门驱动组组成。

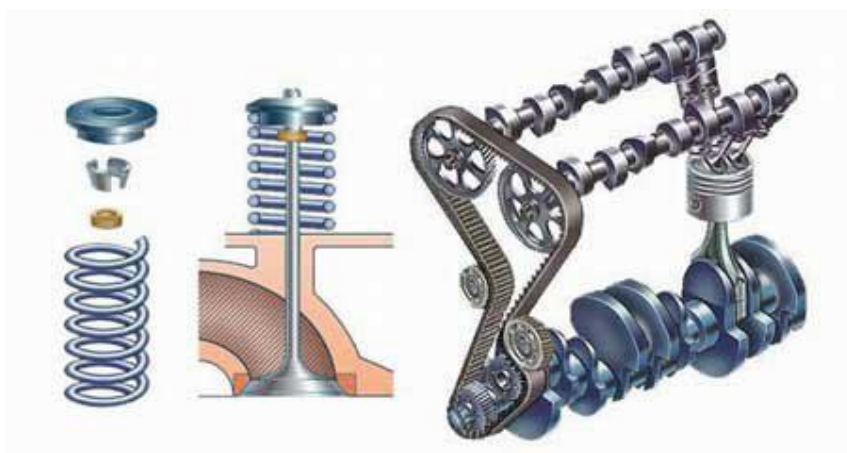


图 3-8 配气机构

### 三、燃料供给系统

汽油机燃料供给系的功用是根据发动机的要求，配制出一定数量和浓度的混合气，供入气缸，并将燃烧后的废气从气缸内排出到大气中去；柴油机燃料供给系的功用是把柴油和空气分别供入气缸，在燃烧室内形成混合气并燃烧，最后将燃烧后的废气排出。

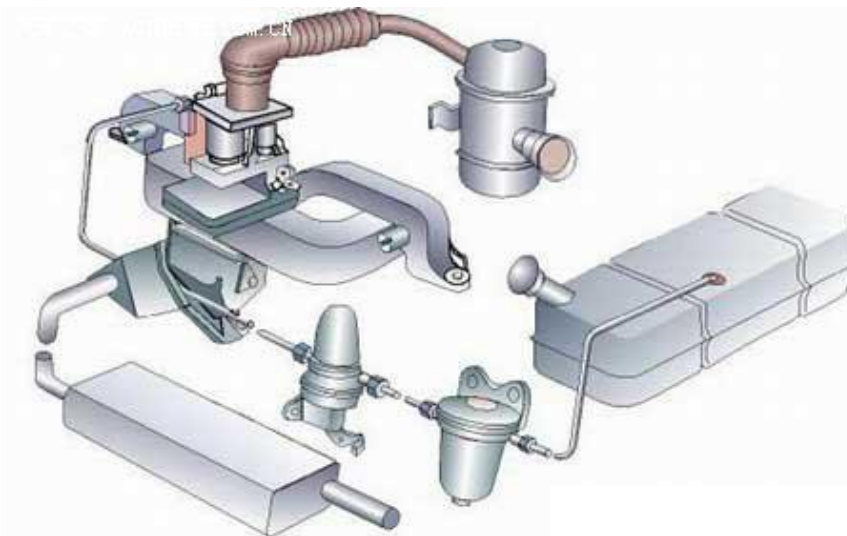


图 3-9 燃料供给系统

#### 四、润滑系统

润滑系的功用是向作相对运动的零件表面输送定量的清洁润滑油，以实现液体摩擦，减小摩擦阻力，减轻机件的磨损。并对零件表面进行清洗和冷却。润滑系通常由润滑油道、机油泵、机油滤清器和一些阀门等组成。

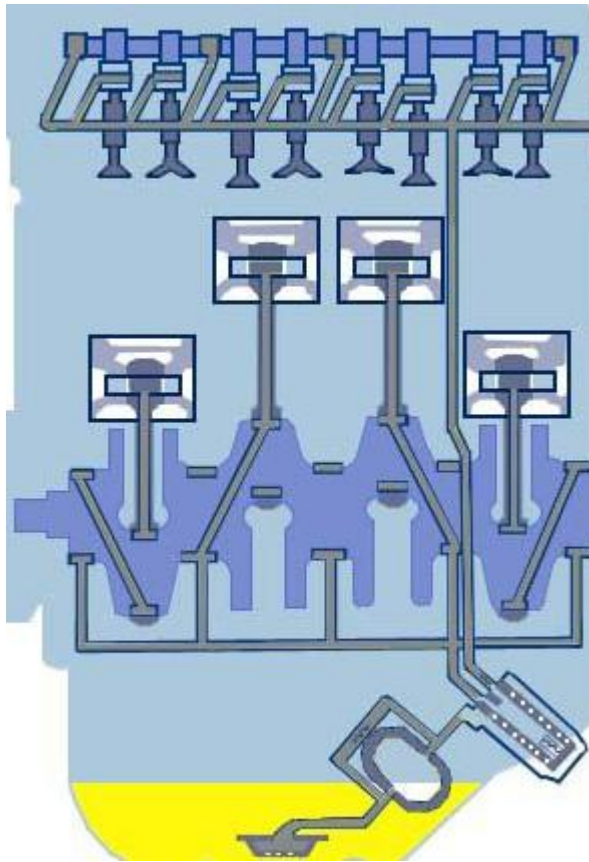


图 3-10 润滑系统

#### 五、冷却系统

冷却系的功用是将受热零件吸收的部分热量及时散发出去，保证发动机在最适宜的温度状态下工作。水冷发动机的冷却系通常由冷却水套、水泵、风扇、水箱、节温器等组成。

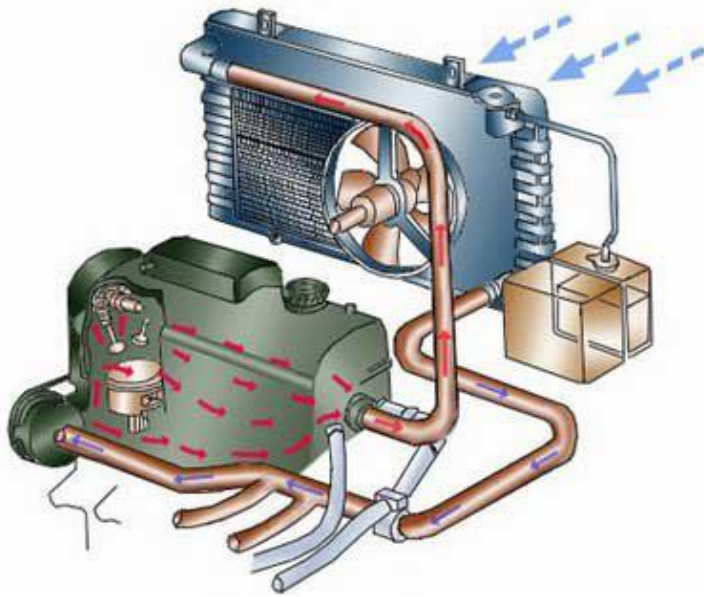


图 3-11 冷却系统

## 六、点火系统

在汽油机中，气缸内的可燃混合气是靠电火花点燃的，为此在汽油机的气缸盖上装有火花塞，火花塞头部伸入燃烧室内。能够按时在火花塞电极间产生电火花的全部设备称为点火系，点火系通常由蓄电池、发电机、分电器、点火线圈和火花塞等组成。

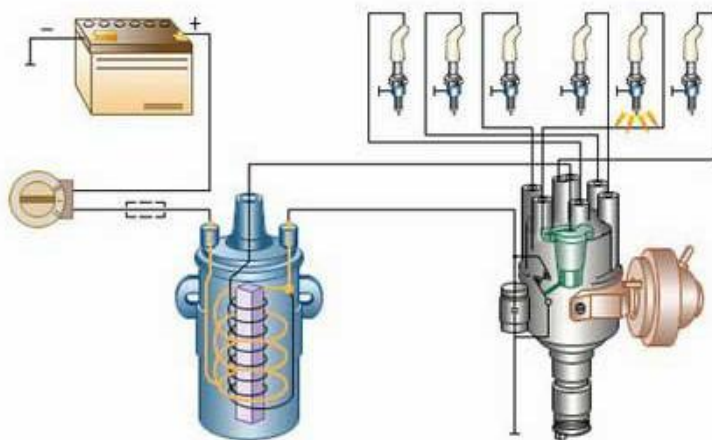


图 3-12 点火系统

## 七、起动系统

要使发动机由静止状态过渡到工作状态，必须先用外力转动发动机的曲轴，使活塞作往复运动，气缸内的可燃混合气燃烧膨胀做功，推动活塞向下运动使曲轴旋转。发动机才能自行运转，工作循环才能自动进行。因此，曲轴在外力作用下开始转动到发动机开始自动地怠速运转的全过程，称为发动机的起动。完成起动过程所需的装置，称为发动机的起动系。

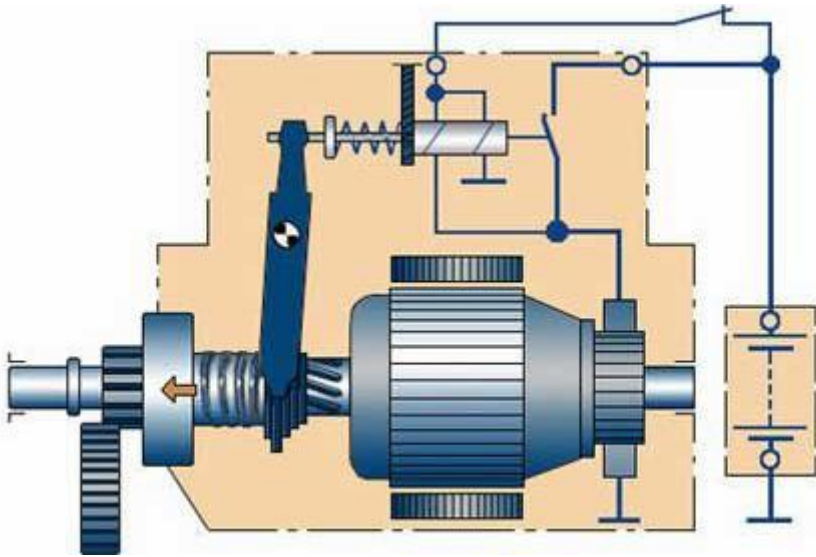


图 3-13 起动系统

汽油机由以上两大机构和五大系统组成，即由曲柄连杆机构，配气机构、燃料供给系、润滑系、冷却系、点火系和起动系组成；柴油机由以上两大机构和四大系统组成，即由曲柄连杆机构、配气机构、燃料供给系、润滑系、冷却系和起动系组成，柴油机是压燃的，不需要点火系

## 3.4 汽车电气设备

### 一、汽车电气主要组成部分

#### 1. 电源系统

包括蓄电池、发电机、调节器。其中发电机为主电源，发电机正常工作时，由发电机向全车用电设备供电，同时给蓄电池充电。调节器的作用是使发电机的输出电压保持恒定。

蓄电池：在汽车上使用最广泛的是起动型铅蓄电池，它与发动机并联，向用电设备供电。蓄电池的作用是：当发动机启动时，向起动机和点火系供电；在发电机不发电或电压较低的情况下向用电设备供电；当用电设备同时接入较多，发电机超载时，协助发电机供电；当蓄电池存电不足，而发电机负载又较少时，它可将发电机的电能转变为化学能储存起来。

发电机：汽车电气系统的主要电源，它在正常工作时，对除起动机以外的所有的用电设备供电，并向蓄电池充电，以补充蓄电池在使用中所消耗的电能。

汽车用电器都是按照一定的直流电压设计的，汽油机常用 12V，柴油机常用 24V 。

#### 2. 起动系统

包括串励式直流电动机、传动机构、控制装置。其作用是用于启动发动机。起动机是用来启动发动机的，它主要由电机部分、传动机构（或称啮合机构）和起动开关三部分组成。

#### 3. 点火系统

包括点火开关、点火线圈、分电器总成、火花塞等，其作用是产生高压电火花，点燃汽油发动机汽缸内的混合气。

在现代汽油发动机中，主要采用电脑控制点火方式，点火性能更稳定可靠，主要分为单缸点火、双缸点火两种。

#### 4. 照明系统

包括汽车内、外各种照明灯及其控制装置。用来保证夜间行车安全。主要有前照灯、雾灯、棚灯、仪表灯、倒车灯等。

#### 5. 信号系统

包括喇叭、蜂鸣器、闪光器及各种行车信号标识灯。用来保证车辆运行时的人车安全。

#### 6. 仪表系统

包括各种电器仪表（电流表、充电指示灯或电压表、机油压力表、温度表、燃油表、车速及里程表、发动机转速表等）。用来显示发动机和汽车行驶中有关装置的工作状况。

汽车仪表的作用是帮助驾驶员随时掌握汽车主要部分的工作情况，及时发现和排除可能出现的故障和不安全因素，以保证良好的行使状态。汽车常用仪表有电流表、水温表、发动机机油压力表、燃油油量表及车速里程表，有的汽车还有发动机转速表和制动系贮气筒气压表等。

#### 7. 辅助电器系统

包括电动刮水器、空调器、低温启动预热装置、收录机、点烟器、玻璃升降器等。

随着汽车辅助工业的发展和现代化技术在汽车方面的应用，现代汽车装用的辅助电气设备很多，除了汽车用音响设备、通讯器材和汽车电视等服务性装置外，还有一些与汽车本身使用性能有关的电气设备。如电动刮水器、电动洗窗器、电动玻璃升降器、暖风通风装置、电动座位移动机构、发动机冷却系电动风扇、电动燃料泵、冷气压缩机用离合器等。

#### 8. 电子控制系统

包括电控燃油喷射装置、电子点火装置、制动防抱死装置、自动变速器等。

## 二、汽车电气系统的特点

1. 低压——汽油车多采用 12V，柴油车多采用 24V。

2. 直流——主要从蓄电池的充电来考虑。

3. 单线制——单线制即从电源到用电设备使用一根导线连接，而另一根导线则用汽车车体或发动机机体的金属部分代替。单线制可节省导线，使线路简化、清晰，便于安装与检修。

4. 负极搭铁——将蓄电池的负极与车体相连接，称为负极搭铁。

# 项目四 钳工认知

## 4.1 钳工概述

钳工是利用手工工具，并经常在台虎钳上进行手工操作的一个工种，主要从事工件的划线与加工、机器的装配与调设备的安装与维修及工具的制造与修理等工作的工种，应用在以机械加工方法不方便或难以解决的场合。其特点是以手工操作为主、灵活性强、工作范围广、技术要求高，操作者的技能水平直接影响产品质量。因此，钳工是机械制造业中不可缺少的工种。

目前，我国《国家职业标准》将钳工划分为装配钳工、机修钳工和工具钳工三类。

1. 装配钳工：主要从事工件加工、机器设备的装配、调整工作。
2. 机修钳工：主要从事机器设备的安装、调试和维修。
3. 工具钳工：主要从事工具、夹具、量具、辅具、模具、刀具的制造和修理。

### 二、钳工基本操作知识：

尽管分工不同，但无论哪类钳工，都应当掌握扎实的专业理论知识，和钳工操作基本功。钳工的基本操作技能知识包括划线、錾削、锯割与锉削；钻孔、扩孔、铰孔、绞孔；攻螺纹与套螺纹；矫正与弯形；铆接、粘接；刮削；研磨以及机器装配调试、设备维修、基本测量和简单的热处理等。

### 三、钳工常用设备与工、量具：

#### 1. 钳工常用设备：

(1) 台虎钳：钳工工作时用来夹持工件的通用夹具，有固定式台虎钳（图 4-1）和回转式虎钳（图 4-2）两种结构。其规格用钳口的宽度尺寸来表示，常用规格有 100mm、125mm、150mm 等。





图 4-1 固定式台虎钳



图 4-2 回转式虎钳

(2) 钳工工作台：用来放置台虎钳、工具、工件等，如图 4-3 所示，工作台高度一般约为 800~900mm。台虎钳安装时，钳口高度应与人的手肘平齐为好，工作台长度和宽度由工作需要和场地大小而定。



图 4-3 钳工工作台



图 4-4 台式钻床

(3) 钻床：用来加工零件上各种孔的设备，有台式钻床、立式钻床、摇臂钻床等，如图 4-4、4-5、4-6 所示。



图 4-5 立式钻床



图 4-6 摇臂钻床

(4) 砂轮机：用来刃磨各种刀具、钻头、工具的设备，如图 4-7 所示。



图 4-7 砂轮机

## 2. 钳工常用工、量具：

### (1) 工具：

①划线工具：常用的有划针、划规、游标高度尺、样冲、直角尺、千斤顶、V形铁等，如图 4-7 所示；

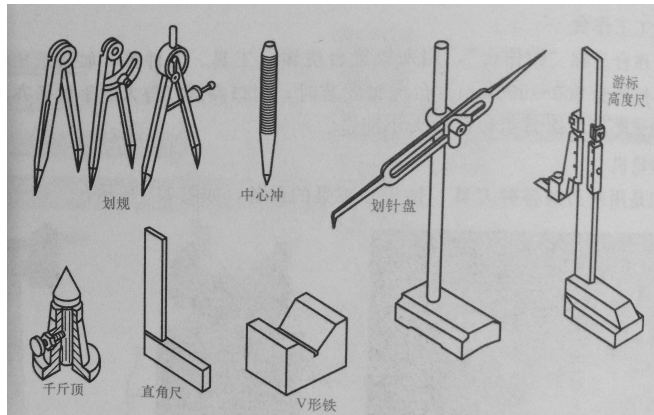


图 4-8 划线工具

②錾削工具：常用的有手锤、各种錾子，如图 4-9 所示；

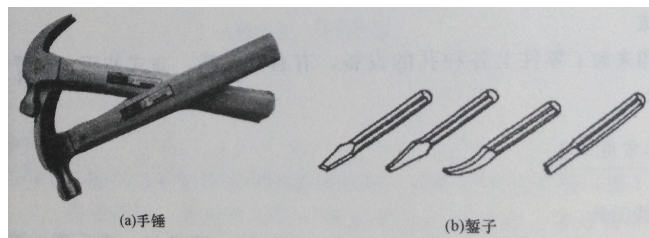


图 4-9 錾削工具

③锉削工具：主要有各种锉刀，如图 4-10 所示；

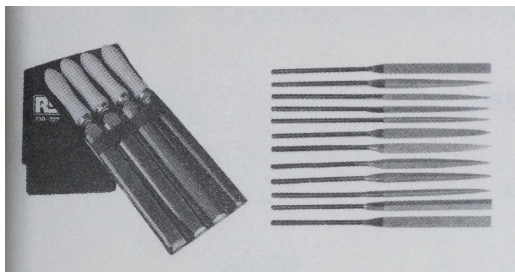


图 4-10 锉削工具

④锯削工具：主要是锯弓、锯条，如图 4-11 所示；

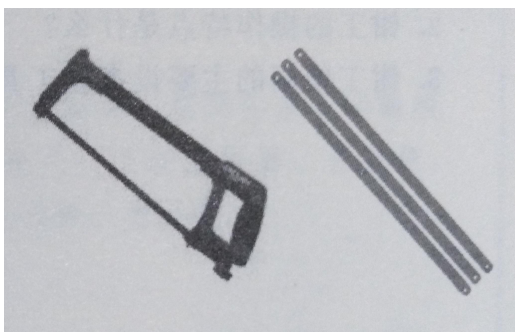


图 4-11 锯削工具

⑤孔加工工具：主要是各种钻头、铰钻、铰刀，如图 4-12 所示。

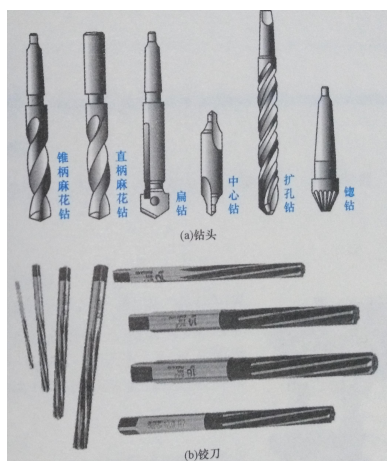


图 4-12 孔加工工具

(2) 量具:常用的有游标卡尺、千分尺、万能角度尺、刀口角尺等,如图4-13、4-14、4-15、4-16所示。

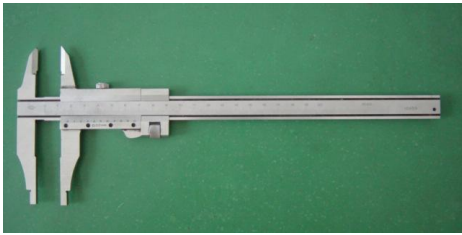


图 4-13 游标卡尺



图 4-14 千分尺

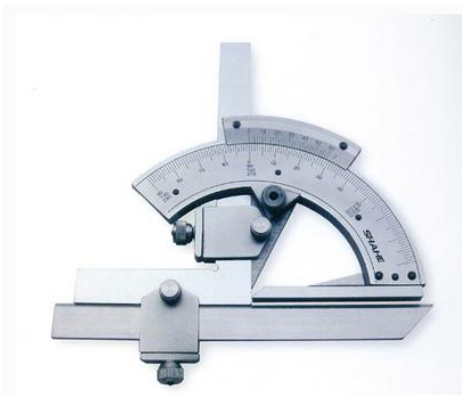


图 4-15 万能角度尺



图 4-16 刀口角尺

#### 四、安全规范:

1. 在实习场地必须按规定穿戴和使用劳防用品。
2. 实习时要严格遵守安全操作过程。
3. 正确使用各类工具、夹具、量具。
4. 在不了解设备性能的情况下, 严禁开启和使用。

## 4.2 钳工基本操作技能—锉削

### 一、锉削工具：

#### 1. 锉刀的组成：

锉刀主要有锉刀面、锉刀边、锉刀尾、锉刀舌和木柄组成，如图 4-17 所示。

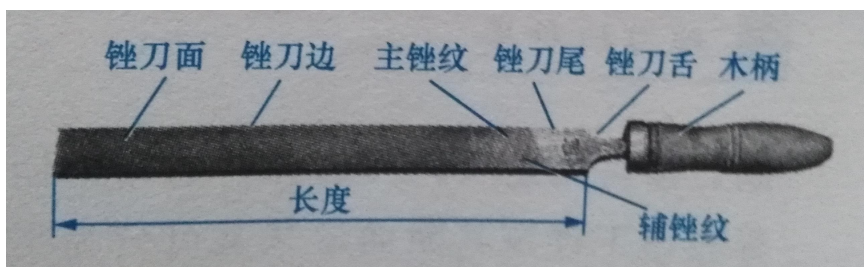


图 4-17 锉刀各部分名称

#### 2. 锉齿和锉纹：

锉刀有无数个锉齿，锉纹是锉齿有规则排列的图案，锉刀的齿纹有单齿纹和双齿纹两种，如图 4-18 所示。

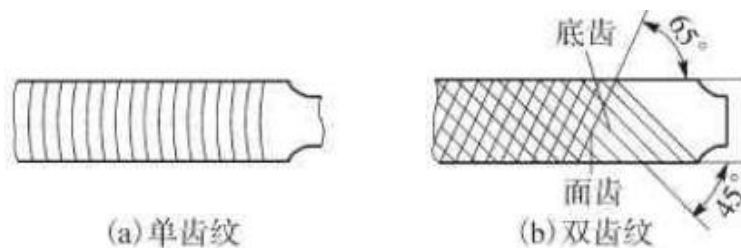


图 4-18 锉刀的锉纹

单齿纹是指锉刀上只有一个方向上的齿纹，锉削时全齿宽同时参加切削，切削力大，因此常用来锉削软材料，直线单齿纹的齿纹角为  $70^\circ$ 。

双齿纹是指锉刀上有两个方向排列的齿纹，起主要切削作用的称为主锉纹，起分屑作用的称为辅锉纹，适用于硬材料的锉削。其中一条较深的齿纹叫面齿纹，它与锉刀中心线组成的夹角为  $65^\circ$ ；较浅的一条叫底齿纹，它与锉刀中心线组成的夹角为  $45^\circ$ 。由于面齿角与底齿角不相同，所以锉削时锉痕不重叠，

锉成的面也就较光滑。

### 3. 锉刀的种类：

锉刀按其用途不同可分为普通钳工锉、异形锉和整形锉三种，普通钳工锉按其断面形状又可分为平锉、方锉、三角锉、半圆锉和圆锉五种，如图 4-19 所示。

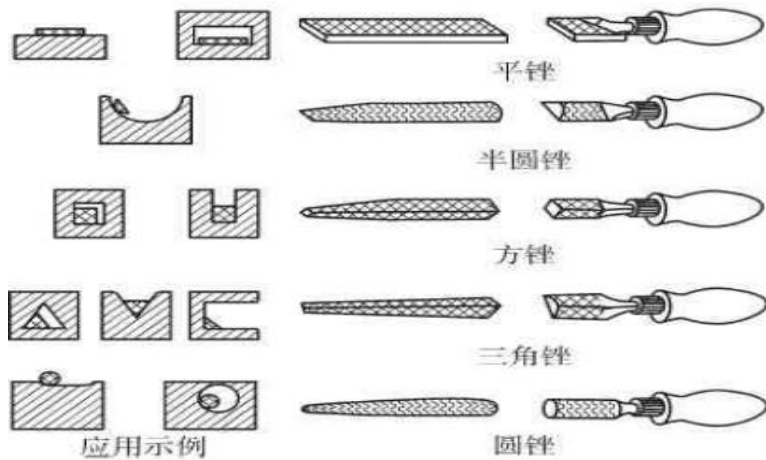


图 4-19 普通钳工锉及其适宜的加工表面

异形锉是除普通钳工锉以外的所有锉刀，主要用于锉削工件上特殊的表面，如图 4-20 所示。

整形锉主要用于修整工件细小部分的表面，如图 4-21 所示。

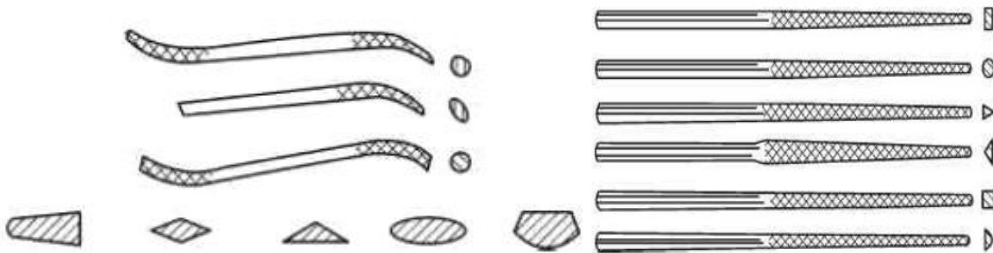


图 4-20 异形锉

图 4-21 整形锉

### 4. 锉刀的规格：

锉刀的规格分尺寸规格和粗细规格。

### (1) 尺寸规格

不同的锉刀用不同的参数表示。圆锉以其断面直径、方锉以其边长为尺寸规格,其他锉刀以锉身长度表示。常用的锉刀有 100, 125, 150, 200, 250 和 300mm 等几种。

### (2) 粗细规格

GB5808 — 1986 规定,以锉刀每 10mm 轴向长度内的主锉纹条数来表示锉齿的粗细规格,见图 4-22,一般可以分为粗齿锉、中齿锉、细齿锉和油光锉。

主锉纹条数 (10 mm内) 规格 (mm)	锉纹号				
	1	2	3	4	5
100	14	20	28	40	56
125	12	18	25	36	50
150	11	16	22	32	45
200	10	14	20	28	40
250	9	12	18	25	36
300	8	11	16	22	32
350	7	10	14	20	—
400	6	9	12	—	—
450	5.5	8	11	—	—

图 4-22 锉刀的粗细规格

### 5. 锉刀的选择:

每种锉刀都有其主要的用途,选用锉刀要遵循以下原则:

(1) 锉刀粗细的选择,取决于工件加工余量的大小、加工精度和表面粗糙度要求的高低、工件材料的性质。

粗锉刀——锉加工余量大,加工精度和表面粗糙度要求低。

细锉刀——锉加工余量小,加工精度和表面粗糙度要求高。

(2) 锉刀断面形状的选择,取决于工件加工表面的形状和尺寸大小,如图 4-23 所示。

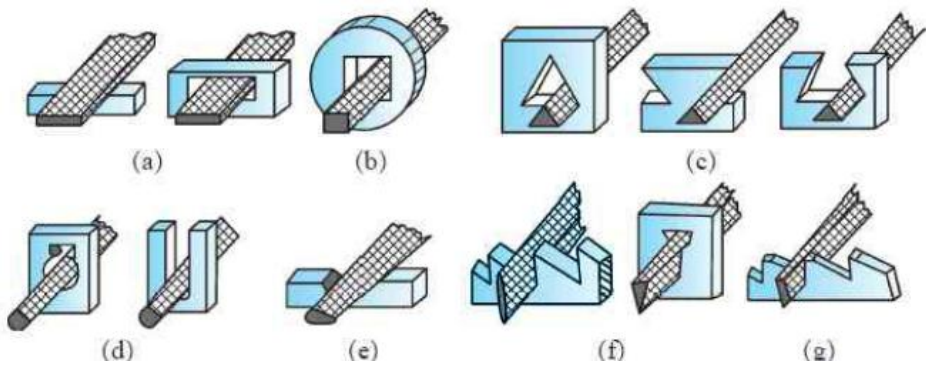


图 4-23 不同加工表面使用的锉刀

(a) 平锉 (b) 方锉 (c) 三角锉 (d) 圆锉 (e) 半圆锉 (f) 菱形锉  
(g) 刀口锉

(3) 锉刀长度规格的选择，取决于工件加工面的大小和加工余量的大小选用。图 4-24 列出了粗、中、细三种锉刀通常的加工余量和所能达到的加工精度。

锉刀粗细	适用场合		
	锉削余量 (mm)	精度尺寸 (mm)	表面粗糙度 $Ra$ ( $\mu\text{m}$ )
1号 (粗齿锉刀)	0.5 ~ 1	0.2 ~ 0.5	100 ~ 25
2号 (中齿锉刀)	0.2 ~ 0.5	0.05 ~ 0.2	25 ~ 6.3
3号 (细齿锉刀)	0.1 ~ 0.3	0.02 ~ 0.05	12.5 ~ 3.2
4号 (双细齿锉刀)	0.1 ~ 0.2	0.01 ~ 0.02	6.3 ~ 1.6
5号 (油光锉)	0.1 以下	0.01	1.6 ~ 0.8

图 4-24 按加工精度选择锉刀

## 二、锉削基本技能

### 1. 锉刀握法:

较大锉刀的握法：右手紧握锉刀柄，柄端顶住掌心，大拇指放在柄的上部，其余四指满握手柄；左手大拇指根部压在锉刀头上，中指和无名指捏住前端，食指、小指自然收拢，以协同右手使锉刀保持平衡，如图 4-25 所示。



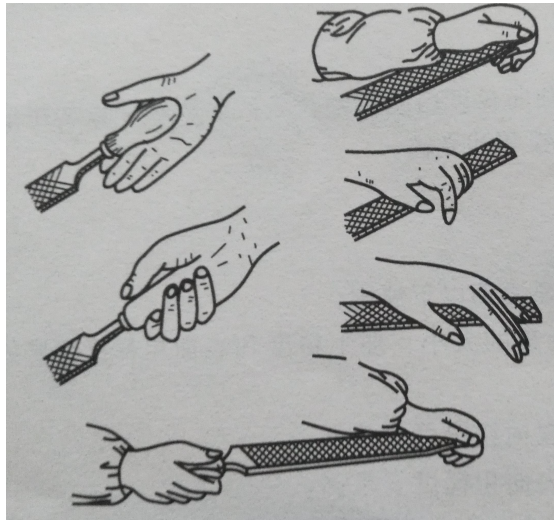


图 4-25 较大锉刀的握法

中小锉刀的握法，右手握法与握大锉刀一样，左手只需用大拇指和食指轻轻的扶住，如图 4-26 所示。较小型锉刀握法，为了避免锉刀弯曲，用左手的几个手指压在锉刀的中部，如图 4-27 所示。小型锉刀的握法是只用一只手握住，食指放在上面，如图 4-28 所示。

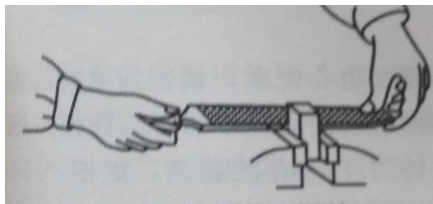


图 4-26 中锉刀的握法

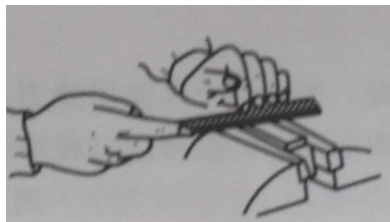


图 4-27 中小锉刀的握法

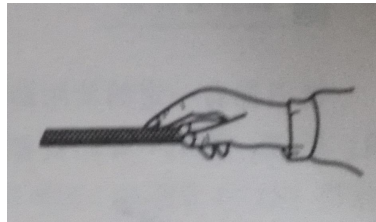


图 4-28 小锉刀的握法

## 2. 锉削站立姿势及动作：

锉削时站立要自然，右脚掌心在台虎钳的轴线上。右脚在后，与轴线成  $75^\circ$

夹角；左脚在前，与轴线成  $30^\circ$  夹角，两脚之间的距离约为  $250\sim 300\text{mm}$ 。身体重心要落在左脚上，右膝伸直，左膝部呈弯曲状态，并随锉刀的往复运动而屈伸，如图 4-29 所示。

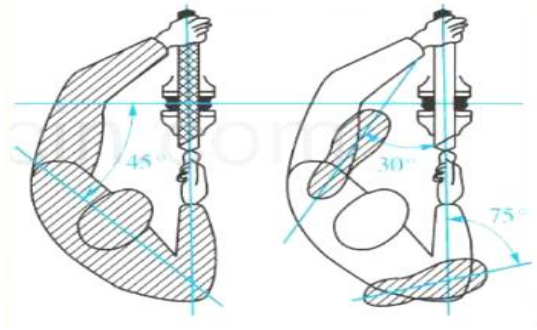


图 4-29 锉削站立步位

### 3. 锉削动作：

(1) 开始时，身体向前倾斜  $10^\circ$  左右，右肘尽量最后收缩，如图 4-30(a) 所示；

(2) 锉刀长度推进  $1/3$  行程时，身体前倾  $15^\circ$  左右，左膝稍有弯曲，如图 4-30(b) 所示；

(3) 锉至  $2/3$  时，身体前倾至  $18^\circ$  左右，如图 4-30(c) 所示；

(4) 锉最后  $1/3$  时，右肘继续推进锉刀，同时利用推进锉刀的反作用力。身体退回到  $15^\circ$  左右，如图 4-30(d) 所示；

(5) 锉削行程结束时，手和身体恢复到原来姿势，同时将锉刀略微提起退回。



图 4-30 锉削动作姿势

#### 4. 锉削力和锉削速度:

要锉出平直的平面，必须使锉刀保持直线的锉削运动。为此，锉削时右手的压力要随锉刀推动而逐渐增加，左手的压力要随锉刀推动而逐渐减小，当到达锉削行程的一半时，两手的压力要相等，使锉刀处于水平状态，回程时不加压力，以减少锉齿的磨损，如图 4-31 所示。

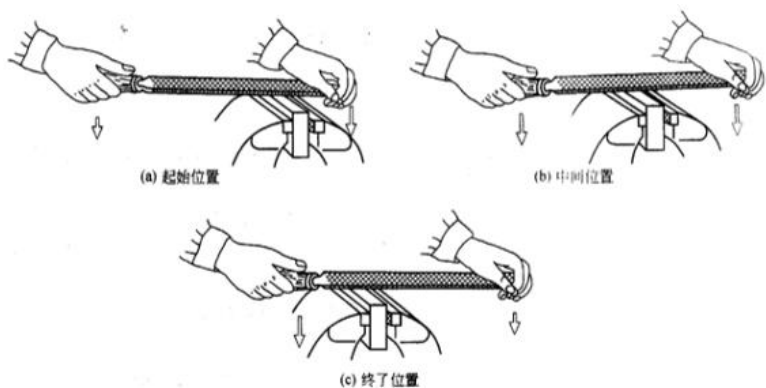


图 4-31 锉削力的平衡

## 5. 平面的锉法:

(1) 顺向锉: 最普通的锉削方法, 锉刀运动方向与工件夹持方向始终一致, 面积不大的平面和最后锉光大都采用这种方法, 可以得到整齐一致的锉痕, 比较美观, 精锉时常常采用, 如图 4-32 所示。

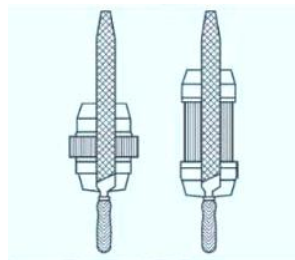


图 4-32 顺向锉

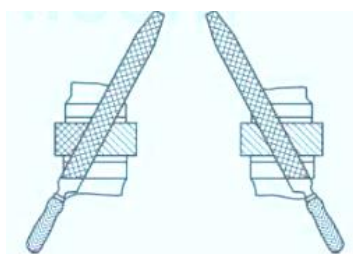


图 4-33 交叉锉

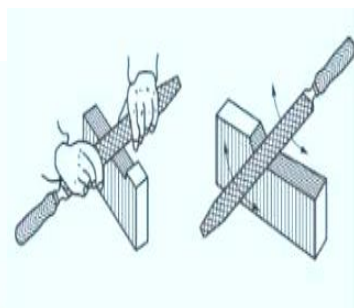


图 4-34 推锉

(2) 交叉锉: 即从两个交叉的方向对工件表面进行锉削的方法, 锉刀与工件接触面积大, 锉刀容易平稳掌握。一般用于粗锉平面, 使整个加工面都能均匀地锉到, 在每次抽回锉刀时, 依次在横向上适当移动, 如图 4-33 所示。

(3) 推锉法: 即两手对称横握锉刀, 用大拇指推动锉刀顺着工件长度方向进行锉削的方法, 其锉削效率低, 适用于加工余量较小和修正尺寸时采用, 如图 4-34 所示。

# 项目五 机械加工认知

## 5.1 车削加工技术

### 一、车削加工技术概念

车床是用于车削加工的一种机床。（如图 5-1）

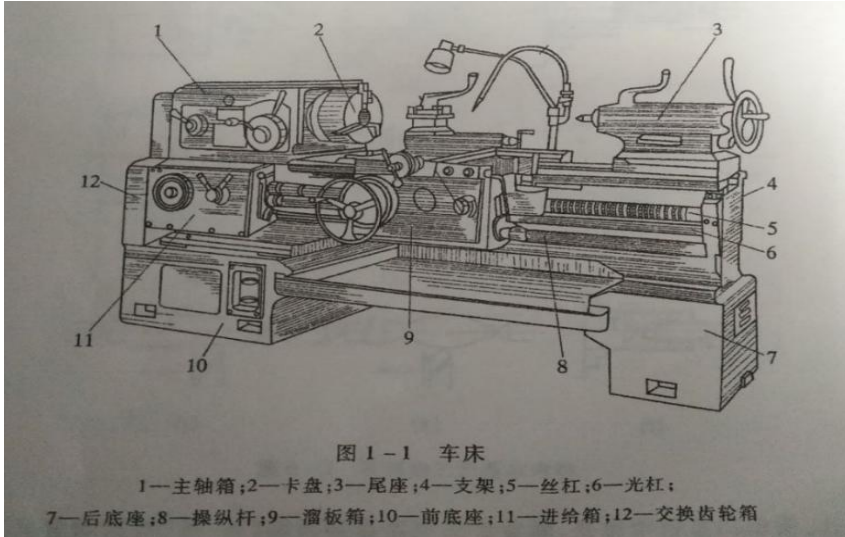


图 5-1 车床

车削加工技术是在车床上，利用工件的旋转运动和车刀的直线运动（或曲线运动）来改变毛坯的尺寸、形状，使之成为合格工件的一种金属切削方法。其中工件的旋转为主运动，刀具的移动为进给运动（如图 5-2）。

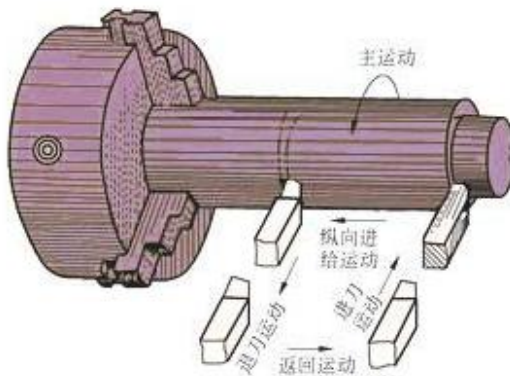


图 5-2 主运动、进给运动

## 二、车床的地位和加工范围

### 1. 车床的地位

机器中带有回转面的零件很多，这些回转面大都需要车削加工。车削加工基本上是金属切削加工中的第一道工序，所以它在切削加工中占有重要的地位，车床的台数几乎要占机床总台数的 30%~50%。

### 2. 车床的作用和种类

车床主要用于加工各种回转体表面，加工的尺寸公差等级为 IT11~IT6，表面粗糙度 Ra 值为 12.5~0.8 μm。

车床的种类很多，按主轴的位置分类，有立式车床和卧式车床两种，其中应用最广泛的是卧式车床。

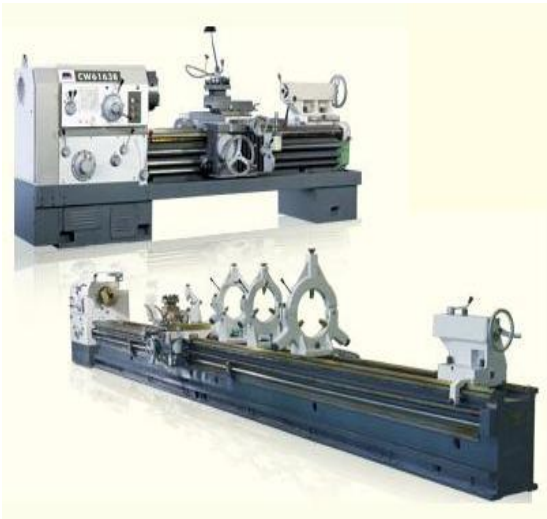


图 5-3 卧式车床



图 5-4 立式车床

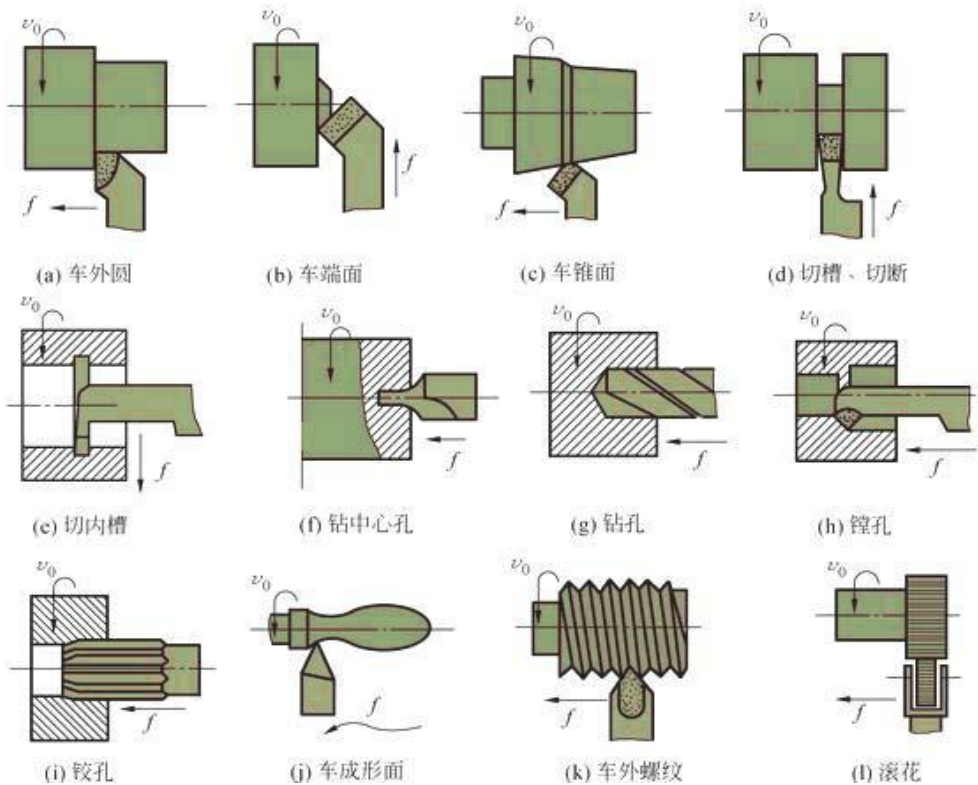


图 5-5 普通车床所能加工的典型表面

### 3. 车床的各部分名称和作用

(1) 主轴变速箱。简称主轴箱，主要作用使主轴获得不同的转速。主轴用来安装卡盘，卡盘用来安装工件。

(2) 交换齿轮箱。主要作用是把主轴的运动传给进给箱。

(3) 进给箱。主要作用是把交换齿轮箱传来的运动，经过变速后传递给光杠、丝杠以满足车螺纹与机动进给的需要。

(4) 溜板箱（拖板箱）。主要作用是把光杠或丝杠传来的运动传递给床鞍及中滑板，以形成车刀车刀纵或横向进给。

(5) 床鞍及滑板。床鞍主要作用支承滑板与实施纵向进给。滑板分中滑板和小滑板，中滑板用于横向进给，小滑板用于短距离的纵向进给、车圆锥等。

(6) 刀架。用来装夹车刀，有四个刀位。

(7) 尾座。用途广泛，装上顶尖可支顶工件；装上钻头可钻孔；装上板牙、丝锥可套螺纹和攻螺纹；装上铰刀可铰孔等。

(8) 床身。是车床上精度很高的大型部件。主要作用支承安装车床的其它部件，是床鞍、尾座运动的导向部分。

(9) 冷却部分。给切削区域浇注充分的切削液，降低切削温度，提高工件加工质量和刀具寿命。

#### 4. 车床的传动路线

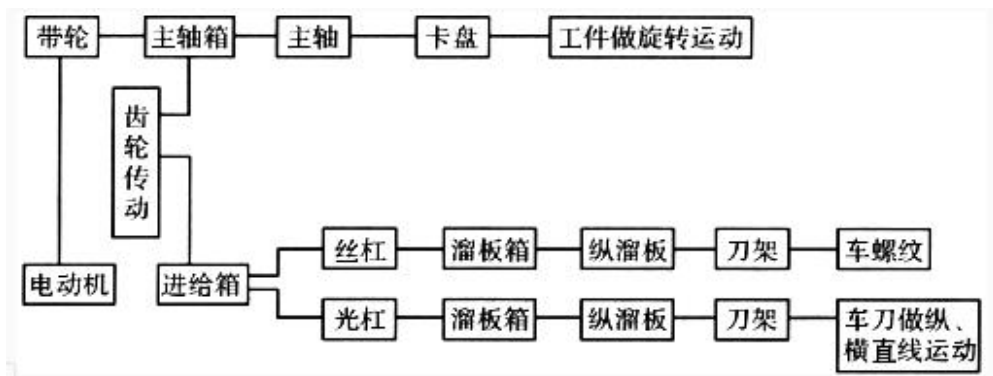


图 5-6 车床的传动路线



## 5.2 铣削加工技术

### 一、铣削加工技术概念

铣削加工是一种高生产率的平面加工方法。在成批量生产中，除加工狭长的平面以外，铣削几乎代替刨削，成为平面、沟槽和成形表面加工的主要方法。

### 二、铣床的分类

铣床的种类很多，最常用的是卧式升降台和立式升降台铣床，此外还有龙门铣床、工具铣床、键槽铣床等各种专用铣床。



图 5-7 卧式升降台铣床



图 5-8 立式升降台铣床

### 三、铣床的加工范围

铣床的加工范围主要有：铣平面、切断、铣键槽、铣成型面、铣齿轮、铣螺旋槽等，如图所示。

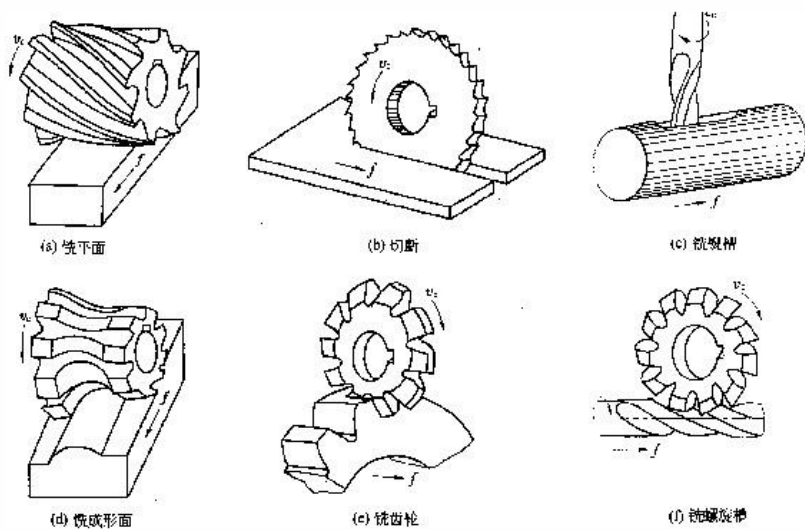


图 5-9 铣床的加工范围

#### 四、常用铣床的名称、规格及结构

铣床的型号按照 JB 1838-85 《金属切削机床 型号编制方法》的规定表示。例如 X6132:其中 X—分类代号,铣床类机床;61—组系代号,万能升降台铣床;32—主参数,工作台宽度的 1/10,即工作台宽度为 320mm。

1. X6132 万能升降台铣床 图 5-10 就是 X6132 万能升降台铣床的外观图。

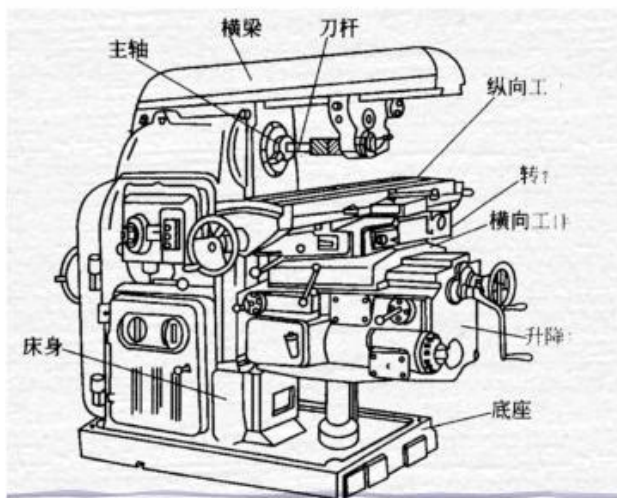


图 5-10 万能升降台铣床

## 2. X6132 万能升降台铣床由下列几部分组成：

(1) 床身。床身用于支承和固定铣床各部件。床身顶面有供横梁移动的水平导轨；前立面有燕尾形的垂直导轨，供升降台上下移动。床身内装有主轴、主轴变速箱、电器设备和润滑油泵等部件。

(2) 横梁。横梁上装有支架，用以支承刀杆的一端。横梁在床身上的位置可根据刀杆的长度调整。

(3) 主轴。主轴用以安装刀杆并使之旋转。主轴前端的锥孔与刀杆的锥柄相配合。主轴的转动是由电动机经主轴变速箱传来，改变手柄位置，可使主轴获得各种不同的转速。

(4) 升降台。它用以带动工作台、转台、横溜板沿床身垂直导轨作上下移动，以调整工作台面与铣刀的相对位置。升降台内部装置着供进给运动用的电动机及变速机构。

(5) 工作台。用于装夹夹具和工件。工作台由丝杠带动作纵向进给运动。工作台的下面有转台，可以偏转一定角度，以便作斜向运动。工作台还可在升降台上作横向移动。

3. X6132 万能升降台铣床的传动，其主运动和进给运动的传动路线分述如下：

### (1) 主运动传动

主电动机 → 主轴变速箱 → 主轴 → 刀具旋转运动

### (2) 进给运动传动



#### 4. 立式升降台铣床

立式铣床与卧式铣床在结构上的主要区别是主轴与工作台面相垂直，如图 5-11 所示。

立式铣床与卧式铣床很多地方相似。不同的是：它床身无顶导轨，也无横梁，而是前上部是一个立铣头，其作用是安装主轴和铣刀。通常立式铣床在床身与立铣头之间还有转盘，可使主轴倾斜成一定角度，铣削斜面。立式铣床可用来镗孔。



图 5-11 立式升降台铣床

### 五、铣床主要附件的安装和使用方法

铣床主要附件有万能分度头、平口钳、圆形工作台和万能立铣头等。

#### 1. 万能分度头



图 5-12 万能分度头

万能分度头在使用时，其主轴轴线应与工作台台面平行，与刀杆轴线垂直；分度头主轴与后顶尖等高。

## 2. 平口钳

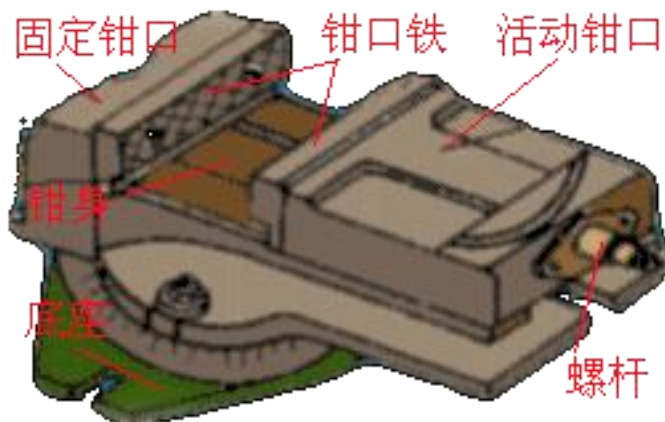


图 5-13 平口钳

平口钳是一种通用夹具，使用时应先校正其在工作台上的位置，保证钳口与工作台台面的垂直度与平行度。

## 3. 圆形工作台

圆形工作台即回转工作台，其周围有刻度用来观察和确定转台位置，手轮上的刻度盘也可读出转台的准确位置。

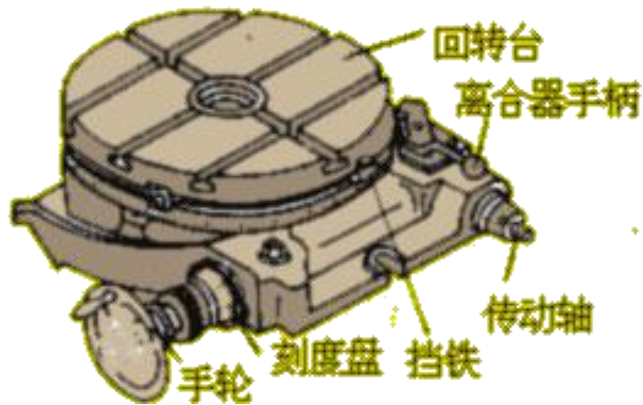


图 5-14 圆形工作台

#### 4. 万能铣头

在卧式铣床上安装万能铣头，根据铣削的需要，可以把铣头主轴扳成任意角度，其底座用螺钉固定在铣床的垂直导轨上。

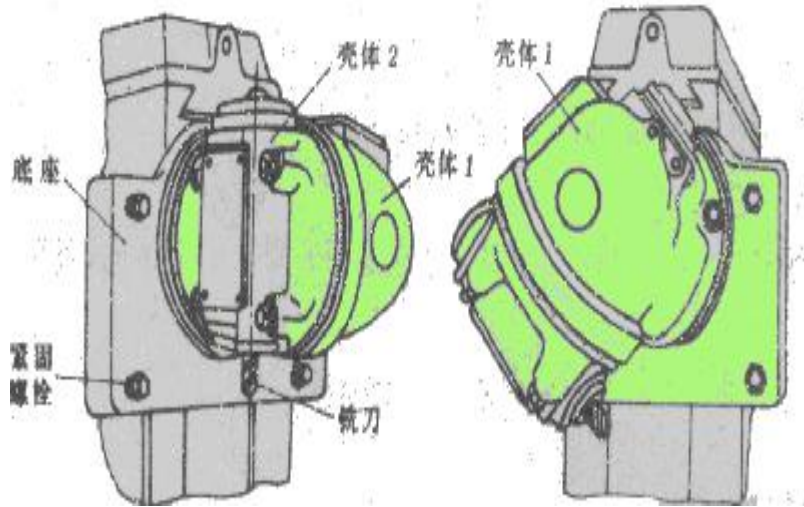


图 5-15 万能铣头

# 项目六 焊接认知

## 6.1 焊条电弧焊

### 一、焊接的概述

焊接是一种不可拆卸的连接方法，是金属热加工方法之一。焊接与铸造、锻压、热处理、金属切削等加工方法一样，是机器制造、石油化工、矿山、冶金、航空、航天、造船、电子、核能等工业部门中的一种基本生产手段。没有现代焊接技术的发展，就没有现代的工业和科学技术的发展。

焊接是指通过适当的物理化学过程（加热或加压），使两个工件产生原子（或分子）之间结合力而连成一体的加工方法。

#### 1. 焊接的发展史

公元前 3000 多年埃及出现了锻焊技术。

公元前 2000 多年中国的殷朝采用铸焊制造兵器。

1801 年，英国的汉弗莱·戴维斯发现两碳极间产生的电弧。

1885~1887 年，俄国的尼古拉·别纳尔多斯发明碳极电弧焊钳（见图 6-1 所示）。这一发明是弧焊至少是碳弧焊的实际的开始。

十九世纪末，包括点焊、缝焊、凸焊和闪光对焊的电阻焊方法得到发展。1885—1900 年，美国的汤姆逊·伊莱修发明电阻焊并用于薄板的点焊和缝焊。

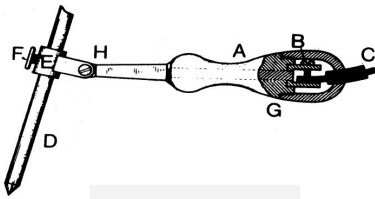


图 6-1 碳极电弧焊钳



图 6-2 美国 1915 年生产的福特 T 型车

1900 年左右，英国的斯特罗迈耶发明了薄药皮焊条，虽然药皮只是一薄层粘土或石灰，但产生的电弧更稳定。

大约 1912 年 美国福特汽车公司为了生产著名的 T 型汽车，在自己工厂的实验室里完成了现代焊接工艺。

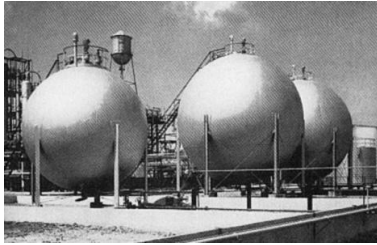


图 6-3 浮顶式储罐

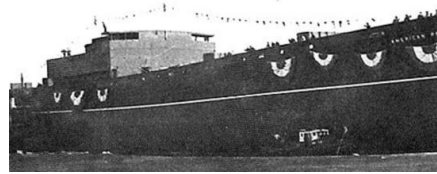


图 6-4 Poughkeepsie Socony 号油轮

大约 1920 年：第一艘使用焊接方法制造的油轮 Poughkeepsie Socony 号在美国下水。

1923 年，世界上第一个浮顶式储罐（用来储存汽油或其他化工品）建成，其优点是由焊接而成的浮顶与罐壁组成象望远镜一样可升高或降低的储罐，从而可以很方便的改变储罐的体积。

1926 年：由美国的 A. O. Smith 公司率先介绍了在电弧焊接用金属电极外使用挤压方式涂上起保护作用的固体药皮（即焊条电弧焊焊条）的制作方法。

1930 年：前苏联罗比诺夫发明埋弧焊。

1941 年：美国人梅瑞狄斯发明了钨极惰性气体保护电弧焊。

1953 年：前苏联柳波夫斯基、日本关口等人发明 CO<sub>2</sub> 气体保护电弧焊。随着 1958 年末、1959 年初细丝短弧和短路过渡的应用，使得二氧化碳气体保护焊成为最普及的一种焊接方法。

1996 年：以乌克兰巴顿焊接研所 B. K. Lebegev 院士为首的三十多人的研制小组，研究开发了人体组织的焊接技术。人体组织焊接技术的原理是通过热能的作用促使蛋白质分子发生凝变。手术时使用两极焊接钳，用高频低电压电流破坏细胞膜，使其分解出凝结液体，然后对伤口处的组织进行压合，从而完成“焊接”过程。一般经过一个月左右，人体组织的形态结构就完全恢复如初，手术处几乎难以发现。



2002 年：三峡水轮机的焊接完成，是已建造和目前正在建造的世界上最大的水轮机。

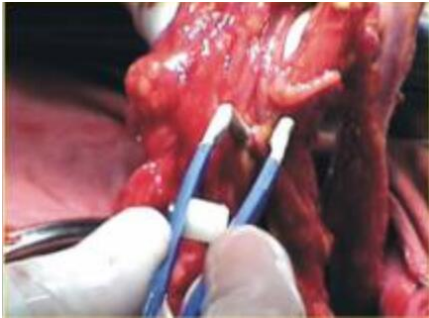
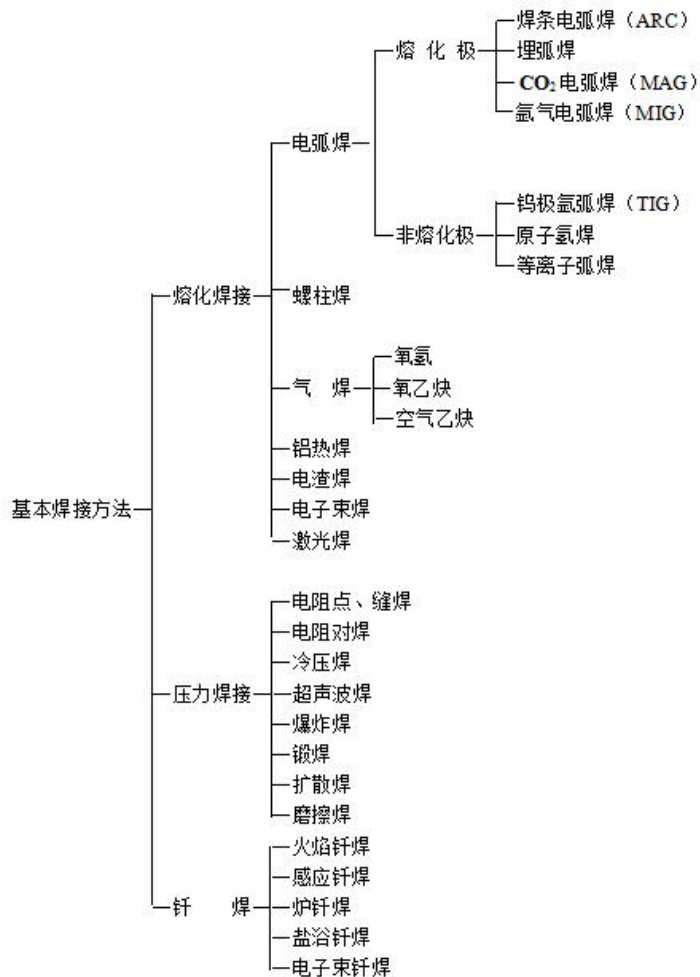


图 6-5 人体组织焊接



图 6-6 三峡水轮机

## 2. 焊接方法的分类



### (1) 焊接过程的本质

就是采用加热、加压或两者并用的办法，使两个分离表面的金属原子之间接达到晶格距离并形成结合力。按照焊接过程中金属所处的状态不同，可以把焊接方法分为熔焊、压焊和钎焊三类。

(2) 熔焊：是在焊接过程中，将焊接接头加热至熔化状态，不加压完成焊接的方法。

(3) 压焊：是在焊接过程中，对焊件施加压力（加热或不加热，）以完成焊接的方法。

(4) 钎焊：是采用比母材熔点低的金属材料，将焊件和钎料加热至高于钎料熔点，低于母材熔点的温度，利用液态钎润湿母材，填充接头间隙并母材互相扩散实现联接焊件的方法。

### (5) 四种常用的弧焊方式

手弧焊：使用焊钳夹住焊条进行焊接的方法。

氩弧焊：用工业钨或活性钨作不熔化电极，惰性气体氩气作保护气的焊接方法。简称 TIG。

二氧化碳气体保护焊：用金属焊丝作为熔化电极，二氧化碳气体作保护的弧焊接方法。简称 MIG。

埋弧焊：在颗粒助焊剂层下，利用焊丝与母材间电弧的热量，进行焊接的焊接方法。

## 3. 焊接技术的应用

现代焊接技术主要用于重型工业，例如船舶、汽车、建筑施工等制造行业，以及相关的服务业中。

土木工程上常用到手工电弧焊，氩弧焊，电渣压力焊，闪光对焊，氧乙炔焰气焊及切割，及二氧化碳保护焊多用于钢结构安装及有色金属焊接。

造船锅炉以及各类压力容器的焊接，所需要的焊接工艺要求更高，技术要

求更为严格，现场作业，多使用手工电弧焊，氩弧焊，二氧化碳保护焊电渣焊等特殊工艺。另外还有超声波焊接，爆炸焊等。

## 二、焊接电弧

电弧能放出强烈的光和大量的热。电弧焊接就是利用他的热能来溶化填充金属和母材的。因此，焊接时电弧的稳定性及热特征等性质，对焊接质量有着直接的影响。

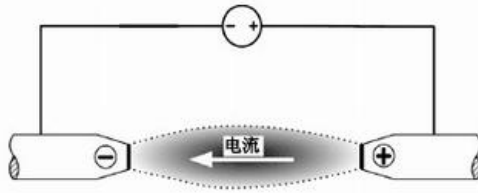


图 6-7 电弧示意图

### 1. 焊接电弧及其形成的基本知识

#### (1) 焊接电弧的概念

电弧是通过气体放电的现象之一，在日常生活中经常可以看到气体放电现象。

焊接电弧则是焊接时存在于焊条端部与焊件的间隙中，它与日常所见的气体放电现象有所不同。焊接电弧不仅能量大，而且持续稳定。因此我们说由焊接电源供给的，具有一定电压的两极间或电极与焊件间，在气体介质中，产生的强烈而持久的放电现象称为焊接电弧。

气体的分子和原子在正常的情况下都是呈中性的，所以气体中没有游离的带电质点，不能导电，因此，电流也就通不过。要使电流引燃和连续燃烧，就必须使两极间的气体变成电的导体，这是电弧产生和维持的重要条件。使气体电离的方法是气体电离。气体电离后，原来的气体中的一些中性微粒转变成电子、阳离子等带电质点，这时电流才能通过气体间隙而形成电弧。

#### (2) 气体电离

自然界的一切物质，都是有原子组成的。原子本身又由带电正电荷的原子核及带负电荷的电子组成，电子则是按照一定的轨道环绕原子核运动。在常态下，原子核所带的正电荷与核外电子所带的负电荷相等，这时原子是呈中性的。如果此时气体收到电场或热能的作用，就会使气体原子中的电子获得足够的能量，以克服原子核对它的吸引而成为自由电子；同时中的原子由于失去带负电荷的电子而变成带正电荷的正离子。这种使中性的气体分子或原子释放电子形成正离子的过程叫做气体电离。

### (3) 阴极电子发射

阴极表面的原子或分子，吸收了外界的某种能量而发射出自由电子的现象，称为阴极电子发射。焊接时，气体的电离是产生电弧的必要条件，但是，如果没有气体电离而阴极不能发射电子，没有电流通过，那么电弧还是不能形成。因此阴极电子发射也和气体电离一样，两者都是电弧产生和维持的重要条件。电子从阴极金属表面逸出所需要的能量称为逸出功，电子的逸出功的大小与阴极的成分有关。不同金属其逸出功是不一样的。若所加的能量相同，则逸出功小的金属其阴极电子发射程度就越大。如电极中或电极表面含有稀土金属、碱金属或碱土金属元素的物质时，就能增强阴极的电子发射作用。例如，在焊条中由于涂药含有较多的钾、钠、钙等化合物，有利于阴极电子的发射，从而促使电弧燃烧稳定。

## 2. 焊接电弧的引燃过程

我们把开始造成两极间气体发生电离及阴极电子发射而引起电弧燃烧的过程叫做电弧的引燃过程。

电弧的引燃可以用如下两种方法：

第一种方法是将两极相互靠近到只有  $1\sim 2\text{mm}$  的间距，这时如果在两极间加有很高的电压（月在  $1000\text{V}$  以上），那么在强电场作用下，阴极上的电子即可以克服内部正电荷对它的静电引力而引出阴极表面，产生电场发射，造成空气

中放电而形成电弧，但是，种种方法因为电压极高，危险性很大，因此实际上并不采用。

第二种方法是先将两电极相互接触，然后迅速拉开两电极相互接触，然后迅速拉开 3~4mm 的距离来引燃电弧。焊条电弧焊和埋弧焊就是利用这种方法来引燃电弧的。将通上焊接电源的焊条或焊丝末端与焊件表面相接触，然后很快地将焊条或焊丝拉开至与焊件表面 3~4mm 的距离，则电弧就在焊条或焊丝与焊件的间隙中燃烧了。

焊接电源能否顺利的引燃，还与焊接电源的特征、电弧特性、焊接电流的大小和种类、焊条药皮的成分及电弧长度等因素有关。

### 3. 焊接电弧的分类

焊接电弧根据提供的电源特点不同，可分为：直流电弧、交流电弧、脉冲电弧三类。

焊接电弧根据其产生的原理不同，又可分为自由电弧、压缩电弧和脉冲电弧三大类。

#### (1) 自由电弧

一般的焊接电弧称为自由电弧。如普通的直流电弧和交流电弧。。

直流电弧。由直流电源提供能源，电弧燃烧稳定，有极性可供工艺选择，但有电弧偏吹现象发生。采用低氢型碱性焊条时，用反接法，以保证电弧燃烧稳定。采用酸性焊条时用正接法，但薄板焊接时，为防止烧穿，可采用反接法。钨极氩弧焊时，为防止钨极烧损，采用正接法。熔化极氩弧焊时，采用反接法，使电弧燃烧稳定、熔深大。

交流电弧。由交流电源提供能源，电流每秒都有 100 次通过零点，由于过零点时电弧熄灭，然后再反向引燃，所以稳定性较差。为提高焊接电弧燃烧的稳定性，可采用在交流焊机上串接一个适当的电感和通过提高焊接电源空载电压、采用方波电源等措施。交流电弧具有无偏吹等优点。

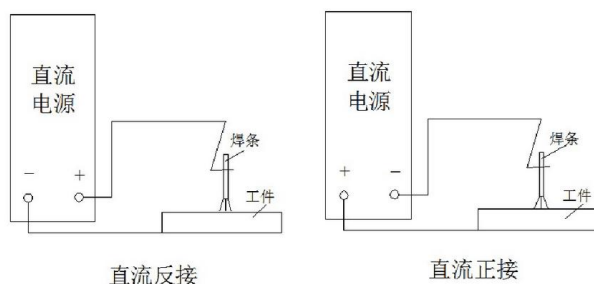


图 6-8 直流正反接示意图

## (2) 压缩电弧

压缩电弧是自由电弧受强制压缩而成，它能使电弧区内的气体充分电离。压缩电弧的导电截面收缩得比较小，因此具有电流密度大、温度高、能量更集中等特点。如等离子弧就是一种较为常见的压缩电弧。

## (3) 脉冲电弧

当焊接电源的电流以脉冲形态输出时，其产生的电弧为脉冲电弧。脉冲电弧可用于钨极、熔化极氩弧焊。脉冲电弧根据脉冲波形和频率不同而各有特点。脉冲直流电弧在整个焊接过程都有基值电流维持电弧稳定燃烧，故电弧稳定。通过对基值电流的调节，可改变对焊件的能量输入。

## 三、焊条与弧焊电源

### 1. 焊条

#### (1) 焊条的组成及其作用

涂有药皮的供弧焊用的熔化电极称为电焊条，简称焊条。焊条由焊芯和药皮（涂层）组成。

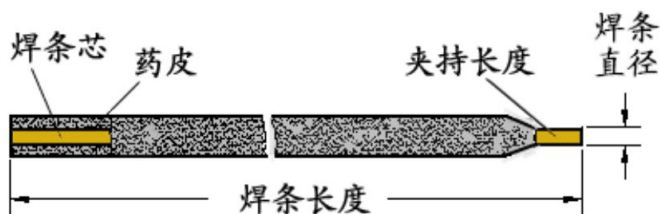


图 6-9 焊条的组成

焊芯：是指电焊条用的被药皮包覆的金属芯。焊芯作为电极传导电流，维持电弧燃烧，熔化后作为填充金属与母材形成焊缝。

涂敷在焊芯表面的有效成分称为药皮，也称涂层。焊条药皮是矿石粉末、铁合金粉、有机物和化工制品等原料按一定比例配制后压涂在焊芯表面上的一层涂料。其作用是：

机械保护 焊条药皮熔化或分解后产生气体和熔渣，隔绝空气，防止熔滴和熔池金属与空气接触。熔渣凝固后的渣壳覆盖在焊缝表面，可防止高温的焊缝金属被氧化和氮化，并可减慢焊缝金属的冷却速度。

冶金处理 通过熔渣和铁合金进行脱氧、去硫、去磷、去氢和渗合金等焊接冶金反应，可去除有害元素，增添有用元素，使焊缝具备良好的力学性能。

改善焊接工艺性能 药皮可保证电弧容易引燃并稳定地连续燃烧；同时减少飞溅，改善熔滴过渡和焊缝成形等。

渗合金 焊条药皮中含有合金元素熔化后过渡到熔池中，可改善焊缝金属的性能。

## (2) 焊条的分类、型号及牌号

### ①焊条的分类

按焊条的用途分为结构钢焊条、钼和铬钼型焊条、不锈钢焊条、堆焊焊条、低温钢焊条、铸铁焊条、镍及镍合金焊条、铜及铜合金焊条、铝及铝合金焊条、特殊用途焊条

按焊接熔渣的碱度分为酸性焊条、碱性焊条。

按焊条药皮的类型分为氧化钛型焊条、钛钙型焊条、钛铁矿型焊条、氧化铁型焊条、纤维素型焊条和低氢型焊条等。

### ②碳钢焊条型号的编制方法

焊条型号是指国家标准中规定的焊条代号。GB5117—85《碳钢焊条》中，规定焊条型号编制方法是（E××××）：

字母“E”表示焊条；第一、二位数字表示熔敷金属抗拉强度的最小值，单位 kg/mm<sup>2</sup>；第三位数字表示焊条的焊接位置；“0”及“1”表示焊条适用于全位置焊接“2”表示焊条适用于平焊及横角焊；“4”表示焊条适用于向下立焊；第三位和第四位数字组合时表示焊接电流种类及药皮类型。完整的焊条型号举例如下：

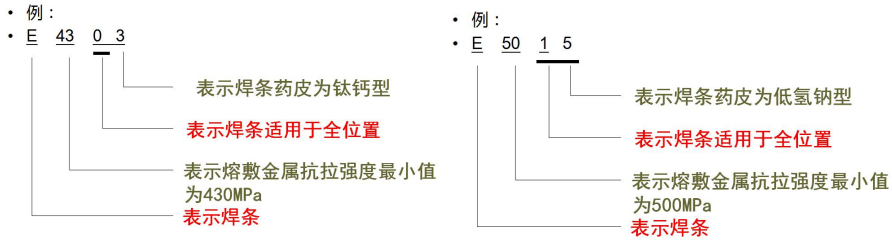


图 6-10 完整的焊条型号

### (3) 常用碳钢焊条

碳钢焊条是指用于焊接低碳或中碳结构钢的焊条，生产中应用的最多。碳钢焊条的药皮类型虽然很多，但生产中常用的是钛钙型与低氢型两种。

#### ① 钛钙型焊条（酸性焊条）

常用钛钙型碳钢焊条型号：E4303、E5003。

优点：电弧稳定、可交直流两用；脱渣容易、熔池适中，飞溅少，焊接时产生的有害气体少，适用于全位置焊接。

缺点：焊缝金属的力学性能（主要是塑性、韧性）和抗裂能力较差。

#### ② 低氢型焊条（碱性焊条）

常用低氢型碳钢焊条型号：E××15、E××16。

优点：熔渣的氧化性很弱，又具有一定的脱硫能力，因此焊缝中的含氧量、含硫量也都较低，这就保证了其焊缝力学性能及抗裂能力均优于酸性焊条。

缺点：工艺性能差，表现在电弧不够稳定，必须用直流电源；飞溅较大，焊缝表面纹路粗糙，脱渣亦较困难；焊接时会产生有害气体，在通风不良的环境中施焊堆焊工健康有一定的影响。



#### (4) 焊条的选用原则

焊条的种类繁多，每种焊条均有一定的特性和用途。选用焊条是焊接准备工作中一个很重要的环节。在实际工作中，除了要认真学习各种焊条的成分、性能及用途外，还应根据被焊焊件的状况、施工条件及焊接工艺等综合考虑。

### 2. 弧焊电源

#### (1) 弧焊电源在电弧焊中的作用

不同材料、不同结构的工件，需要采用不同的电弧焊工艺方法，而不同的电弧焊工艺方法则需用不同的电弧焊机。

显然，弧焊电源电气性能的优劣，在很大程度上决定了电弧焊机焊接过程的稳定性。没有先进的弧焊电源，要实现先进的焊接工艺和焊接过程自动化也是难以办到的。因此，应该对弧焊电源的基本理论、结构特点和电气性能进行深入的研究，真正了解和正确使用弧焊电源，进而研制出新型的弧焊电源，使焊接质量和生产效率得到进一步提高。

#### (2) 弧焊电源的种类

弧焊电源种类很多，其分类方法也不尽相同。本书按弧焊电源输出的焊接电流波形的形状将弧焊电源分为交流弧焊电源、直流弧焊电源和脉冲弧焊电源三种类型。每种类型的弧焊电源根据其结构特点不同又可分为多种形式。如图 6-9 所示。

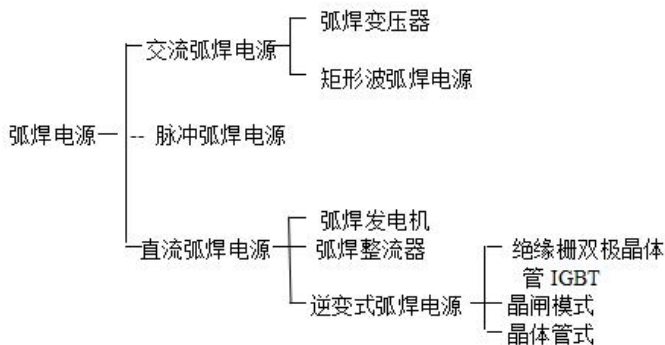


图 6-11 弧焊电源的种类

### (3) 常见弧焊电源的特点和用途

弧焊变压器 它把电网的交流电变成适合于电弧焊的低电压交流电，它由变压器、电抗器等组成。弧焊变压器具有结构简单、易造易修、成本低、磁偏吹小、空载损耗小、噪声小等优点。但其输出电流波形为正弦波，因此，电弧稳定性较差，功率因数低，一般用于焊条电弧焊、埋弧焊和钨极惰性气体保护电弧焊等方法。

直流弧焊发电机 一般由特种直流发电机、调节装置和指示装置等组成。按驱动动力的不同，直流弧焊发电机可分为两种：以电动机驱动的并与发电机组成一体的称为直流弧焊电动发电机；以柴（汽）油驱动并与发电机组成一体的，称为直流弧焊柴（汽）油发电机。它与弧焊整流器相比，制造复杂，噪声及空载损耗大，效率低，价格高；但其抗过载能力强，输出脉动小，受电网电压波动的影响小，一般用于碱性焊条电弧焊。

弧焊整流器 由变压器、整流器及为获得所需外特性的调节装置、指示装置等组成。它把电网交流电经降压整流后获得直流电。与直流弧焊发电机相比，它具有制造方便、价格低、空载损小、噪声小等优点。而且大多数弧焊整流器可以远距离调节焊接工艺参数，能自动补偿电网电压波动对输出电压和电流的影响。它可作为各种弧焊方法的电源。

逆变式弧焊电源 它把单相（或三相）交流电经整流后，由逆变器转变为几百至几万赫兹的中频交流电，降压后输出交流或直流电。整个过程由电子电路控制，使电源获得符合要求的外特性和动特性。它具有高效节能、重量轻、体积小、功率因数高等优点，可应用于各种弧焊方法 是一种很有前途的普及型弧焊电源。

脉冲弧焊电源 焊接电流以低频调制脉冲方式馈送，一般由普通的弧焊电源与脉冲发生电路组成。它具有效率高、输入线能量较小、线能量调节范围宽等优点。它主要用于气体保护电弧焊和等离子弧焊。

#### (4) 弧焊电源的现状与发展方向

焊接技术的发展是与近代工业和科学技术的发展紧密相联的。弧焊电源又是弧焊技术发展水平的主要标志，它的发展与弧焊技术的发展也是互相促进、密切相关的。

弧焊电源的飞速发展，不仅表现在弧焊电源种类的大量增加，还表现在广泛应用电子技术、控制技术、电子计算机技术等方面的理论知识和最新成就，来不断提高弧焊电源的质量，改善其电气性能。采用计算机控制，具有记忆、预置焊接参数和在焊接过程中自动变换焊接参数等功能，使弧焊电源智能化。

### 四、焊条电弧焊的操作规程与平敷焊操作

#### 1. 焊工安全生产知识

##### (1) 焊工安全生产的重要性

焊工在工作时要与电、可燃及易爆的气体、易燃液体、压力容器等接触，在焊接过程中还会产生一些有害气体、金属蒸气和烟尘，电弧光的辐射，焊接热源（电弧、气体火焰）的高温等，如果焊工不遵守安全操作规程，就可能引起触电、灼伤、火灾、爆炸、中毒等事故，和不仅给国家财产造成经济损失，而且直接影响焊工及其它工作人员的人身安全。

党和政府对焊工的安全健康是非常重视的。焊工工作要由必需的安全防护用品，以保证焊工的安全生产。为了进一步贯彻执行安全生产的方针，加强企业生产中安全工作的管理和领导，以保证职工的安全和健康，促进生产、在国务院的“关于加强企业生产中安全工作的几项规定”以及全国安全生产会议决议中都明确指出：“关于电气、起重、锅炉、受压容器、焊接……等特殊工种的工人，必需进行专门的安全技术教育和训练，经过考试合格后，才能允许现场操作。”这样经常对焊工进行安全技术教育和训练，从思想上重视安全生产，明确安全生产的重要性，增强责任感，了解安全生产的规章制度，熟悉并掌握安全生产的有效措施，避免和杜绝事故的发生是十分必要又具有重要意义的。

## (2) 预防触电的安全知识

通过人体的电流大小，决定于线路中的电压和人体的电阻。人体的电阻除人的自身电阻外，还包括人身所穿得衣服和鞋等的电阻。干燥的衣、鞋以及干燥的工作场地，能使人体的电阻增大。通过人体的电流打下不同，对人体的伤害轻重程度也不同。当通过人体的电流强度超过 0.05A 时，生命就有危险；通过 0.1A，足以使人致命。人体的电阻由 50000  $\Omega$  可以降至 800  $\Omega$ ，根据欧姆定律，40V 的电压就对人身有危险。而焊接工作场地所用的网路电压为 380V 或 220V，焊机的空载电压一般都在 60V 以上。因此，焊工在工作时必须注意防止触电。

①弧焊金属的外壳必须接零或接地，而且接线应牢靠，以免由于漏电而造成触电事故。

②弧焊设备的初级接线、修理和检查应由电工进行，焊工不可私自随便拆修，次级接线电焊工进行连接。

③推拉电源闸刀时，应戴好干燥的皮手套，面部不用面对着闸刀，以免推拉闸刀时，可能发生电弧火花而灼伤脸部。

④焊钳应有可靠的绝缘。中断工作时，焊钳要放在安全的地方，防止焊钳与焊件之间产生短路而烧坏弧焊机。

⑤焊工的工作服、手套、绝缘鞋应保持干燥。

⑥在容器或船舱内或其它狭小工作场地焊接时，须两人轮换操作，其中一人留守在外面监护，以免发生意外时，立即切断电源便于急救。

⑦在潮湿的地方工作时，应用干燥的木板或橡胶片等绝缘物作垫板。

⑧在光线暗的地方，容器内操作或夜间工作时，使用的工作照明灯的电压应不大于 36V。

⑨更换焊条时，不仅应带好手套，而且应避免身体与焊件接触。

⑩焊接电焊必须有完整的绝缘，不可将电缆放在焊接电弧的附近或炽热得

焊缝金属上，避免高温而烧坏的绝缘层；同时，也要避免碰撞磨损。焊接电缆如有磨损应立即进行修理或调换。

⑪遇到焊工触电时，切不可用赤手去拉触电者，应先迅速将电源切断。如果切断电源后触电者呈现昏迷状态，应立即施行人工呼吸法，直至送到医院为止。

⑫焊工要熟悉和掌握有关电的基本知识、预防触电及触电后急救方法等知识，严格遵守有关部门规定的安全措施，防止触电事件发生。

### （3）预防火灾和爆炸的安全知识

焊接时，由于电弧及气体火焰的温度很高，而且在焊接过程中有大量的金属火花飞溅物，如稍有疏忽大意，就会引起火灾甚至爆炸。有哪位焊工在工作时，为了预防火灾及爆炸事故的发生，必须采取下列安全措施：

①焊接前要认真检查工作场地周围是否有易燃、易爆物（如棉纱、油漆、汽油、煤油、木屑、乙炔发生器等），如有易燃、易爆物，应将这些物品搬离焊接工作点 5m 以外。

②在高空作业时更应注意防止金属火花飞溅而引起火灾。

③严禁在有压力的容器和管道上进行焊接。

④焊补储存过易燃物的容器（如汽油箱等）时，焊前必须将容器内的介质放净，并用碱水清洗内壁，再用压缩空气吹干，应将所有孔盖完全打开，确认安全可靠，方可焊接。

⑤在进入容器内工作时，焊、割炬应随焊工同时进出，也严禁将焊、割炬放在容器内而焊工擅自离去，以防混合气体燃烧和爆炸。

⑥焊条头及焊后的焊件不能随便乱扔，要妥善管理，更不能仍在易燃、易爆物品的附近，以免发生火灾。

⑦每天下班时应检查工作场地附近是否有引起火灾的隐患，如确认安全，

才可离走。

#### (4) 预防弧光辐射的安全知识

电弧辐射产生可见光、红外线、紫外线三种射线。过强的可见光耀眼炫目；紫外线对眼睛和皮肤有较大的刺激性，它能引起电光性眼炎，电光性眼炎的症状时眼睛疼痛，有沙粒感、多泪、畏光、怕风吹等，但电光性眼炎一般不会有后遗症，皮肤受到紫外线照射时，先是痒、发红、触痛，以后变黑，脱皮。如果工作时注意防护，以上症状时不会发生的。因此焊工预防弧光辐射应采取下列措施：

①焊工必须使用有电焊防护玻璃的面罩。

②面罩应该轻便、成形合适，耐热不导电、不导热、不漏光。

③焊工工作时，应穿白色帆布工作服，防止弧光灼伤皮肤。

④操作引弧时，焊工应该注意周围工人，以免强烈弧光伤害他人眼睛。

⑤在厂房内和人多的区域进行焊接时，尽可能地使用屏风板，避免周围人受弧光伤害。

⑥重力焊或装配定位焊时，要特别注意弧光的伤害，因此要求焊工或装配工应戴防光眼镜。

#### 2. 焊条电弧焊平敷焊操作

焊条电弧焊是用手工操作焊条进行焊接的电弧焊方法，适用于焊接碳钢、低合金钢、不锈钢以及铜、铝、钛及其合金等金属材料。

焊条电弧焊的设备简单、操作方便、灵活，适用于各种条件下的焊接，特别是用于结构形状复杂、焊缝短小，弯曲或各种空间位置焊缝的焊接。

平敷焊是在焊缝倾角  $0^\circ$  焊缝转角  $90^\circ$  的焊接位置上堆敷焊道的一种操作方法。如图 6-10 所示。

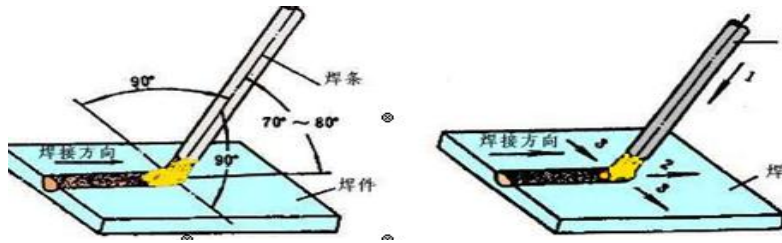


图 6-12 平敷焊

平敷焊是焊条电弧焊其他位置焊接操作的基础。本课题的主要任务就是通过平敷焊训练掌握焊条电弧焊的基本操作要领。

### (1) 焊前准备

①试件材料尺寸 Q235 300mm×200mm×6mm

②焊接材料

焊条牌号 E4303(结 422)、E5015 (结 507)，焊条应符合 GB/T5117—1995《碳钢焊条》标准规定。E4303 型焊条适用于交、直两用弧焊电源，而 E5015 型焊条只适用于直流弧焊电源。

E4303(结 422)酸性焊条烘焙 75~150℃，恒温 1~2h； E5015(结 507)碱性焊条烘焙 350--400° C，恒温 2h，随用随取。焊条直径为 3.2 mm，4.0 mm。

③焊接设备 常用电弧焊焊接设备有以下几类：

BX1--315 型弧焊变压器该焊机属于动铁心式。焊机的外形和外部接线如图所示。

焊接电流粗调节是改变二次侧接线板上的连接铜片位置如图 6-11 所示。



图 6-13 BX1--315 型弧焊变压器

注意事项：粗调节应在切断电源的情况下进行，以防触电。焊机上的电流刻度值精度较差。使用时只能作为参考，若要知道实际的焊接电流值，可借助电流表调试。

#### ④焊接工具及防护用品

电焊钳用于夹持电焊条并把焊接电流传输至焊条进行电弧焊的工具。如图所示。



图 6-14 电焊钳

焊接电缆线用于传输电焊机和电焊钳及焊条之间焊接电流的导线，

面罩是防止焊接时的飞溅、弧光及熔池和焊件的高温对焊工面部及颈部灼伤的一种遮蔽工具，有手持式和头戴式两种，其正面开有长方形孔，内嵌白色玻璃和黑色滤光玻璃。

其他辅助工具 如敲渣锤、钎子、锉刀、钢丝刷、焊条烘干箱、焊条保温桶等。

#### (2) 焊接工艺参数

焊接电流大小主要取决于焊条直径和焊缝空间位置，其次是工件厚度、接头形式、焊接层次等。

①焊条直径 焊接较薄的焊件，选用焊条直径要细一些。则焊接电流也相应小；反之，则应选择大的焊条直径，焊接电流也要相应增大。焊接电流可按下列经验公式选择： $I=Kd$



式中：d——焊条直径，mm； K——经验系数，A/mm。

②焊接位置 平焊位置时，运条及控制熔池中的熔化金属比较容易。可选择较大的焊接电流。横、立、仰焊位置时，为了避免熔池金属下滴，焊接电流应比平焊位置小 10%-20%，角接焊电流比平焊电流稍大些。

③焊接层次 通常打底焊接，特别是焊接单面焊双面成形的焊道时，使用的焊接电流要小，这样才便于操作和保证背面焊道的质量；填充焊道可以选择较大的焊接电流；而盖面焊道，为防止咬边，使用的电流可稍小些；

另外，碱性焊条选用的焊接电流比酸性焊条小 10%左右，不锈钢焊条比碳钢焊条选用电流小 20%左右。

#### 经验点滴

除了用电流表测量焊接电流外，在实际工作中，还可以凭经验从以下几方面来判断电流大小是否合适。

听响声 焊接的时候可以从电弧的响声来判断电流的大小。当焊接电流较大时，发出“哗哗”的响声，犹如大河浇水一样；当电流较小时，发出“沙沙”的响声，同时夹杂着清脆的“劈啪”声。

观察飞溅状态 电流过大时，电弧吹力太，有较大颗粒的熔液向熔池外飞溅，且焊接时爆裂声大，焊件表面不干净；电流太小时，焊条熔化慢，电弧吹力小，焊渣和熔液很难分离。

观察焊条熔化情况 电流过大时，在焊条连续熔掉大半根之后，可以发现剩余部分产生发红现象；焊接电流过小时，电弧燃烧不稳定，焊条易粘在焊件上。

看熔池形状 当电流较大时，椭圆形熔池长轴较长；电流较小时，熔池呈扁形；电流适中时，熔池的形状像鸭蛋形。

检查焊缝成形状况 电流过大时，焊缝熔敷金属低，熔深大，易产生咬边；电流过小时，焊缝熔敷金属窄而高，且两侧和母材结合不良；电流适中时，焊

缝熔敷金属高度适中，焊缝熔敷金属两侧与母材结合得很好。

### (3) 操作要点及注意事项

①平焊操作姿势平焊时，一般采用蹲式操作。如左下图所示：



图 6-15 平焊操作姿势

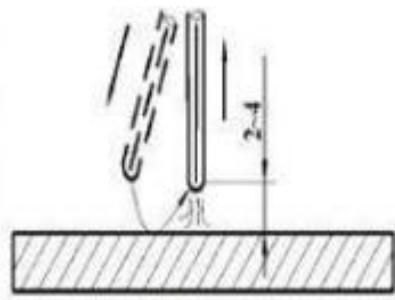


图 6-16 平焊引弧

蹲姿要自然，两脚夹角为  $70^{\circ}\sim 85^{\circ}$ ；两脚距离为  $240\sim 300\text{mm}$ 。持焊钳的胳膊半伸开，要悬空无依托地操作。

②引弧引弧操作时首先用防护面罩挡住面部，将焊条末端对准引弧处。焊条电弧焊采用接触法引弧，引弧方法有划擦法和直击法两种。

划擦引弧法先将焊条末端对准引弧处，然后像划火柴似的使焊条在焊件表面利用腕力轻轻划擦一下，划擦距离  $10\sim 20\text{mm}$ ，并将焊条提起  $2\sim 10\text{mm}$ 。如右上图所示，电弧即可引燃，引燃电弧后，应保持电弧长度不超过所用焊条直径。

直击引弧法先将焊条垂直对准焊件待焊部位轻轻触击，并将焊条适时提起  $2\sim 3\text{mm}$ 。如下图所示，即引燃电弧。直击法引弧不能用力过大，否则容易将焊条引弧端药皮碰裂，甚至脱落，影响引弧和焊接。

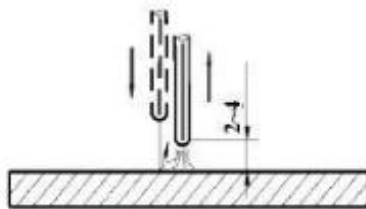
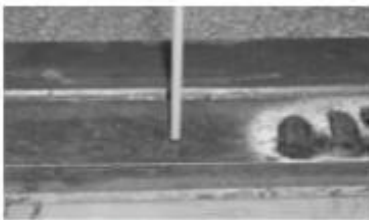


图 6-17 直击引弧法

引弧时，不得随意在焊件、母材表面上“打火”，尤其是高强度钢、低温钢、不锈钢。这是因为电弧擦伤部位容易引起淬硬或微裂，不锈钢还会降低耐腐蚀性，所以引弧应在待焊部位或坡口内。

### 经验点滴

在引弧过程中，如果焊条与焊件粘在一起，通过晃动不能取下焊条时，应立即将焊钳与焊条脱离，待焊条冷却后，焊条就很容易扳下来。

③运条。运条一般分为三个基本运动：沿焊条中心线向熔池送进，沿焊接方向均匀移动，横向摆动。上述三个动作不能机械地分开，而应相互协调，才能焊出满意的焊缝。

运条的方法很多，选用时应根据接头的形式、装配间隙、焊缝的空间位置、焊条的直径与性能、焊接电流及焊工技术水平等方面而定。

### ④焊缝的起头、收尾和接头

焊缝的起头 焊缝的起头是焊缝的开始部分，由于焊件的温度很低，引弧后又不能迅速地使焊件温度升高，一般情况下这部分焊缝余高略高，熔深较浅，甚至会出现熔合不良和夹渣。因此引弧后应拉长电弧对工件预热，然后压低电弧进行正常焊接。平焊和碱性焊条多采用回焊法，从距离始焊点 10mm 处引弧，逐渐压低电弧，同时焊条做微微摆动，从而达到所需要的焊道宽度，然后进行正常的焊接。

焊缝的收尾 焊缝结束时不能立即拉断电弧，否则会形成弧坑。弧坑不仅减少焊缝面积而削弱强度，还会引起应力集中，而且弧坑处含氢量较高，易产生延迟裂纹，有些材料焊后在弧坑处还容易产生弧坑裂纹。所以焊缝应进行收尾处理，以保证连续的焊缝外形，维持正常的熔池温度，逐渐填满弧坑后熄弧。

收尾方法有反复断弧收尾法、划圈收尾法、回焊收尾法三种：

反复断弧收尾法是焊到焊缝终端，在熄弧处反复进行点弧动作填满弧坑为止，该法不适用于碱性焊条。

划圈收尾法是焊到焊缝终端时，焊条作圆圈形摆动，直到填满弧坑再拉断电弧，此法适用于厚板。

回焊收尾法时焊到焊缝终端时在收弧处稍作停顿，然后改变焊条角度而后回焊 20—30mm，再将焊条拉向一侧熄弧，此法适用于碱性焊条。

焊缝接头。由于焊条长度有限，不可能一次连续焊完长焊缝，因此出现接头问题。这不仅是外观成形问题，还涉及焊缝的内部质量，所以要重视焊缝的接头问题。焊缝的接头形式分为以下四种：

中间接头。这是用得最多的一种，接头时在前焊缝弧坑前约 10mm 处引弧。电弧长度可稍大于正常焊接，然后将电弧拉到原弧坑 2/3 处，待填满弧坑后再向前转入正常焊接。此法适用于单层焊及多层多道焊的盖面层接头。

相背接头。即两焊缝的起头相接。接头时要求前焊缝起头处略低些，在前焊缝起头前方引弧，并稍微拉长电弧运弧至起头处覆盖往前焊缝的起头，待焊平后再沿焊接方向移动。

相向接头。接头时两焊缝的收尾相接，即后焊缝焊到前焊缝的收尾处，焊接速度略减慢些，填满前焊缝的弧坑后，再往前运弧，然后熄弧。

分段退焊接头。接头时前焊缝起头和后焊缝收尾相接。接头形式与相向接头情况基本相同，只是前焊缝起头处应略低些。

#### (4) 操作过程

清除试件表面上的油污、锈蚀、水分及其他污物，直至露出金属光泽。

先在焊件上用粉笔划线，然后在直线的交点处用划擦引弧法引弧。引弧后，焊成直径为 13mm 的焊点后灭弧。这样不断重复操作完成若干个焊点的引弧训练。

引弧练习时，可以用 E4303(结 422)和 E5015(结 507)两种焊条，分别使用交流、直流焊机引弧。注意酸性焊条和碱性焊条在使用焊接电流上的区别。

用直径 3.2mm 和 4.0mm 焊条按焊接工艺参数，以焊缝位置线为运条轨迹，

采用直线形运条法、直线往复形运条法、锯齿形运条法、月牙形运条法、正三角形运条法练习。

进行焊缝的起头、接头、收尾。

每条焊缝焊完后，清理熔渣，分析焊接产生的现象和问题并总结经验，再进行另一道焊缝的焊接。

#### (5) 焊接质量要求

- ①焊缝的起头和连接处平滑过渡，无局部过高现象，收尾处孤坑填满。
- ②焊缝表面焊波均匀、无明显未熔合和咬边，其咬边深度《0.5mm 为合格。
- ③焊缝边缘直线度在任意 300mm 连续焊缝内 $\leq 3\text{mm}$ 。
- ④试件表面非焊道上不应有引弧痕迹。

## 6.2 二氧化碳气体保护焊

### 一、焊接技术的发展趋势

国外专家认为：“在未来，焊接仍将是制造业的重要加工工艺。它是一种精确、可靠、低成本，并且是采用高科技连接材料的方法。目前还没有其他方法能够比焊接更为广泛地应用于金属的连接，并对所焊的产品增加更大的附加值。

#### 1. 我国焊接自动化技术的现状

随着数字化技术日益成熟，数字焊机、数字化控制技术业已稳步进入市场。三峡工程、西气东输工程、航天工程、船舶工程等大型基础工程，有效地促进了先进焊接特别是焊接自动化技术的发展与进步。汽车及零部件的制造对焊接的自动化程度要求日新月异。焊接产业逐步走向“高效、自动化、智能化”。目前我国的焊接自动化率还不足 30%，同发达工业国家的 80% 差距甚远。从 20 世纪末国家逐渐在各个行业推广自动焊的基础焊接方式——气体保护焊，来取代传统的手工电弧焊，现已初见成效。可以预计在未来的 10 年，国内自动化焊接技术将以前所未有的速度发展。

20 世纪 90 年代始，我国焊接界把实现焊接过程的机械化、自动化作为战略目标，已经在各行业的科技发展中付诸实施，在发展焊接生产自动化，研究和开发焊接生产线及柔性制造技术，发展应用计算机辅助设计与制造；药芯焊丝由现在的 2% 增长到 20%；埋弧焊焊材也将在 10% 的水平上继续增长。其中药芯焊丝的增长幅度明显加大，在未来 20 年内会超过实芯焊丝，最终将成为焊接中心的主导产品。

高效、节能并能够自动调节焊接参数的智能型逆变焊机将逐取代手弧焊和普通晶闸管焊机，而且焊机的操作趋向于简单化、智能化，以符合当今淡化操作技能的趋势。

在汽车上、造船、工程机械和航空等领域，适用于不同场合的智能化焊接

机器人较为广泛的应用，大幅度提高了焊接质量和生产效率。

## 2. 焊接自动化技术的展望

电子技术、计算机微电子住处和自动化技术的发展，推动了焊接自动化技术的发展。特别是数控技术、柔性制造技术和信息处理技术等单元技术的引入，促进了焊接自动化技术革命性的发展。

焊接过程控制系统的智能化是焊接自动化的核心问题之一，也是我们未来开展研究的重要方向。我们应开展最佳控制方法方面的研究，包括线性和各种非线性控制。最具代表性的是焊接过程的模糊控制、神经网络控制，以及专家系统的研究。

焊接柔性化技术也是我们着力研究的内容。在未来的研究中，我们将各种光、机、电技术与焊接技术有机结合，以实现焊接的精确化和柔性化。用电子技术改造传统焊接工艺装备，是提高焊接自动化水平的根本途径。将数控技术配以各类焊接机械设备，以提高其柔性化水平，是当前一个方向，另外，焊接机器人与专家系统的结合，实现自动路径规划、自动校正轨迹、自动控制熔深等功能，是当前的重点。

焊接控制系统的集成是人与技术的集成和焊接技术与信息技术的集成。集成系统中信息流和物质流是其重要的组成部分，促进其有机地结合，可大大降低信息量和实时控制的要求。注意发挥人在控制和临机处理的响应和判断能力，使人和自动系统和谐统一，是集成系统的不可低估的因素。

提高焊接电源的可靠性、质量稳定性和控制，以及优良的动感性，开发研制具有调节电弧运动、送丝和焊枪姿态，能探测焊缝坡开头、温度场、熔池状态、熔透情况，适时提供焊接规范参数的高性能焊机，并应积极开发焊接过程的计算机模拟技术。使焊接技术由“技艺”向“科学”演变是实现焊接自动化的一个重要方面。

## 二、二氧化碳气体保护焊概述

早在 20 世纪 30 年代就有人提出用 CO<sub>2</sub> 及水蒸气作为保护气体，但试验结果发现焊缝金属严重氧化，气孔很多，焊接质量得不到保证。因此氩气、氦气等惰性气体保护焊首先应用于焊接生产，解决了当时航空工业中有色金属的焊接问题，气体保护焊的优越性也逐步被人们认识和重视。但是氩气、氦气为稀有气体，价格较贵，应用上受到一定的限制。为此，到 20 世纪 50 年代。人们又重新研究 CO<sub>2</sub> 气体保护焊，并逐步应用焊接生产。

CO<sub>2</sub> 气体保护电弧焊是利用 CO<sub>2</sub> 作为保护气体的熔化极电弧焊方法。这种方法以 CO<sub>2</sub> 气体作为保护介质，使电弧及熔池与周围空气隔离，防止空气中氧、氮、氢对熔滴和熔池金属的有害作用，从而获得优良的机械保护性能。生产中一般是利用专用的焊枪，形成足够的 CO<sub>2</sub> 气体保护层，依靠焊丝与焊件之间的电弧热，进行自动或自半自动熔化极气体保护焊接。

### 1. 二氧化碳气体保护焊的特点

#### (1) 二氧化碳气体保护焊优点：

焊接生产率高。由于焊接电流密度较大，电弧热量利用率较高，以及焊后不需清渣，因此提高了生产率。CO<sub>2</sub> 焊的生产率比普通的焊条电弧焊高 2-4 倍。

焊接成本低。CO<sub>2</sub> 气体来源广，价格便宜，而且电能消耗少，故使焊接成本降低。通常 CO<sub>2</sub> 焊的成本只有焊条电弧焊的 40%—50%。

焊接变形小。由于电弧加热集中，焊件受热面积小，同时 CO<sub>2</sub> 气流有较强的冷却作用，所以焊接变形小，特别适宜于薄板焊接。

焊接质量较高。对铁锈敏感性小，焊缝含氢量少，抗裂性能好。

适用范围广。可实现全位置焊接，并且对于薄板、中厚板甚至厚板都能焊接。

操作简便。焊后不需清渣，且是明弧，便于监控，有利于实现机械化和自动化焊接。



## (2) 二氧化碳气体保护焊缺点:

飞溅率较大, 并且焊缝表面成形较差。金属飞溅是 CO<sub>2</sub> 焊中较为突出的问题, 这是主要缺点。

很难用交流电源进行焊接, 焊接设备比较复杂。

抗风能力差, 给室外作业带来一定困难。

不能焊接容易氧化的有色金属。

CO<sub>2</sub> 焊的缺点可以通过提高技术水平和改进焊接材料、焊接设备加以解决, 而其优点却是其他焊接方法所不能比的。因此, 可以认为 CO<sub>2</sub> 焊是一种高效率、低成本的节能焊接方法。

## 2. 二氧化碳气体保护焊的应用

CO<sub>2</sub> 焊主要用于焊接低碳钢及低合金钢等黑色金属。对于不锈钢, 由于焊缝金属有增碳现象, 影响抗晶间腐蚀性能。所以只能用于对焊缝性能要求不高的不锈钢焊件。CO<sub>2</sub> 焊还可用于耐磨零件的堆焊、铸钢件的焊补以及电钎焊等方面。

目前 CO<sub>2</sub> 焊已在汽车制造、机车和车辆制造、化工机械、农业机械、矿山机械等部门得到了广泛的应用。

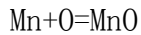
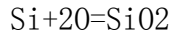
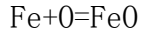
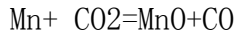
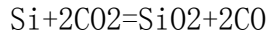
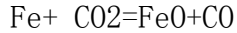
## 三、二氧化碳气体保护焊的冶金特点

CO<sub>2</sub> 气保焊时, 合金元素的烧损, 焊缝中的气孔和焊接时的飞溅, 这三方面是 CO<sub>2</sub> 气保焊的主要问题, 而这些问题都与电弧气氛的氧化性有关。因为只有当电弧温度在 5000K 以上时, CO<sub>2</sub> 气体才能完全分解, 但在一般的 CO<sub>2</sub> 气保焊电弧气氛中, 往往只有 40~60%左右的 CO<sub>2</sub> 气体完全分解, 所以在电弧气氛中同时存在 CO<sub>2</sub>、CO 和 O 气氛对熔池金属有严重的氧化作用。

### 1. 合金元素的氧化问题

#### (1) 合金元素的氧化

CO<sub>2</sub> 气体和 O 对金属的氧化作用, 主要有以下几种形式:



这些氧化反应既发生在熔滴中，也发生于深池中。氧化反应的程序取决于合金元素的浓度和对氧的亲合力的大小，由于铁的浓度最大，固铁的氧化最强烈，Si、Mn、C的浓度虽然较低但与氧的亲合力比铁大，所以大部分数量被氧化。

以上氧化反应的产物  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{MnO}$  结合成为熔点较低的硅酸盐熔渣，浮于熔池上面，使熔池金属受到良好的保护。反应生成的 CO 气体，从熔池中逸到气相中，不会引起焊缝气孔，只是使焊缝中的 Si、Mn 元素烧损。在  $\text{CO}_2$  气保焊中，与氧亲合力较弱的元素 Ni、Cr、Mo 其过渡系数最高，烧损最少。与氧亲合力较大的元素 Si 和 Mn，其过渡系数较低，因为它们当中有相当数量用于脱氧。而与氧的亲合力最大的元素 Al、Ti、Nb 的过渡系数更低，烧损比 Si、Mn 还要多。

反应生成的 FeO 将继续与 C 作用产生 CO 气体，如果此时气体不能析出熔池，则在焊缝中生成 CO 气孔。反应生成的 CO 气体在电弧高温下急剧膨胀，使熔滴爆破而引起金属飞溅，因此必须采取措施，尽量减少铁的氧化。

## (2) 脱氧措施

由上述合金元素的氧化情况可知，Si、Mn 元素的氧化结果能生成硅酸盐熔渣，因此在  $\text{CO}_2$  气保焊中的脱氧措施主要是在焊丝或药芯的药中加 Si、Mn 作为脱氧剂。有时加入一些 Al、Ti，但是 Al 加入太多会降低金属的抗热裂纹能力，而 Ti 极易氧化，不能单独作为脱氧剂。利用 Si、Mn 联合脱氧时，对 Si、

Mn 的含量有一家的比例要求。Si 过高也会降低抗热裂纹能力，Mn 过高会使焊缝金属的抗冲击值下降，一般控制焊丝含 Si 量为 1%左右，含 Mn 量为 1~2%左右。

## 2. 气孔问题

**CO 气孔** CO<sub>2</sub> 气保焊时，由于熔池受到 CO<sub>2</sub> 气流的冷却，使熔池金属凝固较快，若冶金反应生成的 CO 气体是发生在熔池快凝固的时候，则很容易生成 CO 气孔，但是只要焊丝选择合理，产生 CO 气孔的可能性很小。

**N<sub>2</sub> 气孔** 当气体保护效果不好时，如气体流量太小；保护气不纯；喷嘴被堵塞；或室外焊接时遇风；使气体保护受到破坏，大量空气侵入熔池，将引起 N<sub>2</sub> 气孔。

**H<sub>2</sub> 气孔** 在 CO<sub>2</sub> 气保焊时产生 H<sub>2</sub> 气孔的机率不大，因为 CO<sub>2</sub> 气体本身具有一家的氧化性，可以制止氢的有害作用，所以 CO<sub>2</sub> 气保焊时对铁锈和水分没有埋弧焊和氩弧焊那样敏感，但是如果焊件表面的油污以及水分太多，则在电弧的高温作用下，将会分解出 H<sub>2</sub>，当其量超不定期 CO<sub>2</sub> 气保焊时氧化性对氢的抑制作用时，将仍然产生 H<sub>2</sub> 气孔。

为了防止 H<sub>2</sub> 气孔的产生，焊丝和焊件表面必须去除油污、水分、铁锈，CO<sub>2</sub> 气体要经过干燥，以减少氢的来源。

## 3. 二氧化碳气体保护焊的飞溅问题

### (1) 飞溅产生的原因

由于焊丝和工件中都含有碳，CO<sub>2</sub> 气保焊电弧气氛氧化性强，熔滴中发生  $FeO + C = Fe + CO \uparrow$ ，熔滴爆炸，产生飞溅。

另一个原因是 CO<sub>2</sub> 气保焊细丝（Φ 1.6mm 以下）焊时，一般采用短路过渡焊接，当电弧短路期间，电弧空间逐渐冷却，当电弧再次引燃时，电流较大，电弧热量突然增大，较冷的气体瞬间产生体积膨胀而引起较大的冲动功，由此引起较大的飞溅。

另外当焊机的动特性不太好时，短路电流的增长速度太慢，使熔滴过渡频率降低，短路时间增长，焊丝伸出部分在电阻热的作用下，会发红软化，形成大颗粒成段断落，爆断，使电弧熄灭，造成焊接过程不稳。短路电流增长太快时，一发生短路，熔滴立即爆炸，产生大量的飞溅，

## (2) 减少飞溅的措施

采用活化处理过的焊丝可以细化金属熔滴减少飞溅，改善焊缝的成形。所谓活化处理就是在焊丝表面涂一层薄的碱土金属或稀土金属的化合物来提高焊丝发射电子的能力，最常用的活化剂是铯（Cs）的盐类如 CsCO<sub>3</sub>，如稍加一些 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>，Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>，则效果更显著。

限制焊丝中的含碳量在 0.08~0.11% 范围内，为此可选用超低碳焊丝，如 H04Mn2SiTiA。

必要时选用药芯焊丝，使熔滴表面有熔渣覆盖，可减少飞溅，使焊缝盛开美观。

在 CO<sub>2</sub> 气体中加入少量的 Ar 气，改善电弧的热特性和氧化性，减少飞溅。采用直流反接，使焊丝端部的极点压力较小。

选择最佳的焊接规范，焊接电流、焊接电压不要过大或过小。

选择最佳的电感值，CO<sub>2</sub> 气体保护焊时电流的增长速度与电感有关，既：

$$di/dt = (U_0 - iR) / L$$

式中：U<sub>0</sub>——电源的空载电压                      I——瞬间电流

R——焊接回路中的电阻                      L——焊接回路中的电感

由此可知电感越大，短路电流的增大速度 di/dt 越小。当焊接回路中的电感值在 0~0.2 毫亨范围内变化时，对短路电流上升速度的影响特别显著。

一般在使用细丝 CO<sub>2</sub> 气体保护焊时，由于细焊丝的熔化速度比较快，熔滴过渡的周期短，因此需要较快的电流增长速度，电感应该选小些。相反，粗焊丝的熔化速度较慢，熔滴过渡的周期长，则要求电流增长速度慢些，所以应该选

较大的电感值。

在喷嘴涂上硅油或防堵剂，可以有效防止喷嘴堵塞。使用焊接飞溅清除剂，喷涂在工件上，可以阻止飞溅物与母材直接接触，飞溅物用钢丝刷轻轻一刷就能把飞溅物清除。

#### 四、二氧化碳气体保护焊焊接操作

##### 1. 二氧化碳气体保护焊设备

CO<sub>2</sub>焊机，主要由焊接电源、焊枪及送丝机构、CO<sub>2</sub>供气装置、控制系统等组成。按操作方式可分为CO<sub>2</sub>半自动焊和CO<sub>2</sub>自动焊。

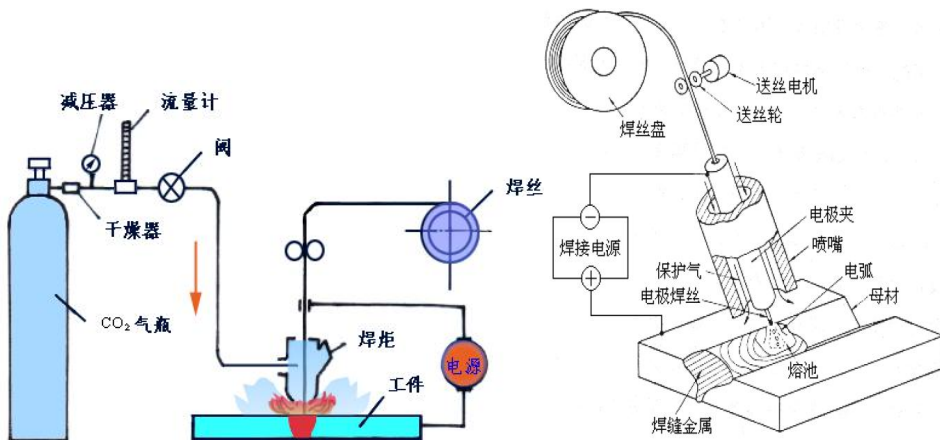


图 6-18 二氧化碳气体保护焊设备

CO<sub>2</sub>半自动焊送丝机构为等速送丝，其送丝方式有推丝式、拉丝式和推拉式三种。

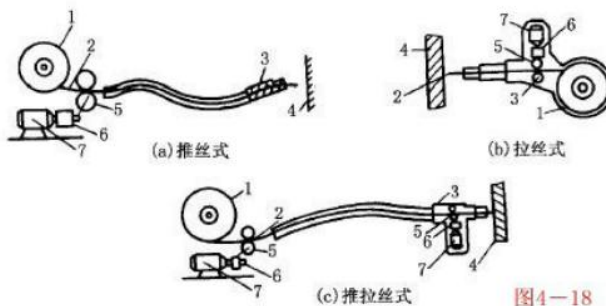


图 4-18

图 6-19 二氧化碳半自动焊送丝机构

## 2. CO<sub>2</sub> 气体保护焊的焊接工艺参数

CO<sub>2</sub> 气体保护焊的焊接工艺参数主要包括：焊丝直径、焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊丝伸出长度、气体流量、电源极性等、焊接电流与工件的厚度、焊丝直径、施焊位置以及熔滴过渡形式有关，通常用直径为 0.8~1.6mm 的焊丝，在短路过渡时，焊接电流在 50~230A 范围内选择；粗滴过渡时，焊接电流在 250~500A 选择范围内。

## 3. 二氧化碳气体保护焊操作

### (1) 焊前准备

试件材料 Q235

焊接材料 焊丝牌号：ER50—6 (H08Mn2SiA)，直径 1.0 或 1.2mm。

焊机准备 选用 NB—350 型 CO<sub>2</sub> 半自动焊机，配有平硬外特性电源，CO<sub>2</sub> 气瓶减压流量调节器，配用推丝式送丝机构。

焊机的接线操作步骤及要求：

①查明焊机电源所规定的的输入电压、频率、确保与电网相符在接入配电盘上。

②连接电源接地线。

③焊接电源输出端负极与母材链接，正极与焊枪供电部分连接。

④连接控制箱和送丝机构的控制电缆。

⑤安装 CO<sub>2</sub> 气体减压流量调节器，并将出气口与送丝机构的气管连接。

⑥将减压流量调节器上的电源插头（预热作用）插入焊机的专用插座上。

⑦焊丝送丝机构与焊枪连接。

⑧焊机操作 接通配电盘开关，合上电源控制箱上的转换开关，这时电源指示灯亮，电源电路进入工作状态。

⑨扣动焊机开关，打开气阀调节 CO<sub>2</sub> 气体流量。

⑩将送丝机构上的焊丝嵌入滚轮槽里，按下加压杠杆调整压力，并把焊丝

送入焊枪。点动焊枪开关使焊丝伸出导嘴 20mm 左右。操作准备时应注意焊丝和焊枪远离焊件，以防止短路。

焊前清理 清理钢板上的油污、锈蚀、水分及其他污物，直至露出金属光泽。在钢板长度方向每隔 30mm 用粉笔画一条直线，作为焊接时的运丝轨迹。为防止飞溅堵塞喷嘴，在喷嘴上涂一层喷嘴防堵剂。

## (2) 焊接工艺参数

平敷焊工艺参数选择见表

焊条直径 mm	焊接电流 A	电弧电压 V	焊接速度 m/h	气体流量 L/min
1.0	130-150	20-24	20-30	10-15

## (3) 操作要求及注意事项

①引弧。采用短路法引弧，引弧前先将焊丝端头较大直径球形减去，使之呈锐角，以防止产生飞溅，同时保持焊丝端头与焊件相距 2~3mm，喷嘴与焊件相距于 10~15mm。按动焊枪开关，随后自动送气、送电、送丝，直至焊丝与工作表面相碰短路，引燃电弧。此时焊枪有抬起趋势，需控制好焊枪，然后缓慢引向待焊处，当焊缝金属熔合后，再以正常焊接速度施焊。

直接焊接。直线摆动焊接形成的焊缝的宽度稍窄焊缝偏高，熔深较浅，整条焊缝往往在始焊端、焊缝的连接处、终焊端等处最容易产生缺陷，所以应采取特殊处理措施。

始焊端。焊件始焊端处于较低的温度，应在引弧之后，先将电弧稍微拉长一些，对焊缝端部适当预热，然后在压低电弧进行起始端焊接，这样可以获得具有一定熔深和成形比较整齐的焊缝。为采取过短的电弧起焊而造成焊缝成形不整齐，应当避免。重要构件的焊接，可在焊件端加引弧板，将引弧时容易出现的缺陷留在引弧板上。

②焊缝接头。连接的方法有直线无摆动焊缝连接方法和摆动焊缝连接方法两种。

直线无摆动焊缝连接方法。在原熔池前方 10~20mm 处引弧，然后迅速将电弧引向原熔池中心，待熔化金属与原熔池边缘吻合填满弧坑后，再将电弧引向前方，使焊丝保持一定的高度和角度，并以稳定的速度向前移动。

摆动焊缝连接的方法。在原熔池前方 10~20mm 处引弧，然后以直线方式将电弧引向接头处，在接头中心开始摆动，在向前移动的同时逐渐加大摆幅（保持形成的焊缝与原焊缝宽度相同），最后转入正常焊接。

终焊端。焊缝终焊端如出现过深的弧坑，会使焊缝收尾处产生裂纹和缩孔等缺陷。所以在收弧时，如果焊接没有电流衰减装置应采用多次断续引弧方式填充弧坑，直至将弧坑填平，并且与母材圆滑过渡。

③焊枪的运动方法。有左向焊法和右向焊法两种。焊枪自右向左移动称为左向焊法，自左向右移动称为右向焊法，左向焊法操作时，电弧的吹力作用在熔池及其前沿处，将熔池金属向前推延，由于电弧不直接作用在母材上，因此熔深较浅，焊道平坦且变宽，飞溅较大，保护效果好。采用左向焊法虽然观察熔池困难些，但易于掌握焊接方向，不易焊偏；右向焊法操作时，电弧直接作用到母材上，熔深较大，焊道窄而高，飞溅略小，但不易准确掌握方向，容易焊偏，尤其是对接焊时更明显。一般 CO<sub>2</sub> 焊时均采用左向焊法，前倾角为 10°~15°

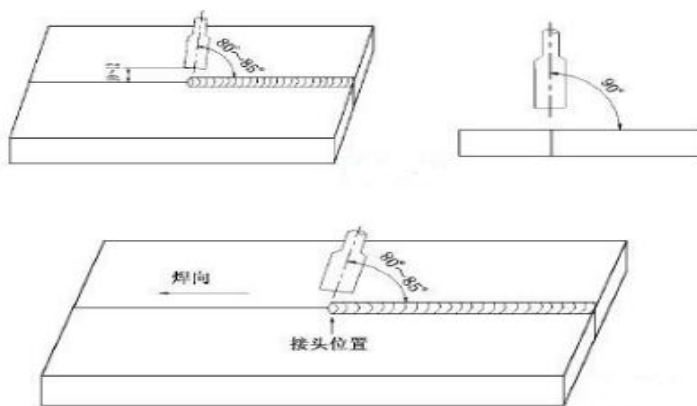


图 6-20 焊枪的运动方法

摆动焊接 CO<sub>2</sub> 半自动焊时，为了获得较宽的焊缝，往往采用横向摆动运丝



方式。常用的摆动方式有锯齿形、月牙形、正三角形、斜圆圈形等。摆动焊接时，横向摆动运丝角度和起始端的运丝要领与直线无摆动焊接一样。在横向摆动运丝时要注意：左右摆动的幅度要一致，摆动到中间时速度应稍快，而到两侧时要稍作停顿；摆动的幅度不能过大，否则部分熔池不能得到良好的保护作用。一般摆动幅度限制在喷嘴内径的 1.5 倍范围内。运丝时以手腕做辅助，以手臂操作作为主控制和掌握运丝角度。

#### （4）焊接质量要求

①焊缝边缘直线度 $\leq 2\text{mm}$ ，焊缝宽度差 $\leq 3\text{mm}$ （任意焊缝长度在 300mm 范围内）。

②焊缝与母材圆滑过渡；焊缝余高  $0\sim 3\text{mm}$ ，余高差 $\leq 2\text{mm}$ 。

③焊缝表面不得有裂纹、未熔合、夹渣、气孔、焊瘤等缺陷。

④焊缝边缘咬边深度 $\leq 0.5\text{mm}$ ，焊缝两侧咬边总长度不得超过焊缝长度的 10%。

⑤焊件表面非焊道上不应有引弧痕迹。