

年轻电工 年轻电工 基础篇

杨清德 余明飞 主编

◎ 有趣

通过数百条口诀归纳电工操作要点

◎ 易学

以图表和模块化结构呈现电工知识

◎ 实用

由高级技师讲授多年电工实践经验

◎ 规范

符合相关标准和职业技能鉴定要求

学

电

工

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

前 言

电的应用不仅影响到国民经济的方方面面,也越来越广泛地渗透到人们生活的各个层面。在某种程度上,电气化已成为现代化不可或缺的重要组成部分之一,电气化程度也已成为衡量社会发展水平的一个重要标志。做一名合格的电工,学到一技之长,是许多电工人员的迫切愿望。

电工技术是一门知识性、实践性和专业性都很强的实用技术,其中的符号、规范比较多,学习起来相对比较枯燥乏味。初学者学习电工技术时,往往会遇到先学什么,再学什么,怎么学,怎样才能轻轻松松快速入门,怎样才能学以致用等一系列问题。鉴于此,我们组织有关专家学者和技术人员进行了深入系统的考虑和研究,并根据广大初学者的特点和实际需要,结合《国家职业标准——维修电工》初级与中级部分的相关知识 with 技能要求,编写了这套“轻轻松松学电工”系列图书。本套丛书可作为广大电工技术初学者的自学读物,也可作为岗前培训以及各类电工短期培训班的教材,还可供职业院校相关专业的师生学习相关课程时参考阅读。

本套丛书试图从读者的兴趣和认知规律出发,一步一步地、手把手地引领初学者学习电工职业所必须掌握的基础知识和基本技能,学会操作使用基本的电气工具、仪表和设备。书中内容实用性和针对性较强。本套丛书按照4个模块,即基础篇、器件篇、技能篇和应用篇来编写,各篇既相互关联又相对独立,适合读者有选择性地阅读,也便于培训单位有针对性地组织教学。

《轻轻松松学电工——基础篇》:重点介绍初级电工必须掌握的基础知识,包括直流电、电磁现象、正弦交流电、电工工具、电工识图以及安全用电等内容。

《轻轻松松学电工——器件篇》:重点介绍常用电子元器件、高/低压电器、电工材料以及仪表的种类、检测和使用方法等内容。

《轻轻松松学电工——技能篇》:重点介绍电工基本操作技能,如焊接、导线连接、照明线路安装、电动机的拆卸与装配、电动机控制线路以及其他常用电气设备的安装方法等。

《轻轻松松学电工——应用篇》:重点介绍照明线路、电动机、变压器、常用电动工具及其他电气设备的使用、维护、故障检修方法和电工应用小技巧。

本套丛书在编写时力图体现以下特点。

◆ 在内容安排上,立足于初学者的实际需要,旨在帮助读者快速提高职业技能,尽量做到少讲理论、多讲方法,不求高深、只求实用,任务驱动、目标明确,要点突出、上手容易,一看就懂、一学就会。读者通过学习本套丛书可构建自己的知识体系,掌握电工必备知识和操作技能,同时也可以从中了解电工新知识、新技术、新设备、新材料、新工艺和新方法,为今后工作和进一步学习打下基础。书中标有“*”号的内容是对初级电工必备知识的提高和扩展,读者可根据实际情况自行安排学习。

◆ 在标题设置上,每一个章节的标题都搭配了一句读者耳熟能详的成语、短语或流行

语，这既是对主标题的补充说明，又显得诙谐风趣，留给读者较大的思索空间，有助于读者与常见事物相联系，加深对知识的理解和记忆（联想记忆）。

◆ 在写作方式上，用典故、成语或歇后语点题，大量采用比喻、拟人、类比等修辞手法，以细腻通俗的文字向读者娓娓道来，以拉近编者与读者的距离，增加亲切感；中间穿插“知识链接”、“器件应用”、“技能提高”、“想一想”、“能力PK”、“电工小百科”、“轻松一刻”等板块，以增强趣味性和可读性；同时书中配以大量的图片和表格，形象直观，便于总结。

◆ 在版式设计上，克服了传统电工技术图书单调刻板的缺点，在图表的应用和版面的安排上进行了大胆尝试和创新，力求内容与形式相统一，带给读者新的阅读享受。

《轻轻松松学电工——基础篇》主要介绍直流电路、磁与电、交流电路、电容器、电动机、变压器、常用电工工具、电工识图和安全用电等电工基础知识。通过阅读本书，读者可以掌握电工基本理论、常用电气设备的结构原理和应用操作、电工工具的使用方法，并了解一般电工线路的识读方法和安全用电常识等。本书由维修电工高级技师杨清德和余明飞主编。编者所在单位的领导对于本书的出版给予了很大的关心和支持，在此一并表示谢意。希望本套丛书的出版对广大初学者学习电工技术和走上就业岗位能够有所帮助。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正。读者若对本书有任何意见和建议，请发电子邮件至 yq0611@163.com。

编者

目 录

第 1 章 直流电路基础知识——电工航船始发港	1
1.1 电路的组成——三点一线成电路	2
1.2 电路的几个重要物理量——类比水流好记忆	3
1.2.1 电流——打开龙头水外流，接通电路有电流	4
1.2.2 电压——高低落差有水压，电位之差称电压	6
1.2.3 电功率——电流做功有快慢，电流乘以电压算	8
1.2.4 电能——电器工作靠电能，电表计量最可行	10
1.3 电阻——是利是弊看需要	14
1.3.1 电阻及其单位——导体通电受阻碍，原是电阻在作怪	14
*1.3.2 电阻与温度的关系——温度升降受影响，电阻系数来衡量	15
1.4 欧姆定律——电阻等于 U 除以 I	18
1.5 电阻的连接——串联与并联	21
1.5.1 电阻串联电路——首尾相连不分家，电流相等可分压	21
1.5.2 电阻并联电路——并行连接多支路，电压相等分电流	22
*1.5.3 电阻串并联电路的特点及应用——串联并联两形式，分压分流看实际	22
第 2 章 磁与电——形影不离亲兄弟	26
2.1 电流的磁效应——运动电荷生磁场	27
2.1.1 通电导体与磁场的关系——导线通电生磁场，电流越大磁越强	27
2.1.2 安培定则——导体周围磁力线，安培定则来判断	27
*2.2 磁场的基本物理量——磁场无形参数描	29
2.3 电磁感应——磁电互感关系大	31
2.3.1 感应电流的产生——导体切割磁力线，电磁感应磁生电	31
2.3.2 判断感应电流的方向——右手定则判方向，四指确定 I 流向	32
*2.3.3 楞次定律——来者拒，去者留	32
第 3 章 电容器及其应用——隔断直流通交流	36
3.1 电容器的分类和充放电——安全使用莫漏电	37
3.1.1 电容器的结构与分类——储存电荷电容器，有无极性看仔细	37
3.1.2 电容器的充电和放电——充电多少容量定，放电过程非线性	39
3.1.3 电容器质量的判别——检测电容先放电，排除短路与漏电	40
3.1.4 电容量——本领大小看容量，压差大时带电强	41

3.2	电容器的两个主要参数——使用要留富余量	43
*3.3	电容器串联和并联电路——变容增压各不同	45
3.3.1	电容器串联电路——电容串联真可靠，容量减小耐压高	45
3.3.2	电容器并联电路——电容两端电压同，耐压不增大电容	46
第4章	交流电路基础知识——丰富多彩的电力世界	50
4.1	正弦交流电——生产生活最常用	51
*4.1.1	正弦交流电的产生——线圈切割磁力线，旋转产生交流电	51
4.1.2	发电、输电和电能分配——四通八达电力网，星罗棋布遍城乡	52
4.1.3	正弦交流电的波形——交流电源变化多，周而复始正弦波	55
*4.1.4	正弦交流电的主要参数——振幅频率初相位，三个要素有针对	55
4.2	三相交流电路基础——三相演义	59
4.2.1	三相电源和三相交流电路——三相线圈交流电，不可或缺中性线	59
*4.2.2	相序——相序排列可不同，对称分布一二零	59
4.2.3	三相四线制供电电路——三根相线加零线，两种电压能实现	59
第5章	电动机及其应用——控制接线最重要	62
5.1	单相异步电动机——小电器的“心脏”	63
5.1.1	单相异步电动机的结构——定子转子支撑件，顺利启动靠附件	63
5.1.2	常用单相异步电动机——单相电机应用多，生产生活乐呵呵	66
*5.1.3	单相异步电动机的调速——多种方式可调速，降压变匝控转速	69
*5.1.4	家用电器中的单相异步电动机——冰箱空调洗衣机，运行全靠电动机	72
5.1.5	接线方式及故障处理——单相电机闹罢工，启动附件是帮凶	77
5.2	三相异步电动机简介——生产设备动力源	82
5.2.1	三相异步电动机的结构——定子转子前后盖，机座轴承散热片	82
5.2.2	三相异步电动机的铭牌——额定参数有规定，正确接线好运行	85
5.3	启动、调速和制动——控制电机本领大	88
5.3.1	三相异步电动机的启动——直接启动电流大，降压启动就不怕	88
5.3.2	三相异步电动机的调速——转速快慢可变换，速度改变要连贯	91
5.3.3	三相异步电动机的制动——快速停转靠制动，机械电力都可用	97
第6章	变压器及其应用——电力火炬传递手	102
6.1	变压器的结构及工作原理——线圈同芯	103
6.1.1	变压器的结构——附件铁芯和线圈，电磁联姻把手牵	103
6.1.2	变压器的工作原理——变流变压变阻抗，电磁感应工作忙	109
6.2	变压器的额定值——安全限值	110
6.3	单相变压器的绕组判别——看表识相	111
6.4	电力变压器的安装——安家落户	113
6.4.1	室外变压器的安装方式——杆塔台墩地台式，又要安全少投资	113

6.4.2	变压器的安装方法——电线杆上装配变，台底离地两米半	115
6.5	特种变压器——各有所长	121
6.5.1	电焊变压器——引弧电压六七十，短路状态用这里	121
6.5.2	互感器——心有灵犀一点通，测量 IU 立大功	123
6.5.3	自耦变压器——抽头接线可变换，升压降压听使唤	125
6.6	小型电源变压器的绕制与维修——按部就班	127
6.6.1	线圈绕制工艺——绕制线圈如纺线，右手摇柄左握线	127
6.6.2	常见故障的判断及修复——电流电压和温升，正常运行无噪声	132
第7章	电工工具——电工贴身小助手	134
7.1	试电笔——有电无电电笔检，千万别碰金属杆	135
7.2	高压验电器——检验有无高压电，一人监护一人验	140
7.3	旋具——型号规格要备齐，巧用旋具省力气	143
7.4	电工刀——庖丁解牛熟生巧，电工刀具离不了	146
7.5	电工钳——选取型号看导线，带电操作重安全	148
7.6	其他电工工具——电工工具实在多，按需选用去定度	152
7.7	万用表——万用电表掌中宝，电量检测少不了	157
7.7.1	万用表的结构和测量功能——多种功能灵活用，选好量程与插孔	157
7.7.2	万用表的使用方法——测量之前先调零，选好量程才可行	162
7.8	钳形电流表——钳口只容一相线，安全使用防触电	167
7.9	兆欧表——测量之前先校表，读数之时莫停摇	170
*第8章	电工识图基础——电工通用“语言”	176
8.1	电工识图基本知识——符号传递信息	177
8.1.1	电路图的组成——电路说明标题栏，电气符号接线连	177
8.1.2	常用电工用图——电工用图有多种，认真阅图好施工	184
8.2	怎样看电工图——火眼金睛需多练	188
8.2.1	电工识图的基本方法——看图方法四结合，触点常开未闭合	188
8.2.2	电工识图的步骤——线路复杂要分辨，五看步骤反复练	189
8.3	识读照明电路图——胸有图纸好工作	192
8.3.1	怎样看照明电路平面图——照明识图抓关键，设备位置及导线	192
8.3.2	怎样看照明控制接线图——导线走向莫混淆，控制关系要记牢	193
8.3.3	识图举例——方法步骤须牢记，触类旁通记典例	197
第9章	安全用电常识——安全用电规矩多	200
9.1	电流对人体的危害——电流产生热效应，轻则受伤重要命	201
9.2	触电类型——单相两相和跨步，触电种类心有数	203
9.3	安全用电的基本要求——遵守规程顾大局，人财两安真幸福	205
参考文献		210

第1章 直流电路基础知识

——电工航船始发港

时代在发展,电的应用也越来越广泛,在日常生活中我们常常听到“电难以理解”的说法。其实,若把一个个电学现象与日常生活中的事例进行对比,就不难理解了。交流和直流电所组成的电路既有各自的特点,也有许多共性。本章重点介绍直流电路的概念、基本物理量、基本元件和基本定律,为读者学习电工技术打下基础。其中的许多知识与大家都是一见如故的“老朋友”,因为在中学物理课程中基本上都学习过。

通过本章学习,要求达到以下目标。

知识目标

- ① 掌握电路、电流、电压、电位、电功率、电能和电阻等概念。
- ② 掌握部分电路欧姆定律和全电路欧姆定律的公式。
- ③ 掌握电阻串联电路和电阻并联电路的特点。
- ④ 理解电流的热效应。
- ⑤ 理解电路的几个基本物理量,理解电路的工作状态。
- ⑥ 了解电阻与温度的关系。

能力目标

- ① 掌握电阻串联电路、电阻并联电路的分析和计算方法。
- ② 掌握欧姆定律的应用。

1.1 电路的组成

——三点一线成电路

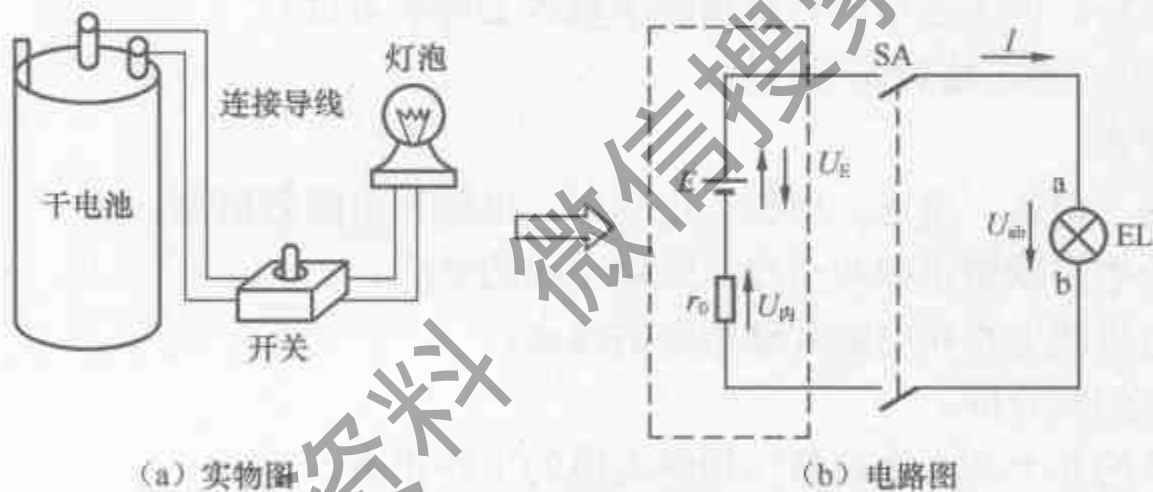
犹如汽车行驶需要道路一样，电流流动也需要“道路”——电路。电路就是电流所经过的路径。

日常生活中有各种形式的电路，如手电筒电路、照明电路和电动机控制电路等，它们都是由元器件按照一定的方式连接起来的。了解电路的组成是安装、检修和调试电路的基础。那么，电路是如何组成的呢？它又有何作用？

1. 简单电路

简单电路一般由电源、负载、中间环节、控制及保护装置组成。把这4个基本部分按照一定的方式连接起来构成闭合回路，就成为了简单的实用电路。

图 1-1 所示为一种简单的实验电路，它同样由 4 部分组成：电源——干电池，负载——灯泡，中间环节——连接导线，控制及保护装置——开关。



(a) 实物图

(b) 电路图

图 1-1 简单电路的组成及其电路图

有人把电路的组成比喻为“三点一线”，即把电源、负载、控制及保护装置称为三点，中间环节（连接导线）称为一线。这个比喻非常形象，把电路与人们的日常生活联系起来，便于理解和记忆。实践证明，联想记忆是一种行之有效的学习方法，读者在今后的学习过程中可灵活运用这种学习方法。

2. 家庭照明电路

图 1-2 所示为一种常见的家庭照明电路组成实例，它仍然由 4 部分组成：电源——220V 交流电源，负载——灯泡及各种家用电器等，中间环节——进户线、室内线路、电能表及插座等，控制及保护装置——总开关、控制开关和保险盒。

知识链接

电路各组成部分的作用

电路由若干元器件按照一定的规则组合而成。对电源来讲，负载、连接导线、控制及保护装置称为外电路，电源内部的一段电路称为内电路。电路各组成部分既相互独立又彼此联

系,任何一个环节出现故障,都会影响整个电路的正常工作。

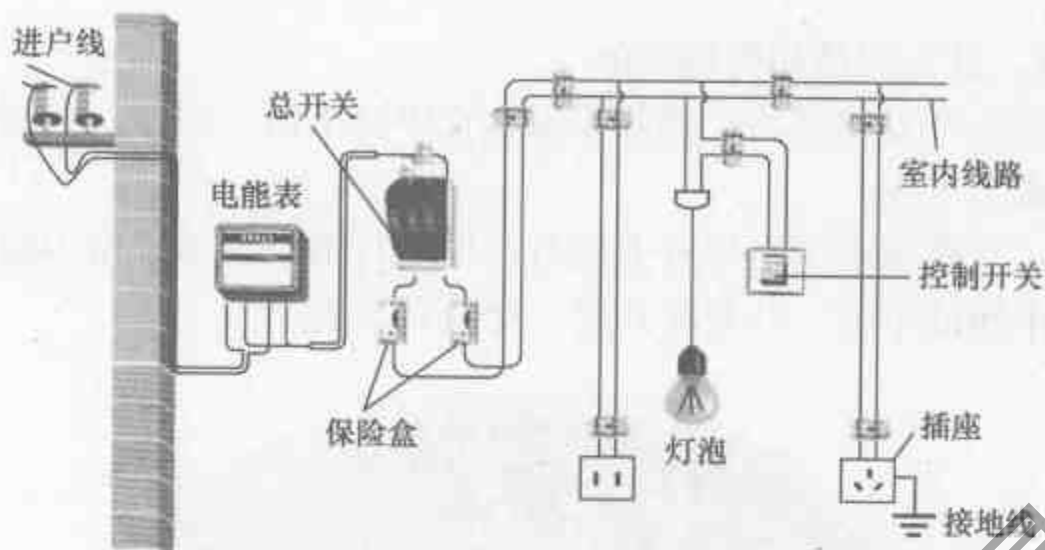


图 1-2 家庭照明电路的组成

电路各组成部分的作用见表 1-1。

表 1-1 电路各组成部分的作用

组 成 部 分	作 用	举 例
电 源	电路中电能的提供者,即将其他形式的能量转化为电能的装置(如图 1-1 中的干电池是将化学能转化为电能)。含有交流电源的电路叫做交流电路,含有直流电源的电路叫做直流电路	蓄电池、发电机等
负 载	即用电装置,其作用是将电源供给的电能转换成所需形式的能量(如灯泡将电能转化为光能和热能)	灯泡、电视机、电炉等用电器
控制及保护装置	根据负载的需要,控制整个电路的工作状态	开关、熔断器等控制电路工作状态(通/断)的器件和设备
中间环节	使电源与负载形成通路,用于输送和分配电能	各种连接电线

想一想

- ① 联系实际简述什么是电路,它由哪些部分组成?各部分的作用是什么?
- ② 为什么在实际电路中要安装熔断器?

1.2 电路的几个重要物理量

——类比水流好记忆

电学比较抽象,确实难于理解。如果我们把电路比喻成水路,则电流、电压、电阻、交流电、直流电、漏电、纹波、电容等概念就很容易理解了。把电看成水,则电流相当于水流,电压相当于水压,电阻相当于水流中的障碍物,漏电相当于漏水,纹波相当于波浪,电路相当于水路,电容相当于盛水的容器……

1.2.1 电流——打开龙头水外流，接通电路有电流

1. 什么是电流，其方向是如何规定的

水管中的水沿着一个方向流动，我们就说水管中有水流。同样，电路中的电荷沿着一个方向定向运动就形成了电流。

如图 1-3 所示，只要家中的电灯开关闭合，发电厂的电便通过电力线路进入用电器，此时线路中就有源源不断的电流。开关断开时，电流就没有了。

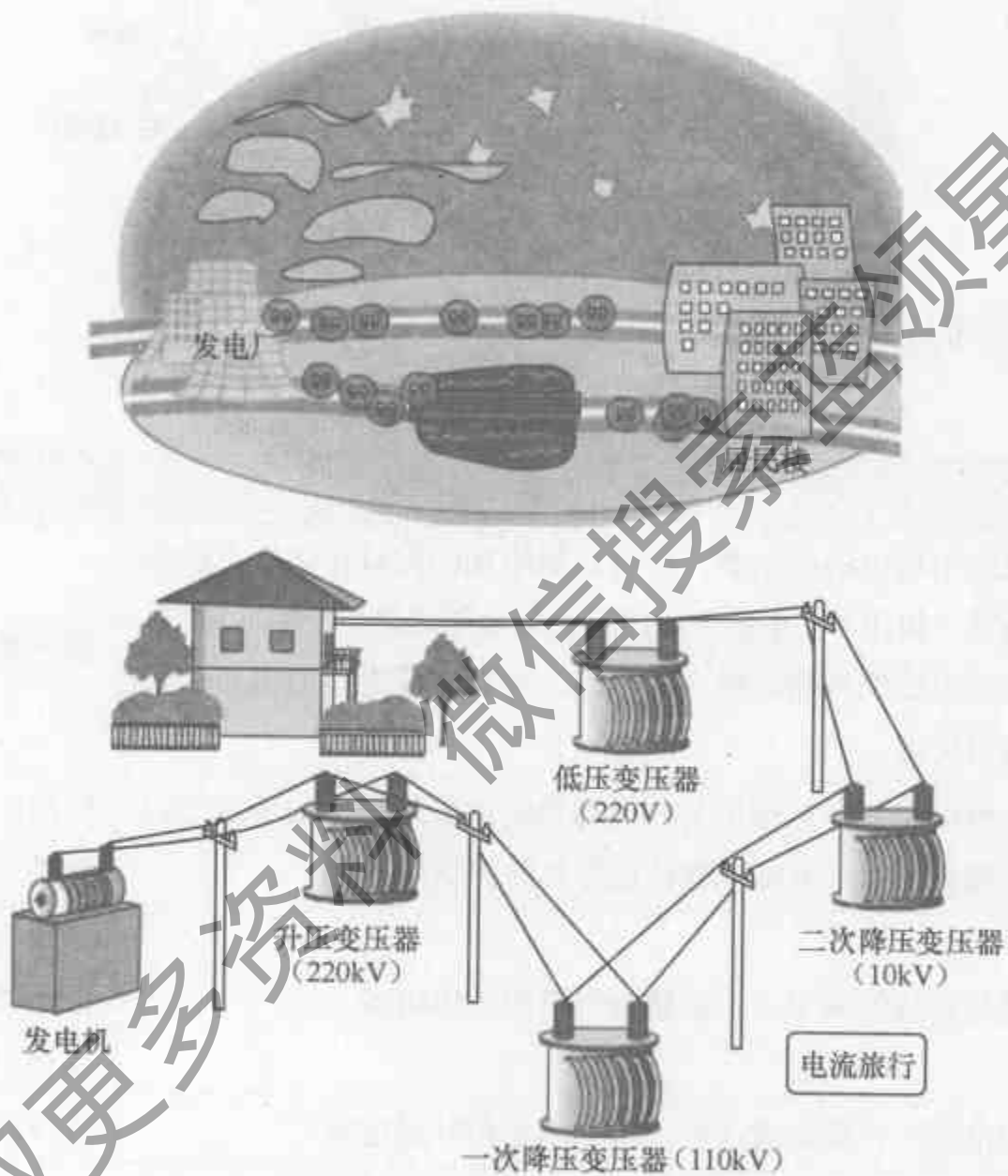


图 1-3 源源不断的电流

电流就是电荷的定向运动。

电流的方向为正电荷定向运动的方向。在金属导体中，电流的方向与自由电子定向运动的方向相反。例如：当手电筒开关打开、灯泡发光时，电子从电池的负极流出。追寻电子是如何运动的，就形成了一个电流通路，如图 1-4 所示。

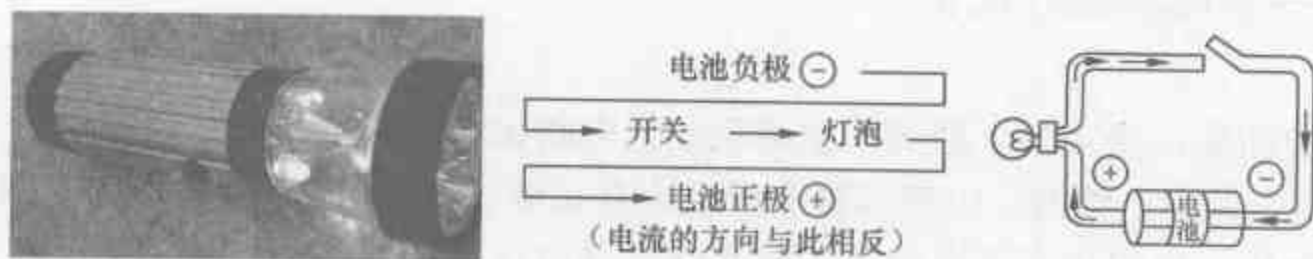


图 1-4 手电筒的工作过程

2. 形成电流需要哪两个条件

- ① 要有能够定向移动的自由电荷，这是形成电流的内因。
- ② 导体两端必须保持一定的电位差（即电压），这是形成电流的外因。电流形成的内因和外因两者缺一不可，必须同时具备，如图 1-5 所示。

电路中有电流通过时，常常表现为热、磁等物理现象及化学效应，如灯泡发光、电饭煲发热、扬声器发出声音等。

3. 怎样测量电流

电流的大小可以用适当量程的电流表直接测量。在需要监测电流的电路中，可在配电板上安装电流表来测量电流，如图 1-6 (a) 所示。在安装或维修时，电工一般用万用表的电流挡来测量直流电流，如图 1-6 (b) 所示；用钳形电流表来测量交流电流，如图 1-6 (c) 所示。关于测量的具体方法，请阅读本书第 7 章的内容。

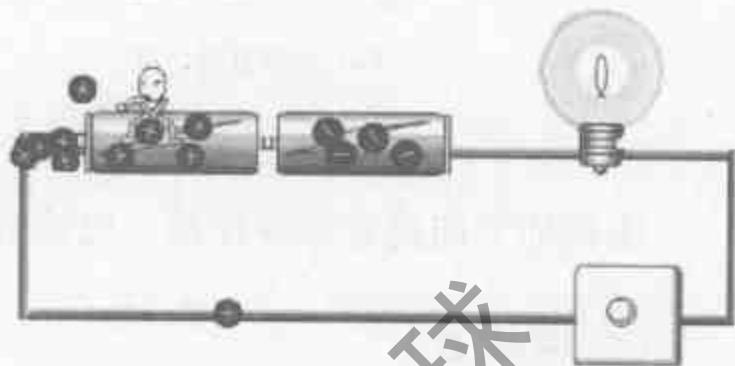
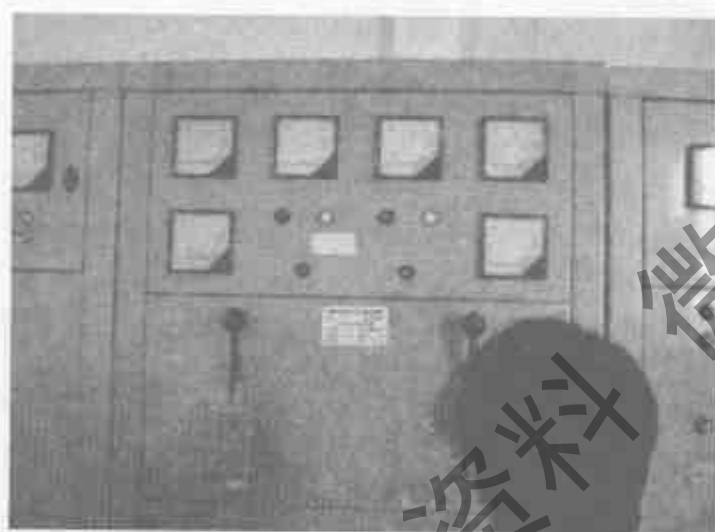
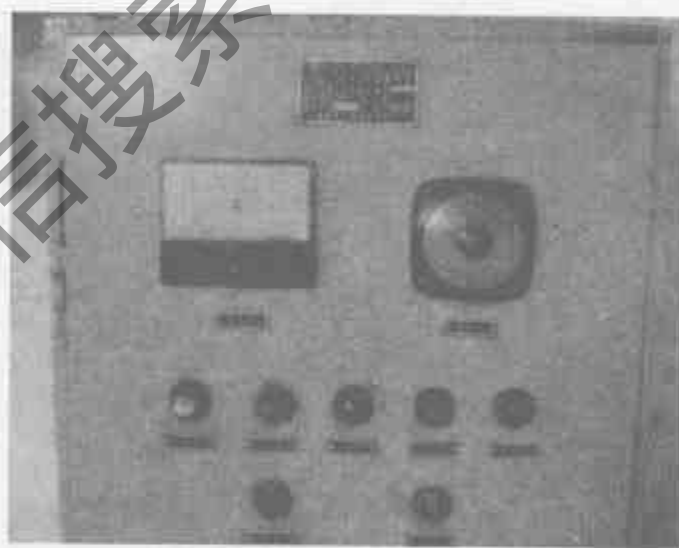


图 1-5 电流形成的条件



(a) 在配电板上用电流表测量电流



(b) 用万用表测量直流电流



(c) 用钳形电流表测量交流电流

图 1-6 测量电流

电流不但有大小，而且有方向。大小和方向都不随时间变化的电流，称为稳恒直流电流，如图 1-7 (a) 所示；大小随时间作周期性变化而方向不随时间变化的电流称为脉动直流电流，如图 1-7 (b) 所示；大小和方向均随时间作周期性变化的电流称为交流电流，如图 1-7 (c) 所示。

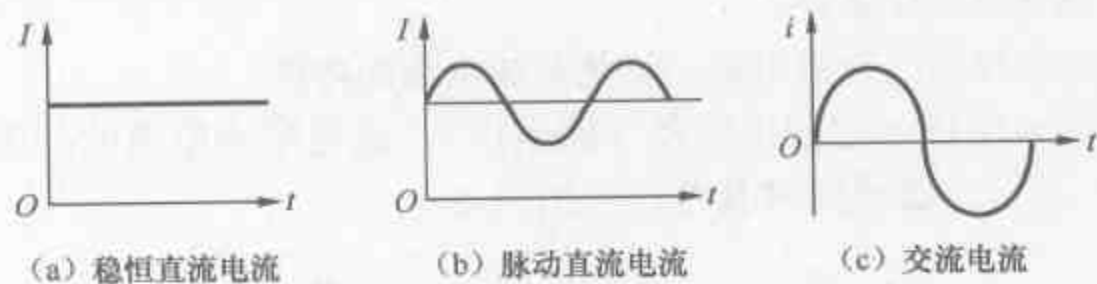


图 1-7 电流与时间的关系曲线

电流的方向是客观存在的，电流的大小是可以计算的。

应用提高

例题 1.1 5s 内通过导体横截面的电量为 0.05C (库仑)，求电流的大小为多少。

$$\text{解: } I = \frac{q}{t} = \frac{0.05}{5} = 0.01\text{A} = 10\text{mA}$$

式中： I 为电流，单位为安培 (A)； q 为电荷量，单位为库仑 (C)； t 为时间，单位为秒 (s)。

电流的常用单位是安培 (A)，常用的单位还有毫安 (mA) 和微安 (μA)，其换算关系为：

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



想一想

- ① 电流的方向是如何规定的？电流的单位是什么？
 - ② 当电路中的开关断开后，负载上还有没有电流？为什么？
- 提示：可结合形成电流的条件去分析。

1.2.2 电压——高低落差有水压，电位之差称电压

1. 什么是电压，其单位是什么

可以把电的流动比作水的流动，要让水流动需要自然的坡度，如果没有，就要用人工的方法形成落差，以便产生水压。电场力做负功就是要产生这种落差。在电学中，把相当于“水流的东西”称为电流，把“水压”类比为电压，如图 1-8 所示。

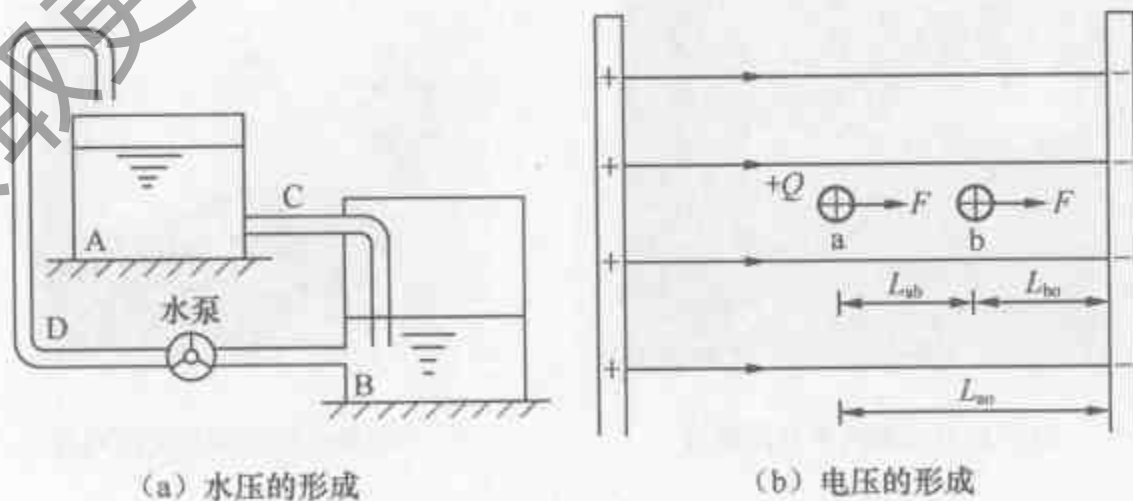


图 1-8 水压和电压的形成

一般情况下，物体所带正电荷越多，其电位越高。如果把两个电位不同的带电体用导线连接起来，电位高的带电体中的正电荷便向电位低的那个带电体流去，于是导体中便产生了电流，就如同水会从高处向低处流一样。在电路中任意两点之间的电位差，称为这两点间的电压。

电压可分为直流电压和交流电压。电池的电压为直流电压，直流电压用大写字母 U 表示，它是通过化学反应维持电能量的。交流电压是随时间周期性变化的电压，用小写字母 u 表示，发电厂的电压一般为交流电压。

电压的国际单位制单位为伏特 (V)，常用的单位还有毫伏 (mV)、微伏 (μV) 和千伏 (kV) 等，它们与 V 的换算关系为：

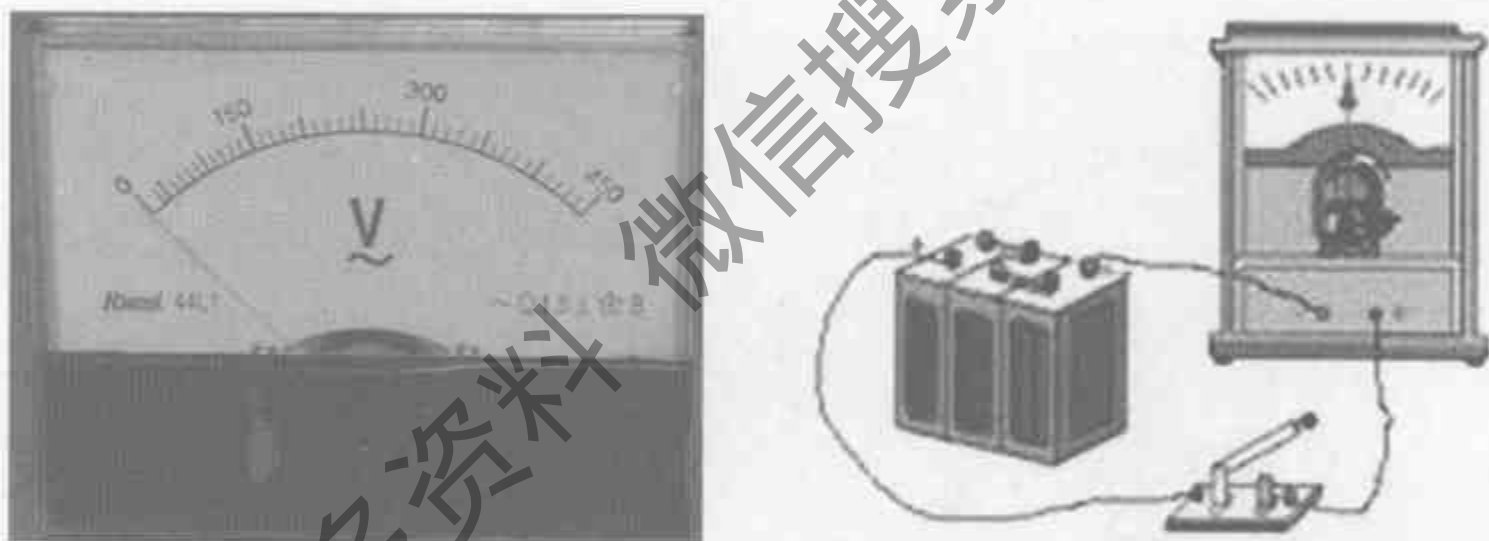
$$1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}; 1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}; 1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

在实际应用中提到的电压一般是指两点之间的电位差。通常指定电路中的某一点作为参考点，在电力工程中规定以大地作参考点，认为大地的电位等于零。如果没有特别说明，所谓某点的电压就是指该点与大地之间的电位差。

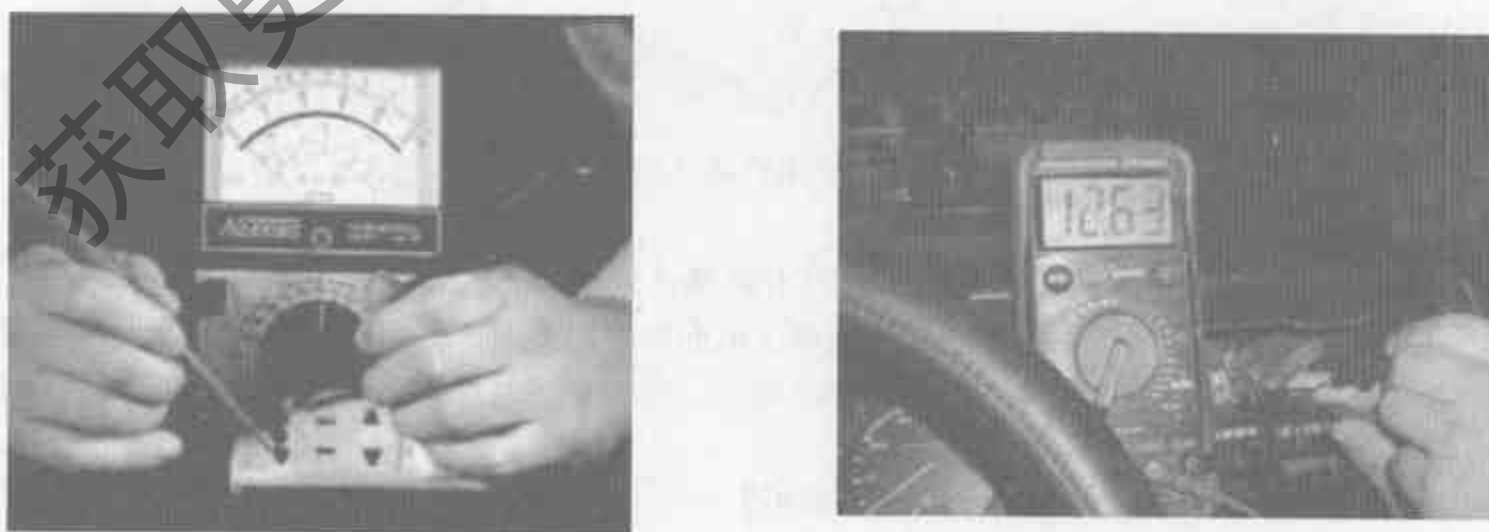
我国规定标准电压有许多等级，经常接触的有：安全电压 12V、36V，民用市电单相电压 220V，低压三相电压 380V，城乡高压配电电压 10kV 和 35kV，输电电压 110kV 和 220kV，长距离超高压输电电压 330kV 和 500kV。

2. 如何测量电压

电压的大小可以用适当量程的电压表测量，如图 1-9 (a) 所示。使用直流电压表的规则为：一不，二要，三看清。



(a) 用电压表测量电压



(b) 用万用表测量电压

图 1-9 电压的测量

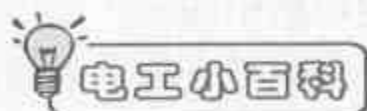
一不：被测电压不能超过电压表的量程。

二要：电压表要并联在被测电路的两端；测量直流电压时，要使电流从电压表的“+”

接线柱流入，从电压表的“-”接线柱流出。

三看清：读数时不仅要看清电压表所用的量程和指针所停的位置，还要看清每一小格所表示的数值。

在进行线路安装和维修时，电工一般使用万用表的直流电压挡来测量直流电压，用万用表的交流电压挡来测量交流电压，如图 1-9 (b) 所示。关于测量方法及注意事项，详见本书第 7 章的相关内容。



电压等级越高，输送距离越远

目前，世界上电压等级最高、输送距离最远的直流输电工程是四川—上海±800kV 高压直流输电工程。该工程于 2007 年 5 月开工，计划于 2011 年建成投运，其输送路线如图 1-10 所示。工程建成后，将创造 18 项世界纪录，如世界上额定电流最大的直流输电工程（4000A），世界上电压等级最高、输送功率最大的输电工程（±800kV，额定输送功率 6400MW，最大输送功率 7000MW），世界上单位走廊输送能力最大的输电工程（超过 84MW/m）等。



图 1-10 四川—上海±800kV 高压直流输电工程输电示意图

① 有人说，电压的高低对人体没有影响，只有电流的大小对人体有影响，对吗？

提示：这个说法不正确。如接触高压电而发生触电时，则因皮肤破裂而使人体电阻大为降低，此时，通过人体的电流即随之增大。此外，接近高压电时还有感应电流的影响，因而是很危险的。

② 电路中没有电压，会产生电流吗？

提示：不会。



1.2.3 电功率——电流做功有快慢，电流乘以电压算

1. 什么是电功率

电功率是衡量电能转化为其他形式能量快慢的物理量。我们平常说这个灯泡是 40W，那

个灯泡为 60W，电饭煲为 750W，这里指的就是电功率。电流在单位时间内所做的功称为电功率，用符号“ P ”表示。

2. 电功率的计算公式是什么

$$P = \frac{W}{t}$$

式中： W 的单位为焦耳 (J)， t 的单位为秒 (s)， P 的单位为瓦特 (W)。

由于用电器的电功率与其电阻有关，电功率的公式还可以写成：

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

如图 1-11 所示，在相同电压下，并联接入同一电路中的 25W 和 100W 灯泡的发光亮度明显不同，这是因为 100W 灯泡的功率大，25W 灯泡的功率小。

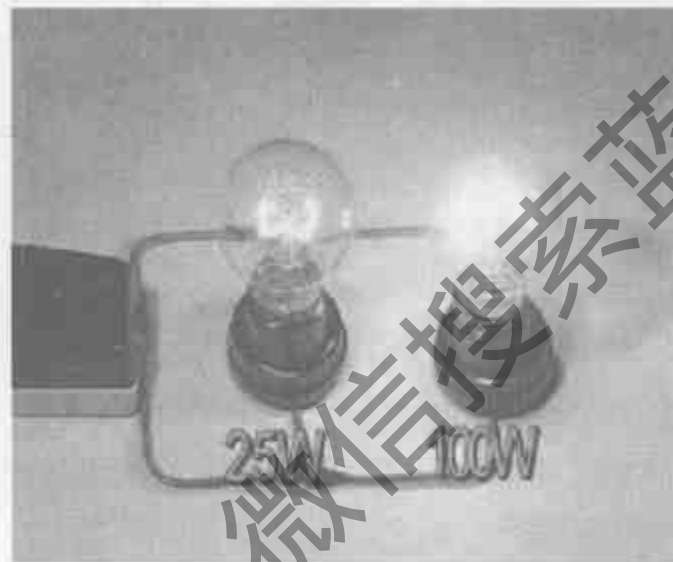
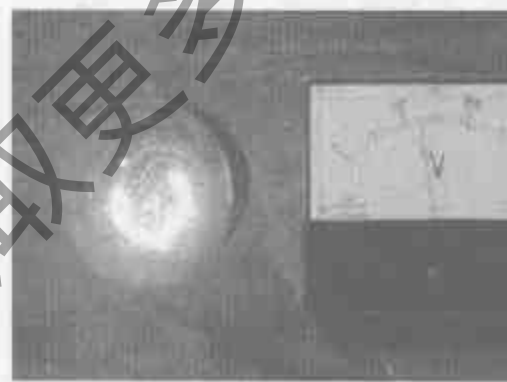
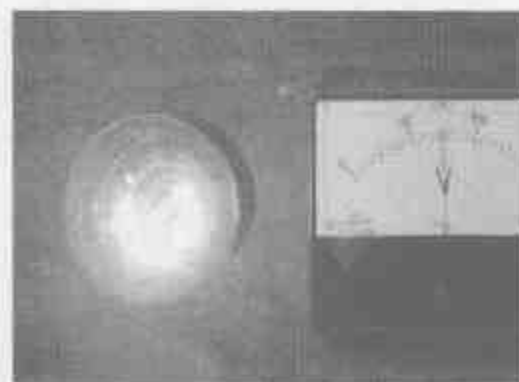


图 1-11 相同电压下功率不同的灯泡发光亮度不同

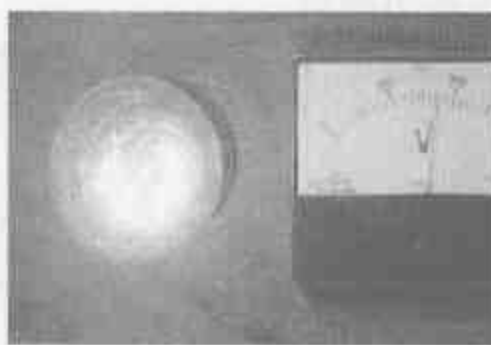
我们在日常生活中还有这样的体验，同一盏灯在电压不同的时候发光强度不一样（如图 1-12 所示），这说明电功率与电压有关。



(a) 180V 电压时的发光情况



(b) 220V 电压时的发光情况



(c) 240V 电压时的发光情况

图 1-12 同一灯泡在不同电压下的发光强度

3. 电功率的单位是什么

电功率的国际单位为瓦特 (W)，常用的单位还有毫瓦 (mW) 和千瓦 (kW)，它们与 W 的换算关系是：

$$1\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$$

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}$$

① 图 1-13 所示是一场关于电功率的争论，请你判断谁对谁错？



图 1-13 关于电功率的争论

提示：电功率的大小不但与电阻有关，还与电压的高低、时间的长短等因素有关。

② 标有“220V/40W”的甲灯、“110V/60W”的乙灯和“36V/60W”的丙灯都在额定电压下工作，哪个灯泡亮些，哪个灯泡暗些？

提示：乙灯和丙灯亮些，甲灯暗些。

③ 将一段电阻丝接在 40V 电路中，通过的电流是 5A，电阻丝的电功率是多少瓦？如把它接在 20V 的电路中，电阻丝的电功率又是多少？

提示：接在 40V 电路中的电功率为 200W，接在 20V 电路中的电功率为 50W。计算表明，在不同的电压下，同一个用电器的电功率不是一样大。

1.2.4 电能——电器工作靠电能，电表计量最可行

电能是自然界中能量存在的一种形式。各种用电器借助于电能才能正常工作，用电器工作的过程就是电能转化成其他形式能的过程。

1. 什么是电能，它的单位是什么

在一段时间内，电场力所做的功称为电能，用符号“W”表示。

$$W = Pt$$

式中：W 为电能，P 为电功率，t 为通电时间。

电能的单位是焦耳 (J)。对于电能的单位，人们常常不用焦耳，而用非法定计量单位“度”。焦耳和度的换算关系为：

$$1 \text{度 (电)} = 1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ (J)}$$

功率为 1000W 的供能或耗能元件在 1h (小时) 的时间内所发出或消耗的电能量为 1 度 (电)。

2. 电能表的结构如何，如何接线和读数

在生产和生活中，用电器工作时就要消耗电能，究竟消耗了多少电能，可用电能表测量。

(1) 电能表的基本结构

电能表俗称电度表。电能表的外部主要由表面和接线盒组成，如图 1-14 所示。



图 1-14 电能表外部结构

电能表的内部主要由线圈、铝盘、永久磁铁和计数机构等组成，如图 1-15 所示。

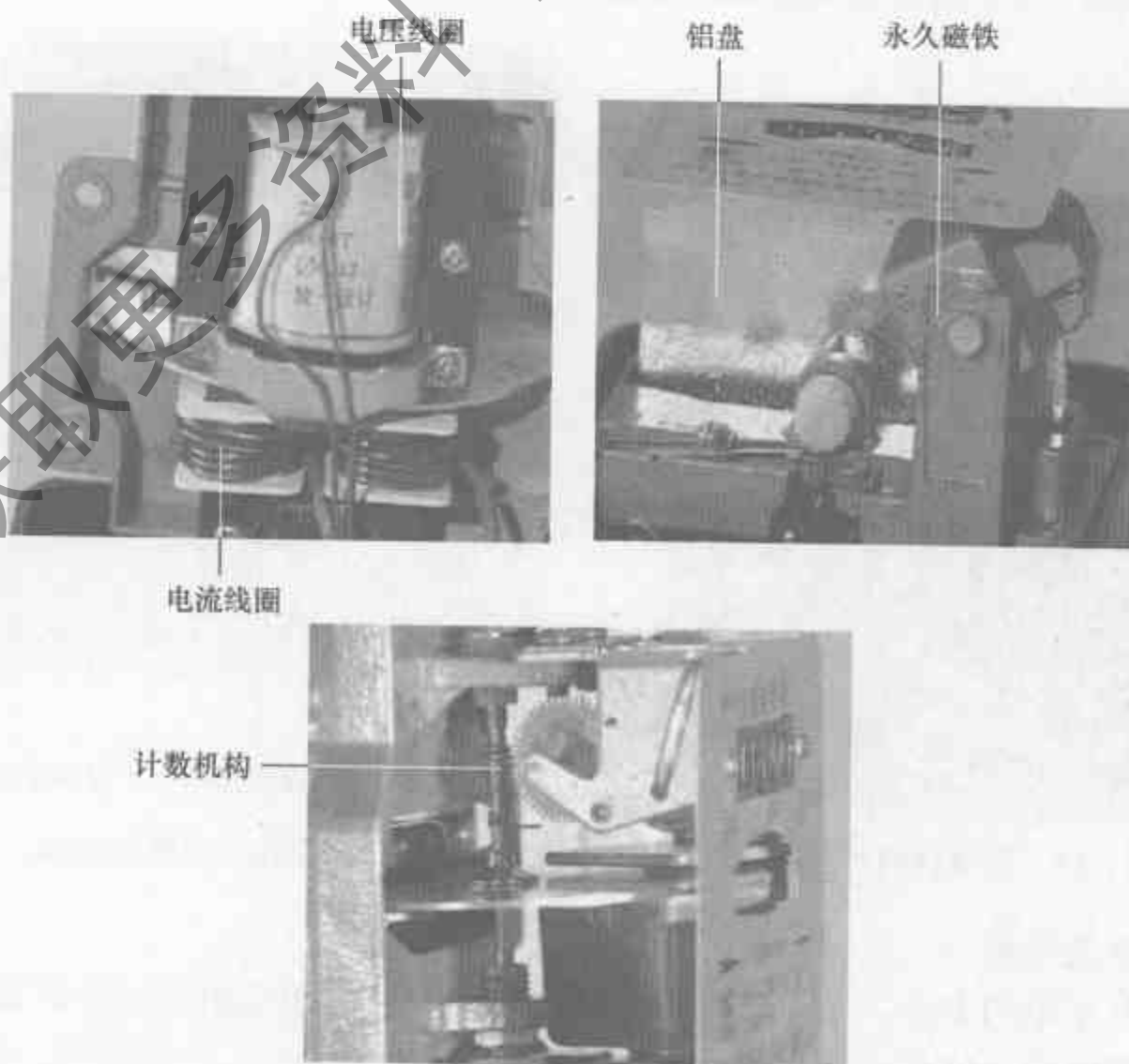


图 1-15 电能表的内部结构

(2) 电能表的负载功率

在电能表的表盘下部标注有额定电流和最大电流,据此可计算出电能表负载功率的大小。例如,额定电流为 5A,则负载功率为 $220 \times 5 = 1100(\text{W})$,如图 1-16 所示。



图 1-16 计算电能表的负载功率

(3) 电能表的接线盒与接线方法

电能表的接线盒中有 4 个接线柱,从左到右依次编号为 1、2、3 和 4,如图 1-17 所示。安装接线时,“1”接电源相线(俗称火线)进线,“2”接相线出线,“3”接电源中性线(俗称零线)进线,“4”接中性线出线,如图 1-18 所示。

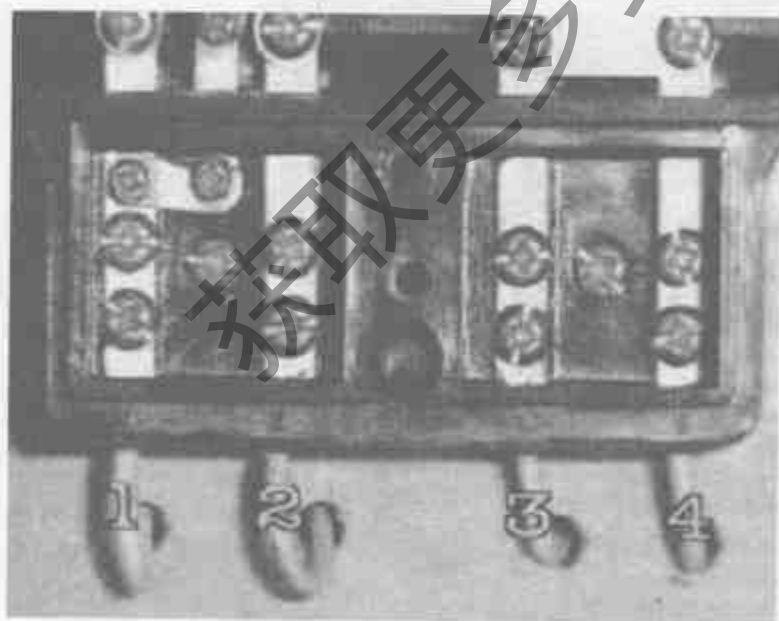


图 1-17 接线柱编号

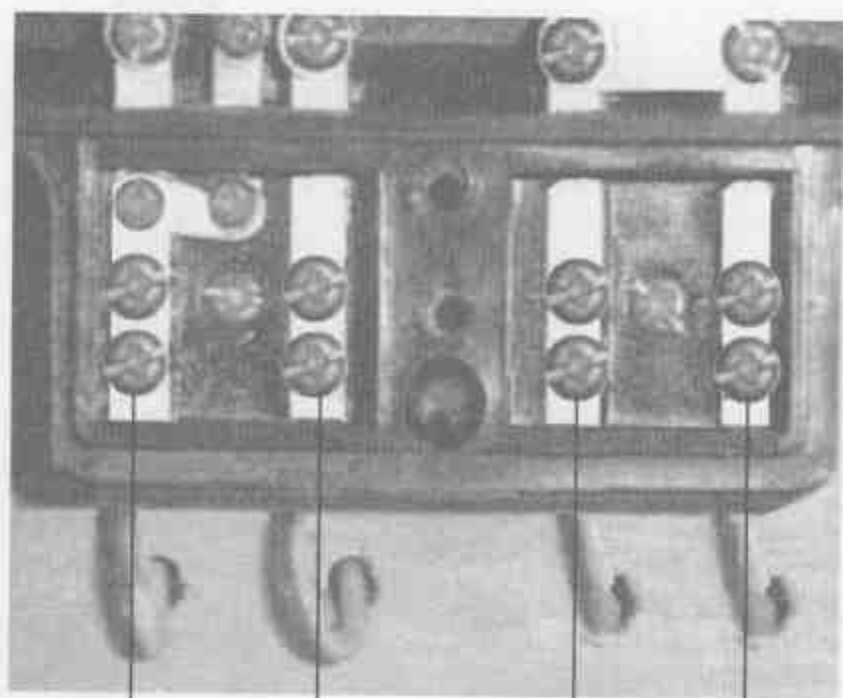


图 1-18 电能表接线的方法

(4) 电能表的读数

家中一个月用电的多少,是通过电能表计数器月底与月初读数之差来计算的。读数时,最右边红色方格内的一位是小数点后的数字,在生活中一般不读,只读整数。如图 1-19 所示,该用户本月用电量为 30 度。



图 1-19 电能表读数与用电量计算

3. 电能可转化为哪些形式的能

电路(用电器)消耗电能并将其转化为其他形式能量的过程,就是电流做功的过程。电能现代社会中已得到广泛应用,如电能通过灯泡转化为热能和光能;电流通过蓄电池会引起化学反应,将电能转化为化学能,如图 1-20 所示。

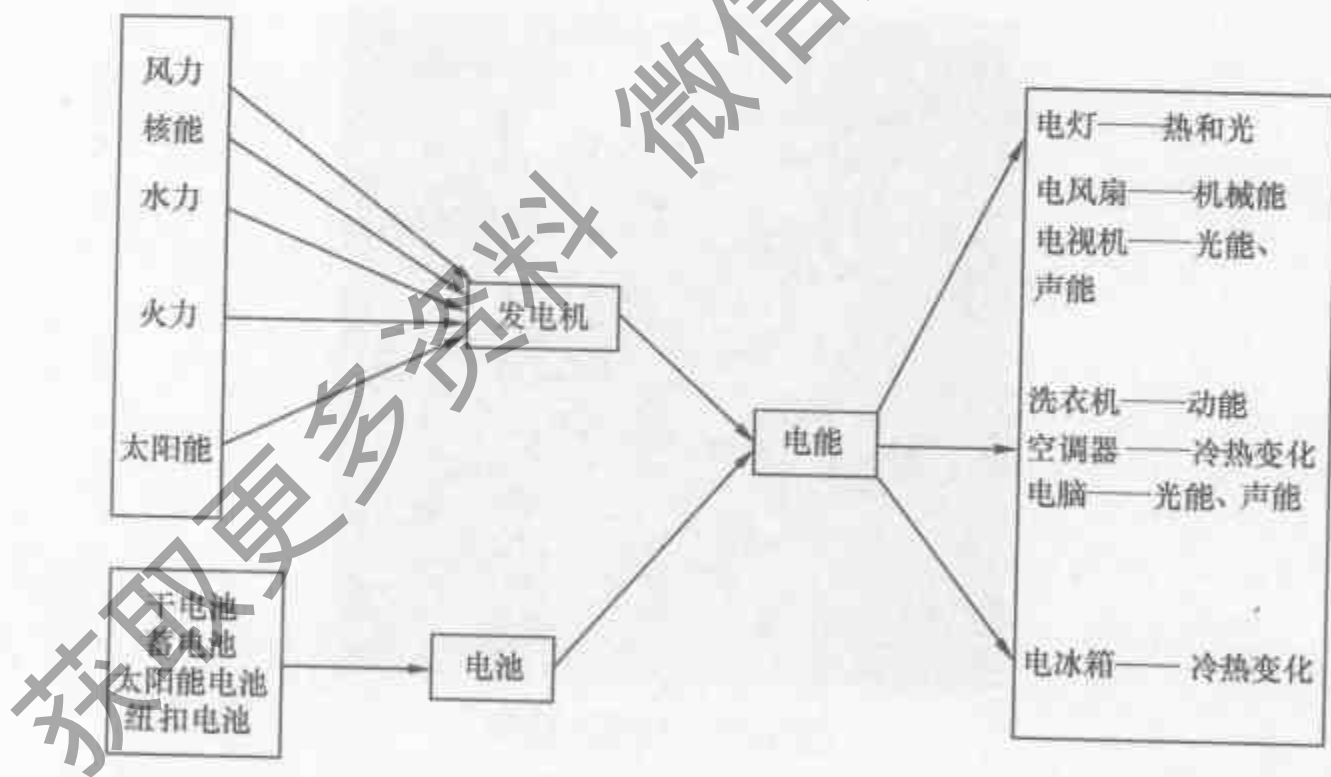


图 1-20 电能现代社会中的广泛应用

思路点拨

- ① 电流做功的实质是将电能转化为其他形式的能量。在一个电路中,电源所发出的功率必然等于所有负载吸收的功率。
- ② 要注意电能和电功率的区别。电能是指一段时间内电流所做的功,或者说一段时间内负载消耗的能量;电功率是指单位时间内电流所做的功,或者说单位时间内负载消耗的电能。电功率用瓦特表测量,电能用瓦时表(即电能表)来计量。电能和电功率常用的单位分别是 kW·h 和 W (kW)。这是两个不同的概念,不要混淆。

应用提高

例题 1.2 某学校有 20 盏 220V/100W 的白炽灯，它们接在 220V 电压上，使用 5h 共消耗多少电能？若电价为每千瓦时 0.5 元，应支付多少电费？

解：全部灯泡的总功率如下。

$$P = 100 \times 20 = 2000\text{W} = 2(\text{kW})$$

使用 5h 消耗的电能：

$$W = Pt = 2 \times 5 = 10(\text{kW} \cdot \text{h})$$

应支付的电费为：

$$M = 10 \times 0.5 = 5(\text{元})$$

例题 1.3 小明家安装的电能表上标有“600r/(kW·h)”的字样，电能表的转盘在 2min 内转动了 60 圈。请计算这 2min 内小明家里消耗多少千瓦时的电能？合多少焦？

解：

$$W = 60/600 = 0.1\text{kW} \cdot \text{h} = 0.1 \times 3.6 \times 10^6 \text{J} = 360000(\text{J})$$

- ① 电能和电功率有什么不同？瓦和度这两个单位有何区别？
 ② 某灯泡上的铭牌如图 1-21 所示，你知道这上面的“220-40”表示什么意义吗？
 提示：分别表示额定电压和额定功率。



图 1-21 灯泡的铭牌

想一想

1.3

电阻

——是利是弊看需要

1.3.1 电阻及其单位——导体通电受阻碍，原是电阻在作怪

河中的水流遇到石头或险滩时会受到阻碍。同样的道理，电流在导体中也会受到阻碍，因为任何物质都有电阻。当有电流流过时，电流克服电阻的阻碍作用需要消耗一定的能量。导体

对电流（直流）的阻碍作用称为电阻。图 1-22 所示的场景形象地表明了电阻对电流的阻碍作用。



图 1-22 设卡捣乱的大灰狼

电阻都有一定的阻值，其阻值代表这个电阻阻挡电流流动的大小的。1 欧姆（ Ω ）的物理意义为：设加在某导体两端的电压为 1V，产生的电流为 1A，则该导体的电阻为 1Ω 。

电阻在电路图中的符号是“—□—”，电阻的物理量用字母“R”或“r”表示。电阻值的单位是欧姆，简称欧，用字母“ Ω ”表示。电阻值的单位除了 Ω 外，还有千欧（ $k\Omega$ ）和兆欧（ $M\Omega$ ）等，其换算关系为：

$$1\Omega = 10^{-3}k\Omega = 10^{-6}M\Omega$$

电阻的主要物理特征是变电能为热能，它在使用的过程中要发出热量，因此电阻是耗能元件。如电灯泡、电饭煲等用电器通电后要发热，这就是因为有电阻的缘故。

电工在连接导线与导线、导线与接线柱、插头与插座等时，一定要注意二者应接触良好，尽量减小接触电阻，如图 1-23 所示。若接触电阻较大，就会留下“后遗症”，在使用时连接处要发热，容易引起电气火灾事故。



图 1-23 连接导线时要尽量减小接触电阻

*1.3.2 电阻与温度的关系——温度升降受影响，电阻系数来衡量

电阻元件和人一样，也有“怕热”的时候。实验表明，电阻的阻值会随着本体温度的变

化而变化,即阻值的大小与温度有关。技术上把材料电阻值随温度变化的程度用“温度系数”来表示。

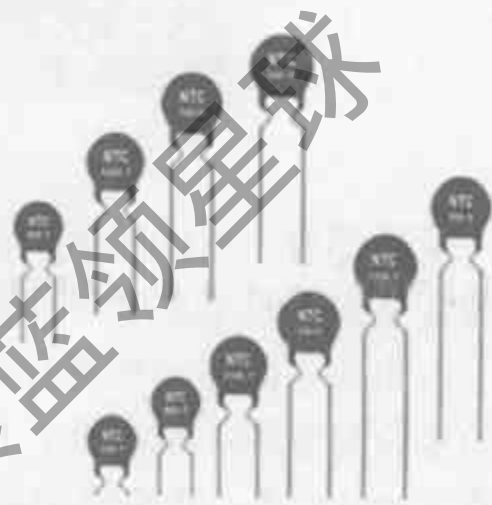
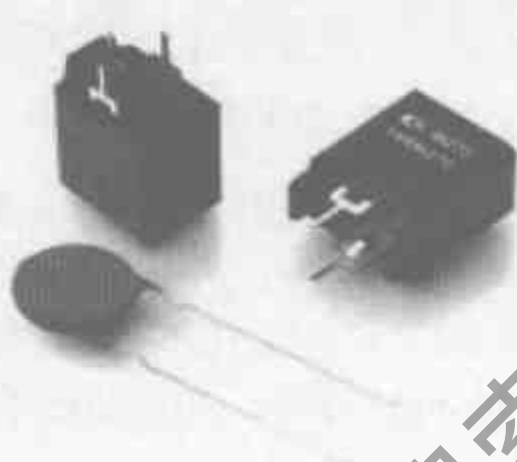
当温度升高时,材料的阻值增大,则这种材料制成的电阻称为正温度系数电阻,如金属银、铜、铝、钨等材料。电子灭蚊器中的电阻和彩色电视机中的消磁电阻等就是正温度系数电阻。

当温度升高时阻值反而减小,则这种材料制成的电阻称为负温度系数电阻,如碳、半导体等。这种元件广泛应用于温度测量、温度补偿、浪涌电流抑制等场合。

把阻值会随温度变化而变化的电阻叫做热敏电阻,常见热敏电阻如图 1-24 所示。



(a) 正温度系数电阻



(b) 负温度系数电阻

图 1-24 热敏电阻

在一般情况下,若阻值随温度的变化不是太大,则温度对电阻的影响可以不予考虑。

知识链接

电阻定律

在温度不变时,金属导体电阻的大小由它的长短、横截面积和材料的性质等因素决定。它们之间的关系为:

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

式中: ρ 为导体的电阻率,它由电阻材料的性质决定,是反映材料导电性能的物理量,单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ (欧·米); L 为导体的长度,单位为 m (米); S 为导体的横截面积,单位为 m^2 (米²); R 为导体的电阻,单位为欧(Ω)。

这个公式叫做电阻定律。电阻率的大小反映了导体导电性能的优劣。通常把电阻率为 $10^{-6} \sim 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ 的材料叫做导体,把电阻率为 $10^{11} \sim 10^{16} \Omega \cdot \text{m}$ 的材料称为绝缘体,把电阻率介于导体和绝缘体之间的材料称为半导体。关于导体、绝缘体和半导体材料的知识,将在《轻轻松松学电工——器件篇》中予以介绍。

我们可用公路对汽车运行情况的影响来比喻导体在电流流动过程中的阻碍作用。公路(导体)越宽阔(粗),汽车(电流)运行(通过)越通畅,此时公路(导体)对汽车(电流)运行(通过)的影响(阻碍)越小;公路(导体)越狭窄(细),汽车(电流)运行(通过)越困难。

电阻定律也可用人走路遇到的困难来类比：路越长，困难越大，导体越长，电阻越大；路越窄，困难越多，导体的横截面积越小，电阻越大；路面不同，困难不一样，导体材料不同，电阻也就不同。

思路点拨

常见的导体有铜、铁、铝等，人体、不纯净的水也是导体。常见的绝缘体有橡胶、塑料、玻璃等，常见的半导体有硅、锗等。

为什么要在导体外包上一层橡皮或塑料呢？原来，为了防止漏电和触电，需要在导体外面包上一层绝缘体。

如果发现有人触电，千万不要用手直接去拉触电的人，因为人也是导体。要设法切断电源或用干燥的竹竿去挑开触电者身上的电线。

电阻的种类很多，常用的有碳膜电阻、金属膜电阻和线绕电阻等，如图 1-25 所示。不管电阻是什么种类，它在电路图中都有一个基本的表示字母“R”。

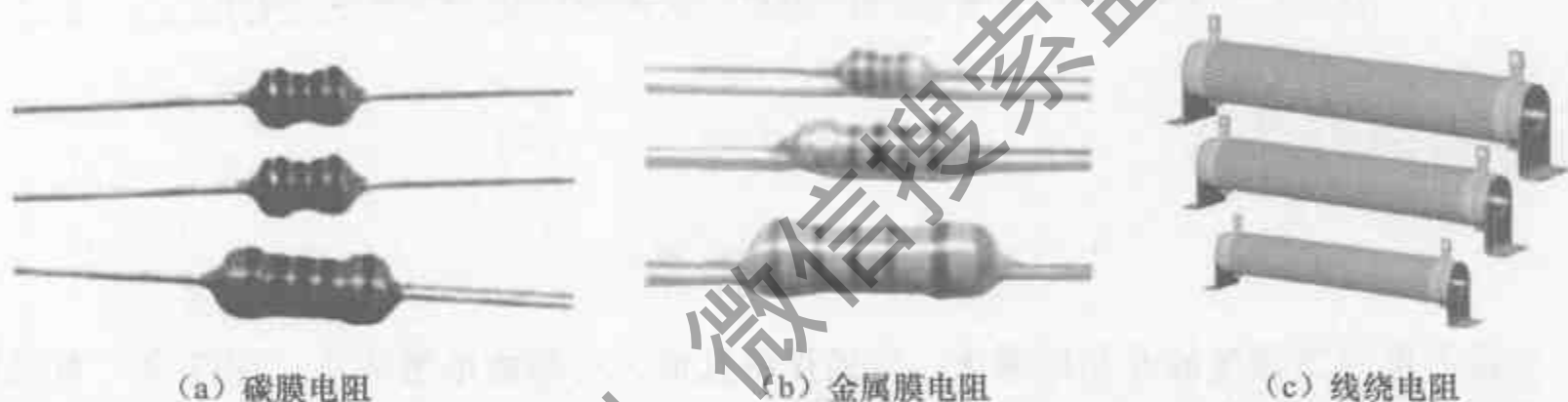


图 1-25 常用电阻

电阻阻值的表示方法有数字法和色环法。一般来说，电工在进行安装或维修时用万用表的电阻挡很容易测量出电阻阻值的大小，并可据测量结果判断其好坏，如图 1-26 所示。



图 1-26 用万用表测量电阻

关于用指针式万用表测量导体直流电阻的方法，可用下面的歌诀来帮助记忆。

测量电阻选量程，选完量程再调零。
两笔短路看表针，不在零位要调整。
旋动欧姆调零钮，表针到零才算成。

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{5} = 44(\Omega)$$

由 $R = \rho \frac{L}{S}$ 得:

$$L = \frac{RS}{\rho} = \frac{44 \times 0.1 \times 10^{-6}}{5 \times 10^{-7}} = 8.8(\text{m})$$

知识链接

全电路欧姆定律

由电源和负载组成的闭合电路叫做全电路,如图 1-28 所示。

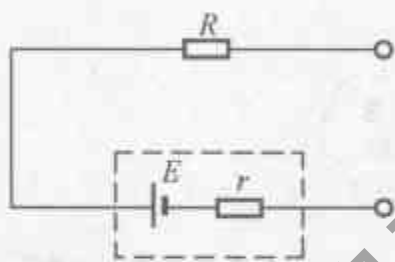


图 1-28 简单的闭合电路

在全电路中,电流与电源的电动势成正比,与电路的总电阻成反比。这就是全电路欧姆定律,其表达式为:

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

式中: I 为电路中的电流,单位为安培 (A); E 为电源的电动势,单位为伏特 (V); R 为外电路电阻,单位为欧姆 (Ω); r 为电源内阻,单位为欧姆 (Ω)。

由全电路欧姆定律可知,当外电路短路时,电阻 R 减小甚至为零,此时短路电流很大,可能烧毁电源,甚至引起火灾。这就是在电路中必须设置短路保护装置的原因。

① 在日常生活中常常会碰到这样的情况,白炽灯的灯丝烧断后搭上,灯泡反而更亮,这是为什么?

提示:由 $I = \frac{U}{R}$ 可知,当 U 不变而 R 变小时, I 增大,所以灯泡变得更亮。

② 用 $R = \frac{U}{I}$ 能否说明导体的电阻与其两端的电压成正比,与通过导体的电流成反比? 用 $U = IR$ 能否说明导体两端的电压与导体的电阻和通过导体的电流成正比?

想一想

提示:对物理公式不能单纯从数学的角度去理解。公式 $R = \frac{U}{I}$ 表示导体的电阻在数值上等于导体两端的电压与通过导体的电流的比值。由于导体的电阻是由导体本身的性质决定的,它跟导体两端是否有电压或电压的大小、导体中是否有电流或电流的大小无关。所以,不能认为电阻 R 与电压 U 成正比,与电流 I 成反比。公式 $U = IR$ 表示导体两端的电压在数值上等于通过导体的电流和该导体电阻的乘积。但要注意,电压是电路中产生电流的原因。导体两端不加电压时,电流为零,但导体的电阻依然存在。因此,不能认为电压跟电流成正比,跟电阻也成正比。

式中：电压 U 的单位为 V (伏)，电流 I 的单位为 A (安)，电阻 R 的单位为 Ω (欧)。

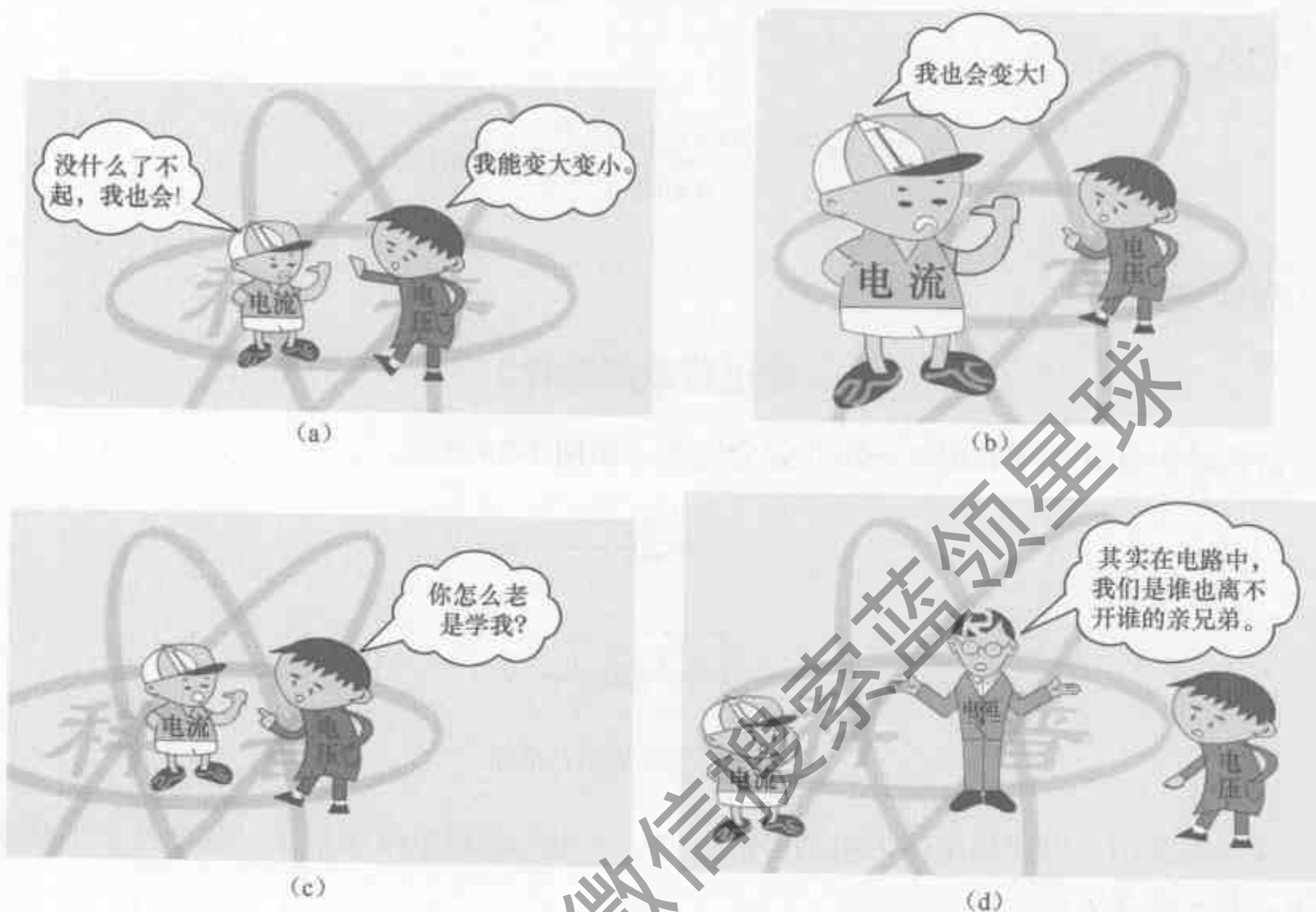


图 1-27 三兄弟的啰唆事

思路点拨

欧姆定律是电路中最基本的定律，它反映了电流、电压和电阻之间的相互关系，可用来解决有关电路的很多实际问题。可用“我 (I) 等于你 (U) 除以他 (R)”的口诀来记忆这个公式。

在电流、电压和电阻这三个物理量中，只要知道其中的任意两个量，就可以求出第三个量。例如，若知道了某段导体两端的电压和通过它的电流，就可以求出这段导体的电阻，这就是通常所谓的伏安法测电阻。

应用提高

例题 1.5 用横截面积是 0.1mm^2 的康铜电阻丝绕制一个电阻，若将它接在 220V 的电源上，电阻中通过的电流为 5A ，求绕制这个电阻的电阻丝长度是多少（康铜的电阻率 $\rho=5\times 10^{-7}\Omega\cdot\text{m}$ ）。

分析：要计算电阻丝的长度 L ，需知道电阻丝的电阻 R 、横截面积 S 和电阻率 ρ 。其中 S 和 ρ 在题中已给出， R 虽未知，但题中给出了电阻丝两端的电压和通过的电流，所以可先利用欧姆定律求出该电阻丝的电阻值，再由电阻定律求电阻丝的长度。

解：由 $I = \frac{U}{R}$ 得：

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{5} = 44(\Omega)$$

由 $R = \rho \frac{L}{S}$ 得:

$$L = \frac{RS}{\rho} = \frac{44 \times 0.1 \times 10^{-6}}{5 \times 10^{-7}} = 8.8(\text{m})$$

知识链接

全电路欧姆定律

由电源和负载组成的闭合电路叫做全电路,如图 1-28 所示。

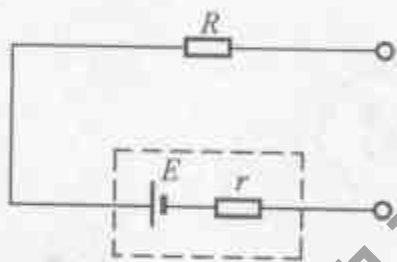


图 1-28 简单的闭合电路

在全电路中,电流与电源的电动势成正比,与电路的总电阻成反比。这就是全电路欧姆定律,其表达式为:

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

式中: I 为电路中的电流,单位为安培(A); E 为电源的电动势,单位为伏特(V); R 为外电路电阻,单位为欧姆(Ω); r 为电源内阻,单位为欧姆(Ω)。

由全电路欧姆定律可知,当外电路短路时,电阻 R 减小甚至为零,此时短路电流很大,可能烧毁电源,甚至引起火灾。这就是在电路中必须设置短路保护装置的原因。

① 在日常生活中常常会碰到这样的情况,白炽灯的灯丝烧断后搭上,灯泡反而更亮,这是为什么?

提示:由 $I = \frac{U}{R}$ 可知,当 U 不变而 R 变小时, I 增大,所以灯泡变得更亮。

② 用 $R = \frac{U}{I}$ 能否说明导体的电阻与其两端的电压成正比,与通过导体的电流成反比? 用 $U = IR$ 能否说明导体两端的电压与导体的电阻和通过导体的电流成正比?

想一想

提示:对物理公式不能单纯从数学的角度去理解。公式 $R = \frac{U}{I}$ 表示导体的电阻在数值上等于导体两端的电压与通过导体的电流的比值。由于导体的电阻是由导体本身的性质决定的,它跟导体两端是否有电压或电压的大小、导体中是否有电流或电流的大小无关。所以,不能认为电阻 R 与电压 U 成正比,与电流 I 成反比。公式 $U = IR$ 表示导体两端的电压在数值上等于通过导体的电流和该导体电阻的乘积。但要注意,电压是电路中产生电流的原因。导体两端不加电压时,电流为零,但导体的电阻依然存在。因此,不能认为电压跟电流成正比,跟电阻也成正比。



欧姆轶事一则

1827年，欧姆（见图1-29）发表《伽伐尼电路的数学论述》，从理论上论证了欧姆定律。欧姆满以为研究成果一定会受到学术界的承认，人们也会请他去教课，可是他想错了。书的出版招来不少讽刺和诋毁，大学教授们看不起他这个中学教师。德国人鲍尔攻击他说：“以虔诚的眼光看待世界的人不要去读这本书，因为它纯然是不可置信的欺骗，它的唯一目的是要亵渎自然的尊严。”这一切使欧姆十分伤心。



图1-29 乔治·西蒙·欧姆

当然，也有不少人为欧姆抱不平，刊登欧姆论文的《化学和物理杂志》主编施韦格（即电流计发明者）写信给欧姆说：“请您相信，在乌云和尘埃后面的真理之光最终会透射出来，并含笑驱散它们。”欧姆辞去了在科隆的职务，又去当了几年的私人教师。直到七八年之后，随着电路研究工作的进展，人们逐渐认识到欧姆定律的重要性，欧姆本人的声誉才大大提高。1841年英国皇家学会授予他科普利奖章，1842年欧姆被聘为国外会员，1845年被接纳为巴伐利亚科学院院士。为了纪念他，电阻的单位“欧姆”就是以他的姓氏命名的。

1.5 电阻的连接

——串联与并联

在电路中，用一个电阻往往不能满足电路要求，需要几个电阻连接起来共同完成任务。电阻的连接形式是多种多样的，最基本的方式是串联和并联。

1.5.1 电阻串联电路——首尾相连不分家，电流相等可分压

在电路中，把两个或两个以上的电阻依次连接起来，只为电流提供唯一的一条路径，

没有其他分支的电路连接方式，叫做电阻串联电路，如图 1-30 所示。



图 1-30 电阻串联电路

串联电路可比喻为一条没有分支的路，即只能一条路走到底，正所谓“自古华山一条路”，别无选择。

电阻串联的实例很多，如挂在圣诞树上的灯泡线路，就是把灯泡一个接一个地串联起来，如图 1-31 所示。

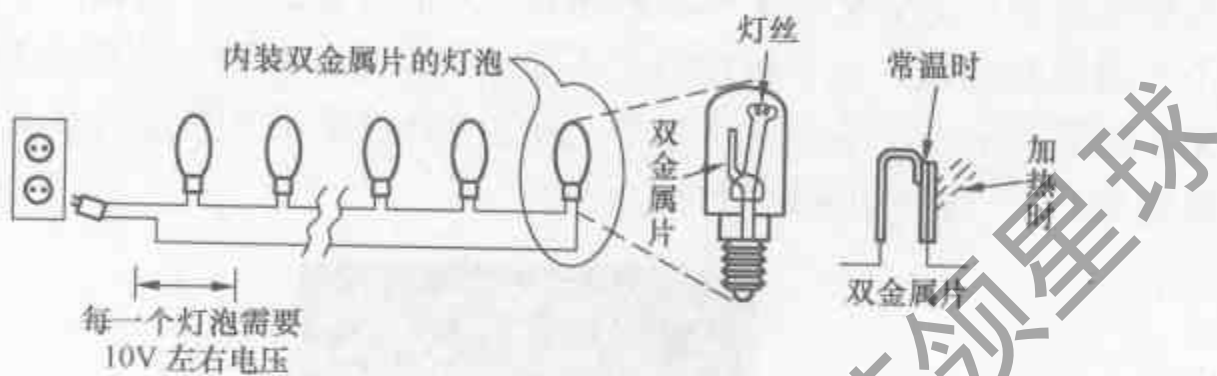


图 1-31 圣诞树节电灯泡

想一想 在什么情况下优先考虑采用电阻串联？

1.5.2 电阻并联电路——并行连接多支路，电压相等分电流

在电路中，把两个或两个以上的电阻并排连接在电路中的两个节点之间，为电流提供多条路径的电路连接方式，叫做电阻并联电路，如图 1-32 所示。

并联电路可理解为回家有几条道路可供选择，可谓“殊途同归”。

电阻并联的实例也很多，如家庭照明电路中灯泡的连接方式就是并联，即使取下一个灯泡，其他灯泡仍然能够正常使用。

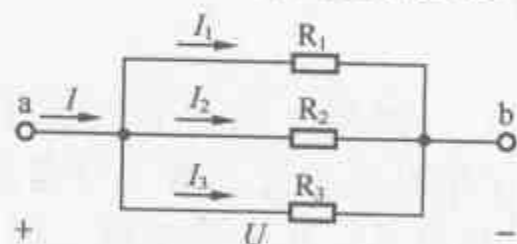


图 1-32 电阻并联电路

想一想 在什么情况下优先考虑采用电阻并联？

*1.5.3 电阻串并联电路的特点及应用——串联并联两形式，分压分流看实际

电阻的连接方式不同，其特点也不相同。电阻串、并联电路的特点及应用见表 1-2 所示。

表 1-2 电阻串、并联电路的特点及应用

连接方式	电阻串联电路	电阻并联电路
项目		
电流	电流处处相等，即 $I_1=I_2=I_3=\dots=I$	总电流等于各支路电流之和，即 $I=I_1+I_2+\dots+I_n$
电压	电路两端的总电压等于各个电阻两端电压之和，即 $U=U_1+U_2+U_3+\dots+U_n$	总电压等于各分电压，即 $U_1=U_2=\dots=U=U_a-U_b$

续表

连接方式 项目	电阻串联电路	电阻并联电路
电阻	总电阻等于各电阻之和, 即 $R=R_1+R_2+R_3+\dots+R_n$	总电阻的倒数等于各个并联电阻倒数之和, 即 $\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\dots+\frac{1}{R_n}$
分压	各个电阻两端上分配的电压与其阻值成正比, 即 $U_1:U_2:U_3:\dots:U_n=R_1:R_2:R_3:\dots:R_n$	各个支路电阻上的电压相等, 不分压
分流	不分流	电流与电阻值成反比, 即 $I_1:I_2:\dots:I_n=\frac{1}{R_1}:\frac{1}{R_2}:\dots:\frac{1}{R_n}$
功率分配	各个电阻上分配的功率与其阻值成正比, 即 $P_1:P_2:P_3:\dots:P_n=R_1:R_2:R_3:\dots:R_n$ (其中, $P=I^2R$)	各电阻上分配的功率与其阻值成反比, 即 $R_1P_1=R_2P_2=\dots=R_nP_n=RP$
应用举例	① 用于分压: 为获取所需电压, 常利用电阻串联电路的分压原理制成分压器; ② 用于限流: 在电路中串联一个电阻, 限制流过负载的电流; ③ 用于电压表的改装: 利用串联电路的分压作用可完成电压表的改装, 即将电流表与一个分压电阻串联, 便把电流表改装成了电压表	① 组成等电压多支路供电网络, 例如 220V 照明电路; ② 分流与扩大电流表量程: 运用并联电路的分流作用可对电流表进行扩大量程的改装, 即将电流表与一个分流电阻相并联, 便把电流表改装成了较大量程的电流表

思路点拨

大家必须理解电阻串、并联电路的特点, 否则, 在实际维修时就会不知所措, 如图 1-33 所示。

串联电路可理解为全班 50 位同学从四楼的同一个楼梯口下楼到底楼时, 老师站在楼梯上的任何位置清点人数, 都能数到有 50 位同学, 也即在“串联电路中电流处处相等”。四层楼的总高度等于每层楼高度之和, 也即“串联电路的总电压等于各串联部分两端的电压之和”。同学们到底楼要经过的总障碍等于每层楼的障碍(楼梯)之和, 也即“串联电路的总电阻等于各串联部分的电阻之和”。

并联电路可理解为全班 50 位同学从前后两个楼梯口分开下楼, 男生从前面的楼梯口下



图 1-33 Y 电工的烦心事

去,女生从后面的楼梯口下去,到底楼会合时学生的人数等于男生数与女生数之和,也即“并联电路中,干路上的总电流等于各支路电流之和”。不管你是从哪个楼梯口下去,你下降的高度都是四层楼高,每个同学下降的高度都是相等的,也即“在并联电路中,各支路两端的电压相等”。当同学们由原来的一个楼梯口下楼变为由两个楼梯口下楼,总的来说拥挤程度是减小了,受到的碰撞减少了,也即“并联电路的总电阻比任何一个支路的电阻都要小”。

知识链接

电阻混联电路

实际电路中,电阻的连接方式既有串联又有并联,称之为电阻混联,如图 1-34 (a) 所示。图 1-34 (b) 所示为该电路化简后的等效电路。

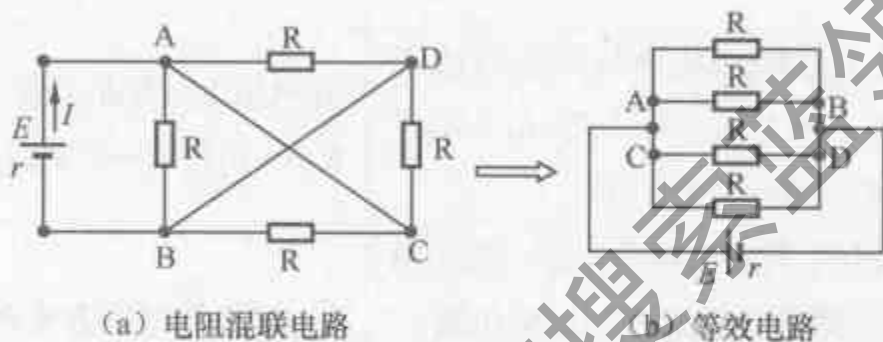


图 1-34 电阻混联电路及其等效电路

求解电阻混联电路的关键是把比较复杂的电路化简为最简单的等效电路。对电阻混联电路进行图形整理的方法是:

- ① 支路同向排列。
- ② 连线缩为一点。

画直流电路等效图的方法可用下面的歌诀来记忆。

直流电路等效图歌诀

无阻导线缩一点,等势点间连成线;
断路无用线撤去,节点之间依次连;
整理图形标准化,最后还要看一遍。

想一想 假设图 1-34 中电阻 R 的电阻值为 2Ω , 则该电路的总电阻是多少?

电工小百科

电流热效应的利与弊

电流通过电阻时要做功,将电能转换为热能,电阻会发热,这种现象称为电流的热效应。例如:电炉通电后,电炉丝变得发红;白炽灯通电以后,一会儿热得烫手;电饭锅通电以后,能把生米煮成熟饭。

大电流通过导线而导线又不够粗时,就会产生大量的热量,破坏导线的绝缘性能,导致

线路短路，引发电气火灾。为了避免导线过热，有关部门对各种不同截面积的导线规定了最大允许电流（安全电流）。

短路电流的热效应是酿成电气火灾的主要原因。因为短路电流很大，通常为正常工作电流的十几倍至几十倍，足以引燃短路点周围的可燃物质，从而导致火灾。

一些大功率电子元器件在工作过程中要发热，电动机、变压器等在运行中会产生温升，温度过高会危及这些设备的安全，所以一般要想方设法采取散热措施，以延长设备的使用寿命。

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

第2章 磁与电

——形影不离亲兄弟

磁能产生电，电也能产生磁。为了研究这个问题，奥斯特、安培、科拉顿、阿拉贡、亨利和法拉第等一大批科学家经过不懈的努力，做出了巨大贡献。从此，有了电动机、变压器和发电机等电气设备，人类历史被改写。

发现电磁感应的科学足迹给人们以深刻的启示——自然界是和谐的、统一的、对称的。通过本章学习，要求达到以下目标。

知识目标

- ① 理解电流的磁效应。
- ② 理解磁感应强度、磁通、磁导率和磁场强度等基本物理量的概念。
- ③ 掌握判定感应电流方向的方法。
- ④ 了解自感和互感现象。
- ⑤ 了解楞次定律。

能力目标

- ① 用安培定则（右手螺旋定则）判定通电线圈和通电直导线的磁场方向。
- ② 灵活应用左手定则。
- ③ 掌握磁感应强度、磁通和磁场强度的计算方法。

2.1 电流的磁效应

——运动电荷生磁场

奥斯特实验证明，电流和磁场就像一对孪生兄弟，在通电导线周围和永磁体周围都存在磁场。它揭示了一个十分重要的物理本质——电流周围存在磁场，通电导线周围的磁场实质上是由运动电荷产生的。

2.1.1 通电导体与磁场的关系——导线通电生磁场，电流越大磁越强

1820年，丹麦物理学家奥斯特做了一个著名的实验，他将一枚小磁针移近一根通电的导体，意外地发现小磁针发生了偏转，说明导体中的电流产生了磁场，小磁针受到磁场力的作用而偏转，如图2-1所示。实验还进一步发现，通过导线的电流越大，或者磁针离通电导线越近，这种偏转作用就越强。如果改变导线中电流的方向，磁针偏转的方向也会随着改变。切断导线中的电流，磁场随之消失，小磁针回到原位。

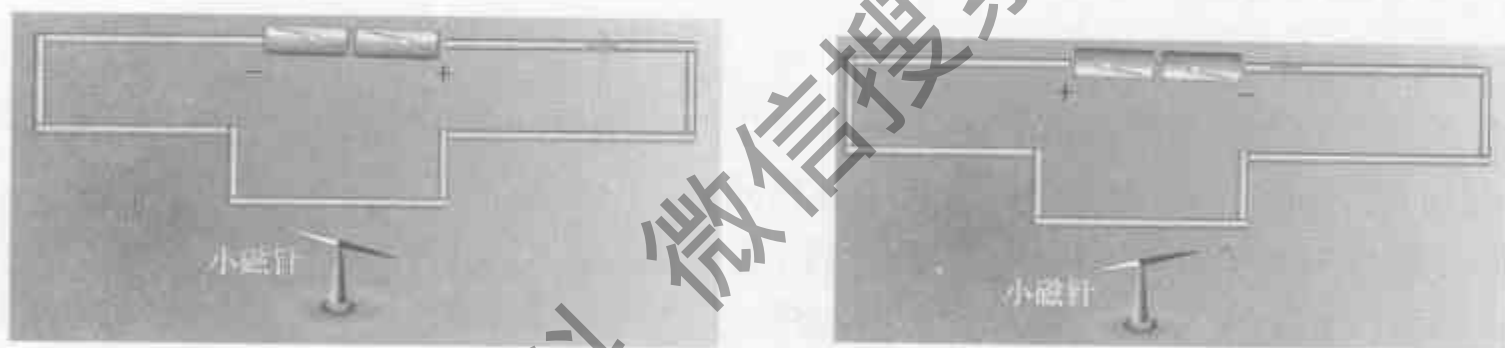


图2-1 电流的磁效应现象

奥斯特的实验证明：电流总是伴随着磁场而存在，电流永远被磁场包围着。

想一想 奥斯特的实验说明了一个什么问题？

2.1.2 安培定则——导体周围磁力线，安培定则来判断

1. 通电直导线的磁场

取一根直导线，把它穿过一块较大的硬纸板的中心，在纸板上均匀地撒上铁屑。当导线中通以电流时，假如让电流从导线的下端流到上端，用手指轻敲纸板，铁屑就会有规则地以导线为中心形成许多圆环，就像地螺旋玩具一样，如图2-2所示。这表明导线中通过电流时在周围空间中产生了磁场。

朋友见面时，通常是伸出右手去握手。在判定通电直导线的电流方向、磁力线的方向时，也是用右手。

如图2-3所示，把右手的大拇指伸直，四指围绕导线，当大拇指指向电流方向时，其余四指所指的方向就是环状磁力线的方向。这就是通电直导线的安培定则（安培定则一），安培定则也称为右手螺旋定则。

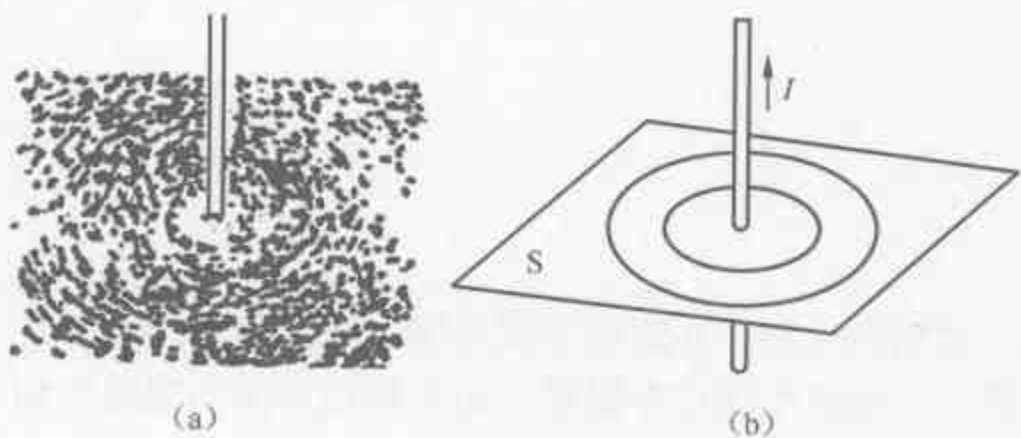


图 2-2 通电直导线周围的磁场



图 2-3 用安培定则一判定通电直导线的磁力线方向

思路点拨

通电直导线在周围空间中产生的磁场具有如下特性。

- ① 磁力线是一组以直导线为圆心的同心圆。
- ② 导线中的电流越大，则磁场越强。
- ③ 越靠近直导线，磁力线越密，即磁场越强。
- ④ 磁力线的方向取决于导线中电流的方向。

2. 通电线圈的磁场

当电流流经一个螺旋线圈时，线圈电流产生的磁场类似于条形磁体产生的磁场，即磁力线从N极出发，回到另一端S极，如图2-4所示。

判断线圈电流与磁场方向间的关系，可用通电螺线管的安培定则（安培定则二）：将右手的大拇指伸直，用右手握住线圈，其余四指指向电流的方向，则大拇指所指的方向便是线圈中磁力线的N极，如图2-5所示。

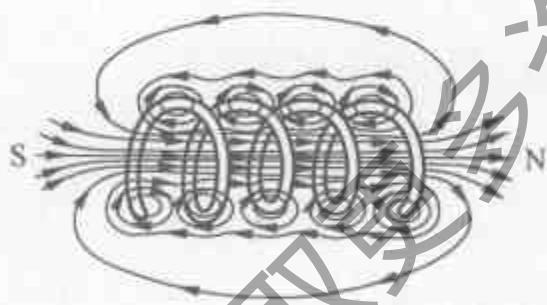


图 2-4 通电线圈的磁场

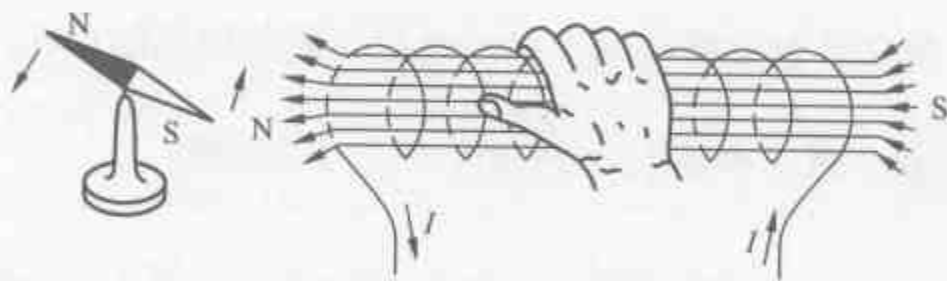


图 2-5 用安培定则二判定通电线圈的磁场方向

通电线圈的磁场强弱与线圈的绕线匝数及通入的电流大小成正比。

通电线圈产生磁场这一物理现象在生产和生活中的运用非常广泛。

① 许多电气设备（如变压器、电动机、交流接触器等）都有用导线绕制成的线圈，其磁场方向可用右手螺旋定则来确定。

② 如果把线圈套在铁芯上，电流通过线圈时产生的磁场会把铁芯磁化，铁芯被磁化后产生的磁场将比电流的磁场增强几百倍、几千倍甚至上万倍。电磁铁就是根据这个道理制成的。

思路点拨

安培定则歌诀

导线周围磁力线，安培定则来判断。

判断直线定则一，右手握住直导线。
 电流方向拇指指，四指指向磁力线。
 判断螺线定则二，右手紧握螺线管。
 电流方向四指指，拇指指向N极端。

想一想 安培定则的内容是什么？如何应用安培定则判断通电螺线管的极性和电流方向？



奥斯特趣闻

1819年上半年到1820年下半年，奥斯特一面担任电磁学讲座的主讲，一面继续研究电磁关系。1820年4月，在一次演讲快结束的时候，奥斯特抱着试试看的心情又做了一次实验。他把一条非常细的铂导线放在一根用玻璃罩罩着的小磁针上方，在接通电源的瞬间，他发现磁针跳动了一下。这一跳使有心的奥斯特喜出望外，他竟激动得在讲台上摔了一跤。但是因为偏转角度很小，而且不很规则，这一跳并没有引起听众注意。以后，奥斯特花了3个月时间做了许多次实验，发现磁针在电流周围都会偏转。在导线的上方和导线的下方，磁针偏转方向相反。在导体和磁针之间放置非磁性物质，比如木头、玻璃、水、松香等，不会影响磁针的偏转。1820年7月21日，奥斯特写成论文《论磁针的电流撞击实验》，正式向学术界宣告发现了电流磁效应。

*2.2 磁场的基本物理量

——磁场无形参数描

磁场是一种特殊的物质，只要有磁场，就有磁感应强度、磁通、磁导率和磁场强度等物理量，它们是从不同侧面描述磁场的4个基本物理量。在分析和计算这些物理量时，一定要弄清楚其基本概念，灵活运用计算公式。表2-1是关于这几个基本物理量的重要知识点，大家务必掌握。

表 2-1 磁场的基本物理量

物 理 量	符 号	表 达 式	单 位 及 符 号	说 明
磁感应强度	B	$B = \frac{F}{IL}$	特(T)	反映任意一点磁场的强弱和方向
磁通	Φ	$\Phi = BS$	韦伯(Wb)	反映磁场中某点的性质
磁导率	μ	$\mu = \mu_r \mu_0$	亨利/米(H/m)	用来衡量磁介质的导磁能力
磁场强度	H	$H = \frac{B}{\mu}$	安培/米(A/m)	反映磁场中某点的磁感应强度与磁介质磁导率的比值大小

应用提高

例题 2.1 有一个平面通电矩形线框，可以绕 OO' 轴转动。已知矩形线框每条边长度 $L=10\text{cm}$ ，放在磁感应强度 $B=0.05\text{T}$ 的匀强磁场中（如图 2-6 所示），通过线框的电流 $I=0.02\text{A}$ 。试求：

- ① 作用在 ab 边这根导线上的力的大小。
- ② 判断线框的转动方向。

分析：① 在线框绕 OO' 轴转动过程中， ab 边始终与磁场方向垂直，所受电磁力最大。利用公式 $F=BIL$ 求出 ab 边所受的力。

② 通电线框的转动方向由线框各边在磁场中所受电磁力的方向决定。用左手定则判断各边受力方向，而 bc 和 ad 两边所受作用力总是一对平衡力，其作用相互抵消，对线圈的转动不起作用，所以只需判断 ab 和 cd 两条边的受力。

- ③ 在用公式计算时，需要注意单位换算问题。

解：① $F=BIL=0.05\times 0.02\times (10\times 10^{-2})=0.0001\text{N}=1\times 10^{-4}\text{N}$ 。

② 根据左手定则，判断出 ab 边受力方向为垂直于纸面向里， cd 边受力方向为垂直于纸面向外，所以线框绕 OO' 轴逆时针转动。

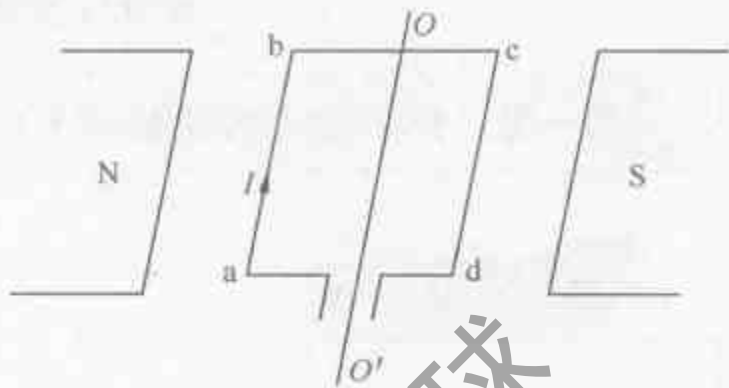


图 2-6 例题 2.1 图

判断下列说法是否正确。

- ① 对于任何磁体，南极和北极总是成对出现且它们的强度相等。
- ② 磁力线不能相交，磁力线密集处表示磁场强。
- ③ 通电直导体周围产生的磁场的强弱不但与电流强度有关，还与距离导体的远近有关。
- ④ 如果把一根条形磁铁折成两段，则每一段只剩一个磁极。
- ⑤ 磁力线由 N 极指向 S 极。

想一想

提示：①、②、③正确，④、⑤错误。

电工小百科

远离电磁辐射有利健康

电磁辐射无处不在（如图 2-7 所示），电磁辐射超过一定强度，人长期处在这种环境中，会出现头疼、失眠、记忆衰退、视力下降、血压升高或下降等症状，严重的可能引起流产、白内障，甚至诱发癌症。

磁场产生的电磁辐射穿透性很强，在生活中千万不要忽视了相邻房间或楼上楼下电磁辐射的影响。特别是一般电器的管线都接在后方，所以常常测得最高的指数是在电器的正后方。如果你经常坐在沙发上，你头部后面是墙，而隔壁邻居电视机的尾部刚好对着你的头，那你应小心一些。

曾有人在孩子床上枕头处测到 $1.6\times 10^{-7}\text{T}$ 的磁场强度，最后发现是相邻的主卧房内有一台电视机正开着，而这台电视机就在小孩床头的正后方。当一个书桌设在冰箱所靠的墙



图 2-7 生活中的电磁辐射

后方时,书桌处的磁场为 $2 \times 10^{-7} \sim 7 \times 10^{-7} \text{T}$ 。所以,沙发、座椅和枕头最好都不靠近与邻居相隔的墙,因为你不知道墙那边会有什么。

2.3 电磁感应

——磁电互感关系大

电磁感应及其基本定律几乎覆盖了电气、电子工程的各个领域,在实际中应用极为广泛。

2.3.1 感应电流的产生——导体切割磁力线,电磁感应磁生电

磁铁并不是磁场的唯一来源。自从1820年丹麦物理学家奥斯特发现电流的磁效应后,许多物理学家开始寻找它的逆效应——“把磁转变成电”。英国物理学家法拉第坚持不懈、顽强奋斗了10年,终于在1831年通过实验发现了电磁感应现象,使人们“磁生电”的梦想成真,法拉第对人类的文明进步和科学发展做出了卓越贡献。

1. 几个概念

利用导体在磁场里作适当的相对运动可以获得电流的现象,称为电磁感应现象。这样获得的电流称为感应电流,形成感应电流的电动势称为感应电动势。

2. 产生感应电流的条件

利用磁场获得感应电流的方法有4种,如图2-8所示。

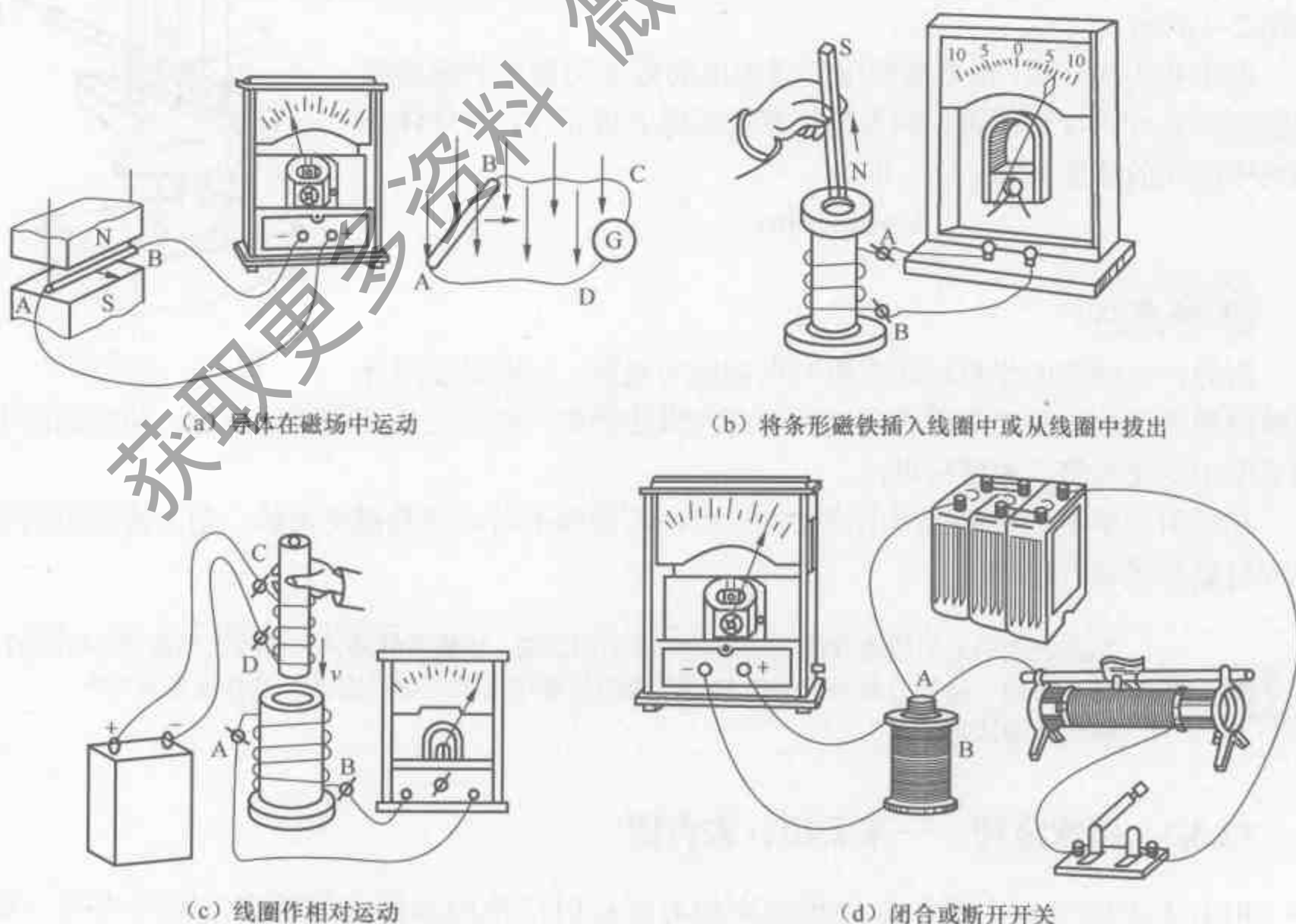


图 2-8 产生感应电流的实验方法

不论用什么方法，只要穿过闭合电路的磁通量发生变化，闭合电路中就有电流产生，电流方向与穿过闭合电路的磁通量变化情况有关。

产生感应电流的条件是：闭合电路的一部分导体作切割磁力线运动或穿过闭合电路的磁通量发生变化时，闭合电路中就有感应电流产生。

思路点拨

电磁感应歌诀

电磁感应磁生电，磁通变化是条件。
回路闭合有电流，回路断开是电源。
感应电势大和小，磁通变化可知晓。

想一想 产生感应电流的条件是什么？

2.3.2 判断感应电流的方向——右手定则判方向，四指确定 I 流向

闭合电路中的部分导体作切割磁力线运动时，产生的感应电流的方向可用右手定则来判断。右手定则的内容是：伸出右手，让大拇指和其余四指垂直，并都与手掌在同一平面内，让磁力线垂直穿过手心，大拇指指向导线切割磁力线运动的方向，则其余四指所指的就是感应电流的方向，如图 2-9 所示。

理论和实践证明，电磁感应中的感应电动势 E 与磁场的磁感应强度 B 成正比，与导体切割磁力线的有效长度 L 成正比，与导体在磁场中运动的速度 v 成正比，即：

$$E = BLv \sin \alpha$$

思路点拨

用导体与磁场的相对运动来研究电磁感应现象，与用穿过闭合回路磁通的变化来研究电磁感应电流这两种做法是统一的。它们都可以归结为：闭合回路中磁通发生变化时将产生感应电流。

在运用右手定则判定感应电流的方向时，若导线不动，而是磁场运动，则大拇指所指方向应与磁场运动方向相反。

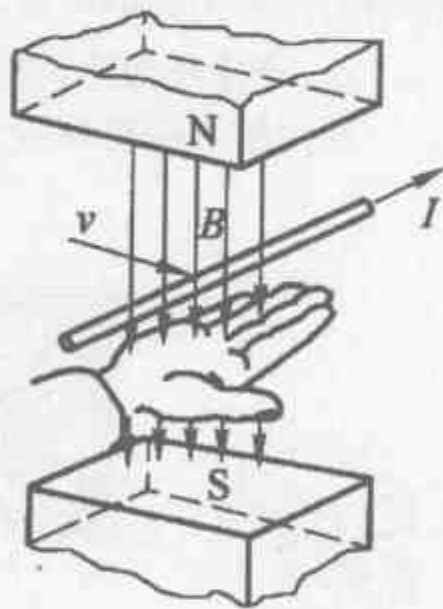


图 2-9 右手定则

想一想

感应电流的方向随着导体运动方向的改变而改变，也随着磁场方向的改变而改变。导体的运动方向、磁场方向和感应电流的方向的关系可总结成右手定则。这种说法对吗？
提示：说法正确。

***2.3.3 楞次定律——来者拒，去者留**

用右手定则来判断导体与磁场发生相对运动时产生的感应电流的方向较为方便。那么，如何判定穿过闭合电路的磁通量发生变化时产生的感应电流的方向呢？1834 年，德国

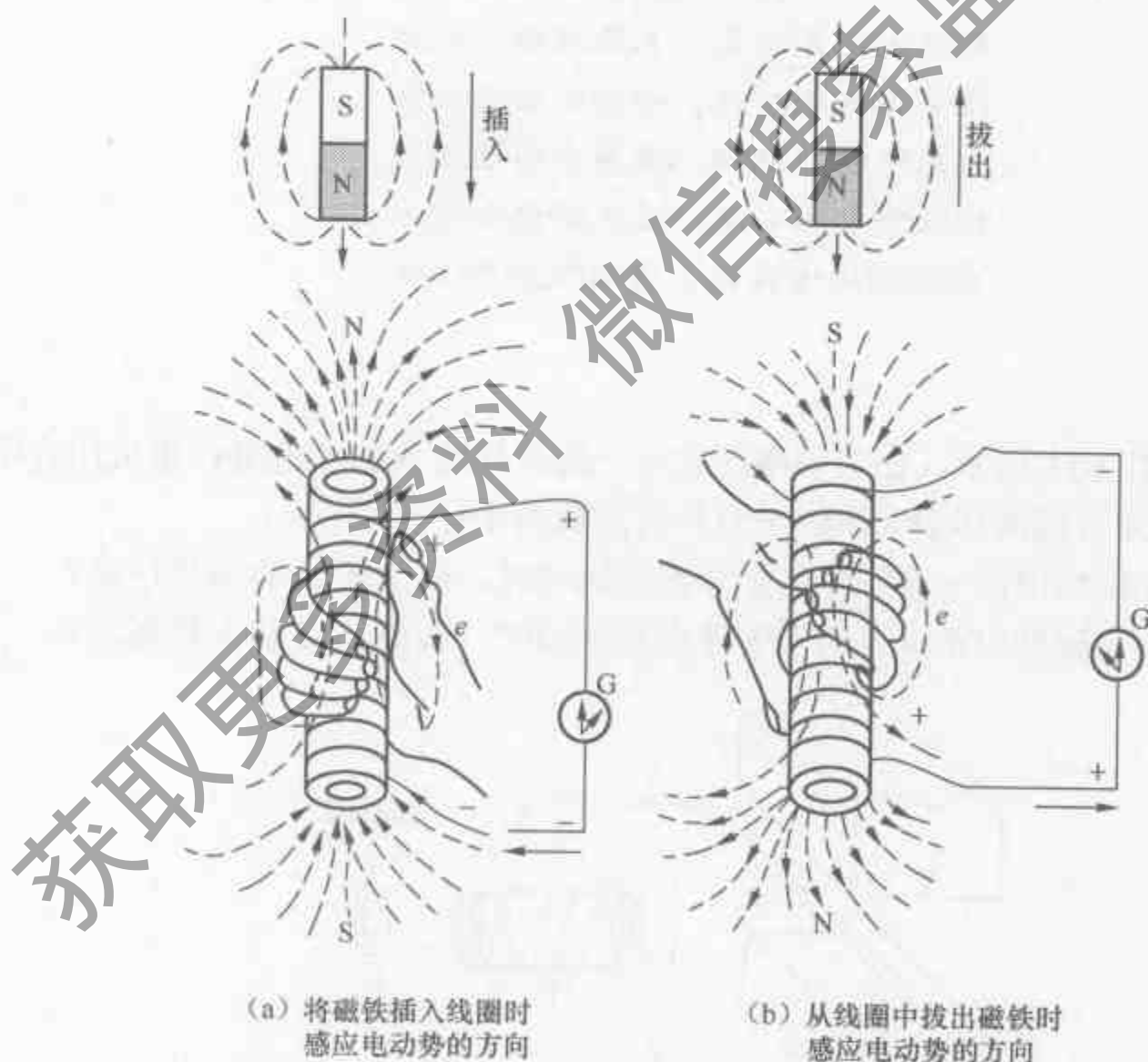
物理学家楞次经过反复实验和研究，总结出了确定感应电流方向的普遍适用的规律——楞次定律。

楞次定律指出：感应电流的方向总是使感应电流产生的磁场阻碍引起感应电流的磁通量的变化。

知识链接

楞次定律的验证

在图 2-10 (a) 中，当把磁铁插入线圈时，线圈的磁通增加。由楞次定律可知，感应电流所产生的磁通要阻止原来磁通的变化，即线圈中感应电流的磁场极性应该和磁铁的极性相反。所以，感应电流所产生的磁场一定是上面为 N 极，下面为 S 极。由右手螺旋定则可知，要产生如图 2-10 (a) 所示的这样一个磁场，其感应电流的方向在外电路中是自上而下的，电流计 G 的指针向右偏转。



(a) 将磁铁插入线圈时
感应电动势的方向

(b) 从线圈中拔出磁铁时
感应电动势的方向

图 2-10 验证楞次定律

在图 2-10 (b) 中，当磁铁被拔出时，线圈中的磁通要减少。由楞次定律可知，感应电流所产生的磁通要阻止原来磁通的减小，也就是感应电流所产生的磁场要与磁铁所产生的磁场方向一致，上面是 S 极，下面为 N 极。由右手螺旋定则可知，这时感应电流的方向在外电路中是自下而上，电流计 G 的指针向左偏转。

综上所述，当穿过线圈的磁通发生变化时，线圈中要产生感应电动势，其方向可以用楞

次定律判定。

思路点拨

感应电流的磁通总是阻碍原磁通的变化。“阻碍原磁通的变化”不能理解为和原磁通方向相反，也不能理解为“阻止”。我们可用被太阳晒过的烂泥塘作比喻，当人踩上去时，稍硬的表面会阻碍你下沉；一旦下沉后，烂泥又会阻碍你拔出腿来。

应用楞次定律判定感应电流方向的具体步骤如下。

- ① 明确原磁场的方向，确定穿过闭合电路的磁通量是增加还是减少。
- ② 根据楞次定律确定感应电流的磁场方向，若穿过闭合电路的磁通量增加，则感应电流的磁场方向与原磁场方向相反；若穿过闭合电路的磁通量减少，则感应电流的磁场方向与原磁场方向相同。
- ③ 根据右手螺旋定则（安培定则），由感应电流的磁场方向确定感应电流的方向。可用下面的歌诀来记忆楞次定律。

楞次定律歌诀

楞次定律是抽象，真正理解从三方，
阻碍磁通增和减，相对运动受反抗，
自感电流想阻挡，能量守恒理应当。
楞次先看原磁场，感生磁场向何方，
全看磁通增或减，安培定则知 I 向。

应用提高

例题 2.2 如图 2-11 所示，在匀强磁场里有一段直导线 AB 与线圈 C 组成闭合电路，在 C 的右边挂着一个闭合线圈环 D (D 的平面与线圈截面平行)。问：

- ① 导线 AB 在磁场中沿 v 方向作匀加速直线运动时，线圈环 D 将怎样运动？
- ② 当导线 AB 在磁场中沿 v 方向作匀速直线运动时，线圈环 D 将怎样运动？

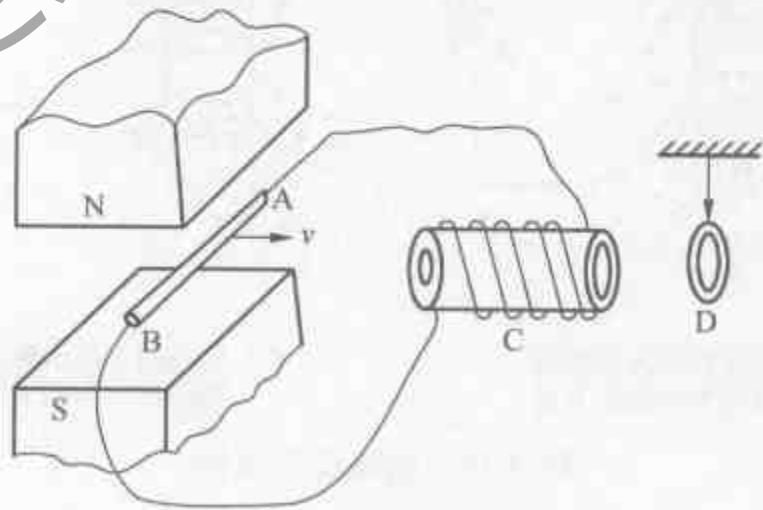


图 2-11 例题 2.2 图

分析：应用楞次定律解本题时，应注意分析穿过线圈的磁通是否发生变化。根据电磁感应现象可知：

- ① 导线 AB 在磁场中沿 v 方向作匀加速直线运动时，感应电流通过线圈 C，电流 I 不断增大，线圈 C 产生的磁场不断增强，使穿过线圈环 D 的磁通增大，D 中产生感应电流，该电


流使 D 产生磁场。根据楞次定律可知,该磁场要阻碍原磁场的增强,所以线圈 C 的磁场右端的磁极极性与线圈环 D 的磁场左端的极性相同,由于同性相斥, D 向右运动。

② 当导线 AB 在磁场中沿 v 方向作匀速直线运动时,感应电流通过线圈 C,电流不发生变化,所以 D 中没有感应电流,故线圈环 D 不动。

判断下列说法是否正确。

- ① 感应电流的磁通方向与原来磁通的方向相反。
 - ② 通过线圈的磁通量越大,则线圈中的感应电动势越大。
 - ③ 有感应电动势就一定有感应电流。
 - ④ 有感应电流就一定有感应电动势。
 - ⑤ 线圈中的感应电动势总是使感应电流的磁通阻碍原磁通的改变。
 - ⑥ 导体静止在磁场中时,感应电动势为零。
 - ⑦ 直导体内感应电流的方向永远与感应电动势的方向一致。
 - ⑧ 只要有磁通穿过线圈回路,线圈中就一定会产生感应电动势。
- 提示:④、⑥、⑦的说法正确,其余说法错误。

 想一想

 电工小百科

电磁炉与人体健康

电磁炉工作时所产生的闭合磁场在电磁炉边缘的最高强度为 $1.6 \times 10^{-5} \text{T}$,而使用手机时所产生的信号磁场接近 $1.6 \times 10^{-4} \text{T}$ 。由此可见,电磁炉所产生的磁场对人体的影响远不如手机。当锅具垂直离开电磁炉面板 $3 \sim 5 \text{cm}$ 时,锅具超出了闭合磁场范围不会再生热,同时电磁炉自动停止工作。闭合磁场范围之外的水平磁场非常微弱,甚至基本接近于地球的磁场。当锅具的最小直径小于 8cm 时,电磁炉也不能工作。所以,根本不用担心电磁炉的“磁”对人体的影响。

第3章 电容器及其应用

——隔断直流通交流

电容器是一种主要针对交流信号进行处理的元件。利用电容器对不同频率交流信号呈现的容抗,可构成各种功能的电容电路。在电子技术领域中,电容器可用于滤波、移相、耦合、选频和调谐等;在电力系统中,电容器可用来提高系统的功率因数;在单相异步电动机中,电容器可用于启动。

通过本章学习,要求达到以下目标。

知识目标

- ① 理解电容器、电容量、平行板电容器、电容器的充电和放电等基本概念。
- ② 掌握电容器的额定容量、额定电压等概念。
- ③ 掌握电容器的主要特性。
- ④ 掌握电容器串联、并联的特点。

能力目标

- ① 掌握电容器串联、并联的计算方法。
- ② 能够正确识别和使用电解电容器。
- ③ 掌握用万用表测量电容器的方法和电容器好坏的判定方法。

3.1 电容器的分类和充放电

——安全使用莫漏电

如果把电路比喻为水路，电源比喻为水源，电流比喻为水流，那么，根据电容器的充放电特性，就可把电容器比喻为“湖泊”，电容量比喻为“湖水”。这个比喻有助于我们进一步理解电容器与电容量的关系。

3.1.1 电容器的结构与分类——储存电荷电容器，有无极性看仔细

1. 电容器的结构和符号是怎样的

储存电荷的元件统称为电容器，任何两个彼此绝缘而又互相靠近的导体都可构成电容器。电容器的文字符号为“C”，在电路中的图形符号见表 3-1。

表 3-1

电容器在电路中的图形符号

名称	电容器	电解电容器	半可变电容器	可变电容器	双联可变电容器
图形符号					

组成电容器的两个导体称为极板，中间的绝缘物质称为电介质。电容器常用的电介质有空气、纸、油、云母、塑料、陶瓷等。电容器的结构如图 3-1 所示。

由两块相互平行、靠得很近且彼此绝缘的金属板所组成的电容器叫做平行板电容器，如图 3-2 所示。平行板电容器是一种最简单的电容器。

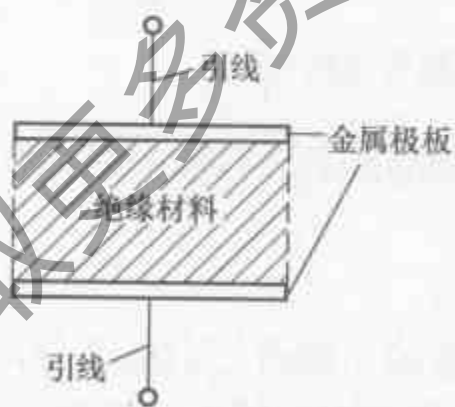


图 3-1 电容器的结构示意图

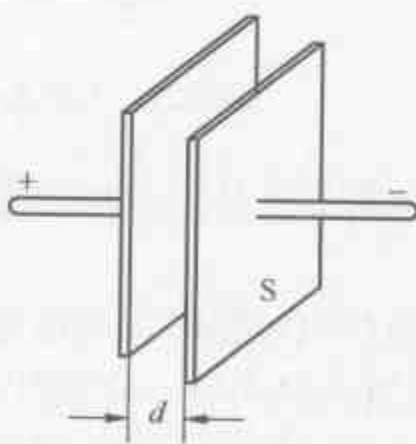


图 3-2 平行板电容器

2. 常用电容器有哪些种类

(1) 按用途分类

电容器按用途可分为滤波电容、耦合电容、旁路电容、谐振电容、定时电容、自举电容和启动电容等。

(2) 按介质材料分类

电容器按介质材料可分为瓷介电容、涤纶电容和电解电容等，如图 3-3 所示。

(3) 按有无极性分类

电容器按有无极性可分为有极性电容和无极性电容两大类。

有极性电解电容器的外形如图 3-4 所示。在使用时,不可将电解电容器的正、负极接反或直接把它接到交流电路中,否则会将电解电容器击穿。



图 3-3 常用电容器的外形

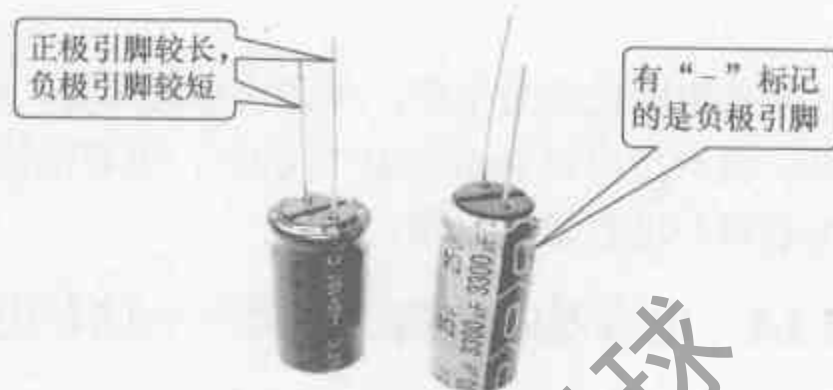


图 3-4 有极性电解电容器

无极性电解电容器是电解电容器的一种,又称为双极性电解电容器,如图 3-5 所示。由于采用了双氧化膜结构,无极性电解电容器的引脚没有极性,同时又保留了电解电容器的一些优点。无极性电解电容器主要应用在交流电路中,如电动机的启动电容、电力系统中用来提高功率因数的电容器等。



图 3-5 电动机上使用的无极性电解电容器

除有极性电解电容器之外,其他的电容器,如瓷介电容、涤纶电容等一般都属于无极性电容器。

在识别和使用电解电容器时,应注意以下几点。

① 电解电容器有两只引脚。有极性电解电容器的引脚有正负极之分,在外壳上有“-”标记的是负极引脚。没有使用过的电解电容器,正极的引脚较长,负极的引脚较短。

② 由于无极性电解电容器的两只引脚没有正负极之分,所以没有表示极性的符号。根据这一特征,可快速分辨是有极性还是无极性的电解电容器。

③ 电解电容器通常是圆柱形,外壳颜色常见的为蓝色,此外还有黑色、橙色等。

④ 电解电容器的容量标注均采用直标法,即直接把电容值用数字标注在电容器的外壳上。

(4) 按容量是否可变分类

按容量是否可变分类,有固定电容、可变电容和半可变电容等。

固定电容器的电容量是固定不变的,它的性能和用途与两极板间的介质有关。

电容量在一定范围内可调的电容器叫做可变电容器。

半可变电容器又叫做微调电容，它仍然属于可变电容器。图 3-6 是几种微调电容器的结构示意图。

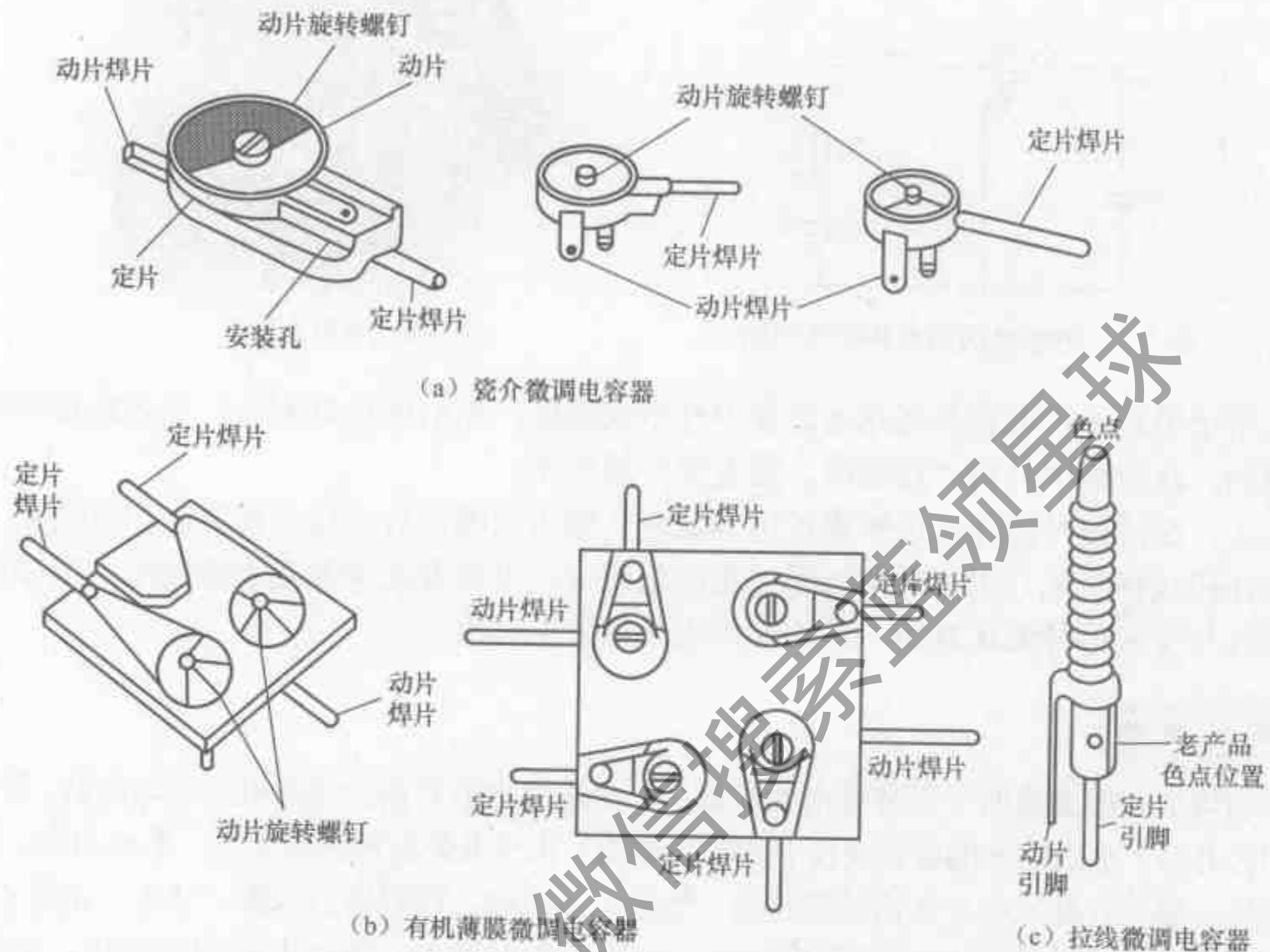


图 3-6 几种微调电容器的结构示意图

关于微调电容器，主要应注意以下 3 点。

- ① 一般来说，从外观上看，微调电容器的体积比普通电容器大一些。
- ② 它有动片和定片之分。一只微调电容器共有两个引脚，如果多只微调电容器组合在一起使用，各微调电容器的动片可以共用一个引脚。
- ③ 动片可以转动，所以一般情况下微调电容器上均设有可供一字螺丝刀调整用的缺口。

3.1.2 电容器的充电和放电——充电多少容量定，放电过程非线性

电容器的充电和放电需要具备一定的条件，其充电和放电过程是循序渐进的。

将电容器的两极板分别接到电源的正、负极上，使两极板分别带上等量异性电荷，这个过程叫做电容器的充电。如图 3-7 所示，S 处于“1”的位置时形成电容器的充电电路。

充电后，电容器的两极板总是带等量异种电荷，两极板之间有电场，具有电场能。

在如图 3-7 所示的电路中，把 S 置于“2”的位置，电容器通过电阻放电。此时，电容器两极板上的正、负电荷中和，电容器失去电量，这个过程称为电容器的放电。

例如，有的手机充电器（如图 3-8 所示）、袖珍收录机的交流电源在拔下 220V 电源插头后，作为指示灯的发光二极管还会继续亮一会儿，然后才逐渐熄灭。这就是因为电源中的滤波电容器在断电前事先存储了电能，断电后仍然在向发光二极管释放电能，这就是电容器的放电现象。

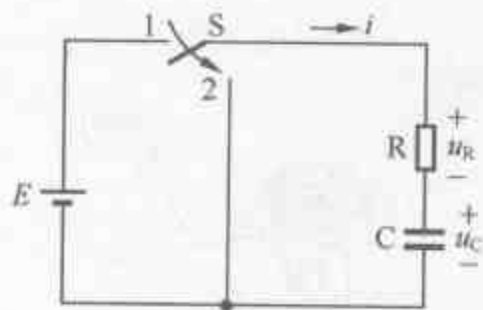


图 3-7 电容器的充电和放电电路



图 3-8 手机充电器

在电子电路中，电容器在充电过程中有电流流过；充电过程结束后，电容器是不能通过直流电的，在电路中具有“通交流、隔直流”的特性。

那么，交流信号为什么能够通过电容器呢？因为交流信号电压不仅方向往复变化，它的大小也在按规律变化。电容器两端通过交流信号时，电容器连续地充电和放电，所以电路中就会流过与交流信号变化规律一致的充电电流和放电电流。

思路点拨

我们可把底部连通的一个装满水的容器和一个未装水的容器比喻成电源和电容器。当把连通的阀门打开时，水由盛水的容器向没有水的容器流，由于开始时水的落差大，水流得快。随着时间的延长，落差逐渐减小，水流越来越慢。经过一定时间，两容器的水面一样平，水停止流动。

同样的道理，电容器在开始充放电时，由于电压差较大，所以电荷流动得快，电流大。当经过一段时间的积累后，电位差逐渐减小，电荷流动越来越慢，电流越来越小。据此，可推导出电容器的充放电曲线不是线性的而是非线性的，即为指数曲线。

3.1.3 电容器质量的判别——检测电容先放电，排除短路与漏电

根据电容器的充放电性能，可用万用表的电阻挡来判别较大容量电容器的质量。

在测量电容器时，首先将万用表置于欧姆挡，并对万用表调零。把待测电容器的两端短路，目的是让电容器上储存的电荷泄放掉，再用万用表的红、黑表笔分别接待测电容器的两只引脚，观察指针的摆动情况，如图 3-9 所示。第一次测量结束后，对调两支表笔，进行第二次测量。

① 若指针偏转后又很快回到接近于起始位置的地方，则说明电容器的质量很好，漏电很小，可以使用。

② 若指针回不到起始位置，而是停在某一刻度处，说明电容器漏电严重，这时指针所指的电阻值就是该电容器的漏电阻值。

③ 若指针偏转到零欧位置后不再回去，说明电容器内部短路；若指针根本不偏转，则说明电容器内部可能断路。



图 3-9 用万用表测量电容器

以上介绍的只是电容器质量检测的基本方法,其他的有关检测知识请读者参考《轻轻松松学电工——器件篇》的相关内容。

思路点拨

用指针式万用表判断电容器好坏的歌诀

电容好坏粗判断,万用电表可承担。
使用电阻乘k挡,表笔各接一极端。
表针摆到近零处,然后慢慢注回赶。
到达某处停下来,返回越多越健康。
到零不动有短路,返回较少有漏电。
开始测量表不走,电容内部线路断。

用充放电法判断电容器好坏的歌诀

电容好坏粗判断,充放电法可承担。
电容两端接直流,少许时间就拍断。
导体点接两个极,有无火花注眼看,
有火为好无火坏,同种火花更饱满。

能力PK

自己随便找几个不同容量的电容器,练习用万用表判别其质量好坏。

3.1.4 电容量——本领大小看容量,压差大时带电强

1. 电容量的定义是什么

电容器极板上所储存的电荷随着外接电源电压的升高而增加。对某一电容器而言,任一极板所储存的电量与两个极板间电压的比值是一个常数。对于不同的电容器,这一比值也不相同,故常用这一比值来表示电容器储存电荷的本领。

如果电容器两极板间的电压为 U ,电容器任一极板所带的电量是 Q ,那么 Q 与 U 的比值就叫做电容器的电容量,简称电容,用字母 C 表示,即:

$$C = \frac{Q}{U}$$

思路点拨

初学者常把电容器的电容量计算公式弄颠倒。可把 U 比作容器,横线“—”比作容器盖(按形状),抽去容器盖把电量 Q 放入容器内(按 Q 与 U 的位置关系),即为电容器的电容量。

2. 电容量的单位是什么,它是如何标注的

电容量的单位是法[拉],符号为F。如果加在两个极板间的电压是1V,每个极板储存的电量是1C(库仑)时,则电容器的电容量就是1F。

在实际应用中,单位F太大,不是一个常用的单位,常用的单位有毫法(mF)、微法(μ F)、

纳法 (nF) 和皮法 (pF), 它们与 F 的关系为:

$$1\text{F} = 10^3\text{mF} = 10^6\mu\text{F} = 10^9\text{nF} = 10^{12}\text{pF}$$

电容器容量的标注方法为: 容量大的电容器, 其容量值在电容器上直接标明, 如 $10\mu\text{F}/16\text{V}$; 容量小的电容器, 其容量值在电容器上用字母或数字表示, 如图 3-10 所示。

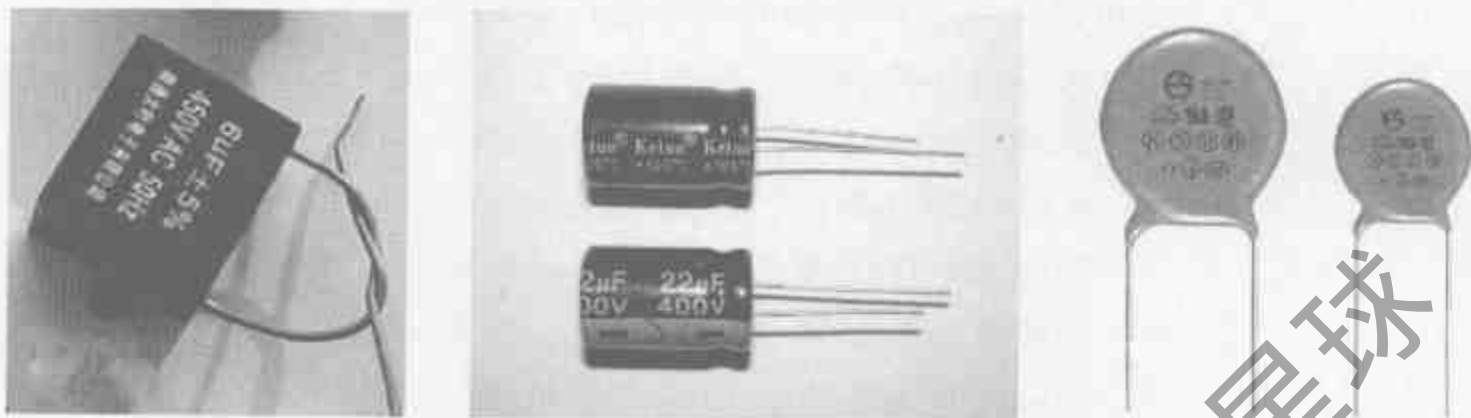


图 3-10 电容器容量的标注方法

在安装和维修时, 常常涉及电容的识读方法, 大家一定要掌握。如有一个标注为“103”的电容器, 其容量为 $10 \times 10^3\text{pF}$, 则可换算为 $0.01\mu\text{F}$ 。关于电容器容量标注的更多知识请参阅《轻轻松松学电工——器件篇》的相关内容。

知识链接

分布电容

并不是只有电容器才有电容, 在任何两个通电导体之间都存在电容。例如电力输电线之间、输电线与大地之间、晶体管各引脚之间以及元件与元件之间都存在电容, 通常把这些电容称为分布电容。两只相距很近的平行导线之间的分布电容如图 3-11 所示。

尽管分布电容的容量较小, 一般情况下可忽略不计, 但在某些要求比较严格的场合, 就要考虑分布电容对电路及设备的影响。例如, 现在非常流行的 MP4、DVD、车用 CD 等数字产品中, 线路排列紧密, 且多采用双面印制板布线, 在设计和布线时就要考虑尽量减小分布电容的影响, 以抑制电源和地线可能产生的噪声。通常将模拟电路区和数字电路区合理地分开, 将电源线和地线单独引出, 把电源供给处汇集到一点。又如在家综合布线时, 要将 220V 供电线路与电话线、网络线及音频线、视频线等分开布线, 且要求尽量不要平行敷设。

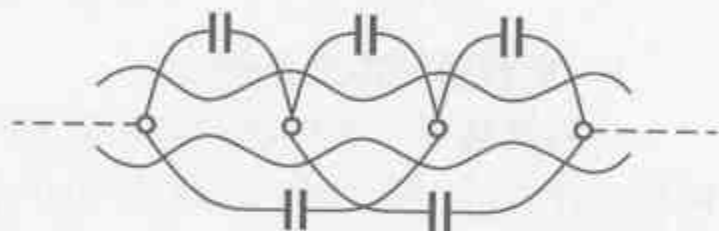


图 3-11 平行导线之间的分布电容

想一想 找几个电容器看一看, 它们的容量是如何标注的?

技能提高

如何用数字万用表测量电容器

对于容量很小的电容器, 用指针式万用表检测时, 由于充电电流极小, 几乎看不到表针

摆动。若用数字万用表的电容挡进行检测,其容量可在显示屏上通过数字显示出来,读数很方便。

首先,将数字万用表的挡位旋钮转到适当的“F”挡位,一般测量2000pF以下的电容器时可选“2nF”挡,对于2000pF~19.99nF的电容器可选“20nF”挡,对于20~199.9nF的电容器可选“200nF”挡,对于200nF~1.9999 μ F的电容器可选“2 μ F”挡,对于2~19.999 μ F的电容器可选“20 μ F”挡。

然后,将被测电容器插入数字万用表上的“C_x”插孔(如图3-12所示),LCD即显示出被测电容器的容量。如显示“000”(短路),仅最高位显示“1”(断路)或显示值与电容器上的标示值相差很大,则说明该电容器已损坏。



图3-12 用数字万用表测量电容器

3.2 电容器的两个主要参数

——使用要留富余量

要想使电容器在电路中长期正常工作,就要正确选择电容器的参数,基中最重要的参数有标称电容量和额定电压。这些参数一般标注在电容器的外壳上,如图3-13所示。



图3-13 电容器外壳上标注的参数

1. 什么是标称电容量

电容器产品上所标出的电容量称为标称电容量。云母和陶瓷介质电容器的电容量较小(在

5000pF 以下), 纸、塑料和一些陶瓷介质形式的电容器的电容量为 $0.005\sim 1.0\mu\text{F}$, 电解电容器的电容量通常不小于 $1\mu\text{F}$ 。

受诸多因素的影响, 实际电容值与标称电容量之间总有一定的误差。电容器的实际容量与标称电容量的误差反映了电容器的精度。精度等级与允许误差的对应关系如表 3-2 所示。一般电容的允许误差分为 I、II、III 级, 电解电容器的允许误差用 IV、V、VI 级表示。

表 3-2 电容器的精度等级

精度级别	00	0	I	II	III	IV	V	VI
允许误差	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$+20\%\sim -10\%$	$+50\%\sim -20\%$	$+50\%\sim -30\%$

2. 什么是额定电压

额定电压是电容器能够长时间可靠工作, 并且保证电介质性能良好的加在电容器两端的直流电压的数值。电容器的额定电压又称为耐压。

电解电容器的额定电压常用的有 6.3V、10V、16V、25V、50V、100V、250V 和 400V 等。在实际应用时, 额定电压是一个非常重要的参数。

思路点拨

① 加在电容器两端的电压不能超过其额定工作电压, 这是总的原则。在实际电路中, 可根据具体情况留有一定的余量。例如, 在选择 12V 稳压电源的滤波电容时, 当交流电源电压为 220V 时, 18V 变压器次级的整流电压可达 22V, 此时选择耐压为 25V 的电解电容一般可以满足要求。假如交流电源电压波动很大且有可能上升到 250V 以上时, 则最好选择耐压为 50V 的电解电容器。

② 电容器的使用寿命随温度的升高而缩短, 并且温度升高会使电容器的绝缘电阻降低。在安装电容器时, 应尽量让它避开发热元件, 并注意通风散热。

③ 电解电容器爆炸后会形成白色烟雾向外扩散, 有一定的腐蚀性和毒性, 应立即开窗通风, 并及时把电解液清理干净。

④ 电容器的常见故障有开路、短路、漏电、容量变小和爆炸等。

想一想 你知道哪些地方用到了电容器? 观察电容器外壳上的标注, 你能说出它们的含义吗?

知识链接

电容器色标的颜色与耐压值

小型电解电容器的耐压也有用不同颜色的色标标注的, 色标的位置在靠近正极引出线的根部, 其所表示的含义如表 3-3 所示。

表 3-3 电容器色标的颜色与耐压值对照表

色标的颜色	黑色	棕色	红色	橙色	黄色	绿色	蓝色	紫色	灰色
耐压 (V)	4	6.3	10	16	25	32	40	50	63

*3.3 电容器串联和并联电路

——变容增压各不同

在电路中, 电容器最基本的连接方式有串联和并联。

3.3.1 电容器串联电路——电容串联真可靠, 容量减小耐压高

1. 定义

把两个或两个以上的电容器首尾相接连成一个无分支的电路, 称为电容器的串联, 如图 3-14 所示。电容器串联就像春节期间的“玩龙灯”一样, 一个接一个。

2. 电容器串联的特点

① 电容器串联时, 每个电容所带的电荷量都相等, 即:

$$q = q_1 = q_2 = q_3 \cdots q_n$$

② 总电容的倒数等于各个电容的倒数之和, 即:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots + \frac{1}{C_n}$$

若电容 C_1 与 C_2 串联, 则其等效电容为:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

记忆方法: 两个电容器串联, 等效电容为积比和 (乘积除以和)。

③ 总电压等于各电容两端电压之和, 即:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n = q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots + \frac{1}{C_n} \right)$$

④ 当 n 个容量为 C_0 的电容串联时, 总容量 C 为:

$$C = \frac{C_0}{n}$$

3. 电容器串联的应用

电容器串联后电容减小, 每个电容器上的电压只是总电压的一部分, 因此, 通常利用串联电容器来提高耐压。

当实际工作电压高于电容器的额定工作电压时, 除可选用耐压值不低于外加电压的电容器外, 还可以将电容器串联使用来获得较高的耐压值, 不过此时总容量会减小。

思路点拨

- ① 电容器串联后, 相当于增大了两极板间的距离, 所以总电容小于每个电容器的电容。
- ② 电容器串联后, 每个电容器所承受的电压小于外加总电压。在实际应用时, 要重点考虑电路的电压是否超过耐压值最低的那一只电容器的额定电压, 即考虑电容器串联后接入电

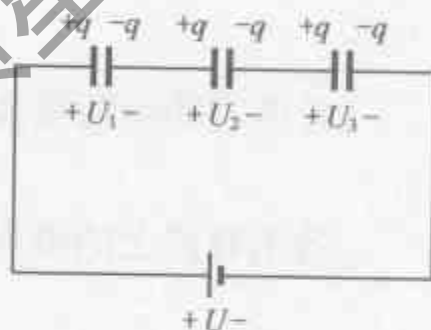


图 3-14 电容器的串联

路时的安全问题。

应用提高

例题 3.1 现有两个电容器, 其中一个电容器的电容为 $C_1=2\mu\text{F}$, 额定工作电压为 160V; 另一个电容器的电容为 $C_2=10\mu\text{F}$, 额定工作电压为 250V。若将这两个电容器串联起来接在 300 V 的直流电源上, 问每个电容器上的电压是多少? 这样使用是否安全?

分析: 在实际应用时, 电容值不等的电容器串联使用是经常碰到的。电路能否正常工作, 使用是否安全, 关键是看串联电路中每个电容器所承受的电压是否超过其自身的额定耐压。

解: 两个电容器串联后的等效电容如下。

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2 \times 10}{2 + 10} \approx 1.67 (\mu\text{F})$$

各电容的电荷量为:

$$q_1 = q_2 = CU = 1.67 \times 10^{-6} \times 300 \approx 5 \times 10^{-4} (\text{C})$$

各电容器上的电压为:

$$U_1 = \frac{q_1}{C_1} = \frac{5 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-6}} = 250 (\text{V})$$

$$U_2 = \frac{q_2}{C_2} = \frac{5 \times 10^{-4}}{10 \times 10^{-6}} = 50 (\text{V})$$

由于电容器 C_1 的额定电压是 160V, 而实际加在它上面的电压是 250V, 远大于它的额定电压, 所以电容器 C_1 可能会被击穿。当 C_1 被击穿后, 300V 的电压将全部加在 C_2 上, 这一电压也大于 C_2 的额定电压, 因而 C_2 也可能被击穿。由此可见, 这样使用是不安全的。

在本题中, 每个电容器允许充入的电荷量分别为:

$$q'_1 = 2 \times 10^{-6} \times 160 = 3.2 \times 10^{-4} (\text{C})$$

$$q'_2 = 10 \times 10^{-6} \times 250 = 2.5 \times 10^{-3} (\text{C})$$

为了使 C_1 上的电荷量不超过 $3.2 \times 10^{-4} \text{C}$, 外加总电压应不超过:

$$U = \frac{3.2 \times 10^{-4}}{1.67 \times 10^{-6}} \approx 192 (\text{V})$$

由此可见, 电容值不等的电容器串联使用时, 每个电容器上分配的电压与其电容成反比。

想一想 电容器串联使用时应该注意哪些问题?

3.3.2 电容器并联电路——电容两端电压同, 耐压不增大电容

1. 定义

把两个或两个以上的电容器的一端连在一起, 另一端也连在一起的连接方式叫做电容器的并联, 如图 3-15 所示。

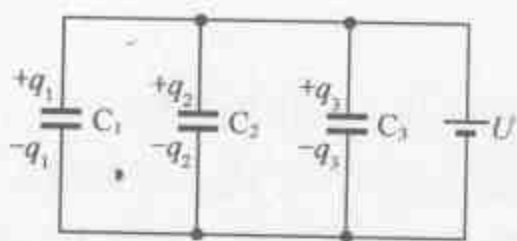


图 3-15 电容器的并联

2. 电容器并联的特点

- ① 电容器并联时，加在每个电容器上的电压都相等。
- ② 电容器组储存的总电荷量等于各个电容器所带电量之和。
- ③ 总电容等于各电容器电容之和。

由此可见，电容器并联后的总电容增大了，这种情况相当于增大了电容器极板的有效面积，因此总电容量增大。正如有多路水源同时流入湖泊，湖水就会增多。

3. 电容器并联的应用

当单独一个电容器的电容量不能满足电路的要求，而其耐压均满足电路要求时，可将几个电容器并联起来再接到电路上使用。

例如一些劣质的随身听电源，由于厂家出于节约成本考虑，使用了较小容量的滤波电容，造成耳机中有“嗡嗡”声。这时，在电源两端并联上一个较大容量的电解电容（如 $1000\mu\text{F}$ ，注意极性），可显著改善听音效果。

可见，大电容的作用就像湖泊一样，使得原来汹涌的洪水平静下来，并可保证下游大量用水时的供应。

在电容器并联时，每个电容器的耐压均应大于外加电压。换言之，并联电容器组的耐压值等于其中耐压值最小的那一只电容器的耐压值。

应用提高

例题 3.2 电容器 A 的电容为 $10\mu\text{F}$ ，充电后电压为 30V ；电容器 B 的电容为 $20\mu\text{F}$ ，充电后电压为 15V 。把它们并联在一起，其电压是多少？

分析：欲求电容器 A 和电容器 B 并联后的电压，就得求出它们并联后的总电容。要求并联后的总电容，需要求出总电荷量。

解：电容器 A、B 连接前的带电量分别如下。

$$q_1 = C_1 U_1 = 10 \times 10^{-6} \times 30 = 3 \times 10^{-4} (\text{C})$$

$$q_2 = C_2 U_2 = 20 \times 10^{-6} \times 15 = 3 \times 10^{-4} (\text{C})$$

它们的总电荷量为：

$$q = q_1 + q_2 = 6 \times 10^{-4} (\text{C})$$

并联后的总电容为：

$$C = C_1 + C_2 = 3 \times 10^{-5} (\mu\text{F})$$

并联后的共同电压为：

$$U = \frac{q}{C} = \frac{6 \times 10^{-4}}{3 \times 10^{-5}} = 20 (\text{V})$$

思路点拨

电容器并联电路的一些基本特性与电阻串联电路一样,但是电容器的个性也决定了电容器并联电路与电阻串联电路的基本特性有所不同,主要是电容的容抗[容抗 $X_C=1/2\pi fC$ (f 表示交流信号的频率, C 表示电容器的容量)]受频率、容量大小的影响。

经常把所学新知识与已有知识进行比较,有助于加深对新知识的理解和记忆,这样在综合应用时才能得心应手。把电容器串、并联与电阻串、并联电路的特性进行比较,可以发现它们有的特性相同,有的特性相似,见表 3-4。

表 3-4 电容器串、并联电路特性比较

物理量	串 联	并 联
电量	$q = q_1 = q_2 = q_3 = \dots = q_n$	$q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n$
电压	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ 电压与电容的关系为: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_1}{C_2}$	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$
电容	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$ 当 n 个电容为 C_0 的电容器串联时: $C = \frac{C_0}{n}$	$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$ 当 n 个电容为 C_0 的电容器并联时: $C = nC_0$

理解电容器串、并联电路时,应注意以下几点。

① 采用电容器的串联或并联电路,并不只是为了增大或减小电容量,更多情况是为了实现某个特定的电路功能,增加电路安全工作的可靠性。

② 在维修时,采用电容器的串联或并联属于一种应急修理的方法,且要求对总电容量、总电压等参数进行必要的计算。待有了原型号的电容器后,应及时把串联或并联的电容器更换下来。

③ 电容器的串联或并联电路只是电容器在电路中应用的很小一部分,更多情况是电容器与其他电子元件进行串联、并联,构成形形色色的功能电路。

④ 比较复杂的电容器混联电路也可转化为相对简单的电容器串联或并联电路来进行分析。

⑤ 电容器的串联、并联电路是有规律可循的,可用以下歌诀来帮助记忆。

电容串联值下降,相当板距在加长,
各容倒数再求和,再求倒数总容量。
电容并联值增加,相当板面在增大,
并后容量很好求,各容数值来相加。
想起电阻串并联,电容计算正相反,
电容串联电阻并,电容并联电阻串。



想一想

举例说明，在什么情况下需要把电容器串联起来使用，在什么情况下需要把电容器并联起来使用。



电工小百科

闪电为什么总是弯弯曲曲的

大家都知道，带异性电荷的两块云团接近时会放出闪电。闪电产生的热量使空气的体积迅速膨胀，水滴汽化而发出强烈的爆炸声，这就是我们常说的“电闪雷鸣”。

闪电为什么总是弯弯曲曲的呢？美国国家气象局的内泽特·赖德尔认为，每当暴风雨来临时，雨点能获得额外的电子。电子是带负电的，这些电子会追寻地面上的正电荷。额外的电子流出云层后，要碰撞别的电子，使别的电子也变成游离电子，因而产生了传导性轨迹。传导的轨迹会在空气中散布着的不规则形状的带电离子群中间跳跃着迂回延伸，而一般不会沿直线传播。

获取更多资料

微信搜索蓝

第4章 交流电路基础知识

——丰富多彩的电力世界

大小和方向都随时间作周期性变化的电流称为交流电。在交流电作用下的电路为交流电路。常用的交流电是按照正弦规律随时间变化的，称为正弦交流电。在较大容量的用电设备中，一般采用三相交流电路供电。

知识目标

- ① 了解正弦交流电的产生，以及发电、输电和电能分配方面的知识。
- ② 了解正弦交流电的波形及特点，掌握正弦交流电的三要素。
- ③ 理解相序、正相序和负相序的概念。
- ④ 理解中性线的特殊作用。
- ⑤ 掌握三相交流电路和单相交流电路的概念。

能力目标

- ① 正确分析正弦交流电的波形图，能指出其振幅、周期和初相位。
- ② 掌握相电压与线电压的换算方法。
- ③ 根据故障现象判断和排除中性线断路故障。
- ④ 能正确连接三相四线制供电电路的负载。

4.1 正弦交流电

——生产生活最常用

正弦交流电涉及的概念较多,可用下面的歌诀来帮助记忆。

正弦交流电歌诀

交流电源真是好,生产生活离不了。

发电输电与分配,电能送到千万家。

正弦交流3项值,最大(值)平均(值)与有效。

组成交流3要素,幅值频率初相角。

*4.1.1 正弦交流电的产生——线圈切割磁力线,旋转产生交流电

小时候总认为电很神秘,不知道它是怎样产生的。其实,交流电是由交流发电机产生的,发电机又是根据法拉第电磁感应原理制造的。

图4-1所示为发电厂正在吊装发电机。发电机的基本工作原理如图4-2(a)、(b)所示,在固定的N极和S极(称为定子)之间,装有一个可转动的圆柱形铁芯,在铁芯上绕有线圈。线圈两端分别接到两个铜环上,铜环固定在转轴上且与转轴绝缘。每个铜环都与一个电刷相接触,电刷固定不动,铜环随转轴一起旋转。利用电刷与铜环的滑动接触,将线圈中的感应电动势引到负载上,形成供电回路。从电刷A、B两端获得的正弦电动势 e 与时间 t 的关系如图4-2(c)所示。



图4-1 三峡电站正在吊装发电机

思路点拨

正弦交流电歌诀

匀强磁场有线圈,旋转产生交流电。

电流电压电动势,变化规律是正弦。

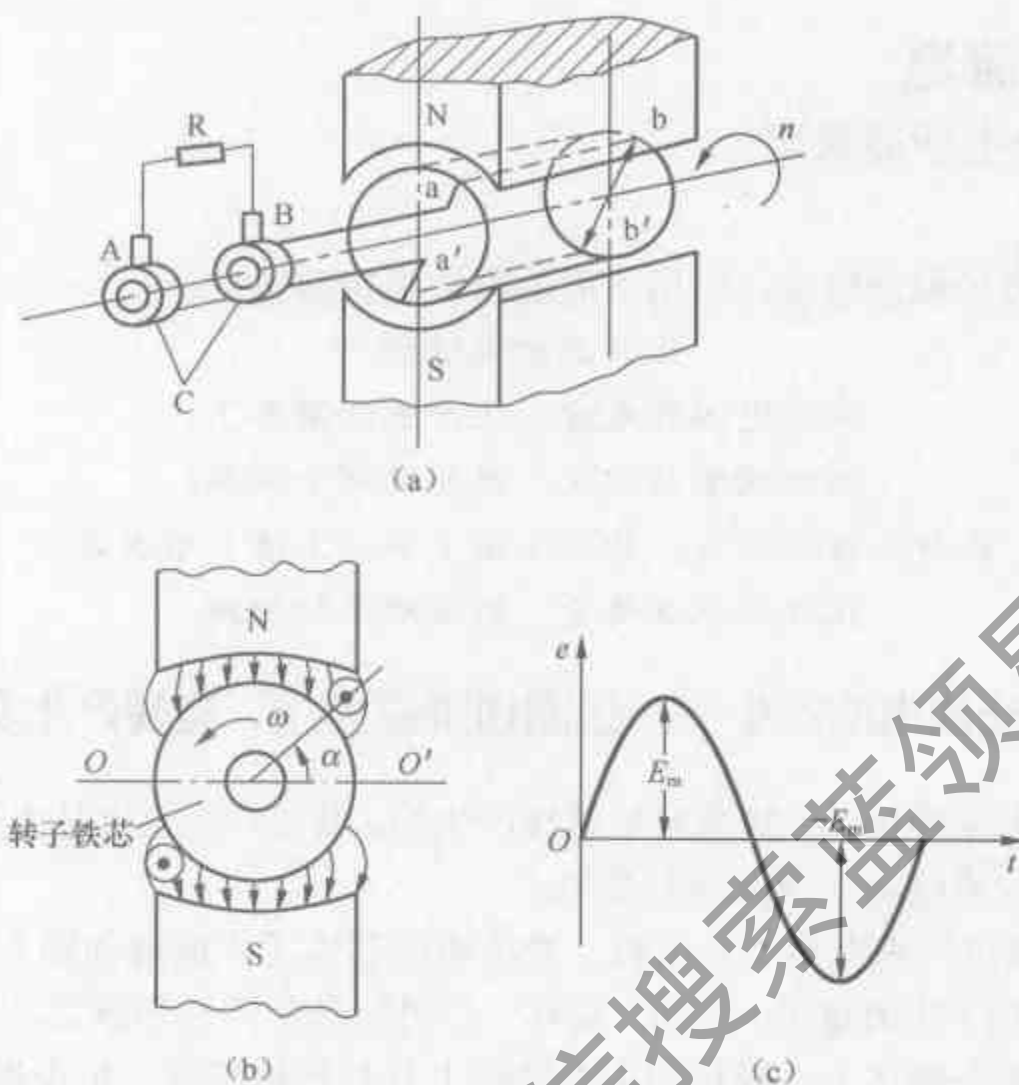


图 4-2 正弦交流发电机原理图

想一想 正弦交流电是如何产生的?

4.1.2 发电、输电和电能分配——四通八达电力网，星罗棋布遍城乡

1. 什么是发电

电能的生产即发电，生产电能的工厂称为发电厂。发电厂是把其他形式的能量转变成电能的场所。所有的发电方式都是靠动力产生磁场，至于动力的来源则有很多种。发电厂的种类很多，一般根据它所利用能源的不同分为火力发电厂、水力发电厂和原子能发电厂等。此外，还有风力发电厂、潮汐发电厂、太阳能发电厂、地热发电厂和等离子发电厂等。科学家们还在研究秸秆发电、牛粪发电、雨水发电、高层建筑发电、行走发电、食品残渣发电、垃圾发电等绿色环保发电技术。

目前，我国的电能生产以火力发电、水力发电和原子能发电三大类为主。

(1) 火力发电

火力发电一般是指利用煤炭、石油或天然气等燃料燃烧时产生的热能来加热水，使水变成高温高压的水蒸气，然后再由水蒸气推动发电机来发电。我国的火电厂所使用的燃料以煤炭为主，如图 4-3 所示。

(2) 水力发电

水力发电是指通过水库或筑坝截流的方式提高水位，利用水流的位能驱动水轮机，再由水轮机带动发电机而发电，如图 4-4 所示。



图 4-3 火力发电

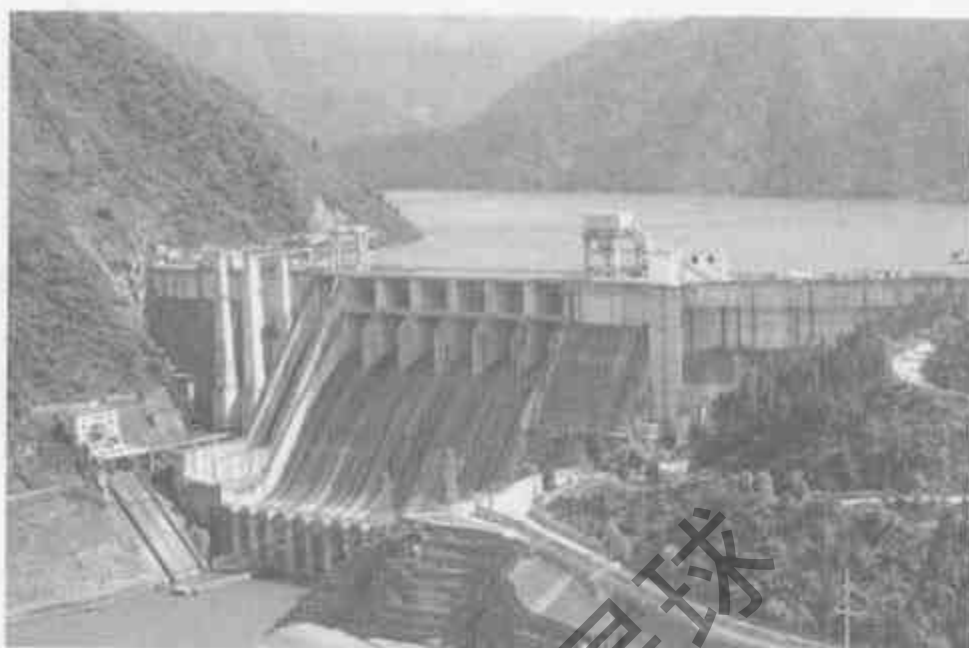


图 4-4 水力发电

水力发电对环境影响较小，除了提供廉价电力外，还能够防止洪水泛滥，提供灌溉用水，改善所在地区的交通运输及电力供应状况，特别是可发展水产养殖和旅游业等。

(3) 原子能发电

原子能发电（见图 4-5）是指利用核燃料在反应堆中发生裂变反应时释放的热能，产生高压高温蒸汽驱动汽轮机，再带动发电机发电。所以，原子能发电又称核发电。

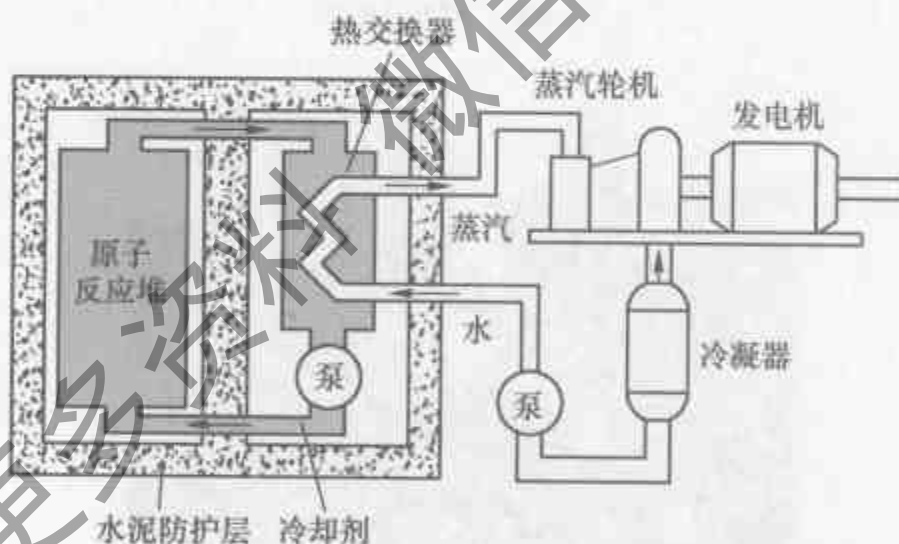


图 4-5 原子能发电装置示意图

在新能源中，核电是具有极大开发应用潜力的高效清洁能源，具有成本比火电低 $1/3 \sim 1/2$ ，不排放硫氧化物、氮氧化物和温室气体，运行稳定性较好等诸多优点。

近年来，核电运行技术和安全技术不断完善。随着全球性能源紧张局势的进一步加剧，核能发电在能源结构中的地位将逐步提高。

2. 什么是输电

电能的输送简称输电。输电的距离越长，输送容量越大，则要求输电的电压越高。一般情况下，输电距离在 50km 以下时采用 35kV 电压，输电距离在 100km 左右时采用 110kV 电压，输电距离在 2000km 以上时采用 220kV 或更高的电压，如图 4-6 所示。

3. 什么是电能分配

电能分配指高压电输送到用电区域后，通过电力变压器（见图 4-7）变为 380V/220V 低压（称为区域变电），再供给各用电点（如住宅楼、工厂车间）使用。

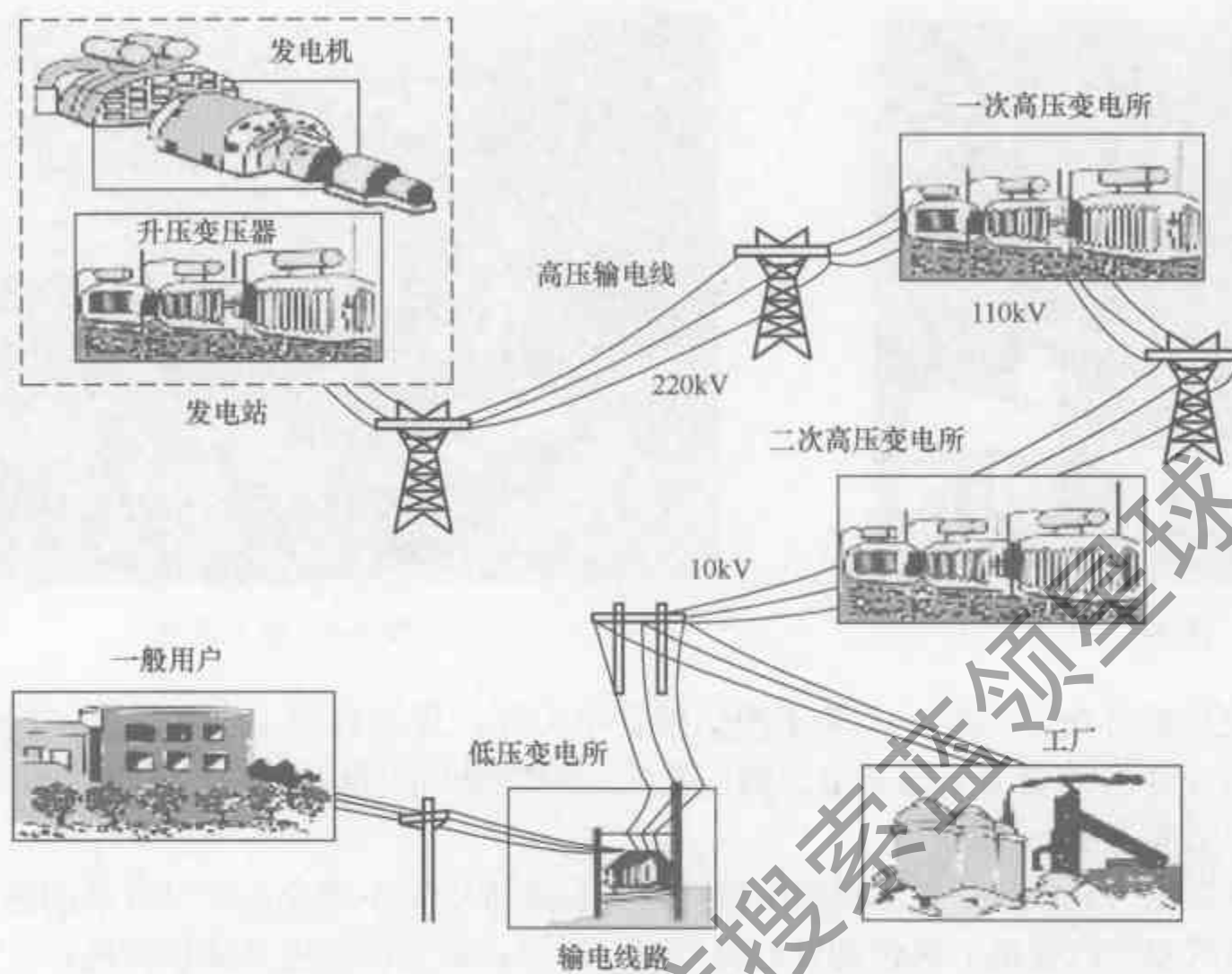


图 4-6 输电线路



图 4-7 电力变压器

在工厂，对车间动力用电和照明用电一般采用分别配电的方式，即把各个动力配电线路与照明配电线路分开配电，这样可避免因局部故障而影响整个车间的正常生产。

想一想 电力供电线路在发电、输电和电能分配中起什么作用？

4.1.3 正弦交流电的波形——交流电源变化多，周而复始正弦波

正弦交流电是指大小和方向都随时间按正弦规律变化的电流或电压。

图 4-8 分别是正弦交流电流 i 和电压 u 的波形图。从波形的变化情况可看出，正弦交流电随时间变化的规律好似山峦起伏，错落有致；又好似沙漠中行走的骆驼，接连不断。

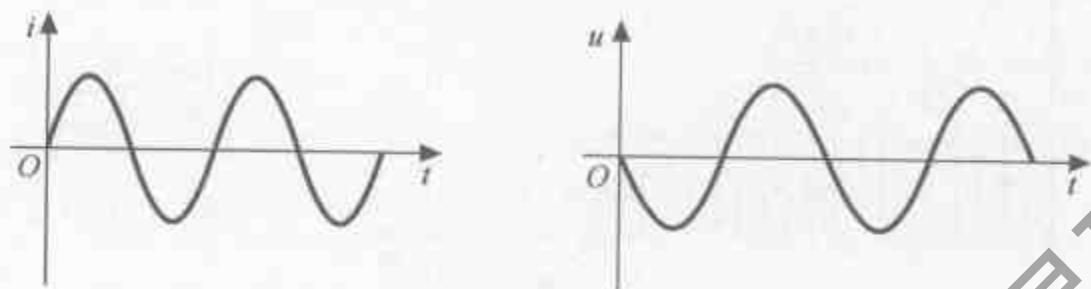


图 4-8 正弦交流电流和电压的波形图

思路点拨

通过分析正弦交流电的波形，可以看出正弦交流电有以下 3 个特点。

- ① 瞬时性：在一个周期内，不同时刻的瞬时值均不相同。
- ② 周期性：每隔一定的时间，波形将重复变化。
- ③ 规律性：始终按正弦函数规律变化。

想一想 在平面直角坐标系中，怎样画正弦交流电的波形图？

*4.1.4 正弦交流电的主要参数——振幅频率初相位，三个要素有针对

在正弦交流电路中，可用来描述、表征正弦交流电的物理量很多，其中最重要的有瞬时值、最大值、有效值、平均值、周期、频率、角频率、相位、初相位和相位差等。

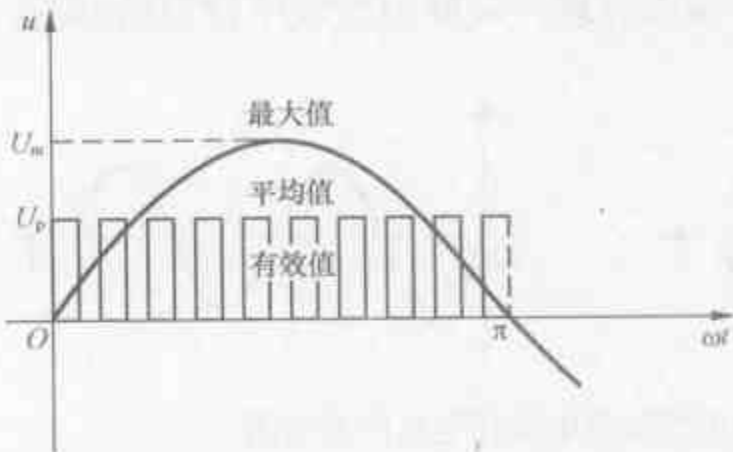
(1) 什么是瞬时值、最大值、有效值和平均值

为了描述正弦交流电，常用最大值、平均值和有效值。此外，为研究方便，常常还用到瞬时值。这些物理量都是用来表示正弦交流电大小或强弱的物理量，具体内容见表 4-1。

表 4-1 瞬时值、最大值、有效值和平均值

物 理 量	概 念	符 号
瞬时值	随时间变化的电流、电压、电动势和功率在任一瞬间的数值	电流、电压、电动势和功率的瞬时值分别用 i 、 u 、 e 、 p 表示。例如电动势表示为： $e = E_m \sin \omega t$
最大值	正弦交流电在一个周期内所能达到的最大数值叫做最大值，也称幅值、峰值或振幅等	电动势、电压和电流的最大值分别用 E_m 、 U_m 、 I_m 表示
有效值	正弦交流电的有效值是根据电流的热效应来规定的，即让交流电与直流电分别通过阻值相同的电阻，如果在相同的时间内，它们所产生的热量相等，就把这一直流电的数值定义为这一交流电的有效值	电动势、电压和电流的有效值分别用 E 、 U 、 I 表示

续表

物理量	概念	符号
平均值	正弦交流电在半个周期内,在同一方向上通过导体横截面的电流与半个周期时间之比称为平均值	电流、电压、电动势的平均值分别用 I_p 、 U_p 、 E_p 表示
最大值、平均值和有效值的相互关系		以电压为例: $U = 0.707U_m$ $U_p = 0.637U_m$

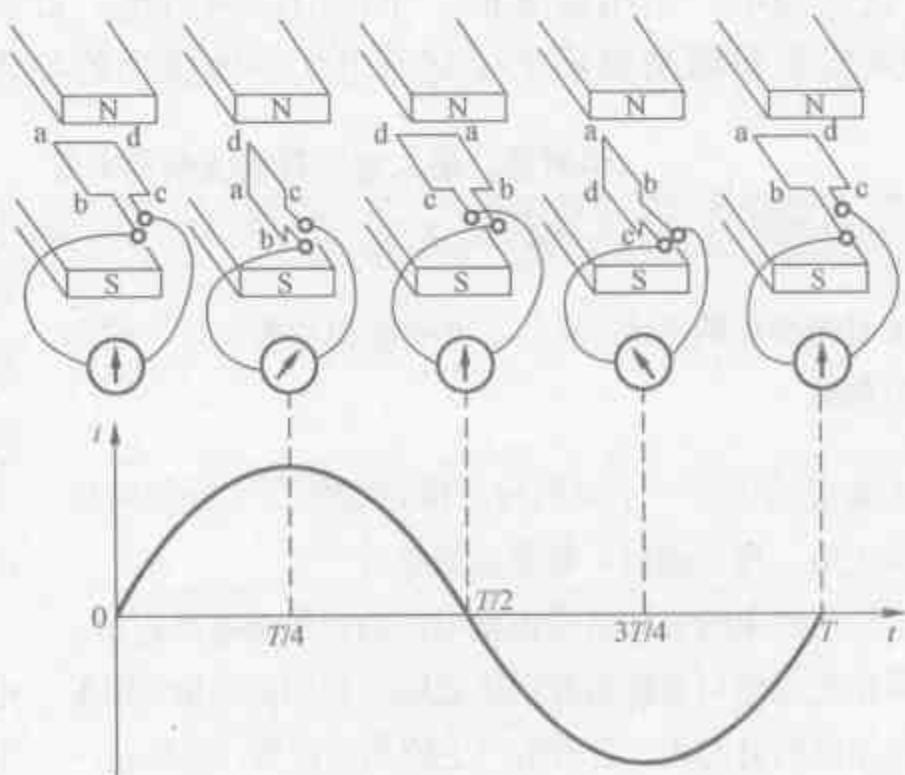
(2) 什么是周期、频率和角频率

周期、频率和角频率是表示正弦交流电变化快慢的物理量,具体内容见表 4-2。

表 4-2 周期、频率和角频率

物理量	概念	符号及单位
周期	周期是交流电完成一次周期性变化(或者发电机的转子旋转一周)所用的时间	周期用 T 表示,单位是秒(s)
频率	频率是交流电在单位时间(1s)内完成周期性变化的次数(或发电机在 1s 内旋转的圈数)	频率用 f 表示,单位是赫[兹](Hz)。频率的常用单位还有千赫(kHz)和兆赫(MHz),它们的关系是: $1\text{kHz}=10^3\text{Hz}$, $1\text{MHz}=10^6\text{Hz}$
角频率	交流电的电角度在单位时间(1s)内的变化量(即发电机转子在 1s 内所转过的几何角度)	角频率用 ω 表示,单位是弧度每秒(rad/s)

周期、频率和角频率的关系



续表

物理量	概念	符号及单位
周期、频率和角频率的关系	① 从0→正方向最大值($\frac{T}{4}$)→0($\frac{T}{2}$)→反方向最大值($\frac{3T}{4}$)→0(T), 发电机电枢线圈正好旋转一圈, 所用的时间叫做周期 ② 频率 $f = \frac{1}{T}$ ③ 角频率 $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$	

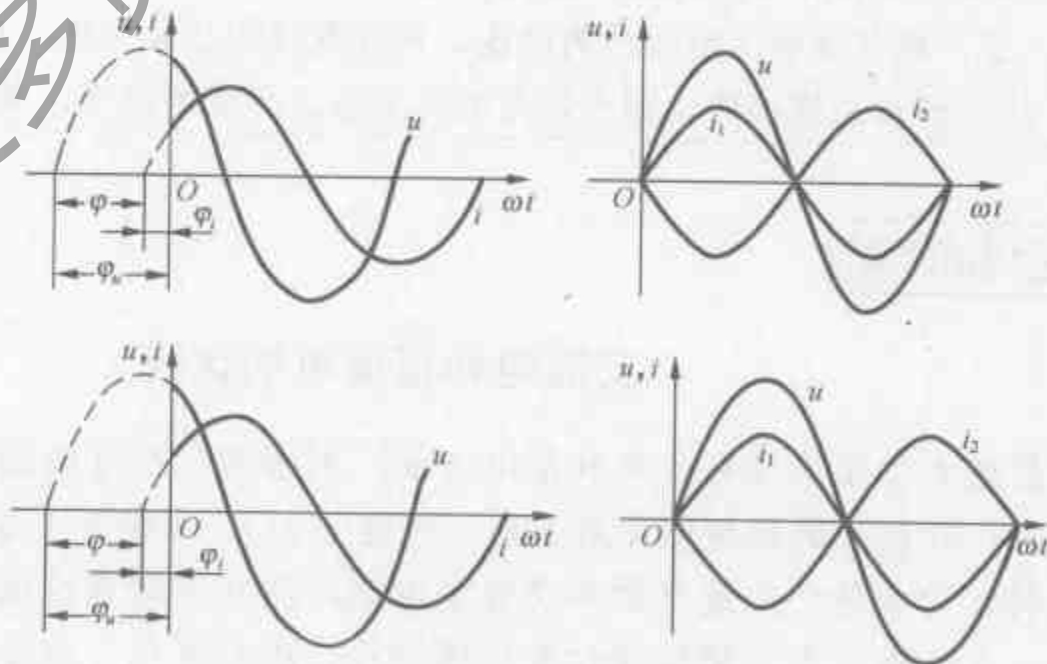
(3) 什么是相位、初相位和相位差

相位、初相位和相位差是表示正弦量变化步调的物理量, 具体内容见表4-3。

表4-3 相位、初相位和相位差

物理量	概念	符号及其含义
相位	相位是表示正弦交流电在某一时刻所处状态的物理量。相位不仅决定正弦交流电瞬时值的大小和方向, 还能反映正弦交流电的变化趋势	在正弦交流电的三角函数式中, “ $\omega t + \varphi$ ”就是正弦交流电的相位。单位为度($^{\circ}$)或弧度(rad)
初相位	初相位是表示正弦交流电在起始时刻状态的物理量。正弦交流电在 $t=0$ 时的相位(或发电机的转子在转动之前, 其线圈平面与中性面的夹角)叫做初相位, 简称初相	初相位用 φ_0 表示。初相位的大小和时间起点的选择有关, 初相位的绝对值用小于 π 的角度表示
相位差	两个同频率正弦交流电在任一瞬间的相位之差就是相位差	用符号 $\Delta\varphi$ 表示

相位、初相位和相位差之间的关系



思路点拨

① 我们平常所说的交流电压和电流的大小都是指有效值。一般用交流电表测量的数值也是有效值, 电器上标注的数据均为有效值。但在选择电器的耐压时, 必须考虑电压的最

大值。

② 我国规定交流电的频率是 50Hz，习惯上称之为“工频”。周期和频率之间互为倒数关系，即：

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

③ 周期、频率和角频率三者的关系为：

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}, \quad f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}, \quad T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

④ 通常把振幅（最大值或有效值）、频率（或者角频率、周期）和初相位称为交流电的三要素。

能力PK

① 判断图 4-9 所示的两个波形中哪个是正弦交流电，哪个是非正弦交流电。

提示：(a) 为正弦交流电，(b) 为非正弦交流电。

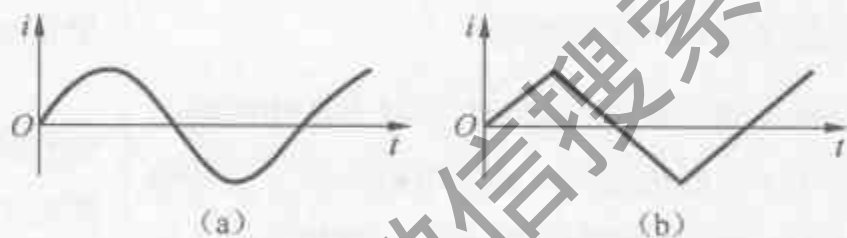


图 4-9 交流电的波形

② 我国交流电的频率、周期和角频率各是多少？当交流电的电压为 220V 时，其最大值是多少？

提示：50Hz，0.02s，314rad/s， $220\sqrt{2}$ V。

③ 有人说，电气设备上所标注的电压、电流数值均指最大值。这种说法对吗？

提示：这种说法是错误的，因为常用电气设备上标注的电压、电流数据均为有效值。



交流电和直流电的比较

交流电的优点主要表现在发电和配电方面：利用建立在电磁感应原理基础上的交流发电机可以很经济、方便地把机械能（水流能、风能……）、化学能（石油、天然气……）等其他形式的能量转化为电能；交流电源和交流变电站与同功率的直流电源和直流换流站相比，造价大为降低；交流电可以方便地通过变压器进行升压和降压，这给配送电能带来了极大的方便。这些是交流电与直流电相比所具有的独特优势。

直流电的优点主要体现在输电方面：输送相同功率的电能时，直流输电所用线材仅为交流输电的 $1/2 \sim 2/3$ ；在电缆输电线路中，直流输电线路没有电容电流产生，而交流输电线路中存在电容电流，会引起损耗；直流输电时，其两侧交流系统不需同步运行，而交流输电必须同步运行；远距离交流输电时，电流的相位在交流输电系统的两端会产生显著的相位差，而直流输

电不存在相位差问题；直流输电发生故障时的损失比交流输电小，因为在直流输电线路中，各极是独立调节和工作的，相互之间没有影响，所以，当一极发生故障时，只需停运故障极，另一极仍可输送不少于一半功率的电。但在交流输电线路中，任一相发生永久性故障，必须全线停电。

4.2 三相交流电路基础

——三相演义

4.2.1 三相电源和三相交流电路——三相线圈交流电，不可或缺中性线

《三国演义》中有刘备、关羽和张飞3人桃园结义的故事，在三相交流电路中也有3个线圈“结义”的故事。

三相交流电是由三相交流发电机产生的。三相交流发电机由定子（电枢）和转子（磁极）两大部分组成，如图4-10所示。

在定子中放置3个线圈，3个线圈的空间位置各差 120° ，转子上装有磁极并以 ω 的速度旋转，3个线圈中便产生3个单相电动势。

由3个大小相等、频率相同、相位相差 120° 的电动势组成三相电源向三相负载供电的电路，叫做三相交流电路。能供给三相电动势的电源称为三相电源。

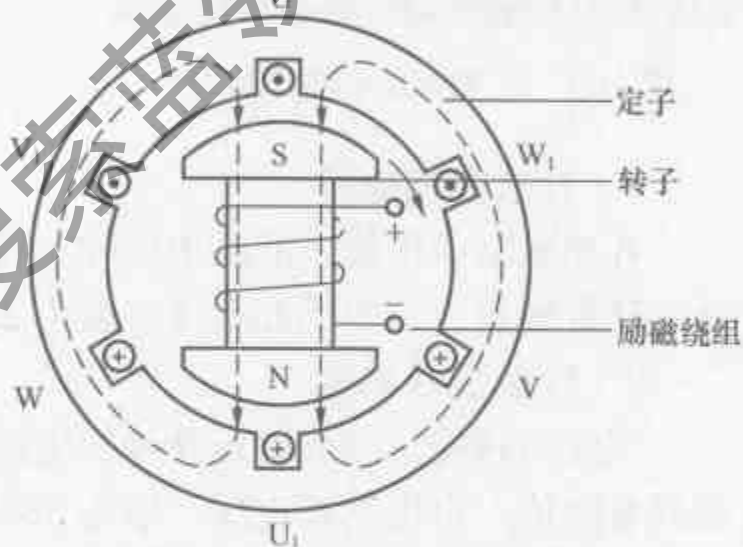


图 4-10 三相交流发电机结构示意图

三相交流电路中的某一相电路与中线组成单相交流电路。

*4.2.2 相序——相序排列可不同，对称分布一二零

在交流电路中，相序排列也是很有讲究的。三相电动势达到最大值（振幅）的先后次序叫做相序。

如果 e_1 比 e_2 超前 120° ， e_2 比 e_3 超前 120° ，而 e_3 又比 e_1 超前 120° ，即按U、V、W顺序排列，称这种相序为正相序或顺相序；反之，如果 e_1 比 e_3 超前 120° ， e_3 比 e_2 超前 120° ， e_2 比 e_1 超前 120° ，称这种相序为负相序或逆相序。

在实际工作中，相序是一个十分重要的问题，统一相序是整个电力系统安全、可靠运行的保证。通常按照统一的技术标准，在配电盘上用黄色标出U相，用绿色标出V相，用红色标出W相。

相序可用相序器来测量。

4.2.3 三相四线制供电电路——三根相线加零线，两种电压能实现

三相四线电源可以输送两种电压，即220V相电压和380V线电压。架设在室外的三相四线制供电线路如图4-11所示。

三相四线制有 L_1 、 L_2 、 L_3 三根相线（火线），另外还有一根中线（零线） N ，所以称为四线制，也叫“Y”接线法，如图 4-12 所示。

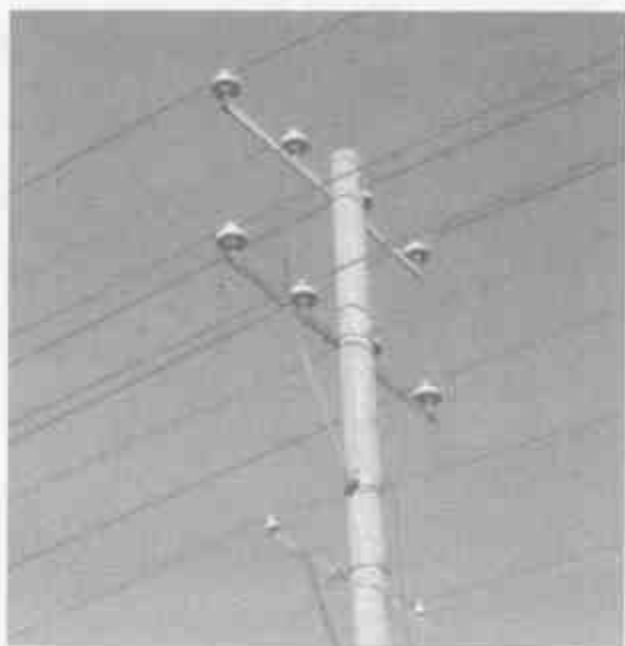


图 4-11 三相四线制供电线路

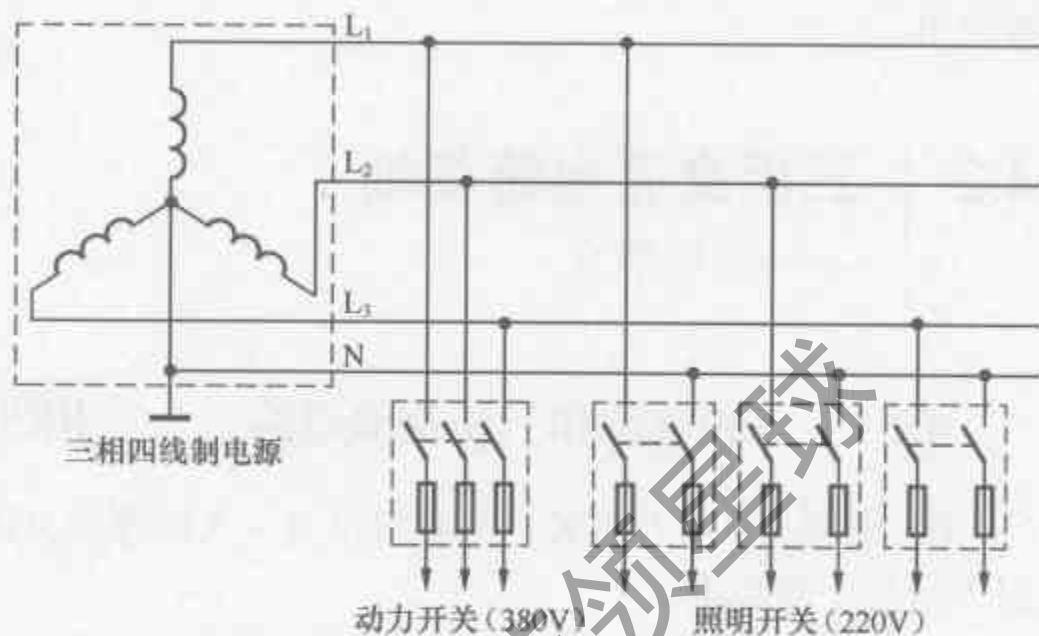


图 4-12 三相四线制供电原理图

1. 什么是相电压

各相线与中性线之间的电压称为相电压，通常俗称为“火零为相”，分别用 U_1 、 U_2 、 U_3 表示其有效值。市电的相电压一般为 220V，即 $U_1=U_2=U_3=220V$ 。

2. 什么是线电压

相线与相线之间的电压称为线电压，通常俗称为“火火为线”，分别用 U_{12} 、 U_{23} 、 U_{31} 表示其有效值。市电的线电压一般为 380V，即 $U_{12}=U_{23}=U_{31}=380V$ 。

3. 相电压与线电压的关系如何

在三相四线制中，一个线电压包含着两个相电压，所以说线电压一定会大于相电压，线电压是相电压的 $\sqrt{3}$ 倍（即约 1.73 倍）。

4. 中线有何特殊作用

当三相负载不对称时，为使每相负载都获得相同的相电压，必须采用三相四线制供电，这时中线电流不为零，中线的作用显得十分重要。

中线能使三相电路成为 3 个互不影响的独立回路，无论负载有无变化，均承受相同的相电压。

为防止事故发生，规定在三相四线制中，中线上不许安装保险丝和开关。通常还要把中线接地，使它与大地等电位，以保证安全。

一旦中线断开后，就会使电路中某一相负载两端的电压升高，超过额定电压而损坏用电设备；或使某一相负载的电压降低而达不到额定电压，致使用电器不能正常工作。因此，对于不对称三相负载，中线是绝对不能省去的。

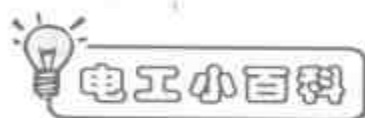
思路点拨

由三相电源和三相负载组成的三相交流供电方式应用最为广泛。掌握三相交流电路的相关知识，对初学电工技术的读者来说尤其重要，因为他们将来的工作主要是与三相线路及设备打交道。

三相电源有两种接法，对于星形接法，相电压和线电压都存在，这比较好理解。但对于三角形接法，由于没有零线，所以好像只有线电压而不存在相电压，实际上不是这样的。因为相电压的严格意义是“每一相绕组两端的电压”，所以说，三角形接法中相电压和线电压是相等的。



在三相四线制线路中，如果中性线断了，此时正在工作的家用电器能够安全使用吗？
提示：家用电器不能够安全使用。此时，输入家用电器的电压有两种可能：一种可能是达到380V，工作中的家用电器会立即烧毁；另一种可能是输入家用电器的电压极低，致使其不能正常工作。



三相五线制供电

三相五线制指的是3根相线加1根地线和1根零线的供电方式。

在三相四线制供电系统中，由于在三相负载不平衡时和低压电网的零线过长且阻抗过大时，零线中将有零序电流通过，对于过长的低压电网，由于环境条件恶化、导线老化、受潮等因素，导线的漏电电流将通过零线形成闭合回路，致使零线也带一定的电位，这对电气设备及线路安全运行十分不利。在零干线断线的特殊情况下，断线以后的单相设备和所有保护接零的设备将产生危险电压，这是不允许的。如采用三相五线制供电方式，用电设备上所连接的工作零线N和保护零线PE是分别敷设的，工作零线上的电位不能传递到用电设备的外壳上，这样就能有效隔离三相四线制供电方式所造成的危险电压，使用电设备外壳始终处在“地”电位，从而消除设备产生危险电压的隐患。

凡是采用保护接零的低压供电系统，均是三相五线制供电的应用范围。国家有关部门规定：凡是新建或扩建的企业用房、商业用房、居民住宅、基建施工现场及临时线路一律采用三相五线制供电方式，做到保护零线和工作零线单独敷设，如图4-13所示。

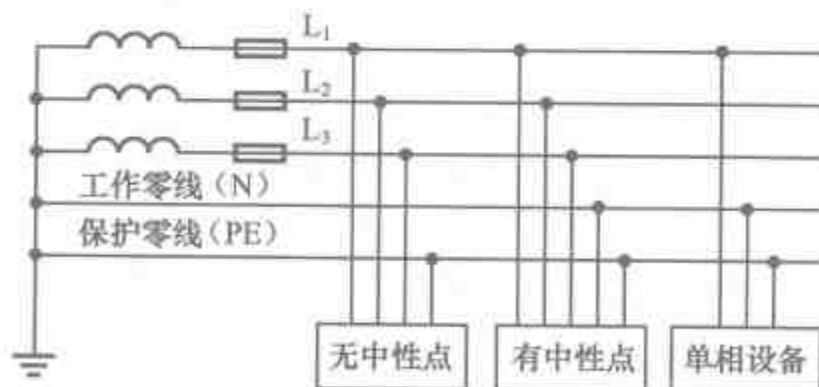


图4-13 三相五线制供电原理图

第5章 电动机及其应用

——控制接线最重要

电动机是把电能转换为机械能、拖动各种生产机械的电力设备。电动机在交流电路中有非常广泛的应用，了解其工作原理及结构等基本知识，是学习电工技术的重要内容。

通过本章的学习，要求达到以下目标。

知识目标

- ① 了解常用交流电动机的名称、种类、用途以及铭牌数据的含义。
- ② 掌握常用交流电动机的构造和工作原理。
- ③ 掌握三相异步电动机的启动、调速和制动方法。
- ④ 掌握单相异步电动机的调速方法。
- ⑤ 了解常用家用电器中的单相异步电动机。

能力目标

- ① 按照要求对异步电动机进行接线。
- ② 对单相电动机的常见故障进行分析并提出处理方法。
- ③ 能够正确分析三相异步电动机启动、调速和制动电路的工作过程。

5.1 单相异步电动机

——小电器的“心脏”

单相异步电动机是利用 220V 单相交流电源供电的一种小容量电动机，其容量一般为几瓦到几百瓦。由于单相异步电动机具有结构简单、成本低廉、运行可靠、噪声小、维修方便等特点，所以在只有单相电源的情况下，一般优先考虑使用单相异步电动机来拖动。如工农业生产、办公场所、家用电器、医疗器材等领域就是主要采用单相异步电动机，如图 5-1 所示。



图 5-1 常用的单相异步电动机

单相异步电动机有“小电器心脏”之称。按照结构不同，单相异步电动机可分为分相式电动机和罩极式电动机两大类。

5.1.1 单相异步电动机的结构——定子转子支撑件，顺利启动靠附件

在单相异步电动机中，专用电动机占有很大比例，它们的结构各有特点，形式繁多。但就其共性而言，单相异步电动机的基本结构都由固定部分（定子）、转动部分（转子）、支撑部分（端盖和轴承等）三大部分组成，如图 5-2 所示。单相异步电动机的外部结构如图 5-3 所示。



(a) 前端盖

(b) 转子和轴承

(c) 定子

(d) 后端盖

(e) 固定螺栓

图 5-2 单相异步电动机的基本组成

下面对机座、铁芯、绕组、端盖、轴承、离心开关、启动继电器、PTC 启动器及铭牌等部件予以简要说明。

1. 机座

机座结构因电动机的冷却方式、防护形式、安装方式和用途而异。按其材料分类，有铸铁、铸铝和钢板结构等几种。

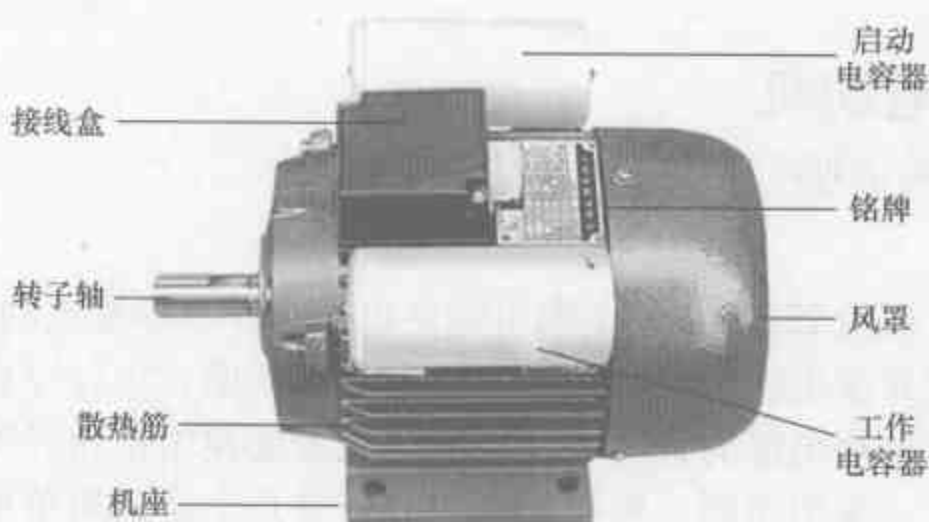


图 5-3 单相异步电动机的外部结构

铸铁机座带有散热筋，铸铝机座一般不带散热筋。钢板结构的机座通常由厚度为 1.5~2.5mm 的薄钢板卷制、焊接而成，再焊上由钢板冲压而成的底脚。

有的专用电动机的机座相当特殊，如电冰箱的电动机，它通常与压缩机一起装在一个密封的罐子里，如图 5-4 所示。而洗衣机的电动机，包括甩干机的电动机，均无机座，端盖直接固定在定子铁芯上。

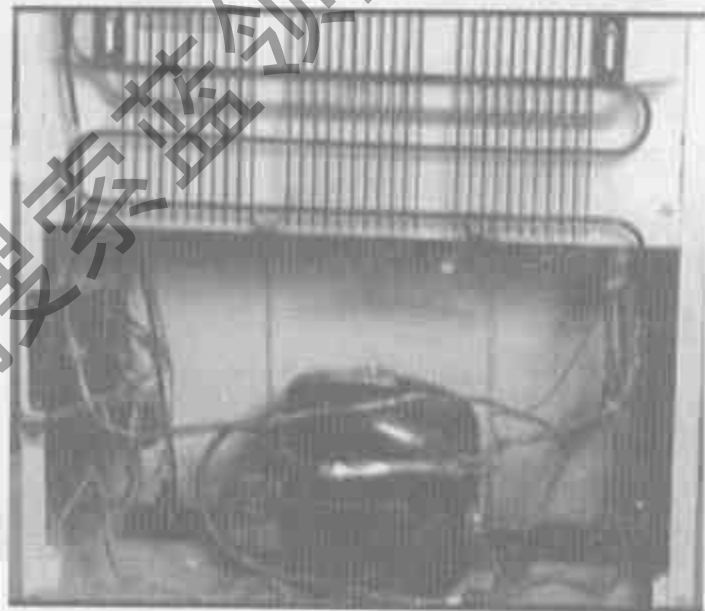


图 5-4 与压缩机装在一起的电冰箱电动机

2. 铁芯

铁芯包括定子铁芯和转子铁芯，其作用是用来构成电动机的磁路。

3. 绕组

单相异步电动机定子绕组常做成两相：主绕组（工作绕组）和副绕组（启动绕组）。两种绕组的中轴线错开一定的电角度，目的是改善启动性能和运行性能。定子绕组多采用高强度聚酯漆包线绕制。转子绕组一般采用笼型绕组，常用铝压铸而成。

4. 端盖

对应于不同的机座材料，端盖也有铸铁件、铸铝件和钢板冲压件等几种类型。

5. 轴承

轴承有滚珠轴承和含油轴承两大类，如图 5-5 所示。

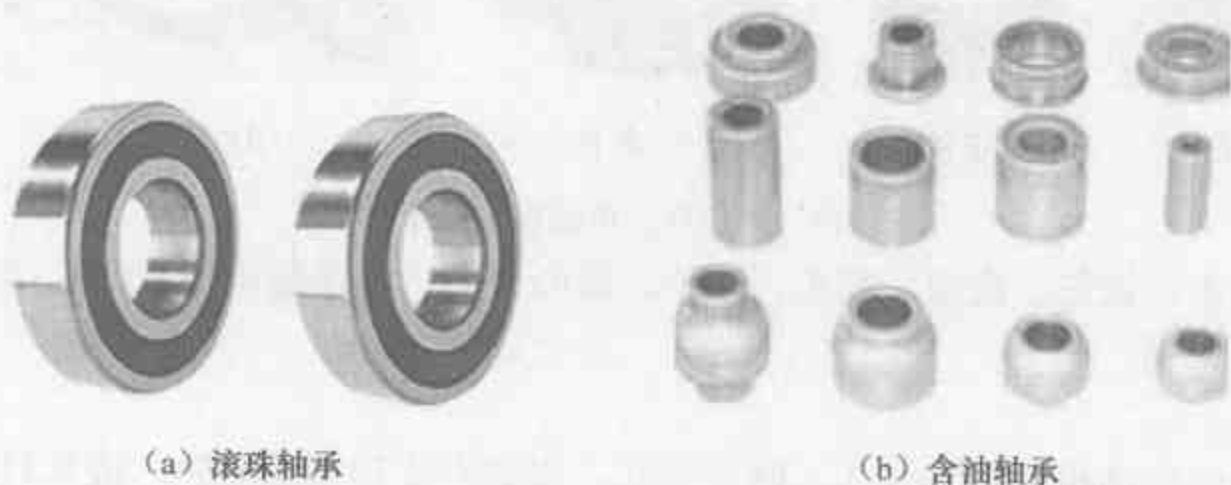


图 5-5 轴承

6. 离心开关、启动继电器和 PTC 启动器

(1) 离心开关

在单相异步电动机中，除了电容运转电动机外，在启动过程中，当转子转速达到同步转速的 70% 左右时，常借助于离心开关（如图 5-6 所示）切除单相电阻启动异步电动机和电容启动异步电动机的启动绕组，或切除电容启动及运转异步电动机的启动电容器。离心开关一般安装在轴承端盖的内侧。

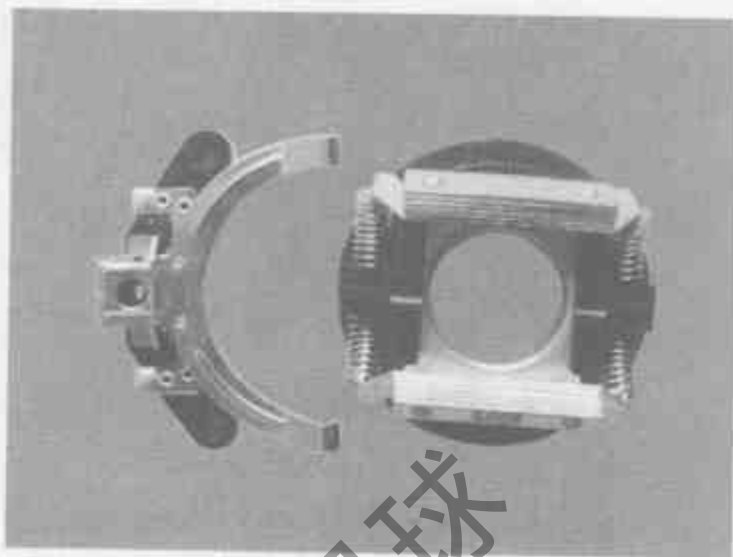


图 5-6 离心开关

(2) 启动继电器

有些电动机，如电冰箱电动机，由于它与压缩机组装在一起并放置在密封的罐子里，不便于安装离心开关，就用启动继电器代替。如图 5-7 所示，继电器的吸铁线圈串联在主绕组回路中，启动时主绕组电流很大，衔铁动作，使串联在副绕组回路中的动合触点闭合，于是副绕组接通，电动机处于两相绕组运行状态。随着转子转速上升，主绕组电流不断减小，吸引线圈的吸力下降。当转子达到一定的转速时，电磁铁的吸力小于触点的反作用弹簧的拉力，触点被打开，副绕组就脱离电源。



图 5-7 重锤式启动继电器

(3) PTC 启动器

新式电动机的启动元件是 PTC 热敏电阻，这是一种新型的半导体器件，可用作延时型启动开关，如图 5-8 所示。使用时将 PTC 元件与电容启动或电阻启动电动机的副绕组串联。在启动初期，因 PTC 热敏电阻尚未发热，阻值很小，副绕组处于通路状态，电动机开始启动。随着时间的推移，电动机的转速不断升高，PTC 元件的温度上升，电阻剧增，此时的副绕组电路相当于断开。当电动机停止运行后，PTC 元件的温度不断下降，经 2~3min 后可以重新启动。

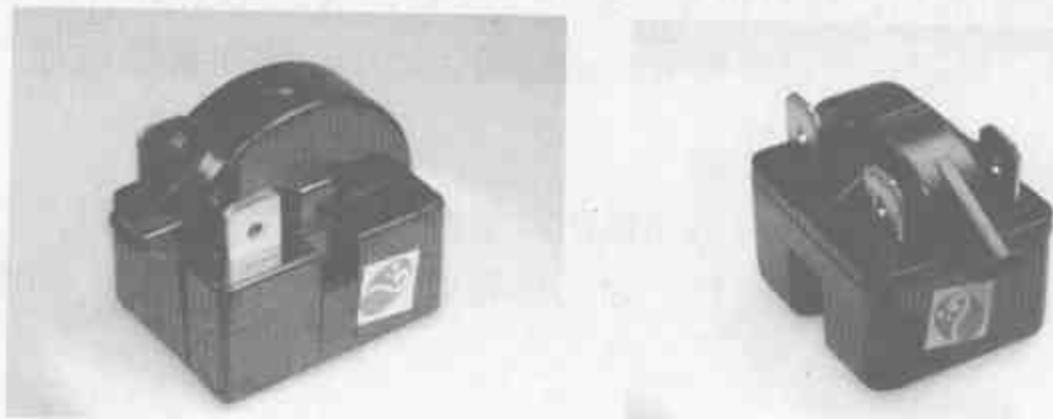


图 5-8 PTC 启动器

7. 铭牌

单相异步电动机铭牌上标注的项目有：电动机名称、型号、标准编号、制造厂名、出厂编号、额定电压、额定功率、额定电流、额定转速、绕组接法以及绝缘等级等。

能力PK

拆卸并组装一台单相异步电动机。

5.1.2 常用单相异步电动机——单相电机应用多，生产生活乐呵呵

日常生活中的许多电气设备都需要电动机来带动，如水泵、电冰箱、电风扇、抽油烟机等。有人把这些电动机称为马达，只要开关一打开，电动机就马不停蹄地工作。单相异步电动机可分为单相分相式电动机和单相罩极式电动机两大类。

1. 单相分相式电动机

单相分相式异步电动机在定子上除了装有单相主绕组外，还装了一个启动绕组，这两个绕组在空间成 90° 电角度。启动时，两绕组虽然接到同一个单相电源上，但可设法使两绕组的电流不同相，这样两个空间位置正交的交流绕组通以时间上不同相的电流，在气隙中就能产生一个合成旋转磁场。启动结束，使启动绕组断开即可。

(1) 电容启动式电动机是如何工作的

在图 5-9 中，转子为笼型转子，定子上放置有工作绕组 A 和启动绕组 B，这两个绕组在空间位置上相差 90° 。启动绕组串接电容器 C 后与工作绕组并联接入电源。在同一单相电源作用下，选择适当的电容器容量，使工作绕组和启动绕组的电流在相位上相差约 90° ，这就是分相。在启动时，电动机能产生接近于圆形旋转磁场的气隙旋转磁场，所以启动转矩较大，启动电流较小。在接近额定转速时，切断启动绕组，其实现方法是在启动绕组电路中串入一个离心开关 S。

电容启动式电动机启动后，启动绕组可留在电路中，也可切除。利用转换开关，这种电动机可反向运行，例如洗衣机的洗涤电动机。

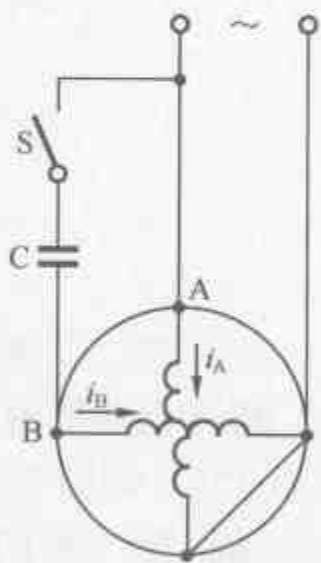


图 5-9 单相电容启动式电动机原理图

思路点拨

① 电容启动式电动机具有较大的启动转矩，且启动电流较小，因而这种电动机的启动性能较好。

② 电容启动式电动机的启动绕组也是按短时工作设计的，因此串联有一个启动开关，当转速上升到一定程度时，启动开关自动断开启动绕组，由工作绕组维持运行。

(2) 电容运转式电动机是如何工作的

与电容启动式电动机相比较，这种电动机的启动绕组中不串联启动开关，因此启动绕组和启动电容器在电动机启动后也参与运行，因此称为电容运转式电动机，如图 5-10 所示。

思路点拨

① 电容运转式电动机运行时输出功率大，功率因数高，过载能力强，噪声低，震动小，

其缺点是启动性能不如电容启动式电动机好。

② 电容运转式电动机广泛应用于各种小功率的电动类日用电器中。

(3) 电容启动运转式电动机是如何工作的

这种电动机的副绕组中串联有两个并联的电容,如图 5-11 所示。较大的一个电容是启动电容 (C_1),与启动开关串联,当转速达到额定转速的 70%~85%时断开此电容;另一个电容的电容量较小,是工作电容 (C_2),它始终和副绕组串联。

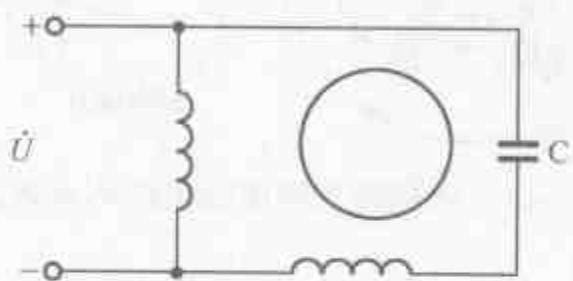


图 5-10 电容运转式电动机原理图

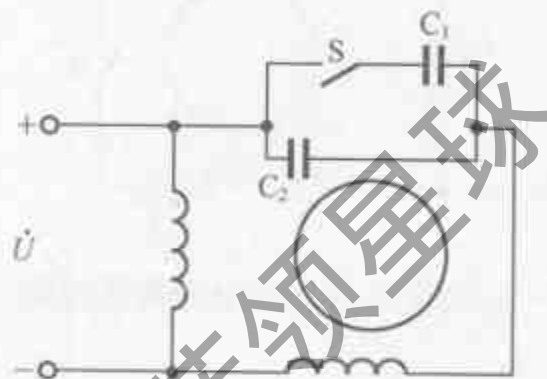


图 5-11 电容启动运转式电动机原理图

思路点拨

① 电容启动运转式电动机既有较高的启动转矩和较小的启动电流,又有较高的运行效率和功率因数,常采用与三相异步电动机相同的机座号和外形尺寸系列,以使用户选用。

② 这种电动机的价格较高,适用于家用电器、水泵、农业机械、木工机械及小型车床等。

(4) 单相电阻分相式电动机是如何工作的

单相电阻分相式异步电动机的启动方法是让两个绕组的电阻和电抗值不等。一般启动绕组用较细的导线绕制,其电阻大,匝数少,电抗小,所以当两个绕组接到同一单相电源上时,启动绕组的电流超前主绕组电流,形成一个实际上的两相电动机。这样使气隙磁场为旋转磁场,产生启动转矩,使单相异步电动机转起来。

如图 5-12 所示,由于两个绕组都是感性阻抗,绕组中流过的电流相位差很小,与 90° 相差很多,使启动时气隙旋转磁场的椭圆度很大,启动转矩比电容分相式电动机要小。转向由两绕组中电流的相序确定,转子由电流领先相转向滞后相。如要改变转向,把两绕组中任意一个的两端反接即可。

思路点拨

① 单相电阻分相式电动机的启动绕组一般是按短时工作设计的,因此串联有一个启动开关,当转速上升到一定程度时,启动开关自动断开启动绕组,由工作绕组维持运行。

② 启动转矩较小。

③ 适用于空载或轻载启动的场合,如小型车床、小型电冰箱等。

2. 单相罩极式电动机

单相罩极式电动机的转子仍为笼型,定子有凸极式和隐极式两种,其工作原理完全相同。一般采用凸极式,因为其结构简单。

如图 5-13 所示,凸极式罩极电动机的定子铁芯由硅钢片叠成,做成凸出的磁极,每个极上装有集中绕组,即主绕组。极面一边的 1/3 处开有小槽,用以嵌放短路环。这种短路环由铜制成,电阻很小,由于短路环罩住部分磁极,故称为罩极式电动机。这种电动机不能用开关控制正反转。

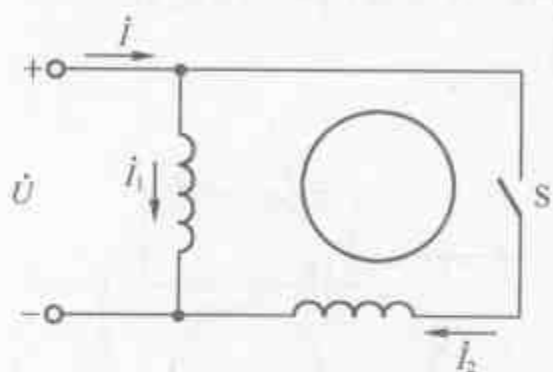


图 5-12 单相电阻分相式电动机原理图

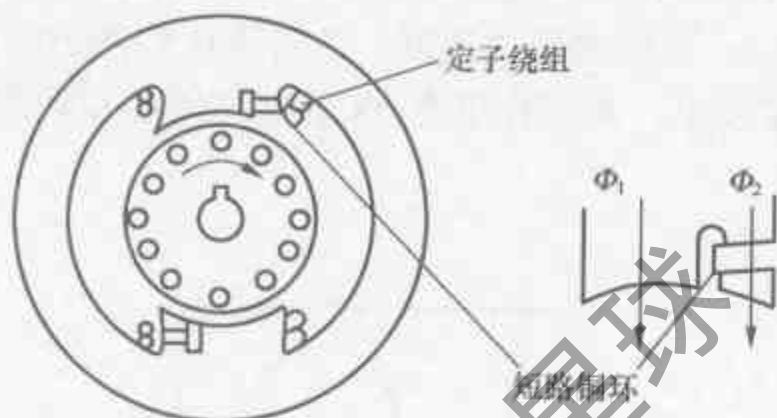


图 5-13 单相罩极式电动机结构示意图

思路点拨

- ① 单相罩极式电动机结构简单,价格低廉,但启动转矩小且不能改变转向。
- ② 适用于只需按确定的单方向转动的小功率轻载启动负载,如电扇及小型鼓风机等。

电工小百科

如何选用单相异步电动机

对于一般器具的传动,如果没有性能和结构上的特殊要求,建议采用基本系列电动机 YU 系列(单相电阻启动式异步电动机)、YC 系列(单相电容启动式异步电动机)、YY 系列(单相电容运转式异步电动机)、YL 系列(单相电容启动运转式异步电动机)。如基本系列电动机不能满足要求,可选用规定用途或特殊用途的电动机。

电动机的种类如此之多(如图 5-14 所示),初学者常常会问怎样选用单相异步电动机呢?下面介绍按功率大小选用单相异步电动机的方法。



图 5-14 怎样选用单相异步电动机

- ① 当电动机的输出功率在 10W 以下时,可选用罩极式异步电动机。虽然它的启动转矩较小,但由于功率很小,耗能不多,而且结构简单,制造容易,价格低廉,运行可靠,对于

空载或轻载启动的器具,可优先选用。如小型风扇、微风机、抽油烟机、家用鼓风机、家用排气扇、电吹风、电动模型、复印机等多采用罩极式异步电动机。

② 当电动机的输出功率为 10~60W 时,一般采用电容运转式电动机,因为在这个功率范围内,该类电动机的启动性能和运行性能均很优良,噪声低,不需要离心开关或其他启动开关,可靠性高,调速也比较方便。各种电风扇和洗衣机都是以电容运转式异步电动机为主要传动电动机的,只有极少数情况采用罩极式电动机。例如全自动洗衣机的排水泵,由于启动转矩要求不高,且使用时间很短,效率可以不予考虑,为了简化结构,可采用凸极式罩极异步电动机。又如炉灶用鼓风机,由于环境条件较恶劣,有油烟和水蒸气,环境温度高,如采用电容运转式电动机,电容容易损坏,故常采用隐极式罩极异步电动机(容量小的用凸极式)。

③ 当电动机的输出功率为 60~250W 时,优先选用电容运转式电动机;如果启动转矩不足,则最好用电容启动运转(双值电容)式电动机,它的启动和运行性能均好,但成本较高。YL 系列双值电容异步电动机的功率为 370~3000W。也可用电阻启动或电容启动式异步电动机,它们的力学指标完全相同。从价格上讲,电阻启动式异步电动机便宜;从性能上讲,电容启动式异步电动机的启动电流小,而启动转矩大。表 5-1 为 3 种不同型号的 180W、4 极单相异步电动机性能对照表。

表 5-1 3 种不同型号的 180W、4 极单相异步电动机性能对照表

电动机型号	效率	功率因数	启动转矩倍数	启动电流 (A)
YU7124	53%	0.62	1.4	17
YC7124	53%	0.67	2.8	12
YY6324	50%	0.90	0.40	5

④ 当电动机的输出功率大于 250W 时,可从价格和启动性能两方面权衡利弊来选用。对于 550W 以上的电动机,尽量不要用电阻启动式异步电动机,因为其启动电流太大。

想一想 单相异步电动机可分为哪两大类,它们是如何工作的?

*5.1.3 单相异步电动机的调速——多种方式可调速,降压变匝控转速

通过改变电源电压或电动机结构参数的方法,从而改变电动机转速的过程,称为调速。常用的调速方法有两种:第一种是外电路降压法,第二种是绕组抽头法调速。

1. 什么是外电路降压调速

(1) 如何进行串联电抗调速

图 5-15 所示为采用电抗器降压的电风扇调速电路。将电动机的主、副绕组并联后再串入具有抽头的电抗器,当转速开关处于不同位置时,电抗器的电压降不同,使电动机端电压改变而实现有级调速。调速开关接高速挡,电动机绕组直接接电源,转速最高;调速开关接中、低速挡,电动机绕组串联不同的电抗器,总电抗增大,转速降低。

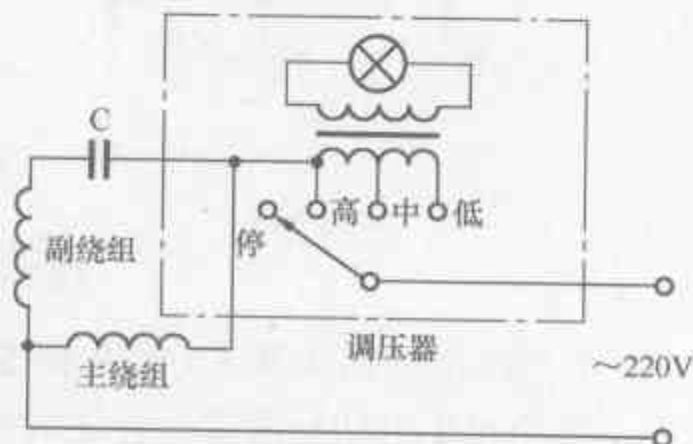


图 5-15 串联电抗调速

用这种方法调速比较灵活，电路结构简单，维修方便，但需要专用电抗器，成本高，耗能大，低速启动性能差。

(2) 如何采用 PTC 元件调速

图 5-16 所示为具有微风挡的电风扇调速电路。

微风风扇能够以 500r/min 以下的转速送风，如采用一般的调速方法，电动机在这样低的转速下很难启动。图 5-16 所示电路利用常温下 PTC 电阻的阻值很小的特点，在微风挡直接启动电动机，启动后 PTC 电阻的阻值增大，电动机进入微风挡运行。

(3) 如何进行晶闸管调压调速

晶闸管调压调速是通过改变晶闸管的导通角来改变电动机的电压波形，从而改变电压的有效值以达到调速的目的。

图 5-17 所示为吊扇使用的双向晶闸管调压调速电路。

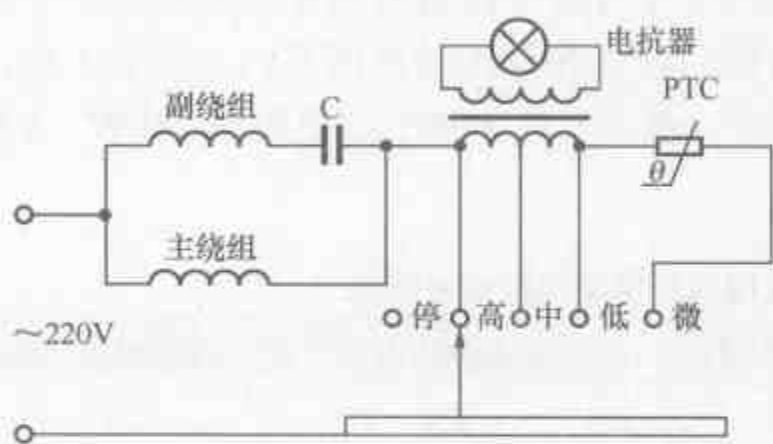


图 5-16 PTC 元件调速

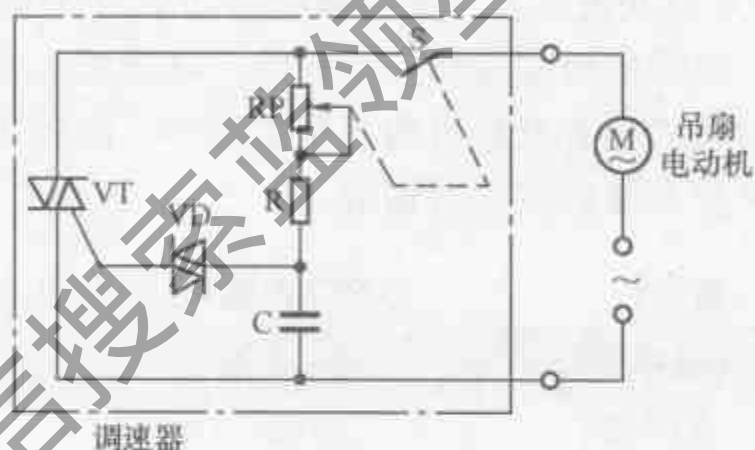


图 5-17 晶闸管调压调速

2. 什么是绕组抽头法调速

绕组抽头法调速实际上是把电抗器调速法中的电抗器嵌入定子槽中，通过改变中间绕组与主、副绕组的连接方式来调整磁场的大小和椭圆度，从而调节电动机的转速。采用这种方法调速，节省了电抗器，成本低，功耗小，性能好，但工艺较复杂。实际应用中有 L 型和 T 型绕组抽头调速两种方法。

L 型绕组的抽头调速有 3 种方式，如图 5-18 所示。

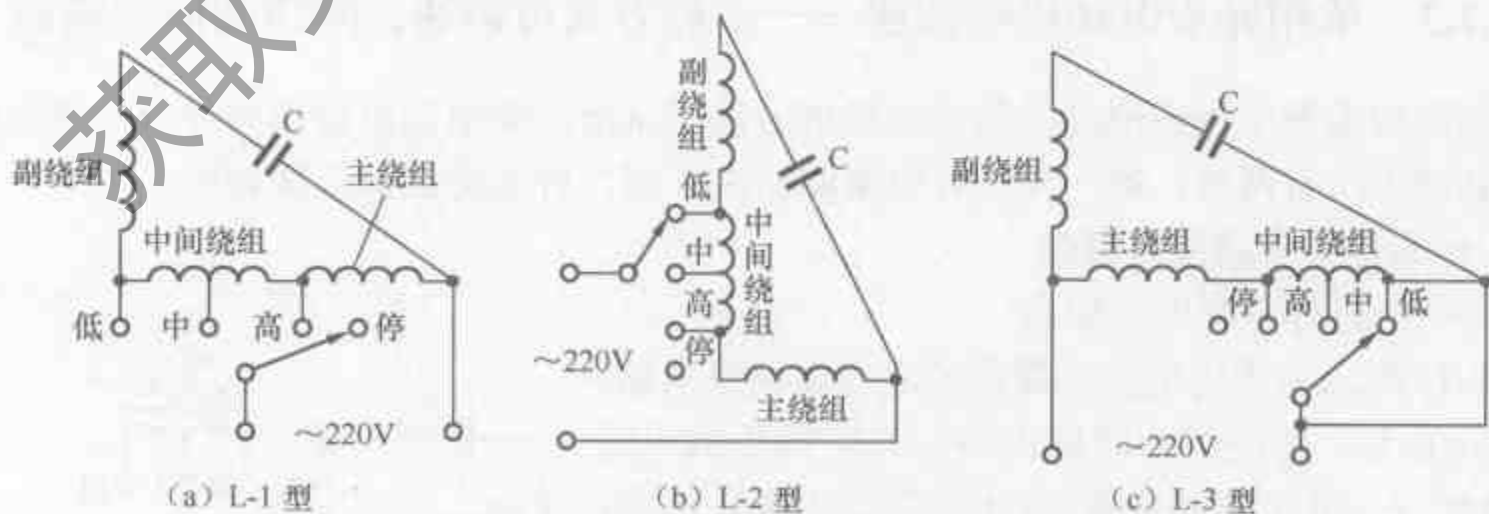


图 5-18 L 型绕组的抽头调速方式

T 型绕组的抽头调速方式如图 5-19 所示。

单相异步电动机的调速方法很多，上面介绍了几种比较常用的方法。此外，自耦变压器调压调速、串联电容器调速和晶闸管装置调速等方法在某些场合也常常用到。

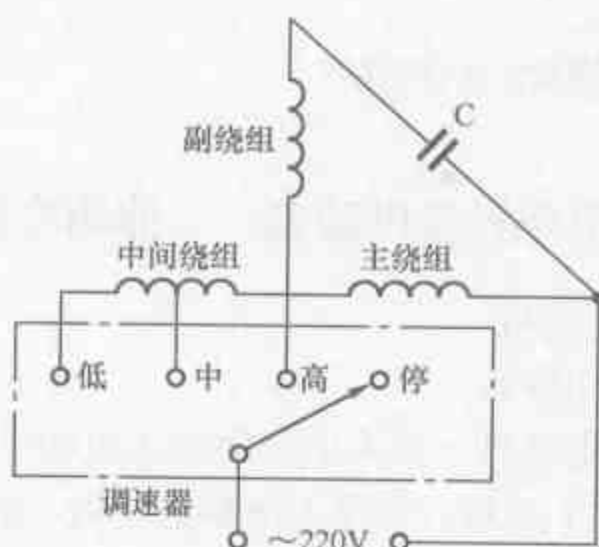


图 5-19 T型绕组的抽头调速方式

知识链接

单相电动机变频调速技术

通常，家用电器中用得最多的是单相异步电动机，靠电容或电阻来分相。电动机在工作时常处于短时重复状态（开/停），如空调器、电冰箱等，这样势必带来启动频繁、噪声大、电机寿命短、温度稳定性差以及能耗高等一系列弊端，变频调速技术的应用不但给这些家电产品带来功能的增加、性能的改善，而且具有明显的节能和降噪效果，同时使整机寿命较传统家电有明显提高。

异步电动机调速有许多方法，如变极调速、变转差率调速和变频调速等。前两种方法转差损耗大，效率低，对电动机特性来说都有一定的局限性。变频调速是通过改变定子电源的频率来改变同步频率实现电动机调速的，在调速的整个过程中，从高速到低速可以保持有限的转差率，因而具有高效、调速范围宽（10%~100%）和精度高等特点，节电效果可达到20%~30%。

变频调速有两种方法：一是交—直—交变频，适用于高速小容量电动机；二是交—交变频，适用于低速大容量拖动系统。

近年来，家用电器中的空调器、电冰箱等高端产品都采用了单相电动机变频调速技术，如图5-20所示。



(a) 变频空调器

(b) 变频电冰箱

图 5-20 单相电动机变频调速技术应用举例

想一想 单相异步电动机的调速方法有哪些?

*5.1.4 家用电器中的单相异步电动机——冰箱空调洗衣机, 运行全靠电动机

1. 电风扇中的单相异步电动机

(1) 电风扇电动机有何结构特点

电风扇中使用的单相异步电动机一般为电容运转式电动机。

台式电风扇电动机如图 5-21 所示, 它属于微型电动机, 结构简单, 拆装容易。吊扇电动机如图 5-22 所示, 它采用封闭式的外转子结构, 定子安放在内部并固定在不旋转的吊杆上, 而转子安放在外部, 与扇叶相连。

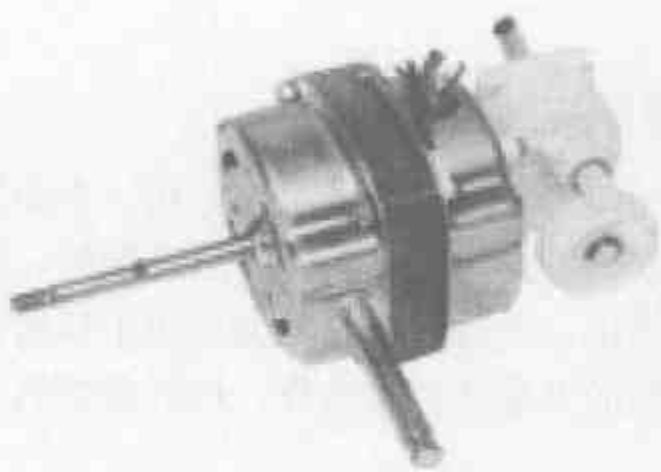


图 5-21 台式电风扇电动机



图 5-22 吊扇电动机

(2) 怎样进行控制与调速

电风扇中除电动机外的电气元件主要有分相电容器、定时器、调速器和位置开关等。

定时器是电风扇的时间控制元件, 一般定时器按结构可分为机械式、电动式和电子式, 电风扇大多采用机械式定时器。

电风扇一般都具有调速功能, 通过调速满足人们对风量的不同要求。电风扇的种类很多, 其调速电路也不完全相同, 调速方法主要有电抗器调速、绕组抽头调速和电子调速等, 相关内容见 5.1.3 节中的叙述, 这里不再重复。

(3) 电风扇是如何分类的

按照对电源要求的不同, 电风扇有交流(三相、单相)电风扇、直流电风扇、交直流两用电风扇。其中, 最常用的是交流单相电风扇。交流三相电风扇主要用于工矿企业中, 直流及交直流两用电风扇主要用于船舶、车辆等特定场合。

按照结构形式来分, 常用的电风扇有台扇、壁扇、台地扇、落地扇、顶扇、吊扇、转叶扇和排气扇。它们的主要特征见表 5-2 所示。

表 5-2 常用电风扇的主要特征

类别	主要特征		
	扇头结构	支撑结构	安放地点
台扇	防护式电动机, 具有往复摇头机构	台座	桌上或台上
台地扇		台座	桌上或台上

续表

类别	主要特征		
	扇头结构	支撑结构	安放地点
壁扇	防护式电动机, 具有往复摇头机构	壁座	固定在墙上
落地扇		底座	放在地上
顶扇	封闭式电动机, 具有回转摇头机构	座架	安装在天花板上
吊扇	封闭式外转子结构, 无摇头装置	吊攀或吊杆	悬挂在天花板上
转叶扇	封闭式电动机, 靠转动百叶栅改变风向	框架	台上或桌上
排气扇	封闭式电动机, 无摇头机构	框架	装于窗上或墙孔上

知识链接

电风扇控制电路

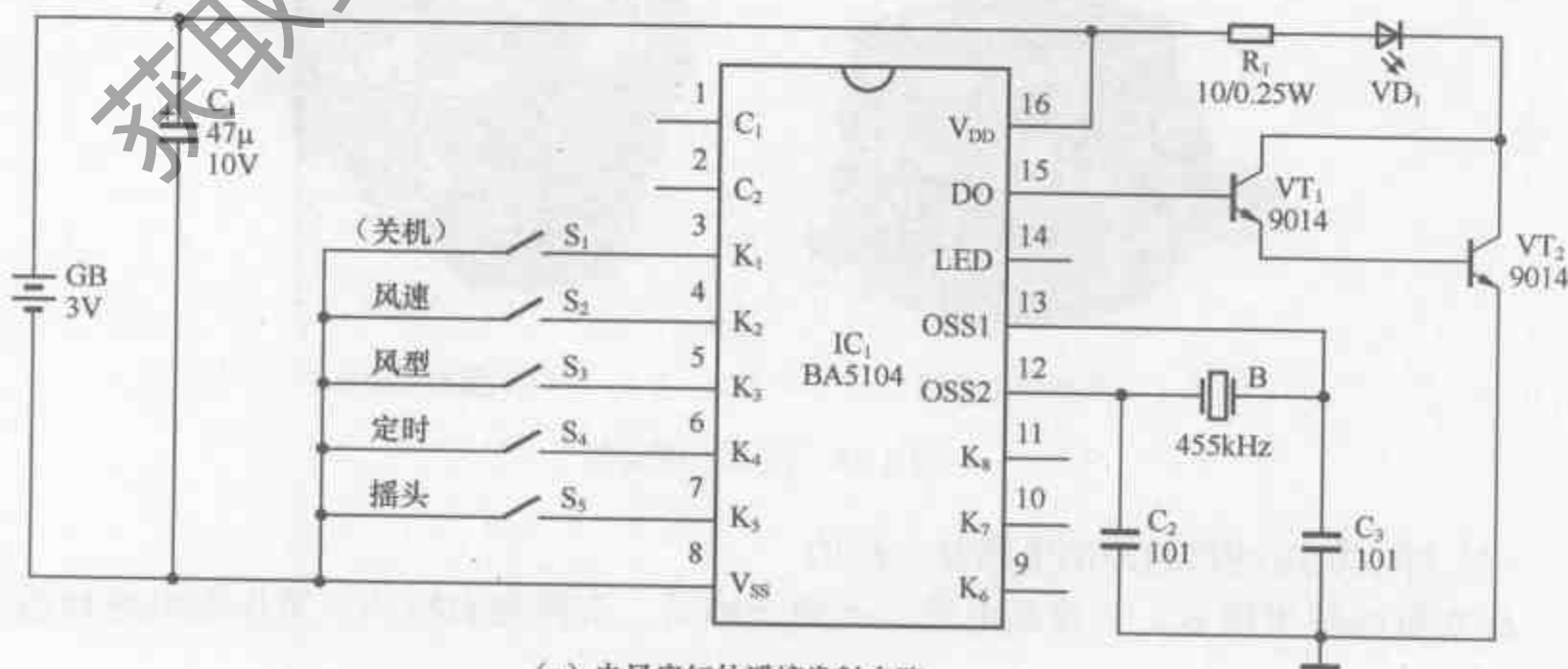
目前, 许多电风扇都采用了由集成电路控制的调速电路。图 5-23 所示为一种比较典型的多种风型遥控电风扇电路, 它由红外遥控发射电路和接收电路两大部分组成。

2. 洗衣机中的单相异步电动机

(1) 洗衣机电动机有何结构特点

洗衣机中使用的电动机普遍采用电容运转式电动机。洗涤电动机的结构如图 5-24 (a) 所示。由于洗衣机要求正、反转交替运行, 且工作状态一样, 因此电动机主、副绕组的结构参数完全相同, 只是相差 90° 电角度。工作时通过换相开关变换主、副绕组的接线来改变转动方向。

脱水电动机[如图 5-24 (b) 所示]只作单向高速运转, 主、副绕组的结构参数可以不同, 但要求电动机启动转矩大, 过载能力强。



(a) 电风扇红外遥控发射电路

图 5-23 多种风型遥控电风扇电路举例

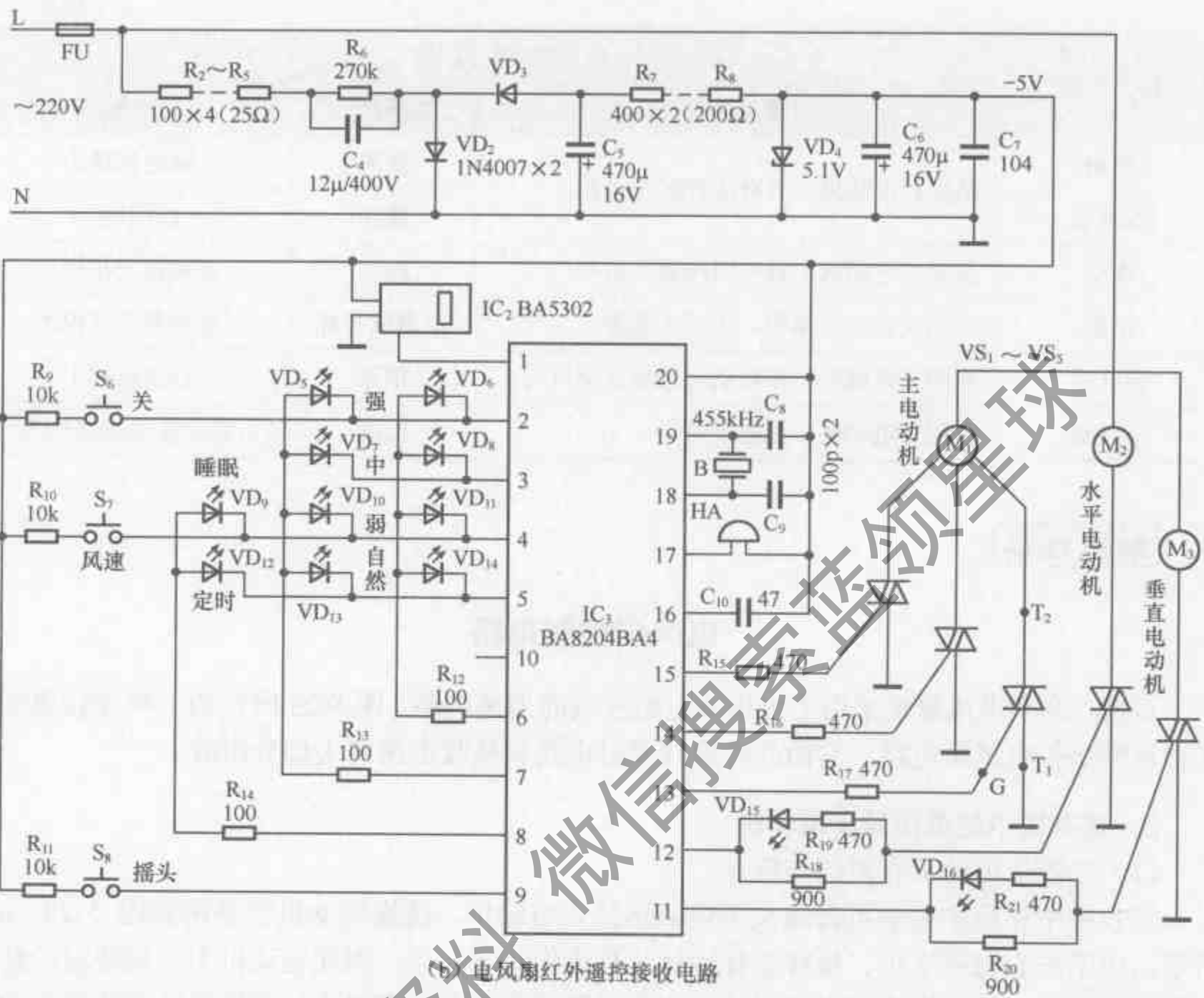


图 5-23 多种风型遥控电风扇电路举例 (续)



图 5-24 洗衣机电动机

(2) 洗衣机电动机的控制电路是怎样的

洗衣机的种类很多，其控制电路也不完全相同。双筒洗衣机的典型控制电路如图 5-25 所示。

洗衣机中除电动机外的电控元件主要有分相电容器、定时器或程序控制器、进水和排水

电磁阀、控制开关等，在维修时应注意检查这些元件。

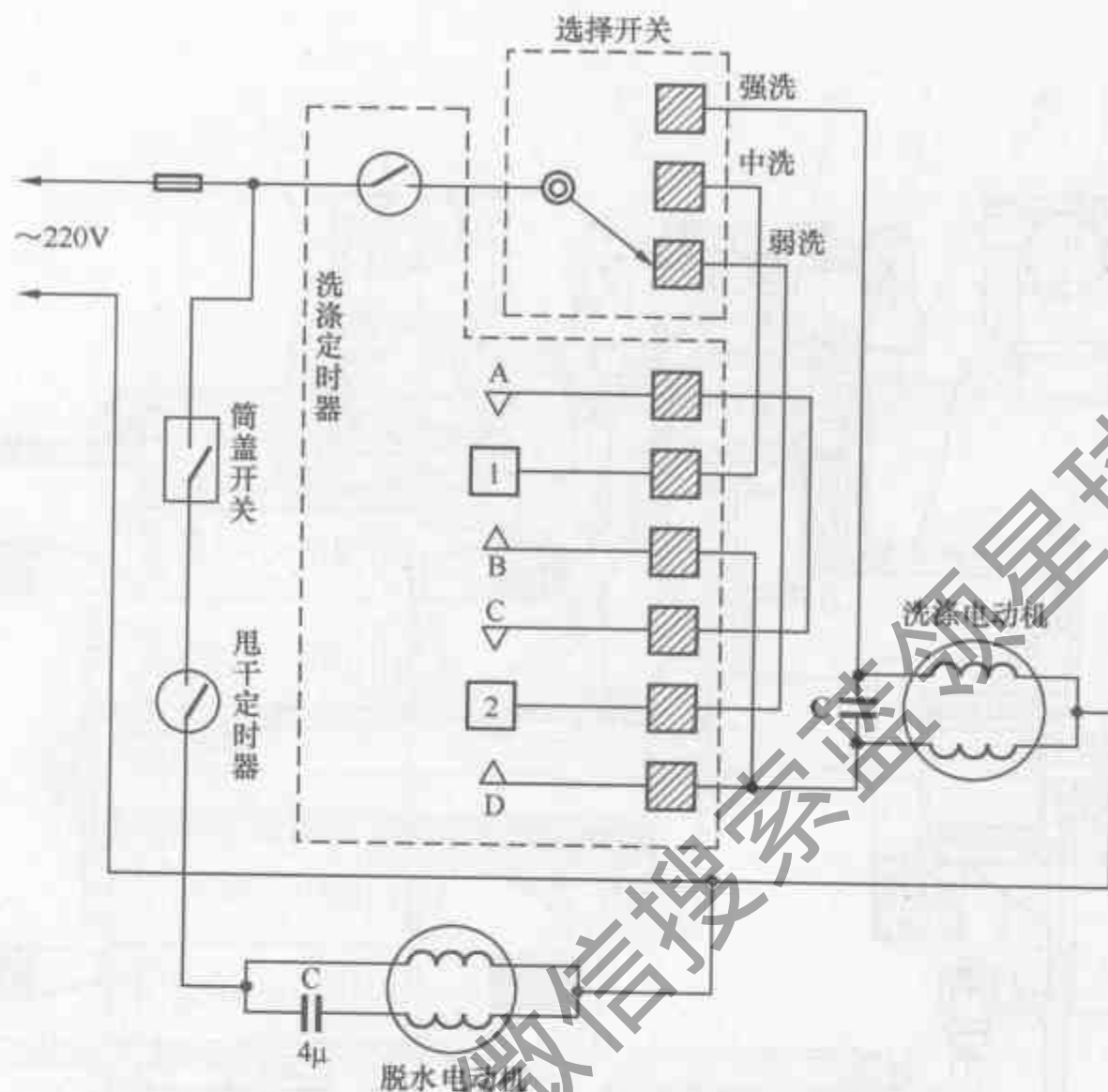


图 5-25 双筒洗衣机典型控制电路图

定时器是普通洗衣机的时间控制元件，其作用有二：一是控制洗衣机的整个工作时间，二是控制洗衣机电动机的正、反转及间歇运行时间。定时器按结构可分为机械式、电动式和电子式，按作用又分为洗涤定时器和脱水定时器。

程序控制器是全自动洗衣机中的自动化控制元件，在程序控制器中存有多种洗涤程序可供用户选择。当通过开关选定某种程序后，程序控制器便按这种程序自动实现对电动机、进水和排水电磁阀的控制。程序控制器按结构可分为机电式和微电脑式。

思路点拨

洗衣机电动机损坏通常与潮湿或者漏水有关，在维修时一定要首先排除洗衣机的漏水故障，否则，仅仅靠维修或更换电动机是徒劳的。

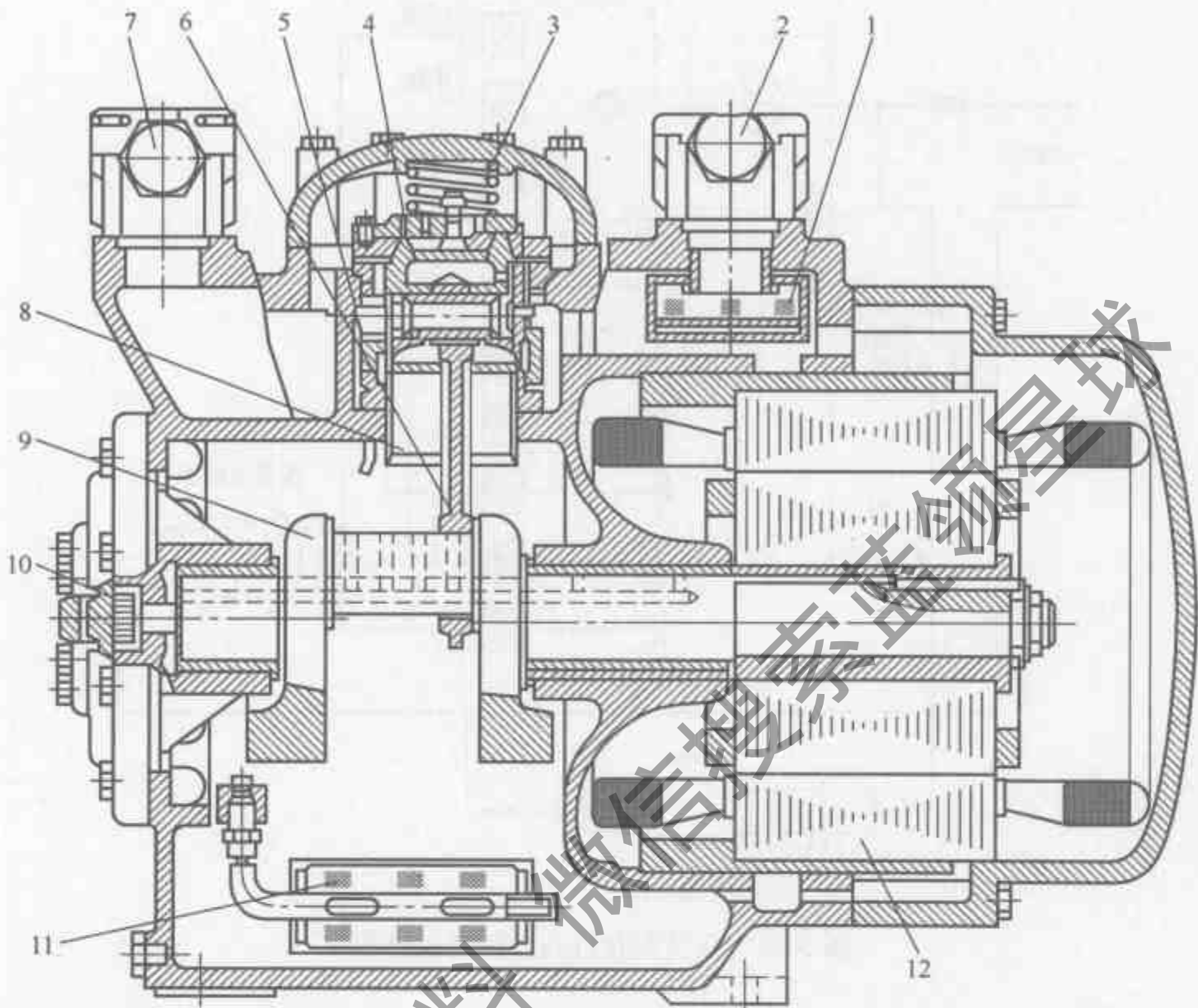
3. 制冷压缩机中的单相异步电动机

(1) 制冷压缩机中的单相异步电动机有何结构特点

家用电冰箱、冰柜和空调器的制冷压缩机中使用的电动机通常有4种：电阻启动式电动机，多用于小功率压缩机；电容启动式和电容运转式电动机，在普通压缩机中应用得较多；电容启动运转式电动机，多用于大功率压缩机中。

由于制冷压缩机为封闭结构，电动机与压缩机一起安装在封闭的壳体内，直接接触制冷剂 and 润滑油，且运行温度较高，负荷较大，因此要求电动机耐腐蚀、耐高温、耐冲击和

耐震动，启动力矩大，过载能力强，效率尽可能高。家用制冷压缩机及电动机的结构如图 5-26 所示。



1—吸气滤网；2—排气阀；3—夹盖弹簧；4—活塞；5—卸载装置；6—连杆；7—排气阀；8—缸套；9—曲轴；10—油泵；11—过滤器；12—电动机

图 5-26 家用制冷压缩机及电动机的结构

(2) 电冰箱和空调器电动机的控制电路是怎样的

电冰箱和空调器的种类很多，其控制电路也不完全相同。直冷式电冰箱的典型控制电路如图 5-27 所示，单冷空调器的典型控制电路如图 5-28 所示。

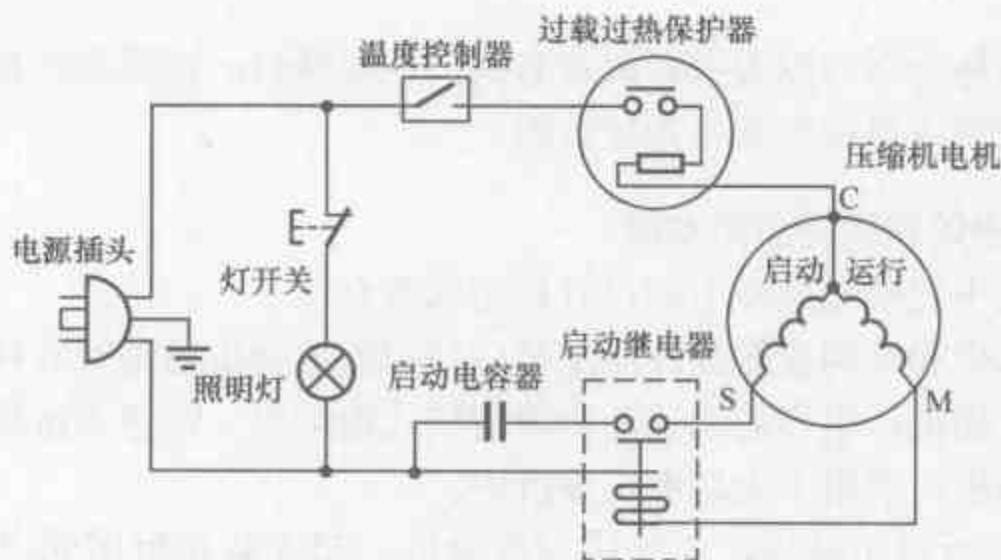


图 5-27 直冷式电冰箱的典型控制电路图

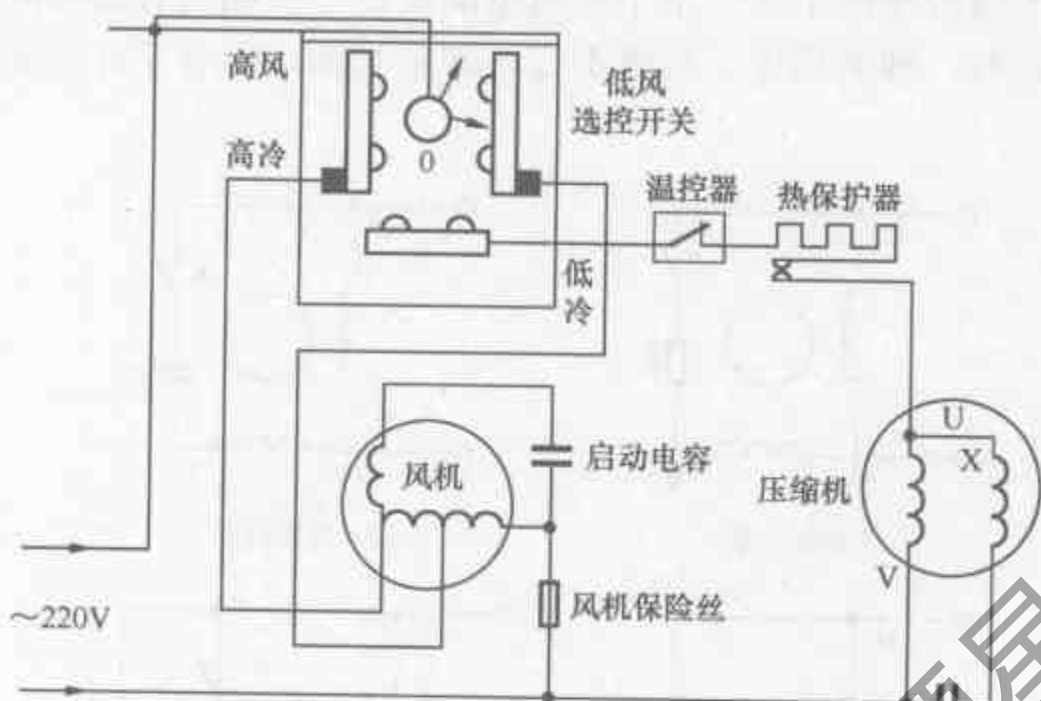


图 5-28 单冷空调器的典型控制电路图

为保证电动机的启动和正常运行，电冰箱和空调器中都装有与电动机配套的电控元件，主要有启动和运行电容器、启动控制器、过载保护器、温度控制器等，在维修时应注意检查这些元件。

启动控制器是一种控制继电器，其作用是控制电动机副绕组回路与启动电容器的接通和断开。目前使用的启动控制器主要有3种：重力式启动控制器、弹力式启动控制器和热敏电阻（PTC）式启动控制器。

过载保护器的作用是，当某种因素使电动机电流过大或压缩机温度过高时，及时切断电源，保护电动机不受损坏。过载保护器可分为过电流型和过热型，前者以电动机的工作电流为控制信号，后者以电动机的运行温度为控制信号。过载保护器按结构可分为碟式热保护器、内埋式热保护器和热敏电阻（PTC）式热保护器。

温度控制器的作用是用来控制电冰箱内或空调器室内的温度，即控制压缩机的工作时间或制冷量。温度控制器按结构可分为膨胀式温度控制器和电子式温度控制器。

思路点拨

- ① 制冷压缩机中的电动机线圈损坏后，不能用普通的漆包线绕制。
- ② 压缩机不能横放或者倒置。
- ③ 压缩机损坏后，必须由专业制冷维修工进行维修或更换，普通维修电工不要去维修。

想一想 怎样保养家用电器中的电动机？

5.1.5 接线方式及故障处理——单相电机闹罢工，启动附件是帮凶

1. 怎样进行单相异步电动机的接线

常见单相异步电动机的接线方法如图 5-29 所示。

2. 如何进行单相异步电动机的常见故障分析及处理

单相异步电动机的故障有电气故障和机械故障两类。电气故障主要有：定子绕组断路、

定子绕组接地、定子绕组绝缘不良、定子绕组匝间短路、分相电容器损坏、转子笼型绕组断条等。机械故障主要有：轴承损坏、润滑不良、转轴与轴承配合不好、安装位置不正确、风叶损坏或变形等。

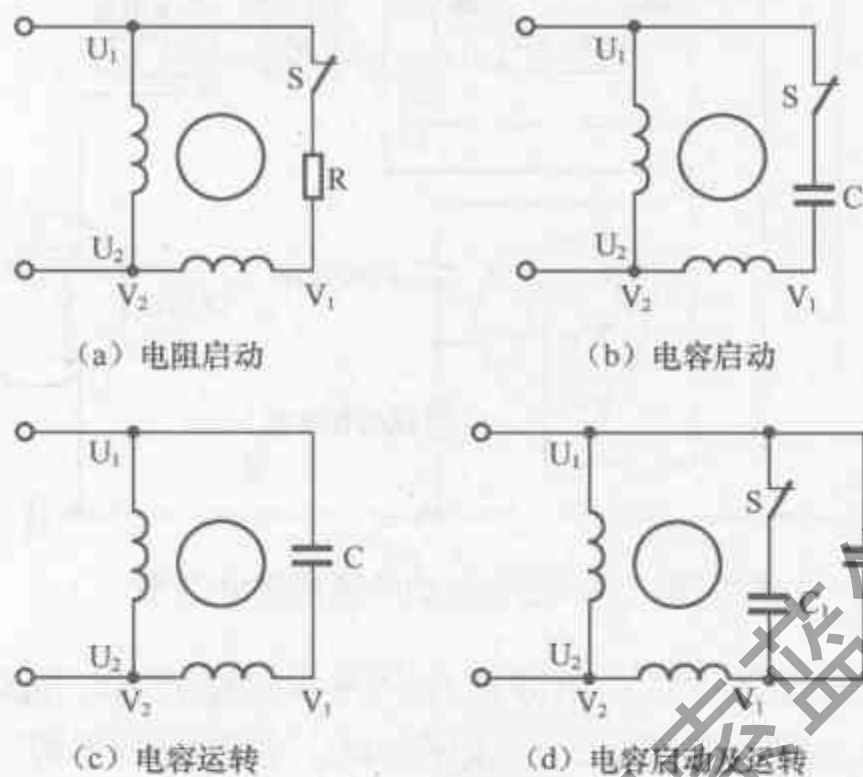


图 5-29 单相异步电动机的接线方法

单相异步电动机的故障检修与三相异步电动机相似，除主绕组和启动绕组外，需要维修或更换的还有电容器、离心开关及短路环等。通常先根据电动机运行时的故障现象，分析故障产生的原因，然后进行检查和测试，确定故障的确切部位，再进行相应的处理。

单相异步电动机的常见故障现象、产生原因及处理方法见表 5-3。单相异步电动机离心开关的常见故障现象及产生原因见表 5-4。

表 5-3 单相异步电动机的常见故障现象、产生原因及处理方法

故障现象	故障原因	处理方法
电动机通电后不转且无响声	电源未接通	检查电源线路，排除电路故障
	熔断器烧断	查明原因后更换熔断器
	主绕组断路或接线断路	修复或更换绕组，焊好接线
	保护继电器损坏	修复或更换保护继电器
电动机通电后不转，有“嗡嗡”响声	控制电路故障	检查控制线路，排除电路故障
	主绕组烧坏后短路	修复或更换绕组
	定子绕组接线错误	检查绕组接线，改正接线错误
	电容器击穿短路或严重漏电	用同规格的电容器更换
	转轴弯曲变形，使转子咬死	校直转轴
	轴承内孔磨损，使转子扫膛	更换轴承
通电后不转，但可按手捻方向转动	电动机负荷过重或机械卡住	减小负荷至额定值，排除机械故障
	副绕组断路或接线断路	修复或更换副绕组，焊好接线
	定子绕组接线错误	改正接线错误
	电容器断路或失效	用同规格的电容器更换

续表

故障现象	故障原因	处理方法
通电后不转,但可按手捻方向转动	电容器接线断路	查出断点,焊好接线
	启动继电器损坏	修复或更换启动继电器
电动机通电后启动慢,转速低	电源电压过低	查明原因,调整电源电压
	定子绕组匝间短路	修复或更换绕组
	电容器规格不符或容量变小	更换符合规格要求的电容器
	转子笼条或端环断裂	修复或更换转子
	电动机负荷过重	减小负荷至额定值
电动机外壳带电	定子绕组绝缘损伤或烧坏后碰壳	进行绝缘处理或更换绕组
	引出线或连接线绝缘破损后碰壳	恢复绝缘或更换导线
	定子绕组严重受潮,绝缘性能降低	烘干后浸漆处理
	定子绕组绝缘严重老化	加强绝缘或更换绕组
	外壳没有可靠接地	装好保护接地线
电动机运行时温升过大	定子绕组匝间短路	修复或更换绕组
	定子绕组个别线圈接反	检查绕组接线,改正接线错误
	风道中有杂物堵塞或扇叶损坏	清除杂物,修复或更换扇叶
	轴承内润滑油干涸	清洗轴承,加足润滑油
	轴承与轴配合过紧	用绞刀绞松轴承内孔
	转轴弯曲变形	校直转轴
电动机运转中有震动或异常响声	定子与转子不同心、相互摩擦	调整端盖使其同心
	定子与转子之间有杂物碰触	清除杂物
	轴承磨损,间隙过大引起径向跳动	更换轴承
	转子轴向间隙过大,运转中轴向窜动	增加轴上垫圈
	扇叶变形或不平衡	校正扇叶和动平衡
	固定螺钉松动	拧紧螺钉
电动机运转时闪火花或冒烟	定子绕组烧坏,引起匝间短路	修复或更换绕组
	定子绕组受潮,绝缘性能降低	烘干后浸漆处理
	定子绕组绝缘损坏后与外壳相碰	加强绝缘或更换绕组
	引出线或连接线绝缘破损后相碰	更换引出线或连接线
	主、副绕组之间的绝缘破损后相碰	修复或更换绕组

表 5-4

离心开关的常见故障现象及产生原因

故障现象	故障原因	
电动机无法启动	离心开关开路	① 弹簧失效,无足够的张力使触头闭合; ② 机械机构卡死

续表

故障现象	故障原因	
电动机无法启动	离心开关开路	③ 触头烧坏脱落; ④ 触头簧片过热失效; ⑤ 接线螺钉松脱或线头断开; ⑥ 动、静触头间有杂物、油垢,使接触不良; ⑦ 触头绝缘板断裂,使触头不能闭合
电动机副绕组过热烧坏	离心开关短路	① 弹簧过硬,使电动机达到预定转速时仍不能断开副绕组电源; ② 机械构件磨损、变形,导致触头不能断开副绕组电源; ③ 簧片式离心开关的簧片过热失效; ④ 动、静触头烧结在一起; ⑤ 甩臂式离心开关的铜环极间绝缘击穿

知识链接

异步电动机正弦绕组的排列方法

如果单相异步电动机的绕组烧毁或绝缘老化不能再正常工作时,需要更换绕组。在拆除旧绕组时,需要详细记录主、副绕组的线径、线圈匝数(至少记录一个极相组的数据,尤其是正弦绕组,不但每个线圈节距不同,各线圈匝数也不同)。表 5-5 给出了 JX 系列单相电容启动式异步电动机正弦绕组的排列方法,表 5-6 是 JX 新系列单相电容启动式异步电动机正弦绕组的排列方法,可供大家在维修时参考。

表 5-5 JX 系列单相电容启动式异步电动机正弦绕组排列方法

型号	正弦绕组排列方法	
	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
JY2A-4 800W 110/220V		
JY2B-4 600W 110/220V		
JY2B-2 400W 110/220V		

续表

型 号	正弦绕组排列方法	
	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
JY1A-4 400W 110/220V		
JY1B-4 250W 110/220V		
JY09A-2 250W 110/220V		
JY09B-2 180W 110/220V		
JY09A-4 180W 110/220V		

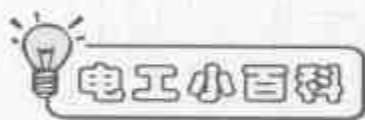
表 5-6 JX 新系列单相电容启动式异步电动机正弦绕组排列方法

型 号	正弦绕组排列方法	
	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
JY7123		
JY7112		

续表

型 号	正弦绕组排列方法	
	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
JY7124		
JY7114		
JY7134		

想一想 某单相异步电动机通电后不转动，请分析该故障产生的原因有哪些，并指出如何进行检修。



电动机发展简史

1831年，英国的法拉第（1791—1867）发现电磁感应现象，提出发电机的理论基础。
 1838年，俄国物理学家雅可比采用电磁铁做转子，制成了第一台实用的电动机。
 1873年，比利时人格拉姆制成了用蒸汽机驱动的电动机，这是最早具有商品价值的直流电动机，他也因此成为实用意义上的电动机的发明者。
 1885年，费拉里斯提出两相交流异步电动机的模型。
 1889年，多利沃-多布罗沃利斯基提出了三相制并制成笼型交流异步电动机。
 1902年，瑞典工程师丹尼尔森首先提出同步电动机构想。
 电动机的发明为电力工业开辟了广阔的前景。

5.2 三相异步电动机简介

——生产设备动力源

5.2.1 三相异步电动机的结构——定子转子前后盖，机座轴承散热片

虽然三相异步电动机的种类较多，例如绕线型电动机、笼型电动机等，但是它们的结构是基本相同的，主要由定子和转子两大部分组成，如图 5-30 所示。








图 5-30 三相异步电动机的结构

三相异步电动机是一个整体，各个部件彼此依赖，不可或缺，任何一个部件损坏都会影响电动机的正常工作。各部件的作用见表 5-7。

表 5-7

三相异步电动机各部件的作用

名称	实物图	作用
散热片		向外部传导热量
机座		固定电动机
接线盒		电动机绕组与外部电源连接
铭牌		介绍电动机的类型、主要性能、技术指标和使用条件
吊环		方便运输

续表

名称	实物图	作用
定子		通入三相交流电时产生旋转磁场
转子		在定子旋转磁场感应下产生电磁转矩，沿着旋转磁场方向转动，并输出动力，带动生产机械运转
前、后端盖		固定
轴承盖		固定、防尘
轴承		保证电动机高速运转并处在中心位置的部件
风罩、风叶		冷却、防尘和安全保护

思路点拨

- ① 电动机的定子和转子彼此由气隙隔开，为了增强磁场，气隙要尽可能小，一般为 0.3~1.5mm。电动机的容量越大，气隙就越大。
- ② 在电动机检修中，大量的工作是拆、洗、清理、试验和组装。因此，掌握电动机的结构及各组成部分的作用具有重要意义。
- ③ 绕组是电动机最主要的电气部件，必须经常对它进行检查和保养（例如绝缘电阻检测等），尤其是第一次使用或长期停用后再次使用之前。

想一想 异步电动机各个部件的作用是什么？

5.2.2 三相异步电动机的铭牌——额定参数有规定，正确接线好运行

每台异步电动机的机座上都装有一块铭牌，用来标明电动机的型号、额定值和有关技术参数。电动机的铭牌是用金属刻印的，与人们用的名片大小差不多，它也能标识电动机的身份，如图 5-31 所示。

1. 异步电动机的型号有何含义

型号是为了简化技术条件对产品名称、规格、形式等的叙述而引入的一种代号，以适应不同用途和不同工作环境的需要。通常把电动机制成不同的系列，各种型号用汉语拼音大写字母、国际通用字符和阿拉伯数字组成，如图 5-32 所示。



图 5-31 三相异步电动机的铭牌

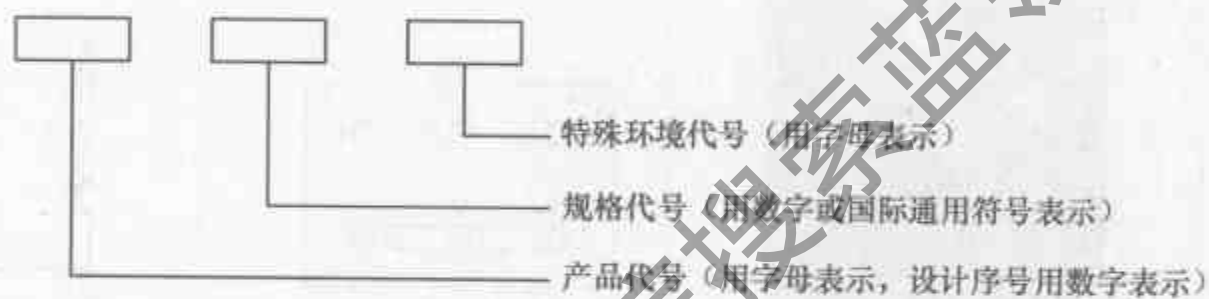


图 5-32 电动机型号的含义

例如 Y132M-4 的含义为：“Y”表示三相异步电动机，三相异步电动机的产品名称代号还有 YR（绕线式异步电动机）、YB（防爆型异步电动机）、YQ（高启动转矩异步电动机）；“132”表示机座中心高度（mm）；“M”为机座长度代号；“4”表示磁极数。

2. 异步电动机的额定值包括哪些内容

额定功率：指电动机轴上输出的功率，单位为 W 或 kW。

额定电压：指绕组上所加的线电压，单位为 V 或 kV。

额定电流：指定子绕组额定运行时的线电流，单位为 A。

额定转数：在额定负载下运行时的转数，单位为 r/min。

额定频率：我国电网的频率为 50Hz，因此除外销产品外，国内用的异步电动机的额定频率为 50Hz。

3. 如何进行三相绕组的接线

这是指定子三相绕组的接法。定子绕组是异步电动机的电路部分，它由三相对称绕组组成，并按一定的空间角度依次嵌放在定子槽内。

三相绕组的首端分别用 A、B、C 表示，尾端对应用 X、Y、Z 表示。为了便于变换接法，三相绕组的 6 个端子头都引到电动机接线盒内的 6 个接线柱上，分上下两排排列。

三相绕组的接线方式有星形（Y）和三角形（ Δ ）两种。在对电动机进行接线前，必须首先看清楚铭牌上的接法，再根据实际的电源线电压，按照电动机铭牌上的要求进行接线。

① 额定电压为 380V/220V，接法为星形/三角形。这表明每相绕组的额定电压是 220V。如果电源线电压是 220V，则定子绕组应该接成三角形；如果电源线电压是 380V，则应接成

星形。


所谓星形连接，是指将三相绕组的尾端 X、Y、Z 短接在一起，首端 A、B、C 分别接三相电源。

所谓三角形连接，是指将第一相的尾端 X 与第二相的首端 B 短接，第二相的尾端 Y 与第三相的首端 C 短接，第三相的尾端 Z 与第一相的首端 A 短接，然后将 3 个接点分别接到三相电源上。

② 额定电压为 380V，接法为三角形。这表明定子每相绕组的额定电压是 380V，适用于电源线电压是 380V 的场合。

异步电动机三相绕组的接线方法见表 5-8。

表 5-8 异步电动机三相绕组的接线方法

连接方法	接线实物图	接线图	原理图
星形接法			
三角形接法			

异步电动机不管是星形接法还是三角形接法，欲使电动机反转，只要将三相电源中的任意两相电源线头调换位置即可。

思路点拨

电动机接线盒里有 6 个接线柱，如果按照上排为 1、2、3，下排为 6、4、5 编号，则将 6、4、5 接在一起，1、2、3 接电源时为星形接法（或将 1、2、3 接在一起，6、4、5 接电源）；将 1、6 接在一起，2、4 接在一起，3、5 接在一起时为三角形接法。

4. 什么是电动机的绝缘等级

绝缘等级是按电动机绕组所用的绝缘材料在使用时容许的极限温度来划分的。所谓极限温度是指电动机绝缘结构中最热点的最高容许温度，其技术数据见表 5-9。

表 5-9

电动机的极限温度与绝缘等级的关系

绝缘等级	A	E	B	F	H	C
极限温度 (°C)	105	120	130	155	180	180
允许温度 (°C)	65	75	80	100	125	125

5. 电动机有哪些工作方式

工作方式是反映电动机运行情况的参数,可分为3种基本方式:连续运行、短时运行和断续运行。

思路点拨

① 电动机按照铭牌所规定的额定值和工作条件运行,叫做额定运行方式。电动机在额定运行方式下工作是最安全、最可靠、最经济的。

② 电动机的额定电流是配备电源系统(其中包括开关、过载保护装置、配电导线等)的一个重要数据,它是电动机铭牌上必须标注的一个项目,所以也称为铭牌电流。

③ 必须严格按照额定电压、额定功率、额定电流和额定转速等参数选配电动机,必须保证接线方式正确。

知识链接

中、小型三相异步电动机的基本系列

中、小型三相异步电动机的基本系列见表 5-10。

表 5-10

中、小型三相异步电动机的基本系列

类别	系列代号	防护形式	中心高 (mm)	转子绕组形式	额定功率 (kW)	额定电压 (V)
小型	Y	封闭式	80~315	笼型	0.55~160	380
		防护式	160~315		5.5~250	
	Y2	封闭式	80~355		0.55~315	
		J2(老)	90~280		0.6~100	
	J2(老)	防滴式	180~280		10~125	
中型	Y(新)	防护式	355~500	绕线型	220~1400	6000
			560~630		1600~3200	
	YR(新)		355~500	220~1250		
			560~630	1400~1800		
	JS2(老)		355~400	笼型	60~320	380
				绕线型		
	JR2(老)		375~630	笼型	45~300	380
				绕线型	75~250	3000
JS(老)	375~630	笼型	45~300	380		
		绕线型	75~250	3000		
JR(老)	375~630	笼型	45~300	380		
		绕线型	75~250	3000		
JR(老)	375~630	笼型	45~300	380		
		绕线型	75~250	3000		

续表

类别	系列代号	防护形式	中心高 (mm)	转子绕组形式	额定功率 (kW)	额定电压 (V)
中型	JK(老)	防护式	375~500	笼型	100~275	380
					130~440	3000
					290~440	6000

想一想 观察电动机的铭牌，说说铭牌上各种标注的含义。

5.3 启动、调速和制动

——控制电机本领大

启动、调速和制动是三相异步电动机工作时的 3 个重要环节，它们构成了电动机工作过程的三部曲。

5.3.1 三相异步电动机的启动——直接启动电流大，降压启动就不怕

异步电动机从接入电源开始转动到稳定运转的过程称为启动。

电动机在启动瞬间有一个很大的启动电流，一般为额定电流的 4~7 倍，它对电动机本身一般不会有太大的影响，但是会引起供电线路电压的显著下降，影响到其他用电设备的正常工作，所以，启动电流必须限制在允许的范围之内。

三相异步电动机常用的启动方法有直接启动和降压启动两种，如图 5-33 所示。



图 5-33 电动机启动方法的选择

1. 什么是直接启动

将电动机直接接入供电线路，在定子绕组上加额定电压的启动方法称为直接启动。

图 5-34 所示为电动机直接启动控制电路。启动时，合上铁壳式（胶盖式）刀开关 QS，电动机通电启动运转。停止时，拉开铁壳式（胶盖式）刀开关 QS，电动机断电停止转动。

电动机直接启动方式虽然存在着启动电流大、启动时电压降较大等不利因素，但由于操

作简便，不需要附加启动设备，所以对于笼型异步电动机应首先考虑采用直接启动方式，只有在不符合直接启动条件时，才考虑采用降压启动方式。

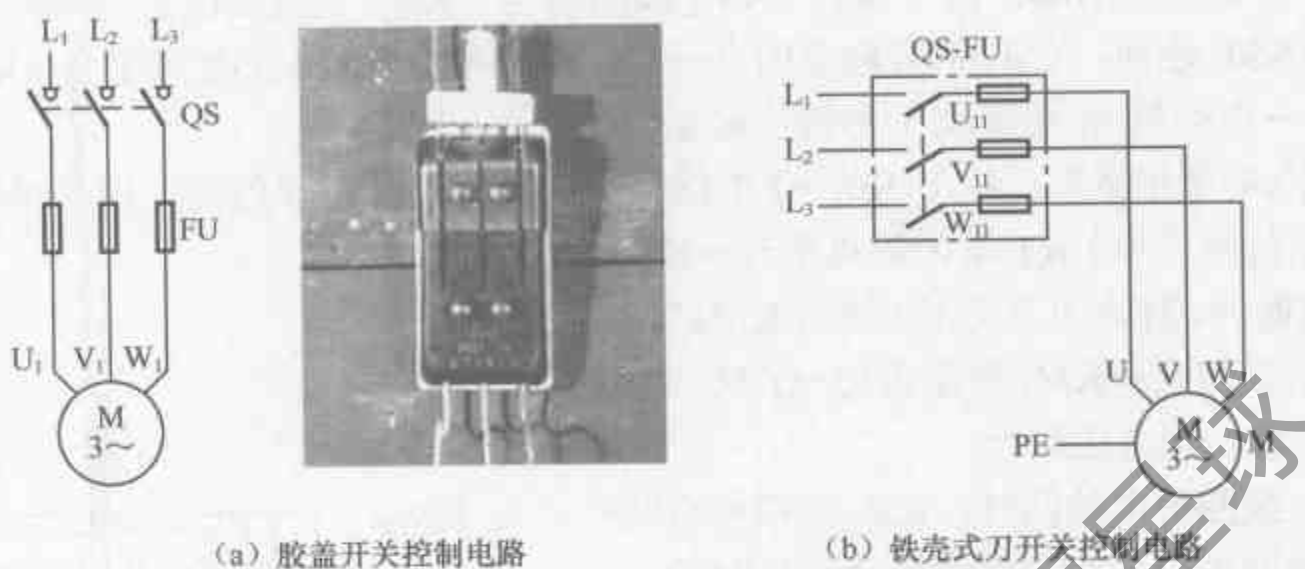


图 5-34 电动机直接启动控制电路

2. 什么是降压启动

降压启动就是在启动时降低定子绕组的电压，启动完毕，再加上额定电压使电动机正常运转。降压启动方式只能用于电动机轻载或空载时的启动。

对于大、中容量的电动机，当其容量超过供电变压器容量的 5% 时，一般应采用降压启动方式。常用的降压启动方法有星形-三角形 (Y- Δ) 降压启动和自耦变压器降压启动两种。

(1) 什么是 Y- Δ 降压启动

Y- Δ 降压启动就是先把定子绕组改接成 Y 形，待电动机转速稳定后再改接成 Δ 形。这种方法只适用于正常工作时定子绕组为 Δ 形连接的电动机。

时间继电器自动控制 Y- Δ 降压启动电路如图 5-35 所示。

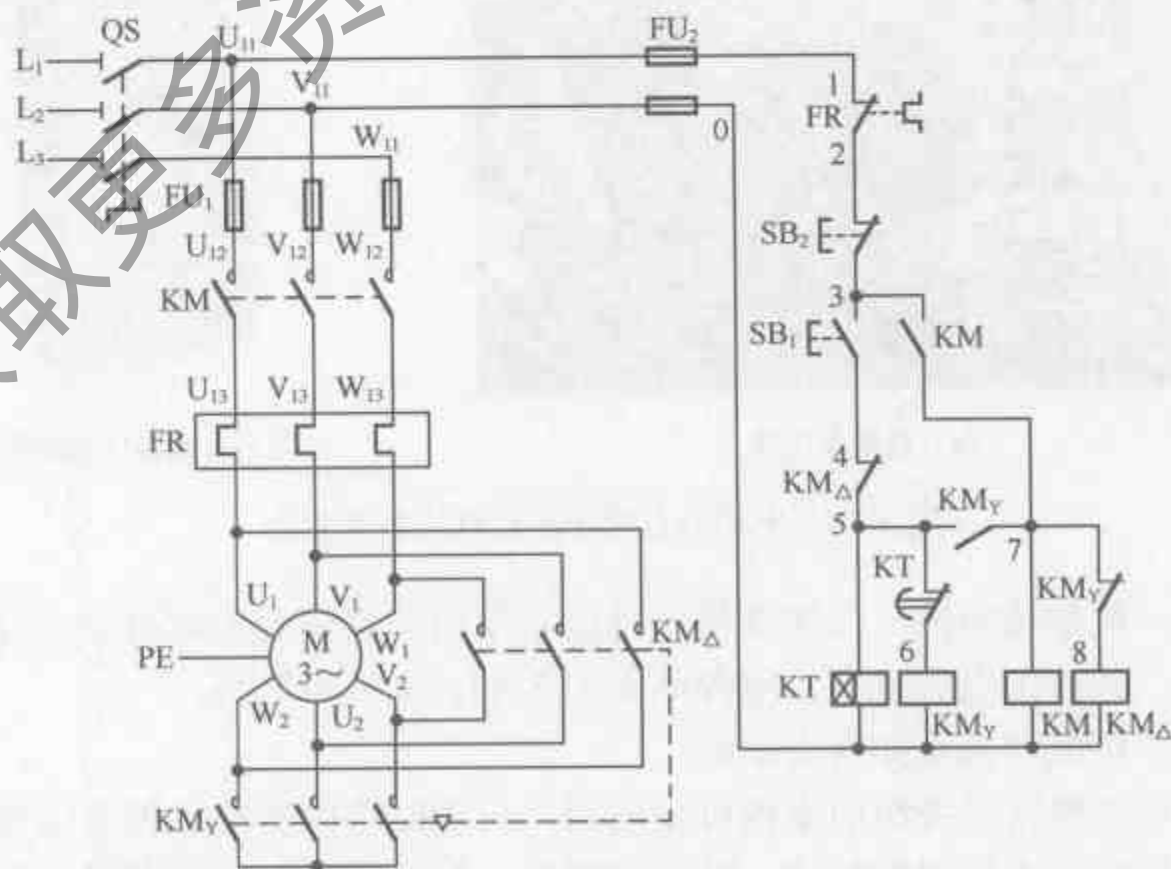


图 5-35 时间继电器自动控制 Y- Δ 降压启动电路

该电路主要由 3 个接触器、1 个热继电器、1 个时间继电器和 2 个按钮组成。时间继电器

KT 用于控制 Y 形降压启动时间和完成 Y- Δ 自动切换。

该电路的工作过程如下。

电动机 Y 形降压启动：按下 $SB_1 \rightarrow KM_Y$ 线圈得电 $\rightarrow KM_Y$ 主触点闭合；同时 KM_Y 连锁触点断开，对 KM_Δ 连锁； KM_Y 常开触点闭合 $\rightarrow KM$ 线圈得电 $\rightarrow KM$ 主触点闭合（ KM 自锁触点闭合自锁） \rightarrow 电动机 M 连接成 Y 形降压启动。

电动机 Δ 形全压运行：按下 $SB_1 \rightarrow KT$ 线圈得电 \rightarrow （通过时间整定，当 M 转速上升到一定值时，KT 延时结束）KT 常闭触点断开 $\rightarrow KM_Y$ 线圈失电 $\rightarrow KM_Y$ 主触点断开，解除 Y 形连接（同时 KM_Y 常开触点断开）； KM_Y 连锁触点闭合 $\rightarrow KM_\Delta$ 线圈得电 $\rightarrow KM_\Delta$ 主触点闭合 \rightarrow 电动机 M 连接成 Δ 形全压运行。

在 KM_Δ 线圈得电的同时， KM_Δ 连锁触点断开，对 KM_Y 连锁（KT 线圈失电，KT 常闭触点瞬时闭合）。

停止：按下 SB_2 即可。

(2) 什么是自耦变压器降压启动

自耦变压器降压启动就是启动电压先经自耦变压器降低，限制启动电流，待电动机转速接近稳定时，再使定子绕组在全压下运行。

图 5-36 所示为自耦变压器降压启动电路，图 5-37 所示为电动机自耦降压启动设备的实物外形。

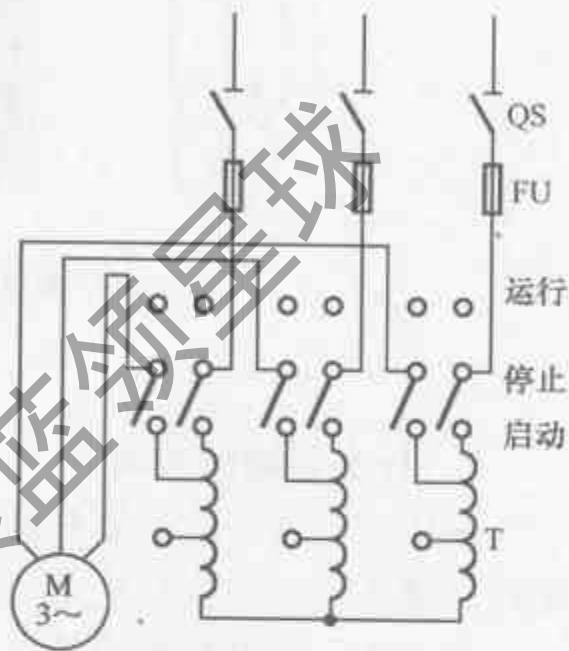
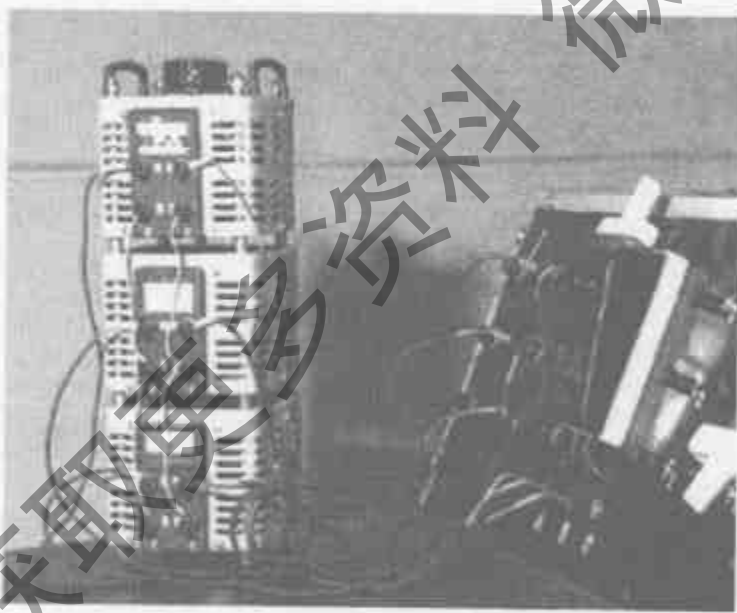


图 5-36 自耦变压器降压启动电路



(a) 自耦变压器



(b) 自耦降压启动柜

图 5-37 电动机自耦降压启动设备外形图

自耦变压器一次侧接电网，二次侧接电动机。常用的自耦变压器有 3 个分接头，用来选择不同的电压比，其输出电压分别为电源电压的 55%、64% 和 73%。

(3) 绕线式异步电动机是如何启动的

绕线式异步电动机转子绕组中串接可变电阻，启动时将可变电阻调至阻值最大位置，随着转速升高，逐步减小变阻器的阻值。转速稳定时，短接变阻器，电动机便正常运行。因变阻器的阻值是渐变的，所以，绕线式异步电动机的启动过程比较平稳。

如图 5-38 所示，每相转子绕组都与三段电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 串联，在启动过程中，用时间

继电器依次将三段电阻切除，其控制电路的工作过程如下。

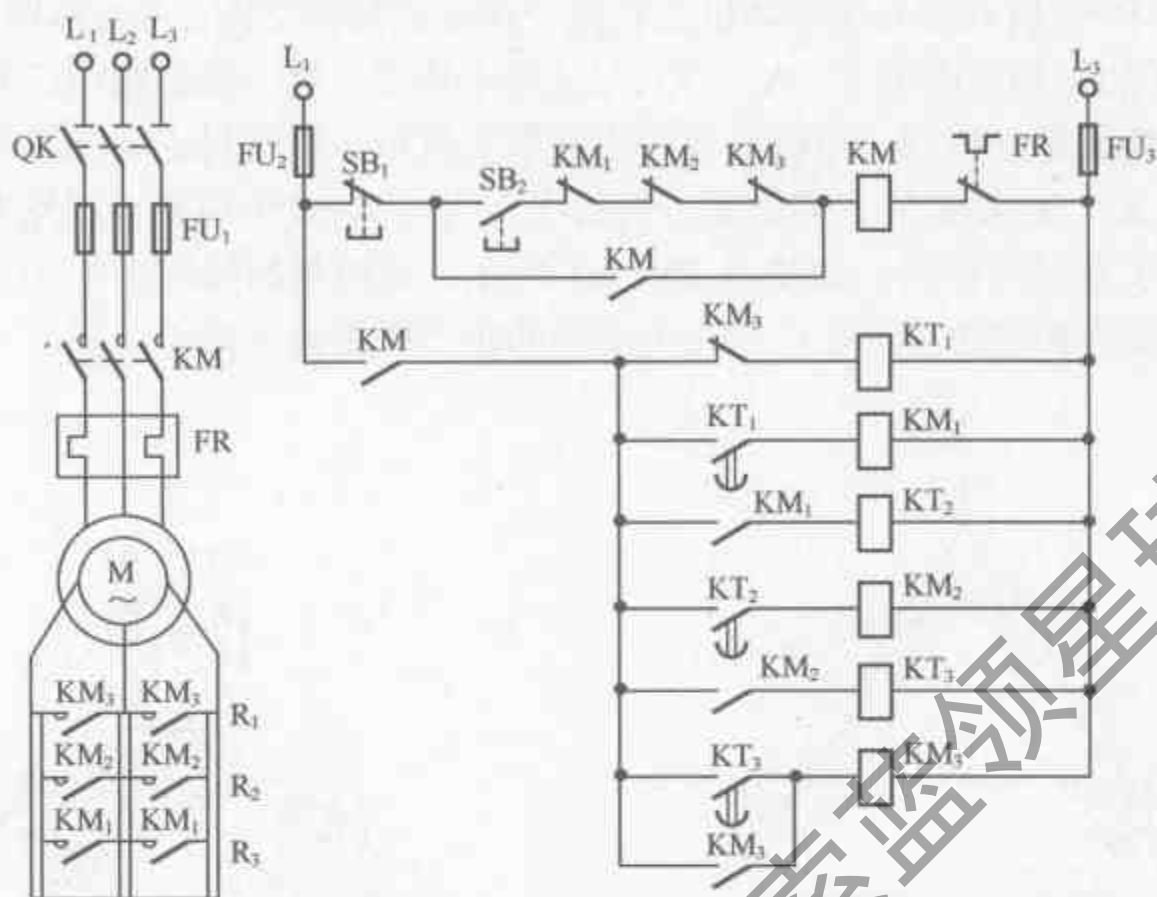


图 5-38 绕线式异步电动机启动控制电路

合上闸刀开关 QK，按启动按钮 SB₂，如果接触器 KM₁、KM₂ 和 KM₃ 的常闭辅助触点都处于闭合状态，则接触器 KM 吸合，电动机接通电源启动。在 KM 线圈电路中串接接触器 KM₁、KM₂、KM₃ 的常闭辅助触点的作用是，保证电动机的转子在外加电阻全部接入的条件下启动。如果接触器 KM₁、KM₂、KM₃ 中的任何一个接触器的触点因焊住或机械故障而没有释放，启动电阻就没有全部接在电路里，启动电流就要超过规定数值。因此，接触器 KM₁、KM₂ 或 KM₃ 的常闭辅助触点没有闭合时，就不允许电动机接通电源启动。

接触器 KM 吸合以后，时间继电器 KT₁ 通电。经过适当延时，KT₁ 常开延时闭合触点闭合，接触器 KM₁ 吸合，切除第一段启动电阻 R₁。KM₁ 吸合后，时间继电器 KT₂ 的线圈通电。经过适当延时，KT₂ 的常开延时闭合触点闭合，接触器 KM₂ 动作，切除第二段启动电阻 R₂。时间继电器 KT₃ 和接触器 KM₃ 的动作情况与上述相同。接触器 KM₃ 吸合后自保持，电动机的启动过程接近结束。接触器 KM₃ 的一个常闭辅助触点断开时间继电器 KT₁ 的线圈，KT₁ 释放，然后 KM₁、KT₂、KM₂、KT₃ 依次释放，只有接触器 KM₃ 保持工作状态，由 KM₃ 的主触点将启动电阻全部短接。

5.3.2 三相异步电动机的调速——转速快慢可变换，速度改变要连贯

运动员在交接接力棒时，往往需要调整速度。三相异步电动机在完成某些工序时也需要改变旋转速度。三相异步电动机的调速方法有变极调速、转子绕组串接电阻调速、变频调速以及 PLC 控制变频调速等。

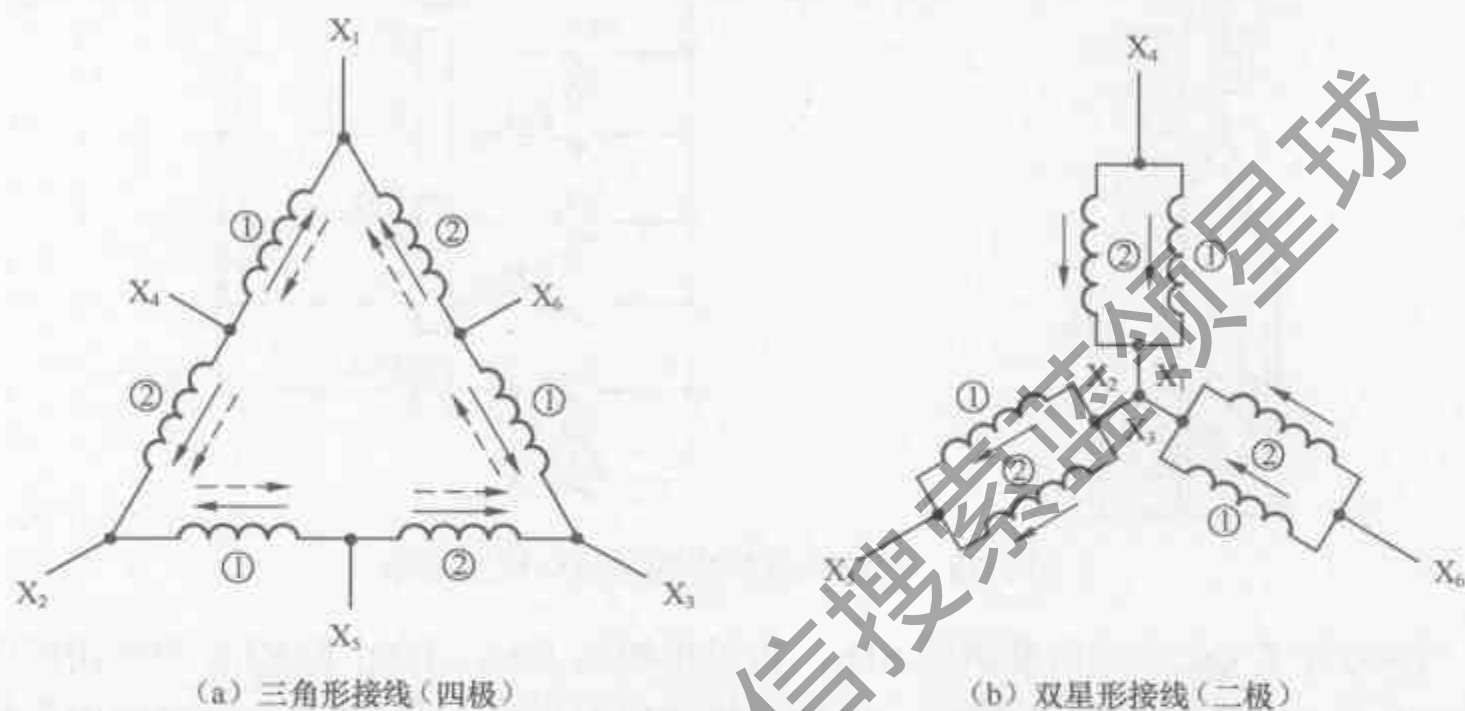
1. 什么是变极调速

改变笼型电动机定子绕组的接法，也就改变了它产生的旋转磁场的磁极对数，转速随之改变。

因定子绕组的磁极对数只能成对改变，所以转速只能一级一级地改变，转速变化不平稳，

是一种有级调速。

图 5-39 为二极/四极双速异步电动机三相定子绕组改接示意图。若按照图 5-39 (a) 连接, X_1 、 X_2 、 X_3 端子加三相交流电源, X_4 、 X_5 、 X_6 端子悬空, 定子绕组接成三角形。此时每相绕组中的①、②线圈相互串联, 电流方向如虚线箭头所示, 电动机定子绕组接线为四极。若在电动机的 X_4 、 X_5 、 X_6 端子加三相电源, 而将 X_1 、 X_2 、 X_3 端子短接, 则原来接成三角形的定子绕组就变成了双星形接线, 如图 5-39 (b) 所示。此时每相绕组中的①、②线圈相互并联, 绕组中的电流方向发生了变化, 于是电动机的定子绕组就变成了二极。



(a) 三角形接线(四极)

(b) 双星形接线(二极)

图 5-39 二极/四极双速异步电动机三相定子绕组改接示意图

图 5-40 所示为定子绕组三角形变双星形双速异步电动机手动调速控制电路。图中接线端子 $X_1 \sim X_6$ 的排列顺序与图 5-39 相同。若刀开关 QK 处于合闸位置, 按启动按钮 SB_2 , 接触器 KM_1 吸合并自锁, 其常闭辅助触点打开, 切断了接触器 KM_2 、 KM_3 回路, 其主触点闭合, 将三相交流电源加至 X_1 、 X_2 、 X_3 端子, 接成三角形的定子绕组获得三相电源, 电动机以低速运行。若要提高电动机的旋转速度, 可按启动按钮 SB_3 , 其常闭触点首先将接触器 KM_1 的线圈回路断开, 然后其常开触点才使接触器 KM_2 、 KM_3 回路相继通电并自锁, 定子绕组接成双星形, 电动机以高速运转。

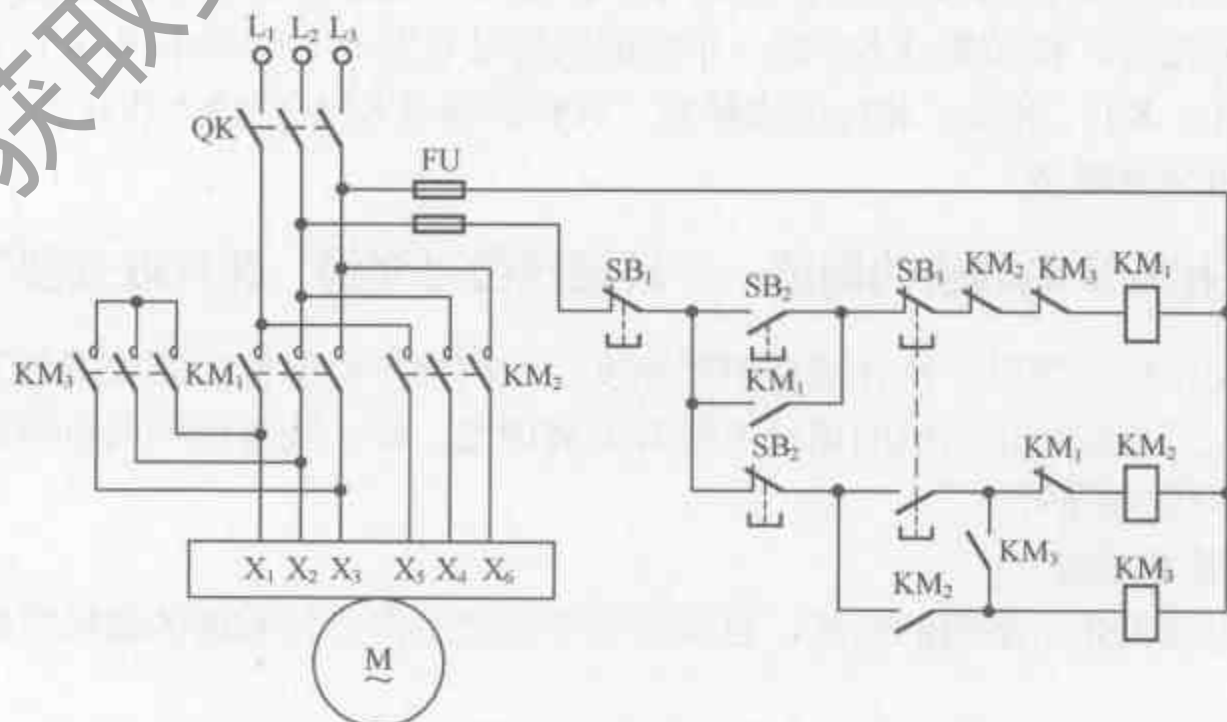


图 5-40 双速异步电动机手动调速控制电路

电动机由低速运行变为高速运行时，换接了两根电源线，即将 X_4 和 X_5 互换了位置，从而保证调速前后电动机的转向不变。

2. 什么是转子绕组串接电阻调速

这种方法只适用于绕线式异步电动机。利用串接电阻调速方式能平滑地调节转速，但消耗的电能较多，不太经济。

绕线式异步电动机改变转子电阻的调速控制，可以由凸轮控制器切换电阻来实现，也可通过主令控制器控制交流接触器顺次接入或切除电阻来实现。

凸轮控制器具有一系列按一定顺序接通或切断的触点，可以切换容量较大的电路，如图 5-41 所示。主令控制器也有一系列按照预定顺序分合的触点，但触点容量较小，只能用在控制电路中，用以控制接触器，由接触器的触点切换电动机转子电路的电阻，如图 5-42 所示。这种改变转子电阻的调速控制方法，在吊车、起重机一类的生产机械上应用得较普遍，一般都兼有电动机可逆运行控制。对于容量较大、启动频繁的设备，采用主令控制器控制；对于容量不太大且启动不太频繁的设备，采用凸轮控制器控制。



(a) 外形图



(b) 内部结构图

图 5-41 凸轮控制器



(a) 外形图



(b) 内部结构图

图 5-42 主令控制器

图 5-43 所示是由凸轮控制器对电动机进行调速的控制电路。该控制电路中的凸轮控制器共有 9 对触点，其中 4 对用于控制电动机的正、反转，另外 5 对用于控制电动机的启动与调速。凸轮控制器的手轮除“0”位外，左右各有 5 个位置，加“.”表示横虚线所对应的触点在竖虚线所示位置时是闭合的。

手轮由“0”位向右转至“1”位时，凸轮控制器的触点 1 和触点 3 闭合，电动机所接电源的相序为 L_1 、 L_2 、 L_3 ，即 A-B-C，电动机正转，此时触点 5~9 均未闭合，所以电动机转子接全部启动电阻。如果手轮由“0”位向左转至“1”位时，触点 2 和 4 闭合，电动机所接电源相序变为 L_1 、 L_3 、 L_2 ，即 A-C-B，电动机反转，此时转子电路也接入全部启动电阻。

当手轮由“1”位继续转到左边或右边的“2”~“5”位时，触点 5~9 依次闭合，启动电阻被逐步短接，最后全部切除。

由异步电动机的机械特性可知，当启动电阻全部接入时，启动转矩最大，满足了启动要求；逐渐减小转子电阻，电动机的转速随之升高，达到了调速的目的。

3. 什么是变频调速

可使用专门的变频设备（见图 5-44）改变电源的变化频率，从而改变转速。变频调速是一种无级调速，调速平滑，是交流电动机调速的发展方向，但成本较高。

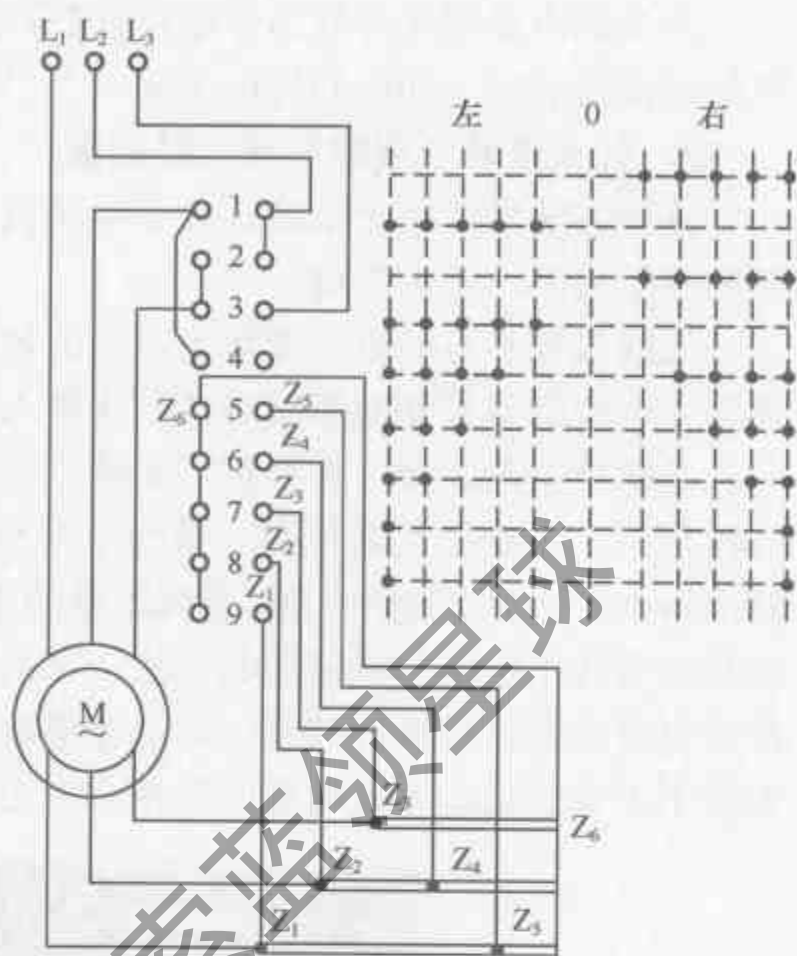


图 5-43 凸轮控制器控制电路



图 5-44 变频电动机和变频调速器

图 5-45 所示为变频调速电动机正转控制电路的一个例子。该电路由主电路和控制电路等组成，主电路包括自动空气开关 QF、交流接触器 KM 的主触点、变频器内置的 AC/DC/AC 转换电路以及三相交流电动机 M 等。控制电路包括控制按钮 SA、SB₁、SB₂，交流接触器 KM 的线圈和辅助触点以及频率给定电路等。

在控制电路中，变频器的过热保护触点用 KF 表示。+10V 电压由变频器 UF 提供；RP 为频率给定信号电位器，通过调节其滑动触点得到频率给定信号。

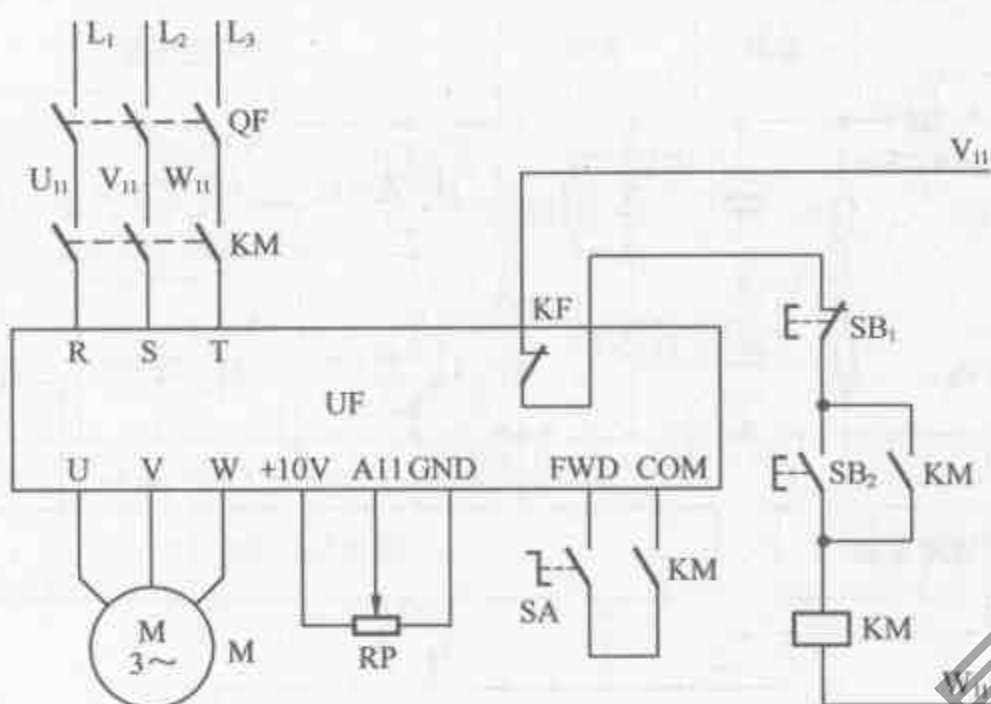


图 5-45 变频调速电动机正转控制电路举例

合上电源开关 QF，电路输入端得电进入备用状态。按下控制按钮 SB₂ 后，电流依次经过 V₁₁→KF→SB₁→SB₂→KM 线圈→W₁₁，接触器的线圈得电吸合，它的一组常开触点闭合自锁，另一组常开触点也闭合，为操作 SA 按钮做好准备。同时，接触器的主触点闭合，变频器进入热备用状态。

操作旋转开关 SA，变频器启动运行，电动机工作在变频调速状态下。变频器可按厂方设定的参数值运行，也可按用户给定的参数条件运行。

知识链接

变频器简介

变频器具有节约能源、提高电路控制质量、易于调速等特点，正在被越来越多的用户所接受。变频调速是变频器应用于交流电动机控制的重要组成部分，它是在交流电动机变极调速、串阻调速、串级调速、调压调速、电磁调速、液力调速等基础上发展起来的新型调速技术。变频调速技术是利用电动机的同步转速随频率变化的特性，通过改变电动机的工作电源频率进行调速的方法。

变频器的原理框图如图 5-46 所示。变频器由主电路和控制电路两大部分组成。主电路包括二极管整流模块、滤波器（电容器）、制动器以及 IGBT（绝缘栅双极型晶体管）逆变器等。控制电路包括单片机系统、驱动保护电路、故障信号检测电路以及操作与显示电路等。

4. 什么是 PLC 控制变频调速

可编程控制器（PLC）是一种把数字运算与控制操作融为一体的电子控制系统，专为工业环境下应用而设计。它采用可编程存储器，在其内部存储程序，执行逻辑控制、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作指令，并通过数字式输入/输出控制各种类型的机械或生产过程。

如图 5-47 所示，PLC 控制变频调速电动机正转电路由主电路和控制电路两部分组成。主电路包括电源开关 QF、交流接触器 KM 的主触点、变频器内置的 AC/DC/AC 转换电路以及三相交流电动机 M 等。控制电路包括 PLC，控制按钮 SB₁~SB₃、SA₁、SA₂，交流接触器 KM 的线圈以及信号指示灯 HL₁~HL₃ 等。

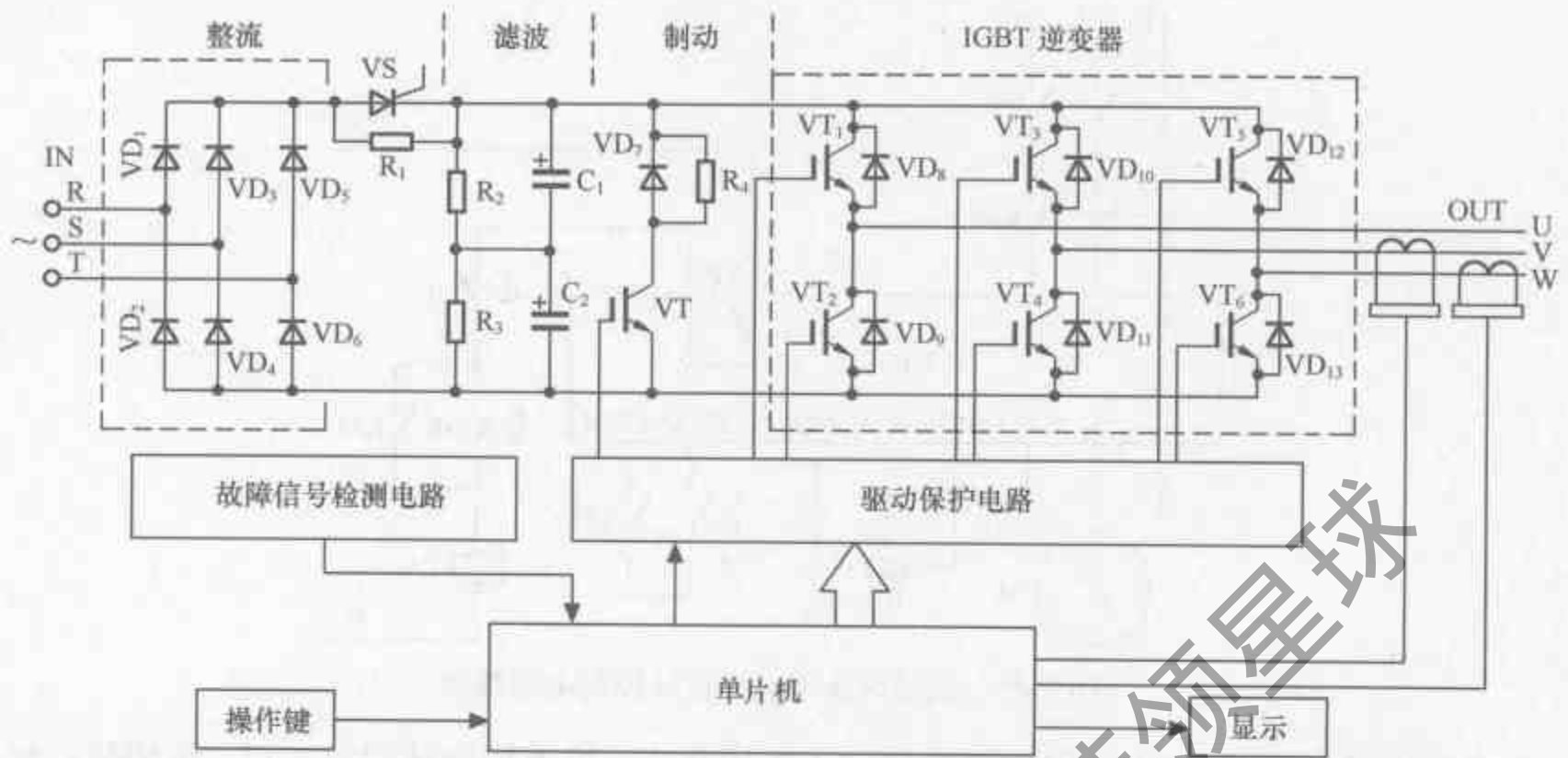


图 5-46 变频器原理框图

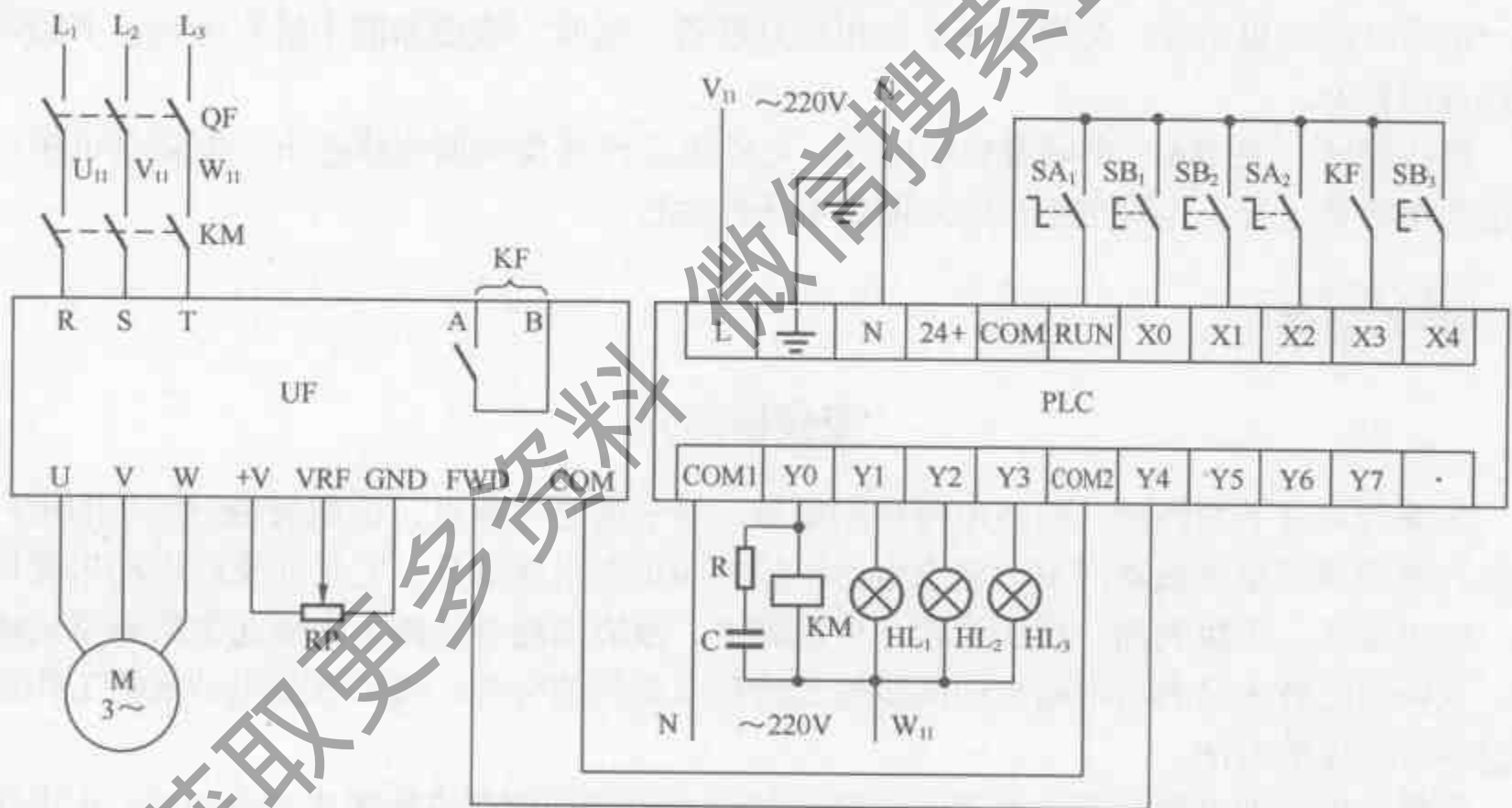


图 5-47 PLC 控制变频调速电动机正转电路

启动过程：合上 SA₁，按下启动开关 SB₁，X₀ 动作，Y₀ 动作并自锁，接触器 KM 动作，变频器输入端 R、S、T 得电。Y₀ 的“辅助”接点闭合，Y₁ 动作，HL₁ 点亮，Y₀ 的另一个“辅助”接点也闭合。合上 SA₂，X₂ 动作，Y₂ 也动作，HL₂ 点亮。与此同时，Y₄ 动作，变频器的 FWD 端与 COM 端接通，电动机正向运转。

停机过程：断开 SA₂，按下停止开关 SB₂，X₁ 动作，Y₀ 动作，接触器 KM 释放，变频器输入端失电，电动机停止运行。如果开关 SA₂ 接通，则说明变频器在工作，不能断电。

过载保护：如果电动机运行过程中变频器保护动作，则 X₃ 得到信号并动作，Y₀ 复位，接触器 KM 的线圈失电复位，变频器断电，HL₃ 点亮发出报警信号。经处理后按下 SB₃，变频器复位。

知识链接

PLC 与继电器控制电路的区别

PLC 与继电器控制电路的区别主要有以下几点,即组成器件不同、接点结构不同、工作电流不同、接线方式不同、工作方式不同以及组合模式不同。

① 组成器件不同。继电器控制电路中的继电器是由电磁铁、线圈以及有形接点等硬件构成的,而 PLC 中的继电器是由虚拟的软线圈、软接点等构成的。

② 接点结构不同。继电器控制电路中的常开、常闭接点是由实际的有形接点构成的,而 PLC 中的常开、常闭接点则由软件决定。继电器控制电路中每只继电器的接点数量是有限的,而 PLC 中每只软继电器的接点数量是无限的。在继电器控制电路中继电器的接点寿命是有限的,而 PLC 中软继电器的接点寿命是无限的。

③ 工作电流不同。继电器控制电路中有实际电流存在,可以用电流表直接测量;而 PLC 中的工作电流是一种信息流,称为“软电流”,简称“能流”,能流只能从左到右流动。

④ 接线方式不同。继电器控制电路图中的所有接线都必须逐根连接,缺一不可;而在 PLC 中,除输入、输出端需要实际接线外,内部的所有软接线都是通过软件完成的。内部软接线的改变通过修改控制程序来完成。

⑤ 工作方式不同。继电器控制电路中的电源接通时,各继电器都处于受约束状态,该吸合的会吸合,不该吸合的因受某种条件限制而不吸合;而 PLC 则采用扫描循环执行的方式,即从前到后执行,周而复始,因此,从激励到响应有一个时间滞后。一般来说,最大滞后时间为 2~3 个扫描周期。

⑥ 组合模式不同。一只电磁继电器能直接完成某一项控制任务;而 PLC 要完成某一项控制任务时,必须有输入继电器、输出继电器和应用程序共同参与。

5.3.3 三相异步电动机的制动——快速停转靠制动,机械电力都可用

在技术上,让电动机断开电源后迅速停止的方法叫做制动,俗称刹车,如图 5-48 所示。制动好比运动员冲刺终点线后就得慢慢停止跑步一样。使电动机制动的方法有多种,应用广泛的有机械制动和电力制动两类。

1. 机械制动

所谓机械制动是指利用机械装置使电动机切断电源后立即停转。目前广泛使用的机械制动装置是电磁抱闸,其主要工作部分是电磁铁和闸瓦制动器。电磁铁由电磁线圈、静铁芯和衔铁组成,如图 5-49 所示;闸瓦制动器由闸瓦、闸轮、弹簧和杠杆等组成,如图 5-50 所示。其中,闸轮与电动机转轴相连,闸瓦对

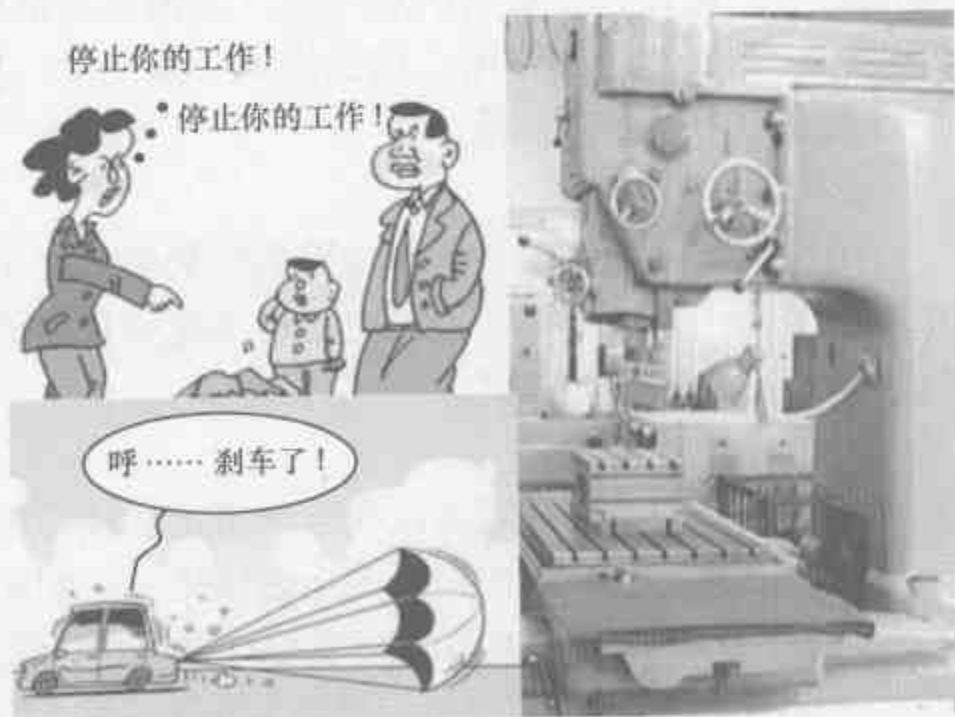


图 5-48 异步电动机制动示意图

闸轮制动力矩的大小可通过调整弹簧作用力来改变。

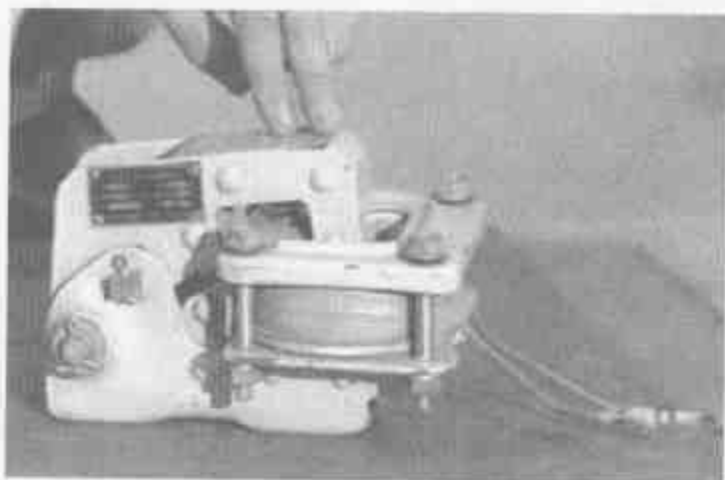


图 5-49 电磁铁的组成



图 5-50 闸瓦制动器的组成

电磁抱闸控制电路如图 5-51 所示。若需电动机启动运行，先合上电源开关，再按下启动按钮 SB_2 ，接触器线圈 KM (4-5) 通电，其主触点与自锁触点同时闭合，在向电动机绕组供电的同时，电磁抱闸线圈也通电，电磁铁产生磁场力吸合衔铁，衔铁克服弹簧的作用力，带动制动杠杆动作，推动闸瓦松开闸轮，电动机立即启动运转。

要停车制动时，只需按下停车按钮 SB_1 ，分断接触器 KM 的控制电路， KM 线圈断电，释放主触点，分断主电路，使电动机绕组和电磁抱闸线圈同时断电。电动机断电后在凭惯性运转的同时，电磁铁线圈因断电释放衔铁，弹簧的作用力使闸瓦紧紧抱住闸轮，闸瓦与闸轮之间强大的摩擦力使电动机立即停止转动。

电磁抱闸制动的优点是：通电时松开制动装置，断电时起制动作用。如果运行中突然停电或电路发生故障使电动机绕组断电，闸瓦能立即抱紧闸轮，使电动机处于制动状态，生产机械亦立即停止动作，不会因停电而造成损失。例如起吊重物的卷扬机，当把重物吊到一定高度时，如突然遇到停电，电磁抱闸立即制动，使重物被悬挂在空中而不致掉落。

2. 电力制动

电动机需要制动时，通过电路的转换或改变供电条件，使其产生跟实际运转方向相反的电磁转矩——制动转矩，迫使电动机迅速停止转动的制动方式叫做电力制动。电力制动有反接制动和能耗制动等方式。

(1) 反接制动

反接制动的方法是通过改变电动机定子绕组中三相电源的相序，使定子绕组中的旋转磁场反向，产生与原来转向相反的电磁转矩——制动力矩，使电动机迅速停转。

如图 5-52 所示，在电动机启动运行时，其动触点与上面的 3 个静触点接触，电动机正向运转。如需电动机停转，将动触点拉离上方静触点，切断电源即可。若要制动，使动触点与下方的 3 个静触点闭合，电动机绕组端头 U 、 V 、 W 由依次接电源相线 L_1 、 L_2 、 L_3 调为依次接 L_2 、 L_1 、

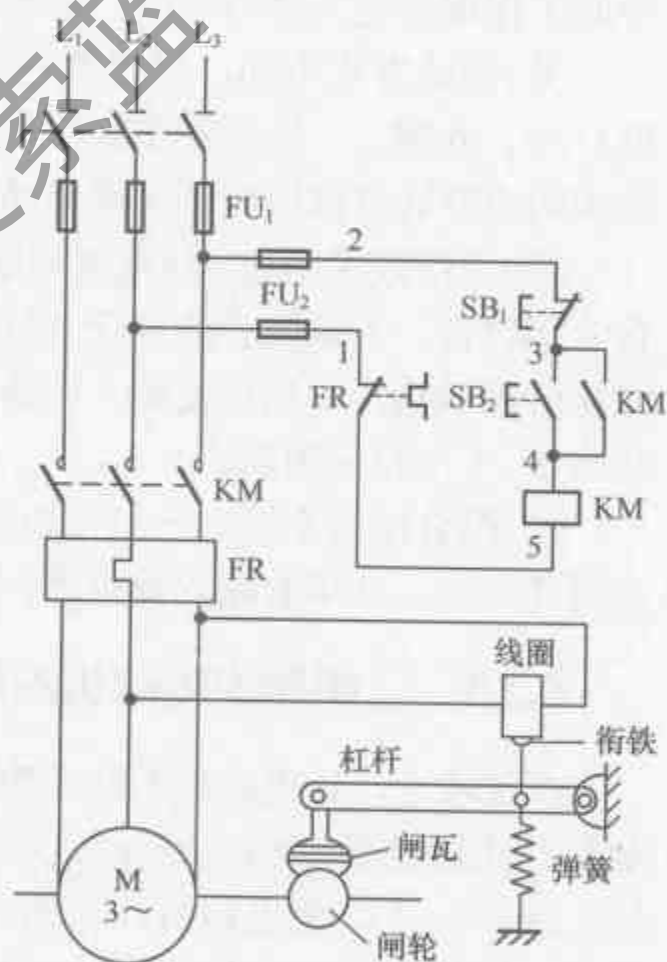


图 5-51 电磁抱闸控制电路

L_3 。电源相序的改变使定子绕组旋转磁场反向,在转子上产生的电磁转矩与原转矩方向相反。这个反向转矩即可使电动机的惯性转速迅速减小而使电动机停止。当转速为零时,应及时切断反转电源,否则电动机将反转。所以,在反接制动中,应采用保证在电动机转速接近于零时能自动切断电源的装置,以防止反转的发生。在反接制动技术中,多采用速度继电器来配合实现这一目的。

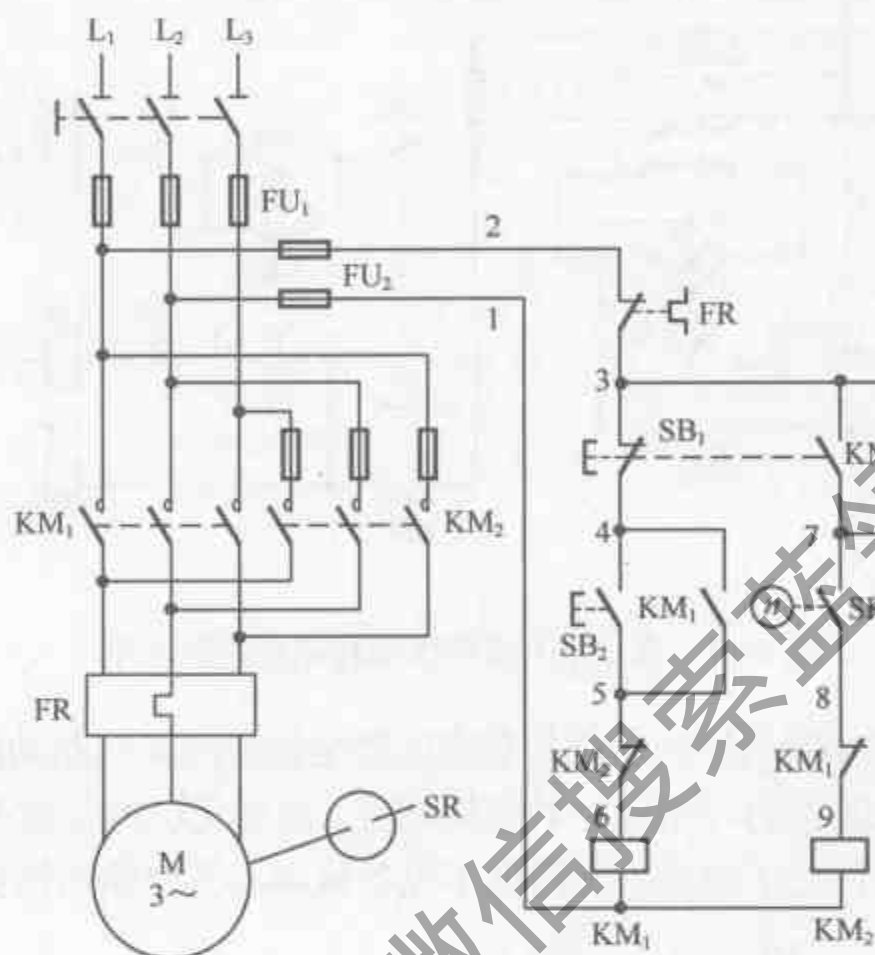


图 5-52 反接制动控制电路

速度继电器的转子与被控制电动机的转子装在同一根转轴上,其常开触点串联在电动机控制电路中,与接触器等配合完成反接制动。在图 5-52 所示电路中,速度继电器的作用是反映电动机转速快慢并对其进行反接制动。主电路中串入限流电阻,用以限制电动机在制动过程中产生的强大电流,因为制动电流可达额定电流的 10 倍,容易烧坏电动机绕组。

该控制电路由两条回路组成:一条是以 KM_1 线圈为主的正转接触器控制电路,它的作用是控制电动机启动运行,带动生产机械做功;另一条回路是以 KM_2 线圈为主的反接制动控制电路,它的作用是需要电动机停止时,切换电源相序,完成反接制动。

(2) 能耗制动

能耗制动是在切断电动机三相电源的同时,从任意两相定子绕组中输入直流电流,以获得大小和方向不变的恒定磁场,从而产生一个与电动机原转矩方向相反的电磁转矩以实现制动。因为这种方式是用直流磁场来消耗转子动能实现制动,所以又叫动能制动或直流制动。

能耗制动时间的控制由时间继电器来完成。变压器全波整流能耗制动控制电路如图 5-53 所示,其制动控制过程如下。

按动 SB_2 , KM_1 得电且自保持,电动机运转。

欲使电动机停转,可以按下 SB_1 , KM_1 失电,同时 KM_2 得电,然后 KT 得电, KM_2 的主触点闭合,经整流后的直流电压通过限流电阻 R 加到电动机的两相绕组上,使电动机制动。制动结束,时间继电器 KT 的延时触点动作,使 KM_2 与 KT 线圈相继失电,整个线路停止工作,电动机停转。

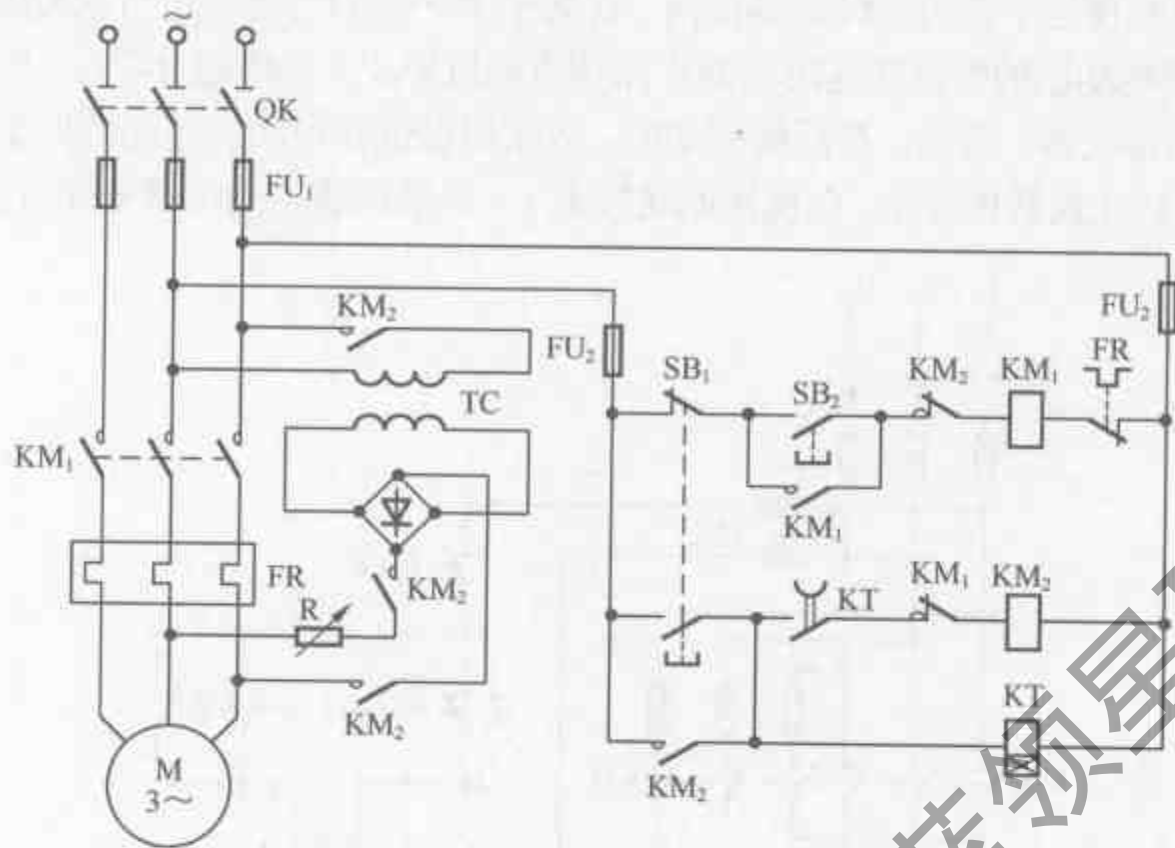


图 5-53 变压器全波整流能耗制动控制电路

无变压器半波整流能耗制动控制电路与有变压器全波整流能耗制动控制电路相比，省去了变压器，直接利用三相电源中的一相进行半波整流后，向电动机的任意两相绕组中输入直流电流作为制动电流，这样既简化了电路，又降低了设备成本。其电路结构如图 5-54 所示。

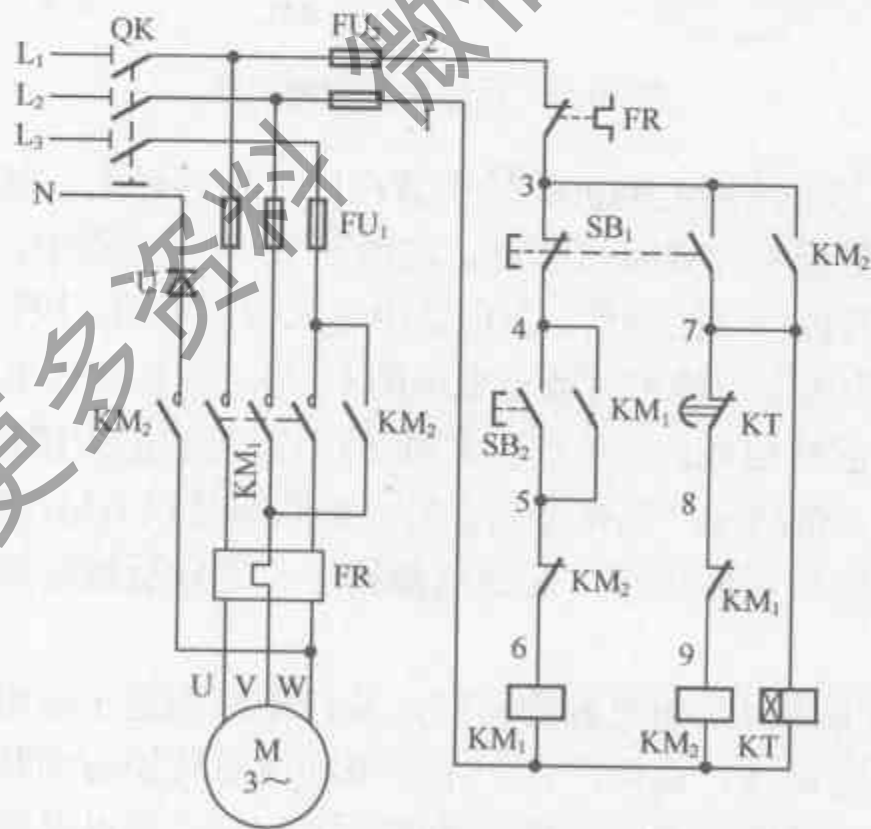


图 5-54 无变压器半波整流能耗制动控制电路

关于三相异步电动机，下列说法是否正确。

- ① 三相异步电动机中，定子不可动，转子是可动的。
- ② 可以通过三相异步电动机壳外的接线盒来改变三相定子绕组的接法。
- ③ 三相异步电动机的转向与旋转磁场的转向是相反的。
- ④ 相序改变，三相异步电动机的转向也随之改变。

提示：①、②、④的说法正确，③的说法错误。





电动机的种类

电动机是把电能转化为机械能的设备,其种类很多,见表5-11。按其功能可分为驱动电动机和控制电动机;按电能种类分为直流电动机和交流电动机;从电动机的转速与电网频率之间的关系来分类,可分为同步电动机与异步电动机;按电源相数来分类,可分为单相电动机和三相电动机;按防护形式可分为开启式、防护式、封闭式、隔爆式、防水式和潜水式;按安装结构形式可分为卧式、立式、带底脚、带凸缘等;按绝缘等级可分为E级、B级、F级、H级等。

表5-11

电动机的种类

电动机种类		主要性能特点		典型生产机械举例	
交流电动机	三相异步电动机	笼式	普通笼式	机械特性硬,启动转矩不大,调速时需要调速设备	调速性能要求不高的各种机床、水泵、通风机等
			高启动转矩	启动转矩大	带冲击性负载的机械,如剪床、冲床、锻压机;静止负载或惯性负载较大的机械,如压缩机、粉碎机、小型起重机等
			多速	有2~4挡转速	要求有级调速的机床、电梯、冷却塔
	绕线式	机械特性硬(转子串电阻后变软),启动转矩大,调速方法多,调速性能及启动性能较好	要求有一定调速范围、调速性能较好的生产机械,如桥式起重机;启动、制动频繁且对启动、制动转矩要求高的生产机械,如起重机、矿井提升机、压缩机、不可逆轧钢机等		
同步电动机		转速不随负载变化,功率因数可调节	转速恒定的大功率生产机械,如大中型鼓风及排风机、泵、压缩机、连续式轧钢机、球磨机等		
直流电动机	他励、并励		机械特性硬,启动转矩大,调速范围宽,平滑性好	调速性能要求高的生产机械,如大型机床(车床、铣床、刨床、磨床、镗床)、高精度车床、可逆轧钢机、造纸机、印刷机等	
	串励		机械特性软,启动转矩大,过载能力强,调速方便	要求启动转矩大、启动特性软的机械,如电车、电气机车、起重机、卷扬机、吊车、电梯等	
	复励		机械特性硬度适中,启动转矩大,调速方便		

第6章 变压器及其应用

——电力火炬传递手

变压器是利用电磁感应变换电压、传递电能的电磁装置。在电子系统中，变压器既可以变换电压，也可以进行电流变换、信号耦合及阻抗匹配。在电力系统中，广泛使用变压器来得到各种所需的电压。变压器的种类很多，根据用途可分为电力变压器、控制变压器、电源变压器、自耦变压器、调压变压器和耦合变压器等；根据结构可分为芯式变压器和壳式变压器；根据电源相数可分为单相变压器和三相变压器；根据电压升降可分为升压变压器和降压变压器；根据电压频率可分为工频变压器、音频变压器、中频变压器和高压变压器等。

变压器无论大小，无论属于何种类型，其工作原理都是一样的。本章主要讲述小型单相变压器和特殊变压器，适当介绍三相变压器。

通过本章的学习，要求达到以下目标。

知识目标

- ① 掌握单相变压器和电焊机变压器的基本构造。
- ② 理解单相变压器和电焊机变压器的基本工作原理。

能力目标

- ① 学会单相变压器绕组的判别方法。
- ② 能够绕制小型单相变压器。
- ③ 熟悉电力变压器的安装方法和步骤。

6.1 变压器的结构及工作原理

——线圈同芯

6.1.1 变压器的结构——附件铁芯和线圈，电磁联姻把手牵

单相变压器主要由铁磁材料构成的铁芯和绕在铁芯上的两个或几个线圈组成，三相变压器还有油箱和其他附件。

1. 单相变压器的结构

(1) 铁芯

铁芯是变压器磁通闭合的路径，又是绕组的支撑骨架。铁芯由芯柱和铁轭两部分组成。芯柱上套装绕组，连接芯柱以构成闭合磁路的部分是铁轭。为提高铁芯的导磁性能，减小磁滞损耗和涡流损耗，铁芯大多采用厚度为 0.35mm、表面涂有绝缘漆的热轧硅钢片或冷轧硅钢片叠装而成。

单相变压器的铁芯有芯式和壳式两种，绕组包围铁芯的变压器称为芯式变压器，铁芯包围绕组的称为壳式变压器，如图 6-1 (a)、(b) 所示。壳式结构多用于小型变压器，如收音机的电源变压器。

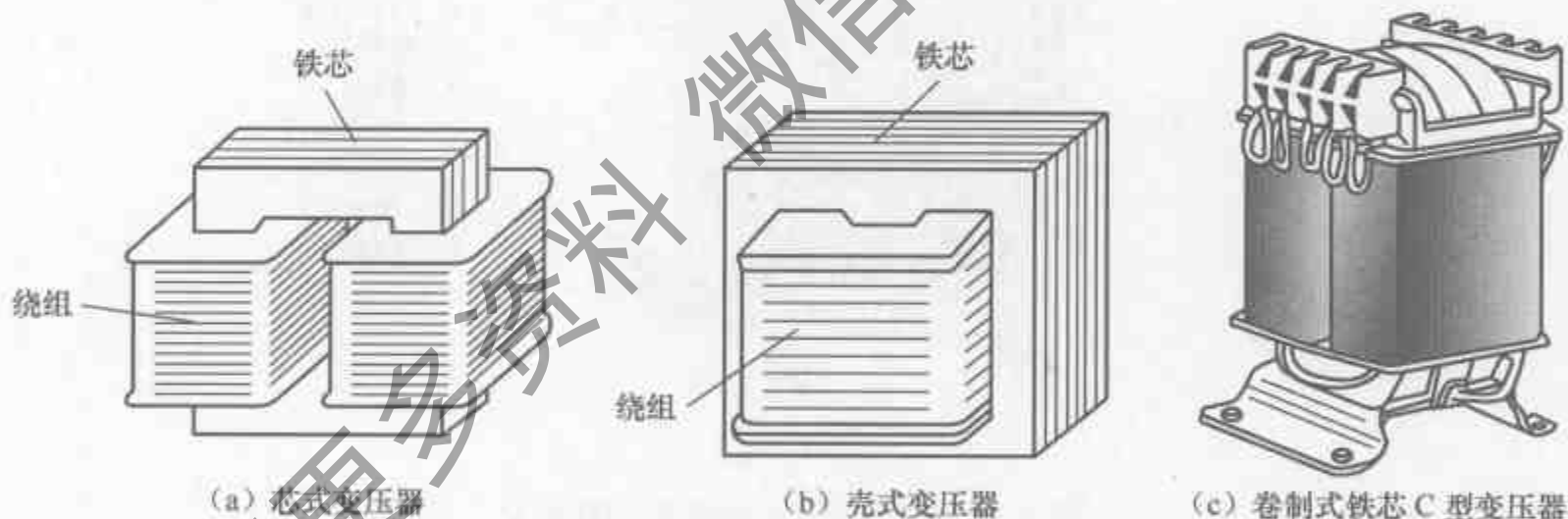


图 6-1 单相变压器的结构

根据制作工艺，变压器铁芯可分为叠片式铁芯和卷制式铁芯两种。图 6-1 (c) 所示为卷制式铁芯 C 型变压器。

铁芯的装叠方式有叠装和对装两种。多数变压器采用叠装式铁芯。如图 6-2 所示，将硅钢片裁成矩形条，在装叠时，铁柱和铁轭一层层地交错重叠，上层和下层的接缝互相错开，使铁柱和铁轭间的气隙大为减小。铁芯叠成后，用有绝缘套管的螺栓夹紧。小容量的变压器铁芯用 E 形或 F 形硅钢片叠成，如图 6-3 所示。

对装式铁芯是将铁柱和铁轭分别用硅钢片叠成之后再对装起来，因此装配铁芯和安装绕组都很方便，但气隙较大，故不常采用。

(2) 绕组

绕组是变压器的电路部分，常用绝缘铜线（漆包线）绕制而成。在单相变压器中，与输入交流电源相接的线圈叫做原边线圈或一次绕组，与负载相接的线圈叫做副边线圈或二次绕组。

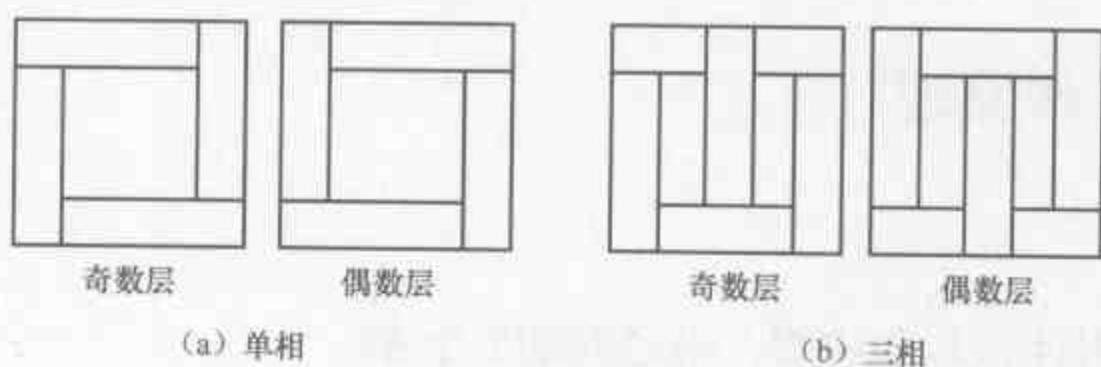


图 6-2 变压器铁芯的叠装

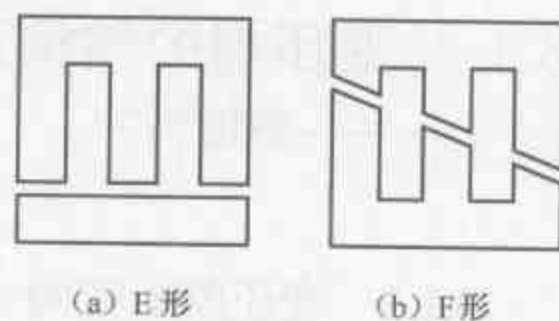


图 6-3 E形和F形硅钢片

2. 电力变压器的结构

电力变压器主要由铁芯、绕组、油箱及其他附件等组成。在生产及生活中，最常用的是10~35kV三相油浸电力变压器，其外形如图6-4所示，内部结构如图6-5所示。

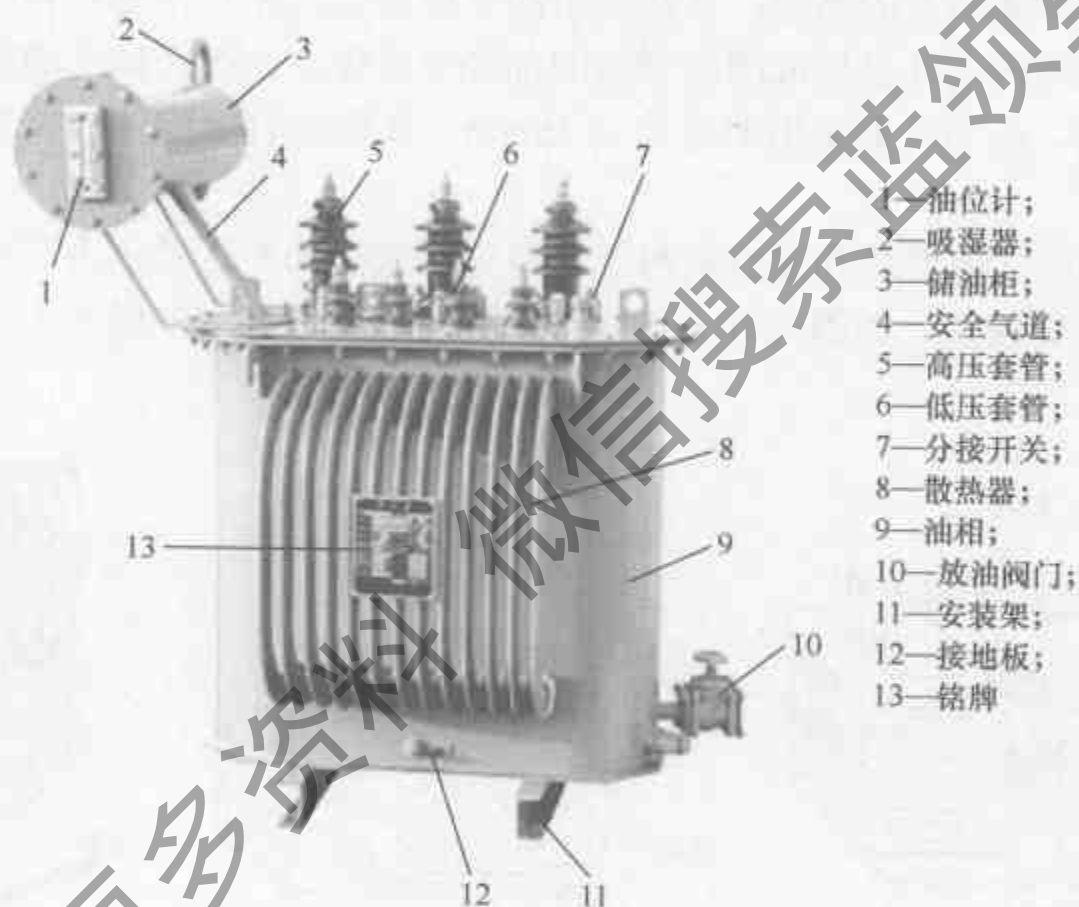


图 6-4 三相油浸电力变压器的外形

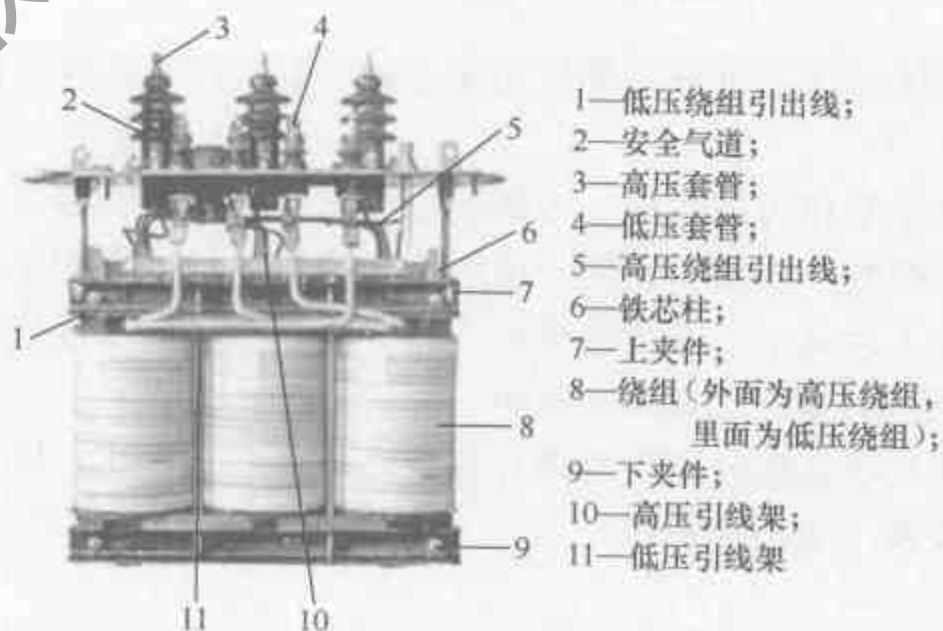


图 6-5 三相油浸电力变压器的内部结构

(1) 铁芯

我国目前生产的电力变压器铁芯一般采用 Q10 优质冷轧硅钢片，用全斜接缝交叠方式叠装，上层和下层叠片的接缝错开，如图 6-6 所示。采用斜接缝，可降低铁柱到铁轭拐弯处的附加损耗。

(2) 绕组

绕组是变压器中电的通路，如图 6-7 所示。绕组一般用铜质或铝质的圆形或矩形截面的导线（外涂聚酯漆或包电缆纸）绕制而成。在电力变压器中，工作电压高的绕组称为高压绕组，工作电压低的绕组称为低压绕组。



图 6-6 电力变压器铁芯

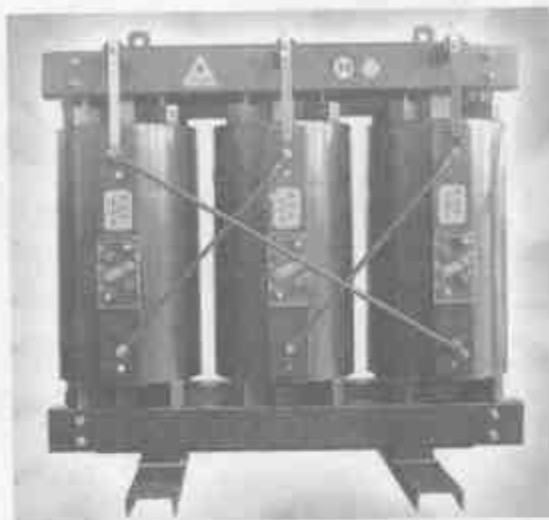


图 6-7 三相变压器的绕组

电力变压器高、低压绕组的排列方式常采用同心式，低压绕组靠近铁芯，高压绕组套在其外面。在铁芯、低压绕组和高压绕组之间都留有一定的绝缘间隙和散热油道，并用绝缘筒隔开。低压绕组由于导线截面积大、根数多，一般采用螺旋形方式绕制；高压绕组多采用连续式绕制方式。对用于低电压、大电流的变压器（如电炉变压器等），高、低压绕组的排列方式为交叠式，即高、低压绕组互相套叠放置。交叠式绕组的机械强度高，引出线的布置和焊接都比较方便，漏抗也较小。

同心式绕组按其绕制方法不同，可分为圆筒式、连续式、螺旋式和纠结式，如图 6-8 所示。

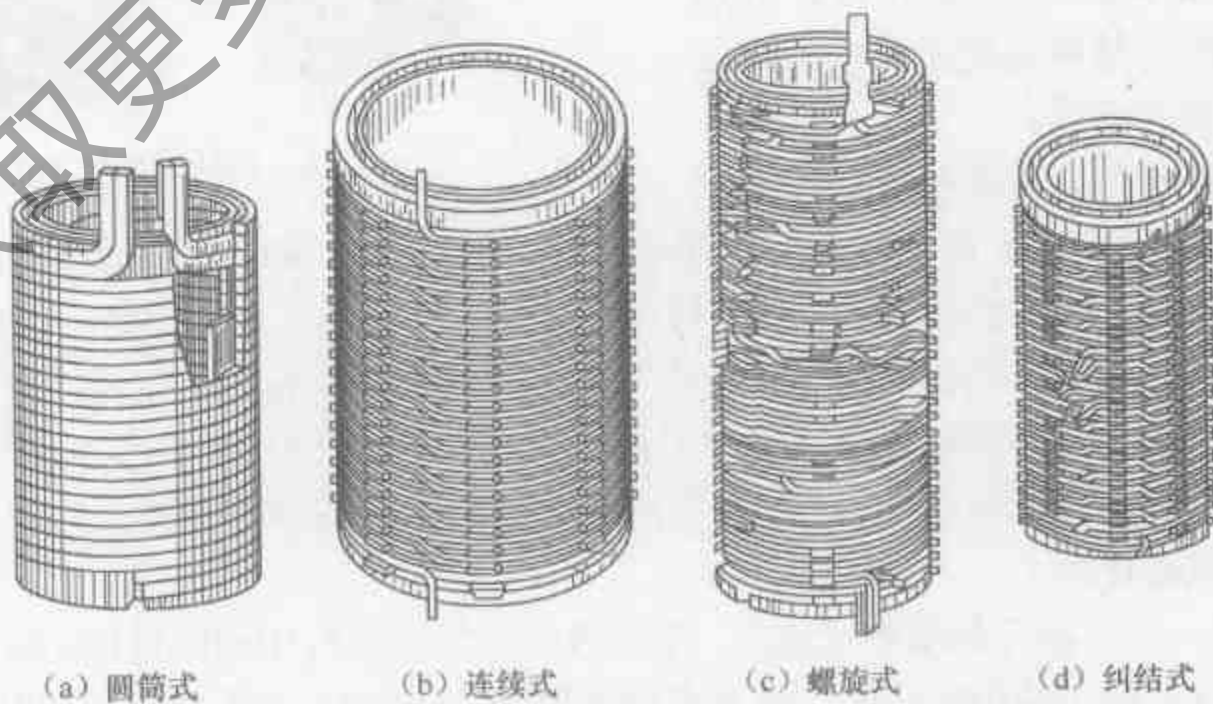


图 6-8 同心式绕组的几种绕制形式

(3) 油箱

油箱是变压器的外壳，由钢板焊成，用来盛装器身（包括铁芯和绕组）和变压器油。变

压器油起着绝缘和散热作用。为了加强冷却效果,在油箱四周装有扁管散热器或波纹片散热器,如图6-9所示。

变压器内的热油进入散热器的上部,经散热管散热冷却后,油的温度下降,密度增加,油向下沉降,新的热油又补充到散热管上部,形成油的自然循环,不断地把绕组和铁芯产生的热量有效带走。为了更好地把热量散发到空气中去,容量大的变压器在散热器底部装有冷却风扇,对散热器的上部进行风冷,加快了散热器上部油的冷却,也加快了油的自然循环速度。

变压器油按凝固点的不同,分为10号、25号和45号油。号数表示该种油开始凝固的零下温度值。由于变压器油凝固后不能循环对流,所以,在选用变压器油时,要考虑其使用地点的最低温度。

(4) 其他附件

① 储油柜。储油柜又称油枕,它水平安装在油箱盖上,通过弯曲连管与油箱连接。油枕的容积一般为变压器装油量的8%~10%。

储油柜的作用是使变压器油与外界空气接触的面积减小,减缓变压器油受潮和氧化变质的速度。对于大容量变压器,为防止变压器油与空气接触而氧化、受潮,在油枕中装设尼龙橡胶隔膜袋。当油箱内的油因温度升高而体积膨胀时,油枕内的油面上升,压缩隔膜袋向外排气;反之,油枕内的油面下降时,外面的空气只进入隔膜袋内,而不与变压器油相接触。在油枕的底部还装有一个用橡胶薄膜制成的油袋,用来把油枕与油位计的油分开。如果采用充氮保护,要在变压器外部再装设气囊,以满足吸气和排气的要求。

油枕的一端装有玻璃油位指示计(即油标),如图6-10所示。油标旁边有 -30°C 、 $+20^{\circ}\text{C}$ 和 $+40^{\circ}\text{C}$ 三条刻度线,分别表示当环境温度为这些温度时相应的油面高度,作为注油的标准。

② 吸湿器。有的变压器把吸湿器装在油枕下部,如图6-11(a)所示;有的装在油枕的一端,如图6-11(b)所示。油枕通过吸湿器与外界空气连通,故又称呼吸器,其内部装满吸潮剂(硅胶),以吸收进入油枕内的空气中的水分。呼吸器下端有一个油封装置,使空气不能直接进入油枕内,以减缓变压器油受潮和氧化的速度。硅胶吸潮后颜色由蓝(或白)色变为淡红色,此时表明硅胶已失去吸潮能力,需及时更换新硅胶。变色后的硅胶在 140°C 高温下烘焙8h,使水分蒸发后,又会还原成蓝色(或白色),可重新使用。

③ 净油器。净油器又称温差过滤器,用来改善变压器运行中油的性能,防止变压器油继续氧化。净油器安装在油箱的一侧,内部充满吸附剂(硅胶)。变压器在运行时,由于上、下层油间有温差,变压器油将从上向下经过净油器形成对流,油和硅胶接触后,其中的水分、杂质、酸和氧化物等就会被吸附剂吸收,从而使油质保持纯净,延长变压器油的运行周期。一般5000kVA以上的油浸式变压器就装有这种运行中油的再生装置,装置的投入时间应根据

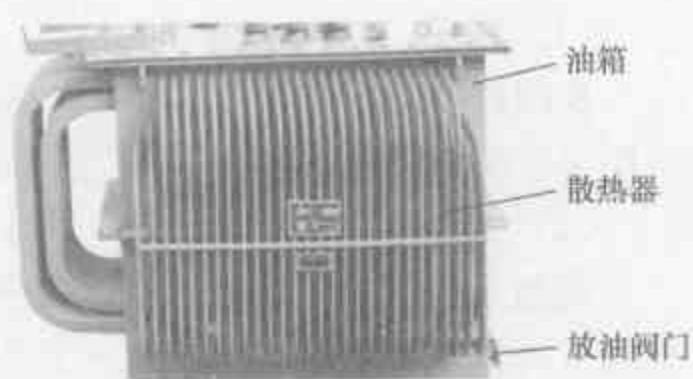


图 6-9 电力变压器的油箱

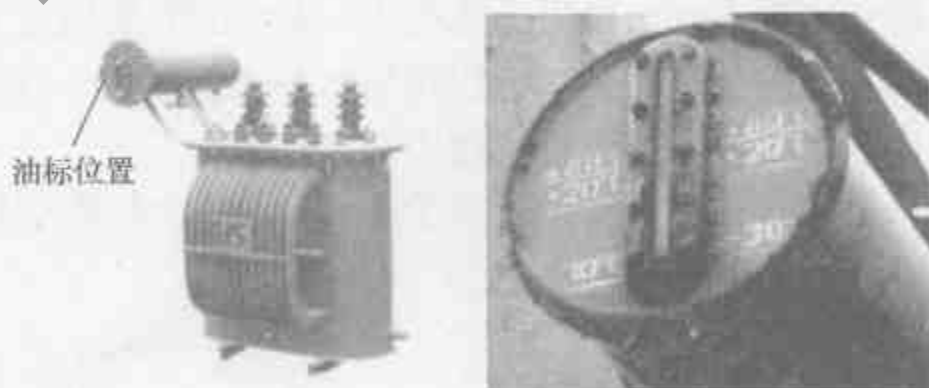
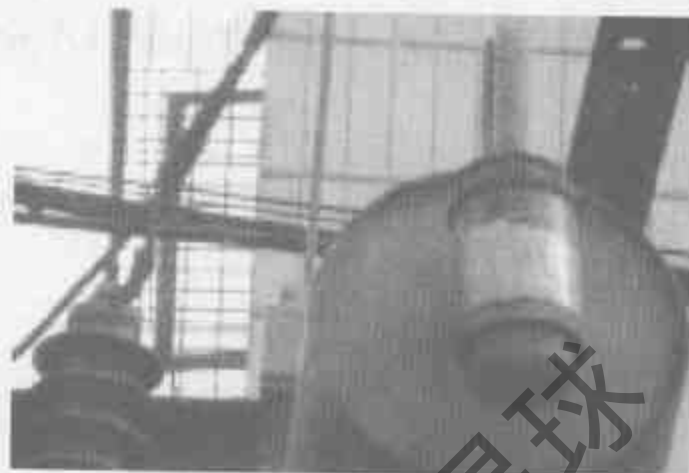


图 6-10 在储油柜侧的油标

油质化验结果确定，以防止油的过度净化。



(a) 装于油枕下方



(b) 装于油枕一端

图 6-11 吸湿器的安装位置

④ 气体继电器。气体继电器又称瓦斯继电器，其安装位置在变压器油箱和油枕的连管上，如图 6-12 所示。

当变压器漏油或有气体分解时，轻瓦斯保护动作，发出预报信号。当变压器内部有严重故障时，重瓦斯保护动作，接通断路器的跳闸回路，切除电源，发出事故信号。

⑤ 防爆管。防爆管又称安全气道，它是一个长的钢筒，顶部装有一定厚度的玻璃或酚醛纸板，下面与主油箱连通。当变压器内部发生严重故障，箱内油的压力大于 $5 \times 10^4 \text{Pa}$ 时，油可以冲破顶部的玻璃或酚醛纸板，向外喷出，以降低油箱内的压力，避免油箱破裂。

⑥ 出线套管。为了将绕组的引出线从油箱内引到油箱外，使带电的引线穿过油箱时与接地的油箱绝缘，必须利用绝缘的出线套管。绝缘套管的种类较多，目前 10kV、35kV 变压器中广泛使用的有以下两种。

10kV 以下的变压器采用单体瓷质绝缘套管，如图 6-13 所示。瓷套内充满空气，中间穿过一根导电铜杆，以空气和瓷套为绝缘介质。



图 6-12 气体继电器

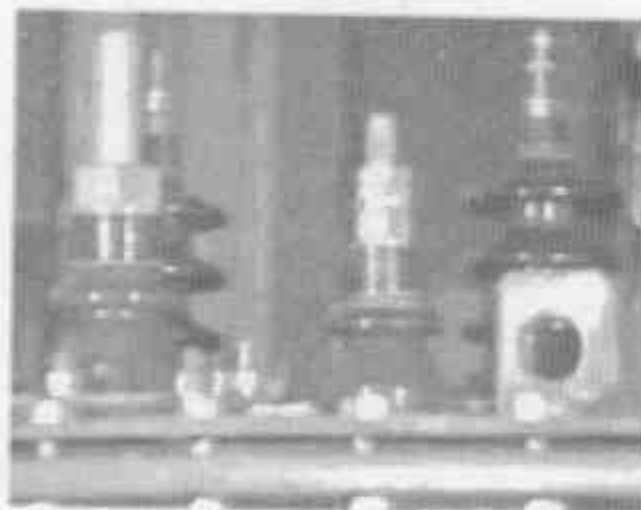


图 6-13 单体瓷质绝缘套管

35kV 和低电压、大电流变压器采用瓷质充油式绝缘套管，套管上有一放气螺孔，套管内的油和变压器本体连通。变压器安装（或大修）后投入运行前，必须将此螺孔打开。当油溢出后，说明已将套管内部的空气排除干净，再拧紧堵塞螺钉，以防止在强电场下套管内有空气时套管被击穿。

⑦ 调压装置。为调节变压器的输出电压，一般在绕组上引出几个抽头并把这些抽头连接在可切换的分接开关上。分接开关有无励磁调压和有载调压两种。

无励磁分接开关可在变压器高压侧脱离电源后调压，调压范围为额定输出电压的 $\pm 5\%$ 。10kV级中性点调压时采用三相无励磁分接开关，其结构和接线如图6-14所示。

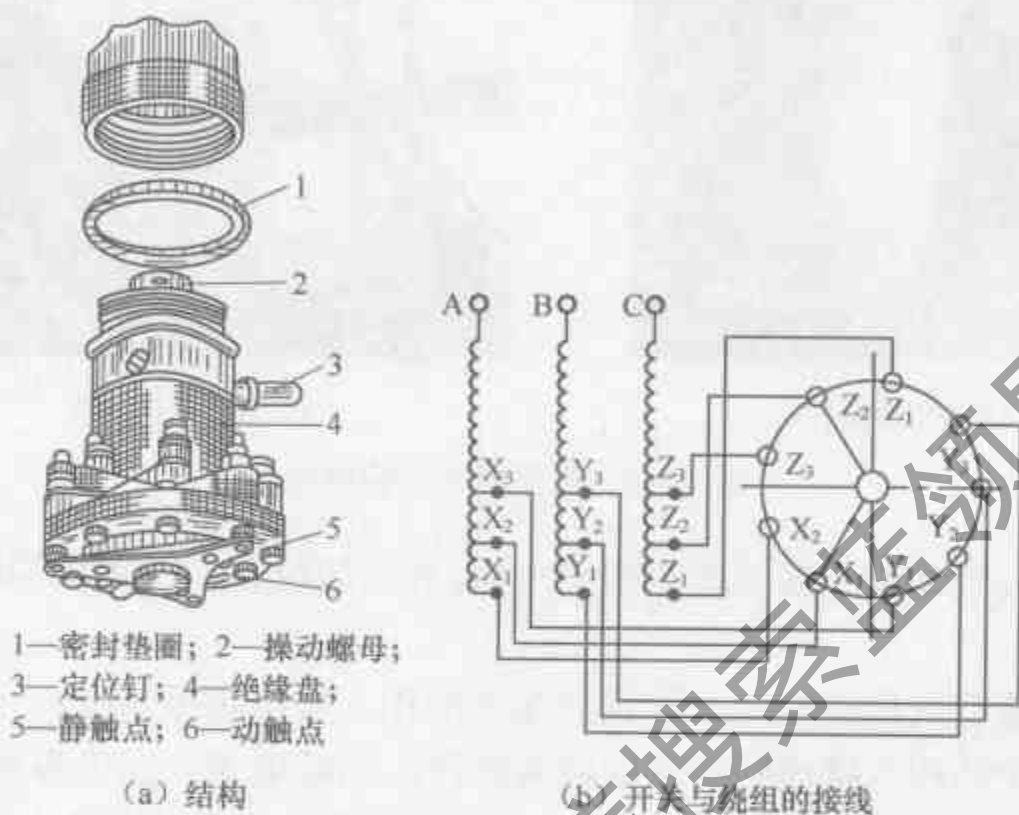


图 6-14 10kV 级三相中性点调压无励磁分接开关的结构及接线

有载分接开关可在变压器低压侧接有负载时进行调压，调压范围可达 $\pm 15\%$ ，调压时不需停电，所以对变压器运行比较有利。常用的复合式分接开关的结构及接线如图6-15所示。

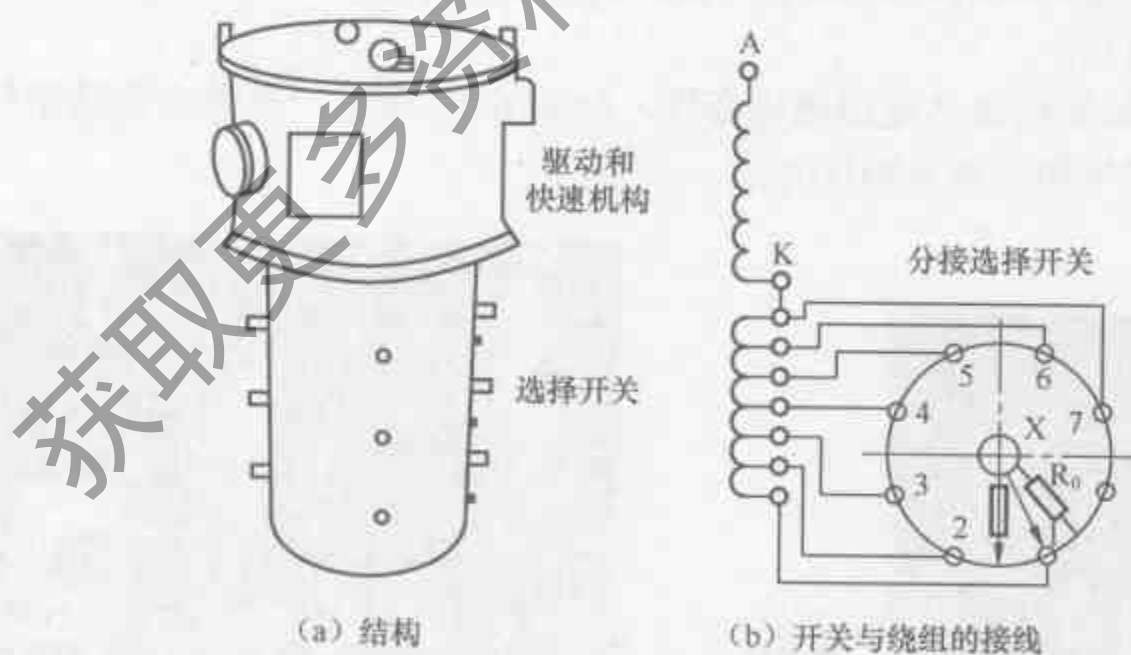


图 6-15 复合式分接开关的结构及接线

知识链接

干式变压器

相对于油式变压器，干式变压器因没有油，也就少有火灾、爆炸、污染等问题，特别是

近年来生产的干式变压器，损耗和噪声降到了新的水平，更为变压器与低压屏置于同一配电室内创造了条件。干式变压器的种类很多，主要有浸渍绝缘干式变压器和环氧树脂绝缘干式变压器两类。干式变压器的结构如图 6-16 所示。



图 6-16 干式变压器的结构

使用干式变压器时的注意事项如下。

① 干式变压器的安全运行和使用寿命在很大程度上取决于变压器绕组绝缘的安全可靠程度。绕组温度超过绝缘耐受温度使绝缘破坏，是导致变压器不能正常工作的主要原因之一。因此，对变压器运行温度的监测及其报警控制十分重要。

② 根据使用环境特征及防护要求，干式变压器可选择不同的外壳。通常选用 IP20 防护外壳[如图 6-16 (c) 所示]，可防止直径大于 12mm 的固体异物及鼠、蛇、猫、雀等小动物进入而造成短路停电等恶性故障，为带电部分提供安全屏障。若需将变压器安装在户外，则可选用 IP23 防护外壳，除上述 IP20 防护功能外，还可防止与垂直线成 60° 角以内的水滴入。但 IP23 外壳会使变压器的冷却能力下降，选用时要注意其运行容量的降低。

③ 干式变压器的冷却方式分为自然空气冷却 (AN) 和强迫空气冷却 (AF)。自然空气冷却时，变压器可在额定容量下长期连续运行。强迫空气冷却时，变压器的输出容量可提高 50%，适用于断续过负荷运行或应急事故过负荷运行。由于过负荷时负载损耗和阻抗电压增幅较大，处于非经济运行状态，故不应使变压器长时间处于连续过负荷运行状态。

④ 干式变压器的过载能力与环境温度、过载前的负载情况 (起始负载)、变压器的绝缘散热情况和发热时间常数等有关。若有需要，可向生产厂索取干式变压器的过负荷曲线。



想一想

- ① 电力变压器主要由哪些部件构成？各部件的作用是什么？
- ② 变压器的分接开关有哪两种？各有什么特点？

6.1.2 变压器的工作原理——变流变压变阻抗，电磁感应工作忙

变压器是依据电磁感应原理制成的，其工作原理可用图 6-17 来说明。当在原边 (一次) 线圈上加上交流电压 U_1 后，在铁芯中产生交变磁场，由于铁芯的磁耦合作用，副边 (二次) 线圈中会产生感应电压 U_2 ，在负载 R_L 中就有电流 I_2 通过。

变压器的铁芯在整个能量传递过程中起着决定性的作用，可使一次侧的能量顺利到达二次侧。

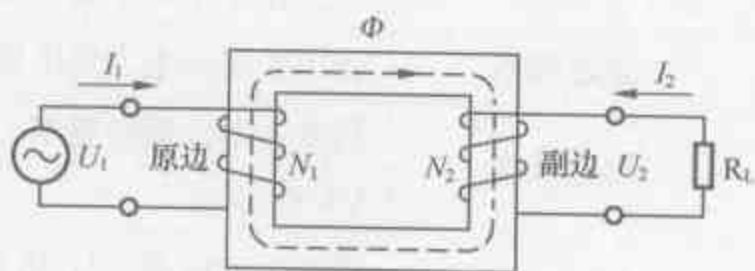


图 6-17 变压器工作原理示意图

思路点拨

- ① 变压器具有变换电压、变换电流和变换阻抗的作用。
- ② 在变压器的输出电压范围内，从副边绕组上抽头可输出不同的电压，得到多输出变压器。
- ③ 在电子线路中，常常需要用变压器来进行阻抗变换，如音频输出变压器就具有阻抗匹配的作用。

知识链接

电力变压器器身的检查

电力变压器器身的检查不论是采取吊芯还是吊罩方法，起重所使用的器具和设备在事前必须经过检查，不准超载使用。绳扣的角度和吊重的位置必须符合制造厂规定。起吊和落下时一定要加强监视，注意不得使芯子和油箱碰撞，起重工作应由富有经验的检修工人指挥。做电气试验时，要注意相互呼应，避免触电。器身恢复前，应认真清点工具和材料，仔细检查芯子，不得在芯子上遗留任何杂物。

经器身检查后，要密封油箱，注满合格的变压器油。有条件时，对 110kV 及以上电压等级的变压器，要采用真空注油。

进行器身检查时要事先做好充分准备，明确分工，尽量提高工作效率，缩短器身在空气中暴露的时间。

6.2 变压器的额定值

——安全限值

在变压器铭牌上，除了标注有型号及各种参数外，还标有变压器的额定值，如额定电压、额定电流、额定频率、额定容量和额定温升等，见表 6-1。

表 6-1

变压器的额定值及含义

额定值	含义
额定电压	指变压器正常运行时的工作电压。原边额定电压是指正常工作时施加的电源电压；副边额定电压是指在原边施加额定电压，副边绕组中通过额定电流时的电压
额定电流	指变压器原边电压为额定值时，原边和副边绕组允许通过的最大电流，即满载电流值。在此电流下变压器可以长期工作，其单位为 A 或 kA
额定频率	我国使用的电力变压器的额定频率都是 50Hz
额定容量	指变压器在额定频率、额定电压和额定电流的情况下所能传输的视在功率，单位是 VA 或 kVA
额定温升	指变压器满载运行 4h 后绕组和铁芯温度高于环境温度的值。国家标准规定，环境温度为 40℃ 时，对于 E 级绝缘材料，变压器的温升不应超过 75℃

变压器的额定值好比十字路口的红绿灯,在选用变压器时一定不能突破额定值规定的参数,否则会损坏变压器。

思路点拨

① 额定值是使变压器正常工作的规定参数,即变压器的铭牌数据,它是正确使用变压器的重要依据。

② 变压器在额定状态下运行,可保证其长期工作可靠,并且具有良好的性能。

③ 变压器在实际使用时,由于电流的热效应,绕组上有铜损,铁芯上有铁损,因此变压器的输入与输出功率不再相等。通常大容量变压器的效率可达 98%~99%,小容量变压器的效率为 70%~80%。



想一想

① 变压器有哪些额定值?它们各自的含义是什么?

② 张三和李四都是发电厂的职工,某天张三于 7:40:35 启动发电机 A 开始发电,李四于 7:40:36 启动发电机 B 开始发电。这两组发电机都是 220V 交流发电机,且频率均为 50Hz。请你思考一下,如果我们在 7:41:00 时分别测两组发电机的电压,其大小一样吗?哪个大哪个小?

提示:发电机 B 在 7:41:00 时与发电机 A 的输出电压不相等。

6.3 单相变压器的绕组判别

——看表识相

在使用变压器前应先看其铭牌,按铭牌标注进行接线和使用。加在一次侧上的电压必须与额定电压相符,最大负载电流不能超过额定输出电流。如果变压器接错线,则可能会烧坏变压器或用电设备。因此,对于铭牌标注不清的变压器,在使用前必须注意判明各绕组的引出端。

1. 怎样测量各绕组的电阻值

高压绕组的线径小,匝数多,直流电阻较大;低压绕组的线径大,匝数少,直流电阻相对较小。因此,可用欧姆表或直流电桥测量各绕组的电阻值,以此判断出高、低压绕组。

2. 怎样判别各绕组的同名端

有的变压器绕组是分为两个线圈绕制的,使用时需将线圈的首端和尾端串联起来。两个线圈上极性相同的引出端称为同名端,串联时必须正确区分。

在判别同名端时,可采用图 6-18 所示的方法。若在开关接通瞬间,两个直流电流表的指针向同方向偏摆,则电流表同极性所接的引出端为同名端,否则不同极性所接的引出端为同名端。

3. 如何测量二次侧各绕组的空载电压

对于多二次绕组的变压器,在已知一次绕组的引出端时,可在一次绕组上加额定电压,用交流电压表分别测量二

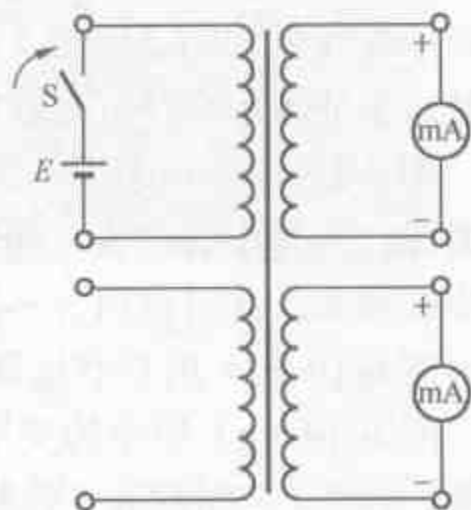


图 6-18 判定变压器同名端的方法

次侧各绕组的空载电压，以区分二次侧的各个绕组。

知识链接

变压器的线圈结构

图 6-19 所示为常用变压器的电路图形符号，从变压器的电路符号可以看出变压器的线圈结构。

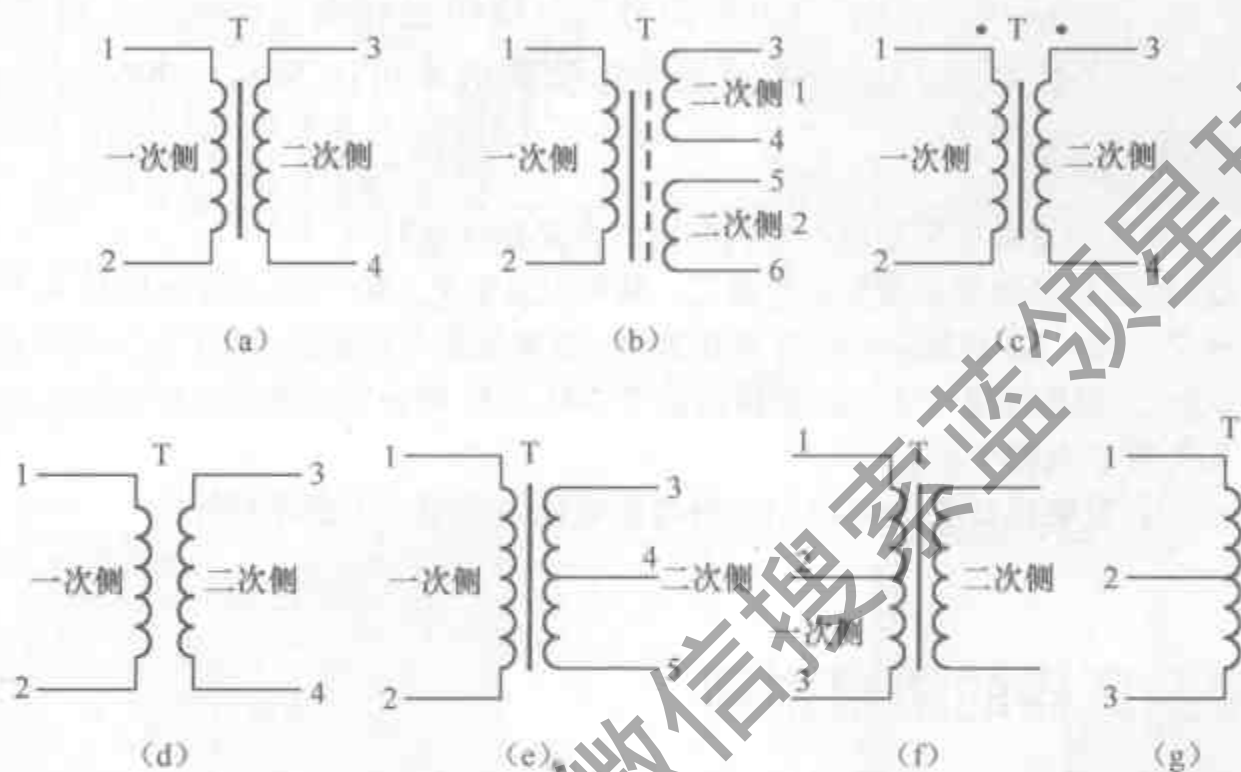


图 6-19 常用变压器的电路图形符号

图 6-19 (a) 所示变压器共有两组绕组，即 1—2 为一次绕组，3—4 为二次绕组。电路图形符号中垂直的实线表示这个变压器有铁芯。

图 6-19 (b) 所示变压器有两组二次绕组，即 3—4 为一组，5—6 为另外一组。另外，电路图形符号中有实线的同时还有一条虚线，它表示变压器的一次和二次绕组之间设有一个屏蔽层。屏蔽层起抗干扰作用，在使用时这一屏蔽层的一端要接线路中的地线（决不能两端同时接地）。这种变压器多为电源变压器。

图 6-19 (c) 所示变压器在一次和二次绕组的一端画有一个小黑点，这是“同名端”的标记。

图 6-19 (d) 所示的变压器没有中间实线，表示这种变压器没有铁芯，有时用一条虚线来表示变压器用的是磁芯（此时电路图形符号中是没有实线的），一般为高频或中频变压器。这是过去的表示方法，现在的规定是当变压器有铁芯或磁芯时，均用一条实线表示。

图 6-19 (e) 所示变压器的二次绕组有抽头，即 4 脚是二次绕组 3—5 的抽头。抽头有两种情况：一是中心抽头，即当绕组 3—4 的匝数等于绕组 4—5 的匝数时成为中心抽头；二是非中心抽头，此时绕组 3—4、绕组 4—5 的匝数不相等。

图 6-19 (f) 所示变压器的一次绕组中有一个抽头 2。

图 6-19 (g) 所示的变压器只有一个抽头，这是一个自耦变压器。若 2 和 3 之间为一次绕组，1 和 3 之间就为二次绕组，此时它就是一个升压器。当 1 和 3 之间为一次绕组，2 和 3 之间为二次绕组时，这就是一个降压器。

想一想 判别单相变压器绕组的方法有哪些?

6.4 电力变压器的安装

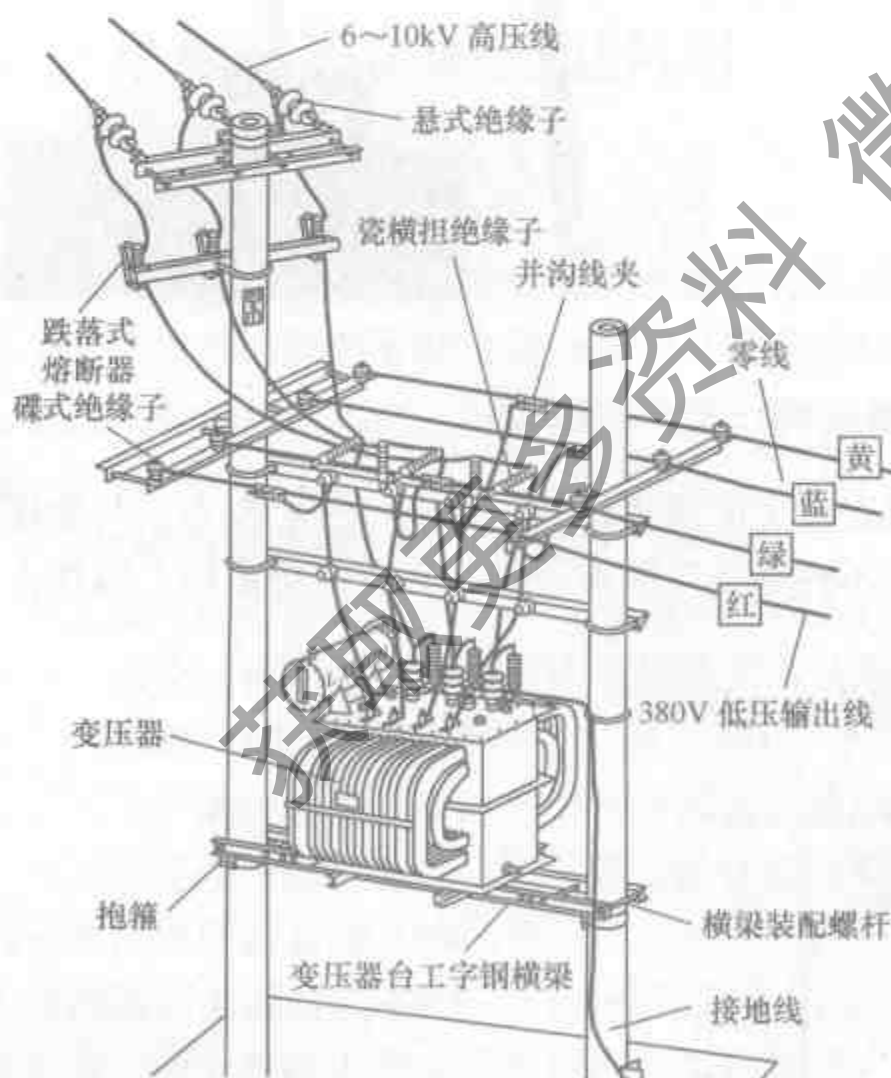
——安家落户

电力变压器的安装方式可分为室外和室内两种。室内安装费用较高,在环境条件较差的场合或某些厂矿的变电所,一般采用室内安装方式。在城乡各地,配电变压器室外安装则是很常见的一种安装方式。

6.4.1 室外变压器的安装方式——杆塔台墩地台式,又要安全少投资

变压器室外安装方式有杆塔式、台墩式和地台式3种。

杆塔式是指将变压器及其附属设备都装设在电杆及构架上,可分为单杆式、双杆式和三杆式3种。其中,单杆式仅适用于容量为30kVA以下的配电变压器,双杆式使用得较多,适合于40~180kVA的变压器,双杆式变压器台的结构如图6-20所示,三杆式变压器台对变压器的支承与双杆式类似,只是将高压跌落保险另设一杆,使检修操作更安全,其缺点是造价较高。



(a) 接线示意图

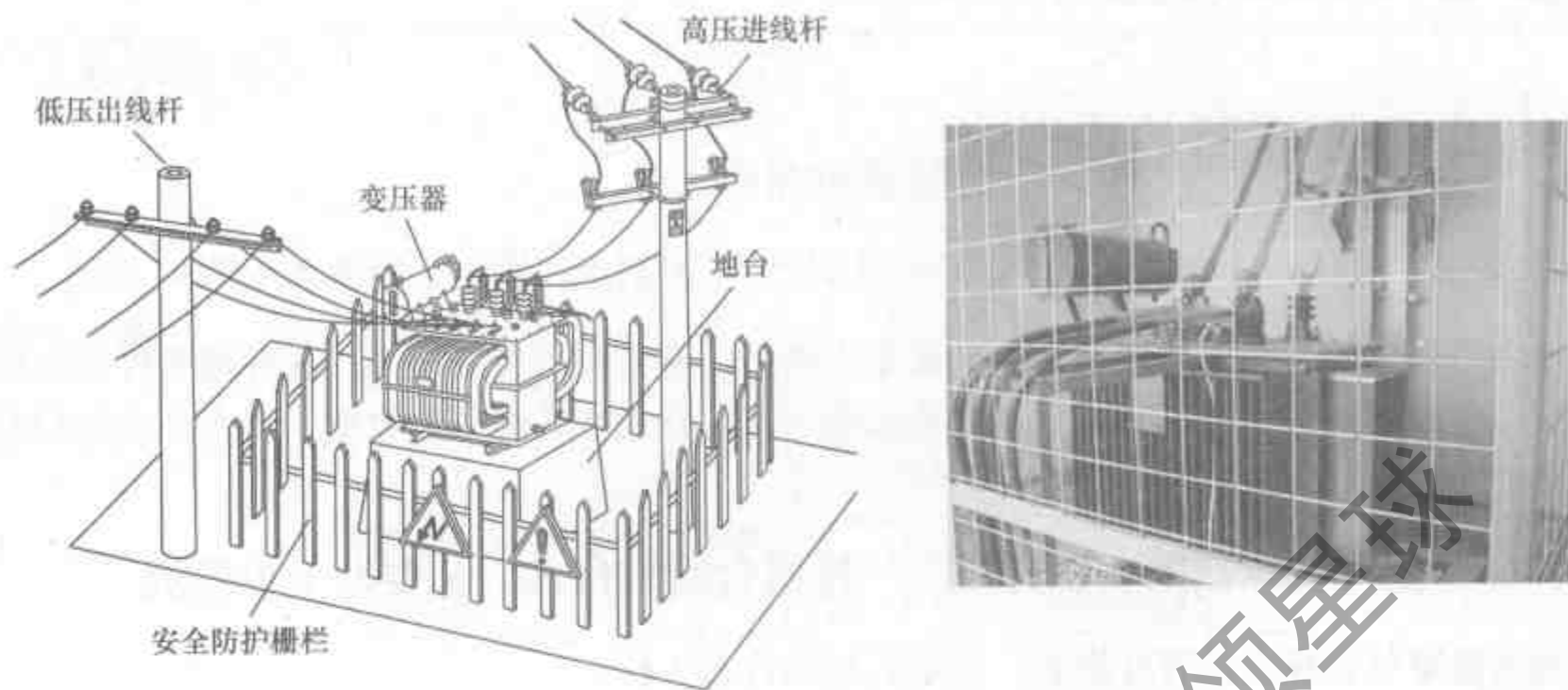


(b) 实物图

图 6-20 采用双杆变压器台安装变压器

台墩式和地台式是将配电变压器装在砖、石块砌成的台上,如图6-21所示。这种安装方式适用于较大容量的配电变压器。安装变压器的台墩通常可做成一间配电室,这样可以节约

投资，如图 6-21 (c) 所示。



(a) 地台式变压器安装示意图



(b) 台墩式1



(c) 台墩式2

图 6-21 台墩式和地台式安装变压器

在台墩式和地台式变压器周围，应设置较大的围栏，其高度在 1.5m 左右，与变压器相距 1.5~2m。围栏外应挂上“高压危险，不许攀登”的标示牌，只有在停电后，操作人员才能进入围栏内工作。

电力变压器接线方案的电气原理图如图 6-22 所示。

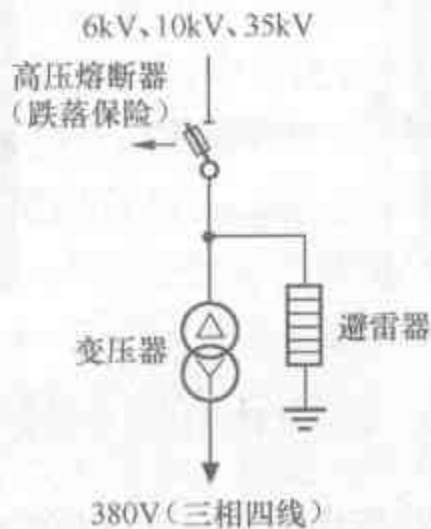


图 6-22 电力变压器接线方案电气原理图

知识链接

变压器台架的结构及要求

10kV 配电变压器一般安装在双杆柱上（容量小于 500kVA），两杆的间距为 2m，变压器在杆上的倾斜度不大于 20mm。配电变压器台架用两条 2.4m 的槽钢固定于两电杆上，台架距地面不低于 2.5m，台架倾斜度不应大于台高的 1/100，变压器底脚与台架用 4 个螺钉固紧，如图 6-23 所示。

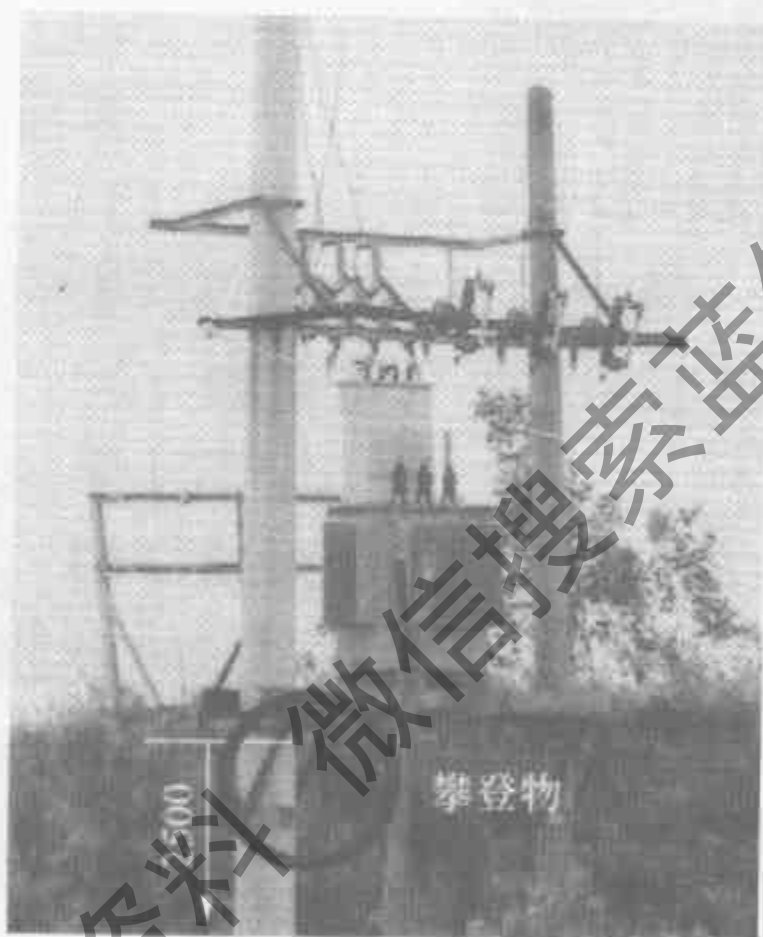


图 6-23 变压器台架的标准结构

想一想 对变压器的安装高度有何规定？

6.4.2 变压器的安装方法——电线杆上装配变，台底离地两米半

变压器的安装，应按照原国家电力公司的有关规定进行施工。变压器安装属于高空作业，在施工过程中一定要听从指挥，注意安全。

为保证变压器的安全运行，户外配电变压器通常安装在固定的支承台架上。变压器台架主要由变压器支承台架、低压刀闸、跌落熔断器、避雷器横担、高低压引下线横担及耐张横担等组成。

1. 变压器台架的安装

在开工前，应根据设计图的要求，在现场认真清点材料，如抱箍（包括加强抱箍、羊角抱箍、二合抱箍）、支承台内外横担、撑铁、槽钢、踏脚板、靠背、高低压引线横担及撑铁、跌落式熔断器横担、低压刀闸、绝缘子、跌落式熔断器及避雷器、连接螺栓等，如图 6-24 所示。

安装变压器台架时应注意以下几点。

- ① 变压器台架的安装高度应符合规定, 户外变压器台架在 2.5m 以下部分不允许有攀登物。
- ② 安装加强型抱箍时, 螺栓的安装方向应为由内向外, 螺栓应按规定拧紧, 如图 6-25 所示。

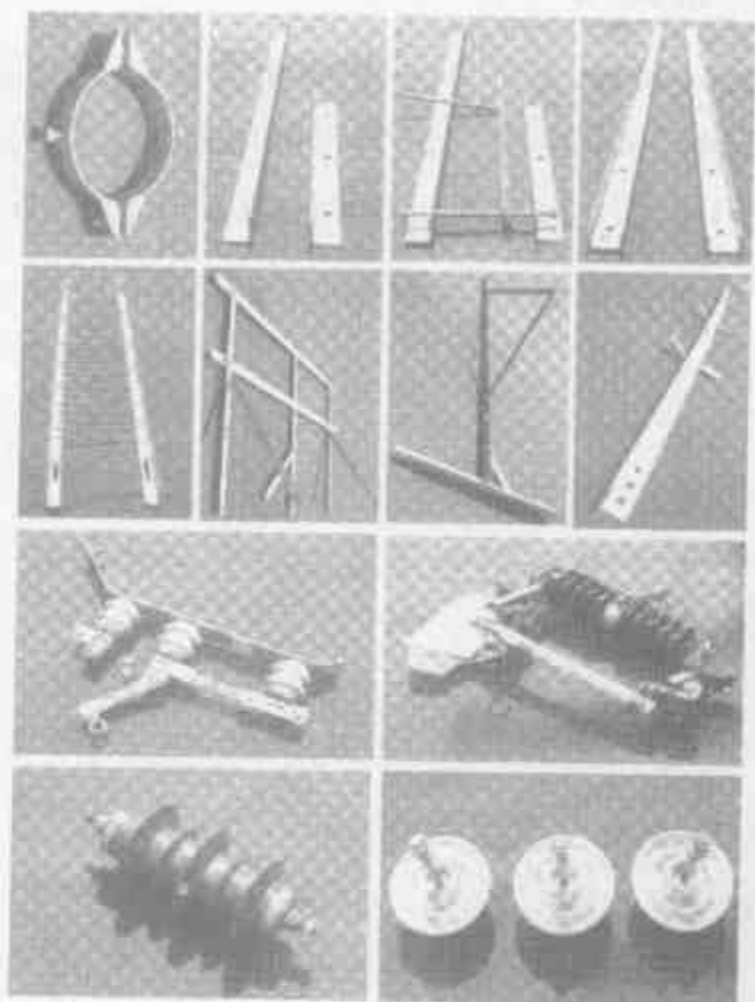


图 6-24 变压器台架的主要材料



图 6-25 加强型抱箍的安装

- ③ 安装支承台时, 由内向外分别安装内横担、外横担及撑铁, 螺栓应由内向外穿。调整台面水平后, 对所有螺栓进行紧固, 如图 6-26 所示。

- ④ 起吊槽钢时, 应尽量保持槽钢平衡提升。将槽钢提升到支承台后, 在事先加工好的螺孔中分别穿入加长螺栓并拧紧, 如图 6-27 所示。



图 6-26 支承台的安装

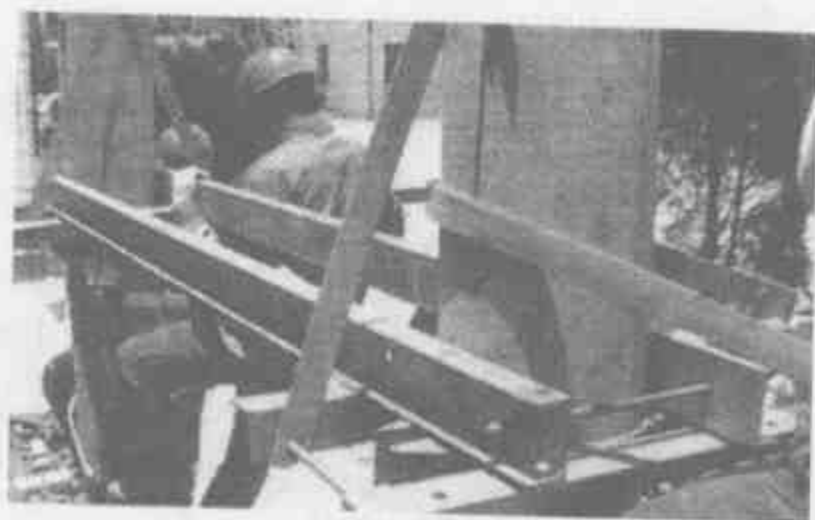


图 6-27 槽钢的固定

- ⑤ 安装踏脚板时, 将踏脚板两端用绳索系好后固定于支承台上, 连接螺栓插入方向应为由下而上, 如图 6-28 (a) 所示。台面安装完毕后, 应用水平仪进行台架水平测量, 尽量保持台架面水平, 如图 6-28 (b) 所示。



(a) 安装踏脚板

(b) 台架水平测量

图 6-28 踏脚板安装及台架水平测量

⑥ 安装靠背时，螺栓插入方向一律为由里向外，并用扳手拧紧，使各连接点牢固可靠。注意靠背角铁应竖直，靠背扁铁应水平，如图 6-29 所示。



图 6-29 台架靠背的安装

⑦ 低压刀闸横担、熔断器横担等台架上层部件的安装如图 6-30 所示。支承横担的方向应与台架主、副杆连线方向垂直。低压刀闸横担与支承横担连接时，连接螺栓穿入方向应为由下向上，且螺栓的连接应牢固。

2. 低压刀闸的安装

台架上层构架部件安装完毕后，开始进行低压刀闸和熔断器的安装。

低压刀闸的安装应保证：刀闸的结构应完整，动、静触头接触良好，无外观机械损伤等，如图 6-31 所示。



图 6-30 台架上层部件的安装

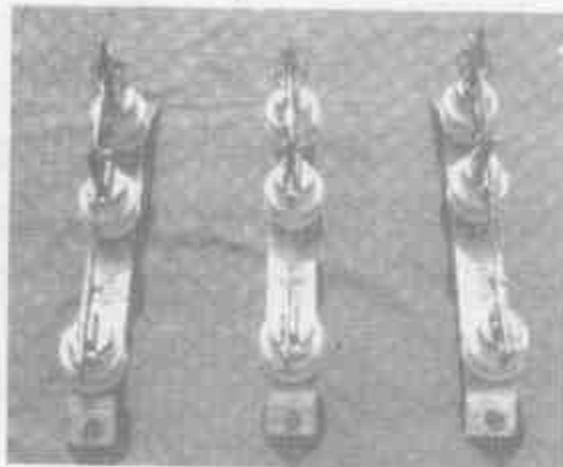


图 6-31 低压刀闸

安装低压刀闸时，应先连接低压刀闸上端部，再固定下端部；应注意方向正确，连接牢固、可靠，接触紧密，动触头机构灵活，如图 6-32 所示。



图 6-32 低压刀闸的安装

3. 跌落式熔断器的安装

高压跌落式熔断器的底部与地面的垂直距离不低于 4.5m，各相熔断器的水平距离不小于 0.5m。为了便于操作和熔丝熔断后熔丝管能顺利地跌落下来，跌落式熔断器的轴线应与垂直线成 $15^\circ \sim 30^\circ$ 角，如图 6-33 所示。



图 6-33 跌落式熔断器的安装

知识链接

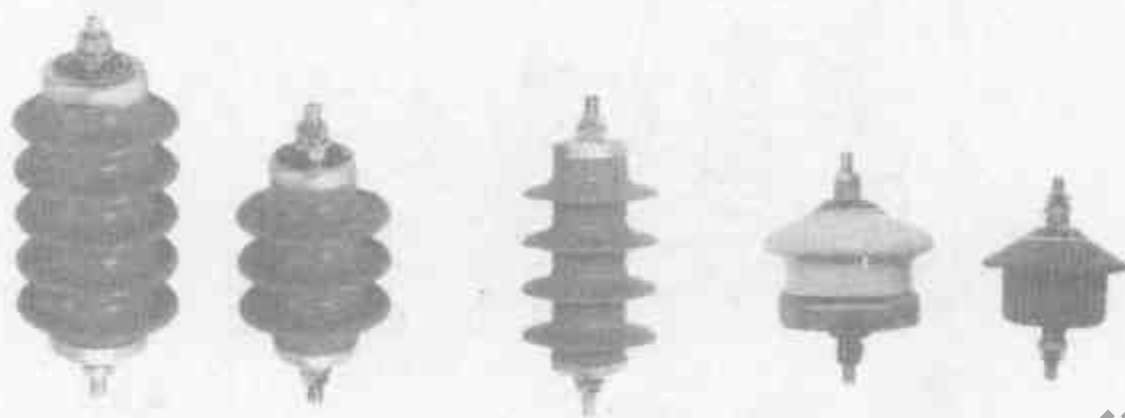
熔丝的选用

跌落式熔断器开关熔丝应按“配电变压器内部或高、低压出线管发生短路时能迅速熔断”的原则来进行选择，熔丝的熔断时间必须小于或等于 0.1s。配电变压器的容量在 100kVA 以下者，高压侧熔丝的额定电流按变压器额定电流的 2~3 倍选择；容量在 100kVA 以上者，高压侧熔丝的额定电流按变压器额定电流的 1.5~2 倍选择。变压器低压侧熔丝按低压侧额定电流选择。

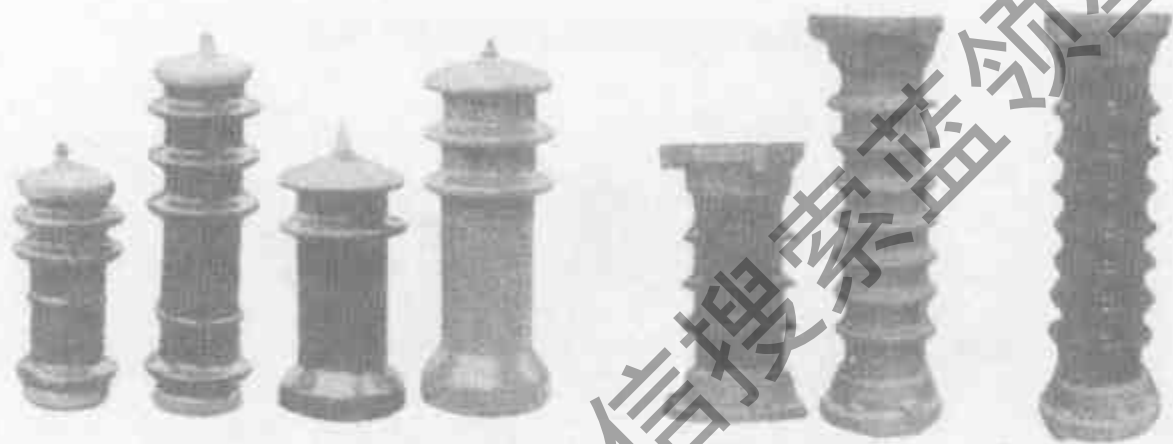
4. 避雷器的安装

避雷器的类型有多种，按结构原理不同可分为阀式避雷器、磁吹式避雷器及金属氧化物

避雷器等,按应用特点分为变压器用避雷器、电站用避雷器、电容器用避雷器、线路用避雷器、铁道用避雷器等,按使用的电压等级分为低压避雷器与高压避雷器,如图6-34所示。

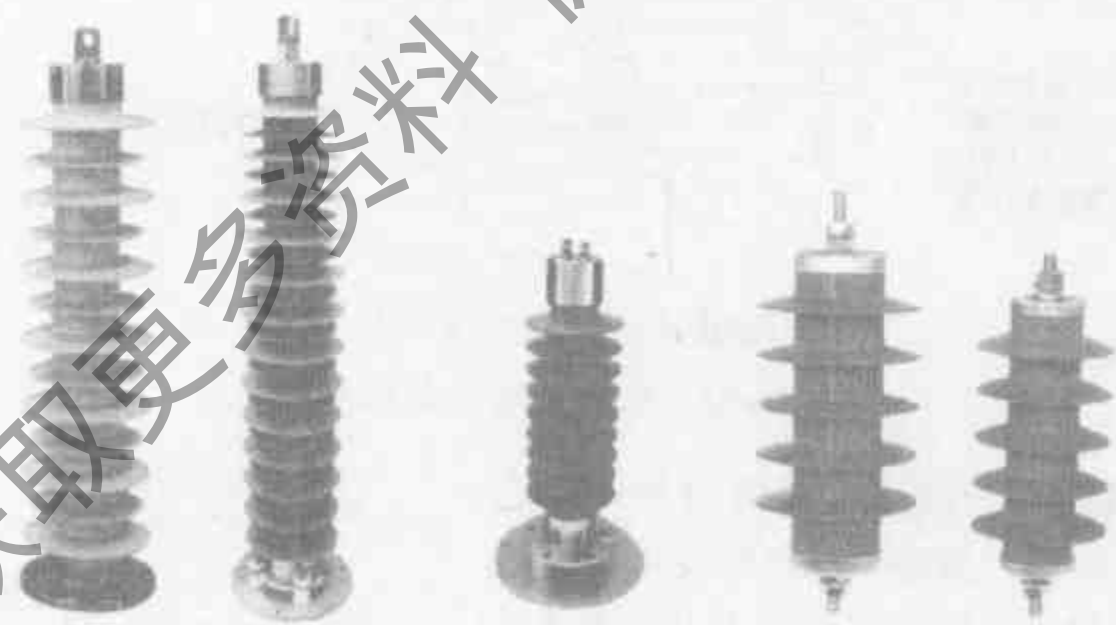


(a) 低压避雷器



(b) FS 系列阀式避雷器

(c) FZ 系列电站用避雷器



(d) HY 系列金属氧化物高压避雷器

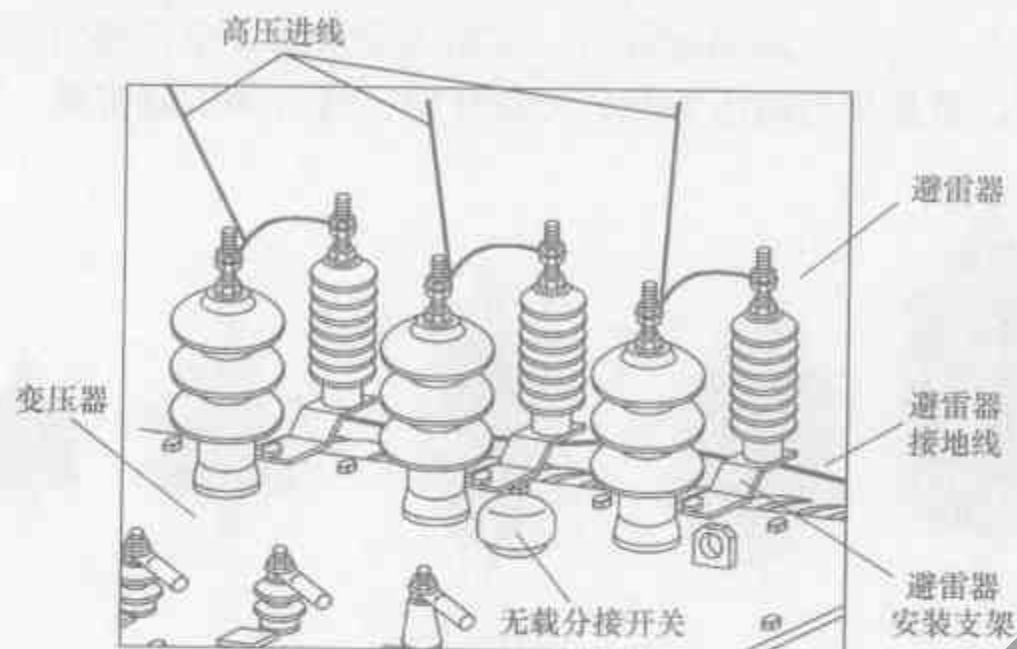
图6-34 常用避雷器

避雷器的安装方法有以下两种。

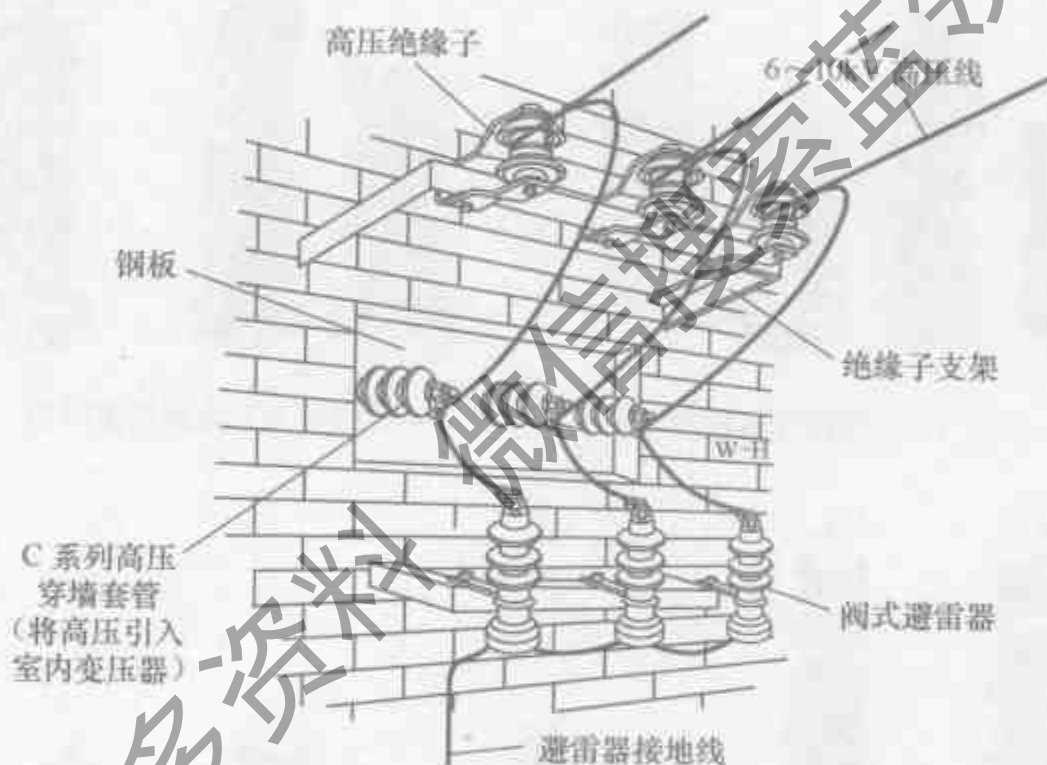
① 变压器位于室外时,应通过金属支架直接将避雷器安装在小型变压器高压进线侧,如图6-35(a)所示。

② 变压器位于室内时,避雷器可安装在穿墙套管外墙高压引入端,如图6-35(b)所示。

避雷器的接线要尽量靠近变压器进行安装,接地线要与变压器低压侧的中性点及金属外壳连接在一起,如图6-36所示。



(a) 避雷器在小型变压器上直接安装示意图



(b) 避雷器在墙体上安装示意图

图 6-35 避雷器安装示意图

高压侧避雷器安装在高压熔断器与变压器之间，并尽量靠近变压器，但必须保持距变压器端盖 0.5m 以上。这样不仅可以减小雷击时引下线电感对配电变压器的影响，而且又可以避免整条线路停电进行避雷器维护检修，还可防止避雷器爆炸而损坏变压器瓷套管等。

为了防止低压反变换波和低压侧雷电波侵入，应在低压侧配电箱内装设低压避雷器，从而起到保护配电变压器及其总计量装置的作用。避雷器间应用截面积不小于 25mm^2 的多股铜芯塑料线连接在一起。为避免雷电流在接地电阻上的压降与避雷器的残压叠加作用在变压器绝缘上，可将避雷器的接地端、变压器的外壳及低压侧中性点用截面

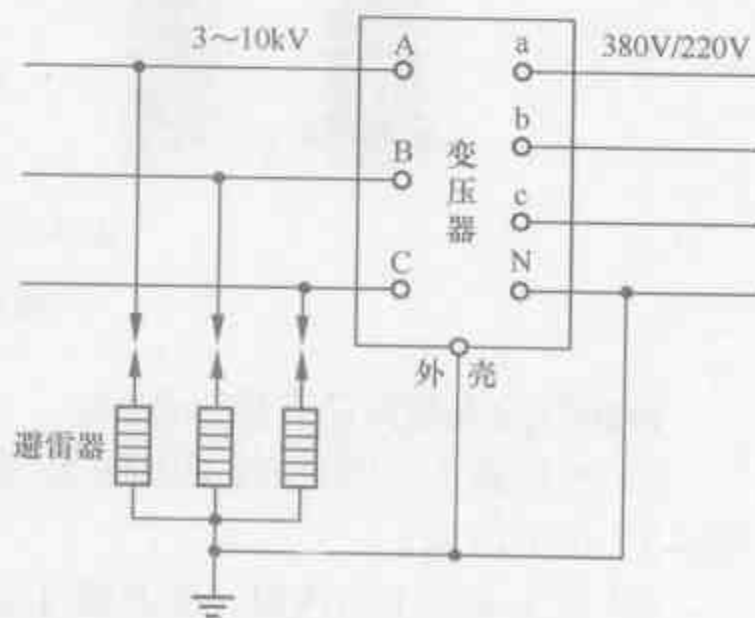


图 6-36 避雷器接线示意图

积不小于 25mm^2 的多股铜芯塑料线连接在一起，再与接地装置引上线相连接。

思路点拨

配电变压器安装要求歌诀

风餐露宿变压器，放在杆上或房上。
距地最少二米五，地台安装设围障。
若是经济能允许，箱式安装更妥当。
除非临时有用途，不宜露天地上放。
室内安放要通风，周围通道要适当。

电工小百科

配电变压器的供电半径

根据理论计算，变压器向电源两侧供电的损耗是向一侧供电辐射方式损耗的 $1/4$ ，向电源三侧集中供电的损耗是向一侧供电辐射方式的 $1/9$ 。因此，配电变压器设在负荷中心，在网络总电阻相等、供电容量相同的条件下，分支线越多，损失越小，而且是随分支线数的平方下降。所以，从配电变压器的低压出口到每个负荷点，尽量以辐射式向四周延伸，供电半径以不超过 500m 为宜，以利于降低低压损耗。对于负荷较小（用每平方千米内负荷的千瓦总数来表示，即 kW/km^2 ）的区域，可根据实际情况适当放长，但供电半径最多不应超过 1500m 。

6.5 特种变压器

——各有所长

特种变压器指的是在特殊场合使用的专用电力变压器，其工作原理和基本性能与普通电力变压器相同，但它在结构、绕组连接等方面有其特殊性。由于用途各异，特种变压器的种类很多，这里只介绍比较常用的电焊变压器、互感器和自耦变压器。这些变压器工作时与服务对象相距很近，如电焊机与被焊接件、互感器与电压表或电流表、自耦变压器与用电器，使用这些设备时一定要注意安全。

6.5.1 电焊变压器——引弧电压六七十，短路状态用这里

电焊变压器也称交流弧焊机，其结构特点是：铁芯气隙比较大，一次、二次绕组不是同心地套在一个铁芯柱上，而是分装在不同的铁芯柱上，再用磁分路法、串联可变电抗器法或改变二次绕组的接法等来调节焊接电流。

大家都见过焊接时的情形，电流通过电焊机线路，无光无热，但当与金属件相碰时，立即出现很高的温度和肉眼不敢看的强光，火星四溅，电焊机“嗡嗡”作响。

工业上使用的交流弧焊机类型很多，如抽头式、可动铁芯式、可动线圈式和综合式等。磁分路动铁芯式弧焊机是较具代表性的一类交流弧焊机。图 6-37 所示是 BX1 系列磁分路动

铁芯式弧焊机的外形。

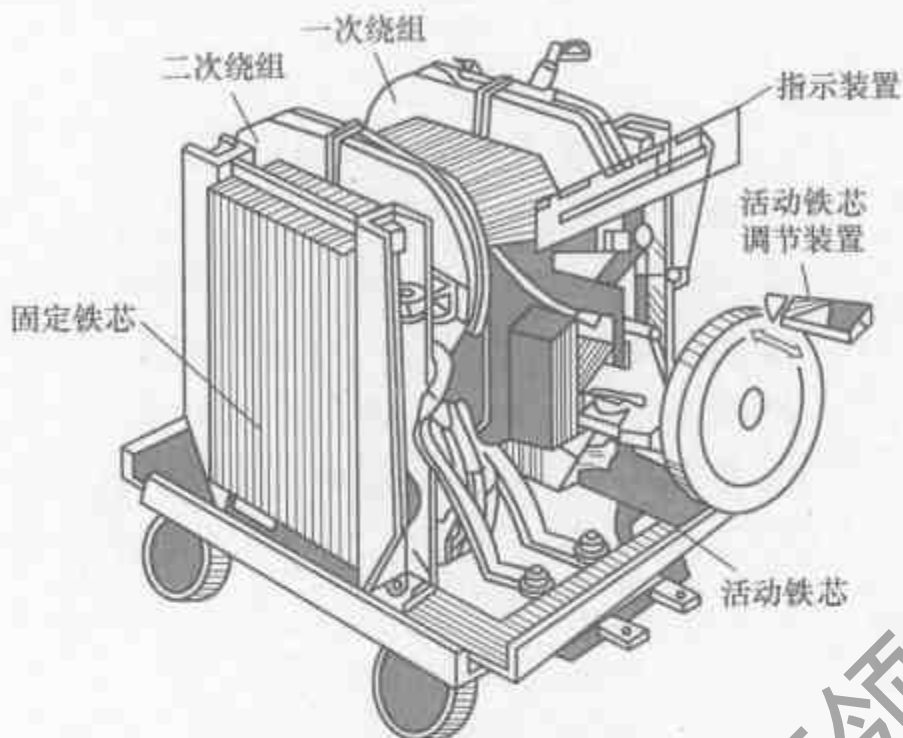


图 6-37 BX1 系列磁分路动铁芯式弧焊机外形图

该弧焊机为磁分路动铁芯式结构，它的铁芯由固定铁芯和活动铁芯两部分组成。固定铁芯为“口”字形，在固定铁芯两边的方柱上绕有一次绕组和二次绕组。活动铁芯装在固定铁芯中间的螺杆上，当摇动活动铁芯调节装置手轮时，螺杆转动，活动铁芯沿着导杆在固定铁芯的方口中移动，从而改变固定铁芯中的磁通，调节焊接电流。

绕组由一次绕组和二次绕组组成，一次绕组绕在固定铁芯的一边，二次绕组由两部分组成，一部分与一次绕组绕在同一边，另一部分绕在铁芯的另一侧，如图 6-38 所示。二次绕组中前一部分起建立电压的作用，后一部分相当于电感线圈。

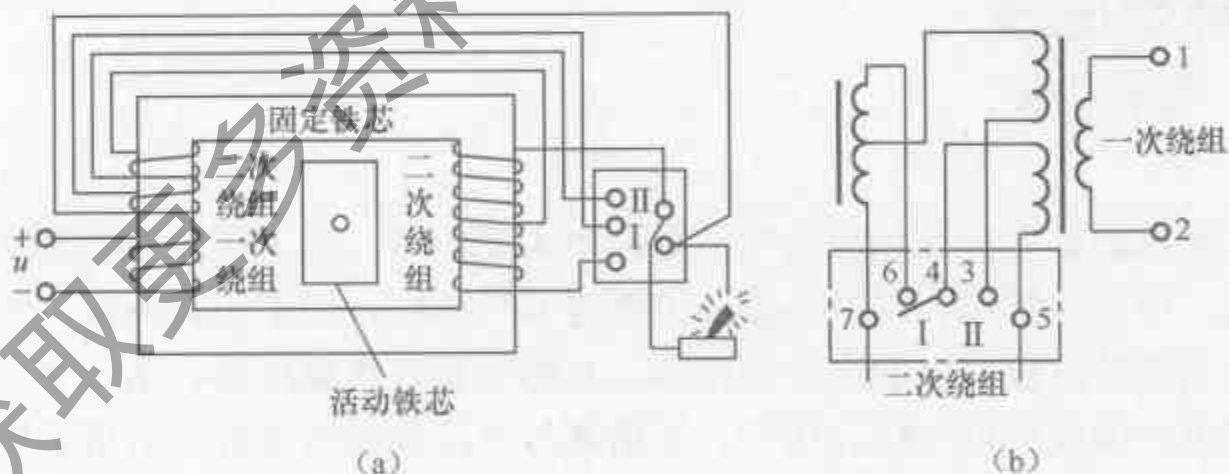


图 6-38 磁分路动铁芯式弧焊机电路原理图

焊接电流的粗调靠变更二次绕组接线板上连接片的接法来实现，接法 II 用于焊接电流较大的场合，接法 I 用于焊接电流较小的场合。焊接电流的细调则是通过手轮移动铁芯的位置，改变漏抗，从而得到均匀的电流。

知识链接

交流电焊变压器与普通变压器的区别

交流电焊变压器是一种特殊的降压变压器，它与普通变压器有较大的区别。

- ① 普通变压器是在正常状态下工作的，而电焊变压器是在短路状态下工作的。
- ② 普通变压器在负载变化时，其二次电压变化很小；而电焊变压器则要求在焊接时有一定的引弧电压（60~75V），在焊接电流增大时输出电压迅速下降，当电压降至零时二次电流也不至过大。
- ③ 普通变压器的一、二次绕组是同心地套在一个铁芯柱上，而电焊变压器一、二次绕组分别装在两个铁芯柱上。

想一想 电焊变压器在结构上有何特点？

6.5.2 互感器——心有灵犀一点通，测量IU立大功

互感器的作用有4个：其一，与测量仪表配合，对线路的电压、电流、电能进行测量；其二，与继电器配合，对电力系统和设备进行过电压、过电流、过负载和单相接地等保护；其三，使测量仪表、继电保护装置与线路的高电压隔离，以保证操作人员和设备的安全；其四，将电压和电流变换成统一的标准值，以利于仪表和继电器的标准化。

常用的互感器有电压互感器和电流互感器两种。

(1) 电压互感器

在电工测量中用来按比例变换交流电压的仪器称为电压互感器，如图6-39所示。



图6-39 电压互感器实物图

在高电压的交流电路中，用电压互感器可将高电压转变为一定数值的低电压，通常为100V，供测量、继电保护及指示电路使用。电压互感器在电力系统中的接线原理如图6-40所示。

常用的电压互感器是利用电磁感应原理工作的，其基本构造与普通变压器相同，主要由铁芯、一次绕组和二次绕组组成。

电压互感器一次绕组匝数较多，二次绕组匝数较少。使用时，一次绕组与被测量电路并联，二次绕组与测量仪表或继电器等的电压线圈并联，如图6-41所示。

电压互感器可分为单相、三相、双绕组、三绕组以及户外装置、户内装置等多种类型，其电气图形符号如图6-42所示。

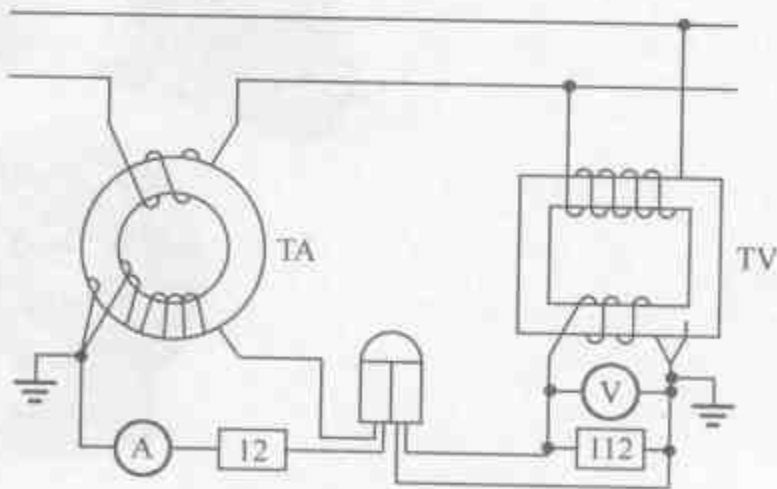


图6-40 电压互感器接线原理图

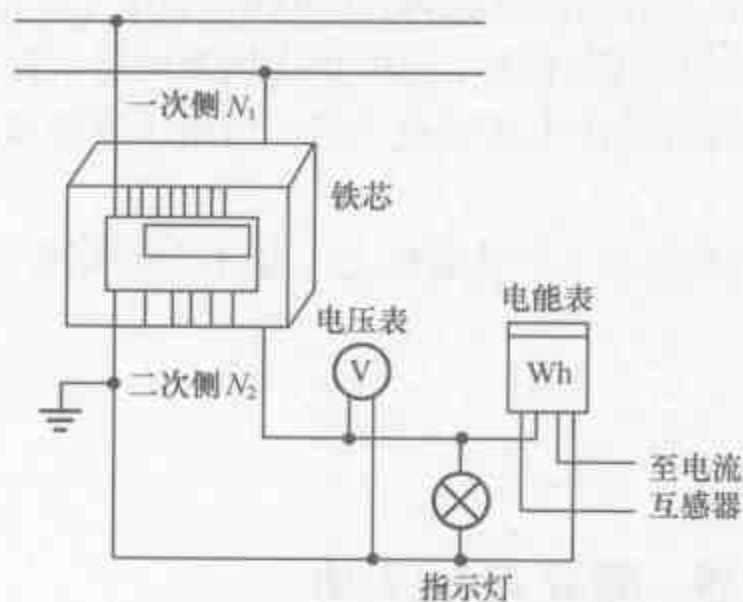


图 6-41 电压互感器的电原理图

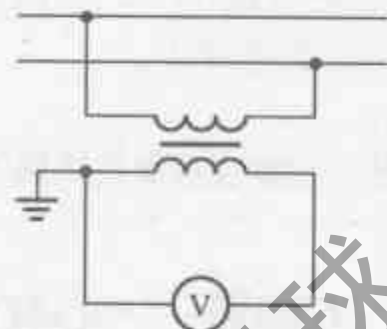


图 6-42 电压互感器的电气图形符号

使用电压互感器要注意以下 3 个问题。

- ① 电压互感器工作时相当于变压器工作在空载状态。二次绕组在使用时绝不允许短路，如二次绕组短路，将产生很大的短路电流，导致电压互感器烧坏。
- ② 电压互感器的铁芯及二次绕组的一端必须可靠接地，以保证工作人员及设备的安全。
- ③ 电压互感器有一定的额定容量。使用时二次绕组不直接接入过多的仪表，以免影响电压互感器的测量精度。

(2) 电流互感器

在电工测量中，用来按比例变换交流电流的仪器称为电流互感器。常用电流互感器的实物外形如图 6-43 所示。



图 6-43 电流互感器实物图

电流互感器的基本结构形式及工作原理与单相变压器相似。它也有两个绕组，一次绕组

一般只有一匝或几匝，用粗导线绕制，使用时串联在被测的交流电路中；二次绕组的匝数较多，使用时与交流电流表（或电能表、功率表）相接，如图 6-44 所示。

一般二次侧电流表用量程为 5A 的仪表，只要改变接入电流互感器的变流比，就可测量大小不同的一次侧电流。

在实际应用中，与电流互感器配套使用的电流表已换算成一次侧电流，其标度尺即按一次侧电流分度，这样可直接读数，不必再进行换算。例如，按 5A 制造的与额定电流比为 600A/5A 的电流互感器配套使用的电流表，其标度尺就是按 600A 进行分度。

电工测量时经常使用的钳形电流表就是利用互感器原理制造的，其相关知识请读者阅读《轻轻松松学电工——器件篇》。

在使用电流互感器时要注意以下两个问题。

① 电流互感器的二次绕组绝对不允许开路。因为二次绕组开路时，电流互感器处于空载运行状态，此时一次绕组中流过的电流（被测电流）全部为励磁电流，使铁芯中的磁通急剧增大，二次绕组上有很高的感应电动势。一方面使铁芯损耗急剧增加，造成铁芯过热，烧损绕组；另一方面将在二次绕组中感应出很高的电压，可能使绝缘击穿，并危及测量人员和设备的安全。因此，在一次侧电路工作时，如需检修或拆换电流表、功率表的电流线圈，必须先将电流互感器的二次绕组短接。

② 电流互感器的铁芯及二次绕组的一端必须可靠接地。如图 6-43 所示，将铁芯及二次绕组的一端可靠接地，可以防止绝缘击穿后，电力系统的高电压危及工作人员及设备的安全。

想一想 使用电压互感器和电流互感器时各应注意什么问题？

思路点拨

“压短流开，一百五安”，利用这句话可以记住互感器的正确使用方法及额定值。这简单的 8 个字包括两个含义。其一是说电压互感器的二次侧严禁短路，其额定电压为 100V；电流互感器的二次侧严禁开路，其额定电流为 5A。其二是说电压互感器的二次侧工作于开路状态，可以接熔断器；电流互感器的二次侧工作于短路状态，不能接熔断器。

6.5.3 自耦变压器——抽头接线可变换，升压降压听使唤

将变压器的一、二次绕组串接成如图 6-45 所示的电路，便是三相自耦变压器。自耦变压器的二次绕组只是一次绕组的一部分。

自耦变压器的一、二次绕组之间不仅有磁的耦合，还有电的联系。自耦变压器既可作为升压变压器使用，也可作为降压变压器使用。它就像跷跷板一样，可把坐在上面的人抬高，也可把坐在上面的人降低。

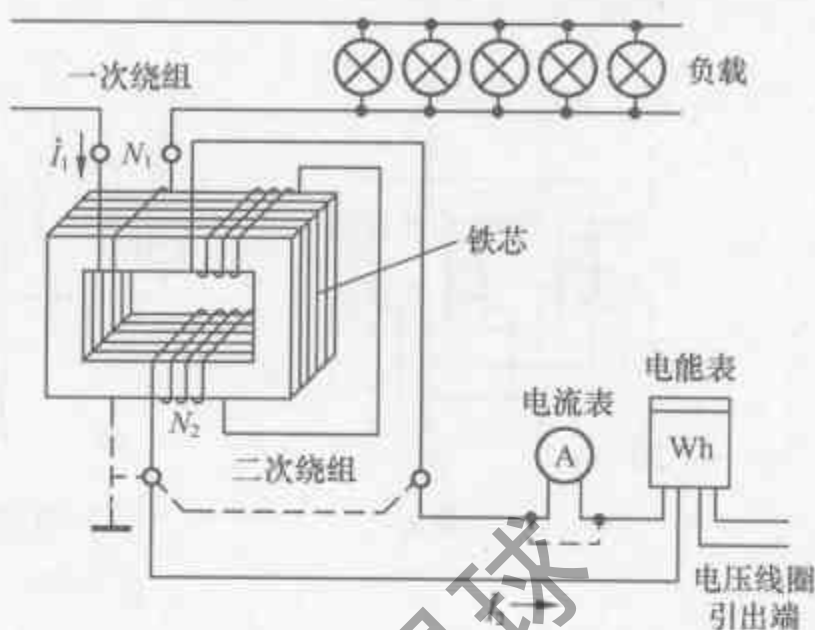


图 6-44 电流互感器接线原理图

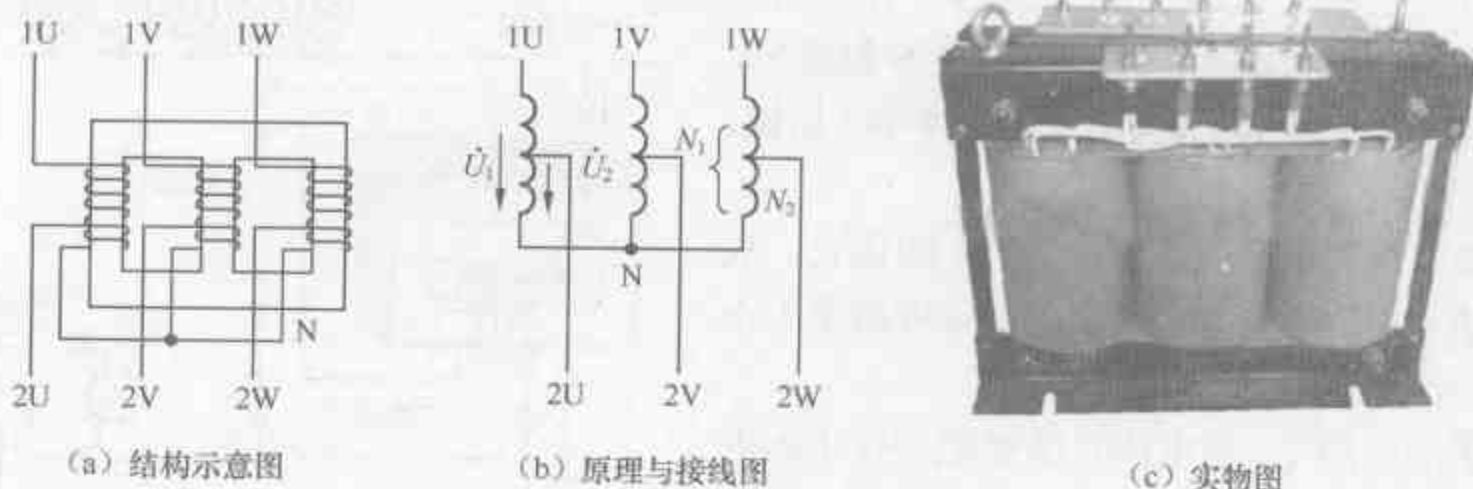


图 6-45 三相自耦变压器

自耦变压器的工作原理与普通变压器相同。如图 6-45 (b) 所示，一、二次侧电压与匝数的关系为：

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

自耦变压器的电压变比 K 较小，一般为 1.25~2。在自耦变压器传输的功率中，一部分是一、二次绕组间的电磁感应分量，另一部分是一、二次绕组电路直接传输的分量（本书不详细分析）。因此，在同等容量条件下，自耦变压器相对于普通变压器来说体积小、损耗小、结构简单、效率高，所以，在电力系统大功率传输网络中得到了广泛的应用。

若将自耦变压器的低压绕组分接头做成沿线圈滑动的触头，则变成自耦调压器。三相自耦调压器常用于三相感应电动机的启动。

单相自耦调压器（如图 6-46 所示）常用于试验中调节交流电压。当一次侧外加 220V 交流电压时，调节滑动触头的位置，可使二次侧输出电压在 0~250V 范围内变化。

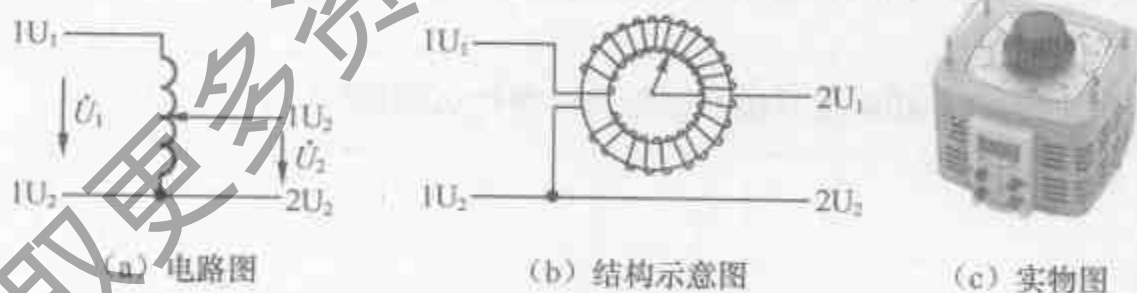


图 6-46 单相自耦调压器

思路点拨

- ① 改变一、二次绕组的匝数比就可改变一、二次绕组的端电压，实现电压的变换。
- ② 自耦变压器不能作安全变压器使用。因为一、二次侧的两个绕组是相通的，它们之间有电的直接联系，若使用不当，会引起触电事故。

知识链接

如何检测小型电源变压器

在各种电器和电力控制设备中，广泛使用电源变压器，如图 6-47 所示。作为电工，完

全有必要掌握电源变压器的一些基本检测方法。

① 外貌检查。检查线圈引线是否断裂、脱焊，绝缘材料是否有烧焦痕迹，铁芯紧固螺杆是否松动，硅钢片有无锈蚀，绕组线圈是否外露等。

② 绝缘性能测试。用万用表的 $R \times 10k$ 挡分别测量铁芯与初级、初级与各次级、铁芯与各次级、静电屏蔽层与初级、次级各绕组间的电阻值，万用表指针均应指在无穷大位置不动，否则，说明变压器绝缘性能不良。

③ 绕组通断的检测。将万用表置于 $R \times 1$ 挡，测试中若某个绕组的电阻值趋于无穷大，则说明此绕组有断路性故障。

④ 初、次级绕组的判别。电源变压器初级引脚和次级引脚一般都是分别从两侧引出的，并且初级绕组多标有“220V”字样，次级绕组则标出额定电压值，如 15V、24V、35V 等。可根据这些标记进行识别。

⑤ 电源变压器短路性故障的综合检测判别。电源变压器发生短路性故障后的主要症状是发热严重和次级绕组输出电压失常。通常，线圈内部匝间短路点越多，短路电流就越大，而变压器发热就越严重。检测、判断电源变压器是否有短路性故障的简单方法是测量空载电流。存在短路性故障的变压器，其空载电流将远大于满载电流的 10%。当短路严重时，变压器在空载条件加电后几十秒钟之内便会迅速发热，用手触摸铁芯会有烫手的感觉。此时不用测量空载电流便可断定变压器中有短路点存在。



图 6-47 常用电源变压器

关于变压器，判断下列说法是否正确。

- ① 变压器可以变换电压、电流和阻抗。
- ② 变压器可以使用交流电源，也可以使用直流电源。
- ③ 自耦变压器的初、次级共用一个绕组。
- ④ 电压互感器工作时相当于变压器运行在负载状态。
- ⑤ 电流互感器工作时相当于变压器运行在短路状态。

提示：①、③、⑤说法正确，②、④说法错误。

想一想

6.6 小型电源变压器的绕制与维修

——按部就班

在电气设备日常维护中，经常会碰到小型变压器线圈、交直流接触器线圈、各种继电器线圈、电磁铁及电磁阀线圈烧毁而需要重新绕制的问题。绕制变压器的工序很多，如拆卸铁芯、绕制绕组、安装铁芯、浸漆烘烤等，有时还需要自己制作线圈骨架。完成这些工序，需要耗费一定的时间。

6.6.1 线圈绕制工艺——绕制线圈如纺线，右手摇柄左握线

现以小型变压器线圈的绕制为例，介绍线圈的绕制方法和步骤。

1. 加热铁芯

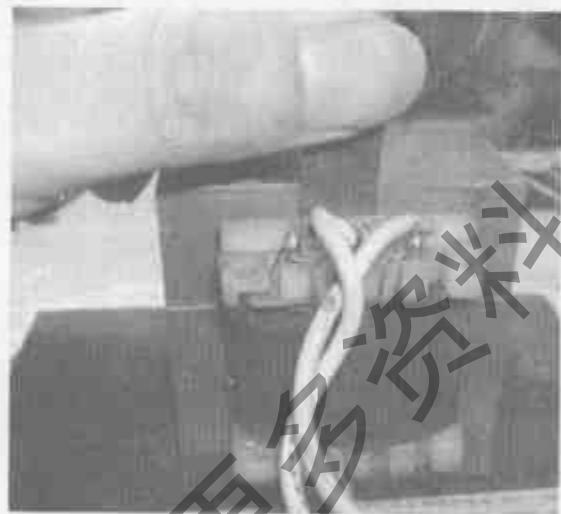
在拆解铁芯之前必须对铁芯加热，因为常温下变压器浸的绝缘漆非常坚硬，拆卸铁芯很困难，而且很容易把铁芯拆烂。加热后绝缘漆会软化，这时拆卸就容易多了。加热时可以用烘箱、白炽灯、电吹风等进行，加热到铁芯烫手就可以了。加热时注意铁芯受热要均匀，不要把绕组骨架烧焦了。图 6-48 所示为用电吹风加热。



图 6-48 用电吹风加热铁芯

2. 拆卸铁芯

用电工刀或钢锯条把铁芯逐片分离拆下，如图 6-49 所示。注意拆卸时尽量不要使铁芯变形，否则铁芯装回时间隙会增大。



(a) 用钢锯条拆卸硅钢片



(b) 用电工刀拆卸硅钢片



(c) 拆卸下来的硅钢片

图 6-49 拆卸铁芯

3. 拆除旧线圈并记录数据

根据原线圈上注明的参数或拆除旧变压器时记录的数据，可以方便地选择漆包线的型号

及线径，做到心中有数，有据可查。其方法是：把旧线圈装上绕线机拆线时，先把绕线机的计数器调零，这样就可以准确计算出线圈的匝数，如图 6-50 所示。

4. 测量线径

用千分尺测量漆包线的直径，如图 6-51 所示。

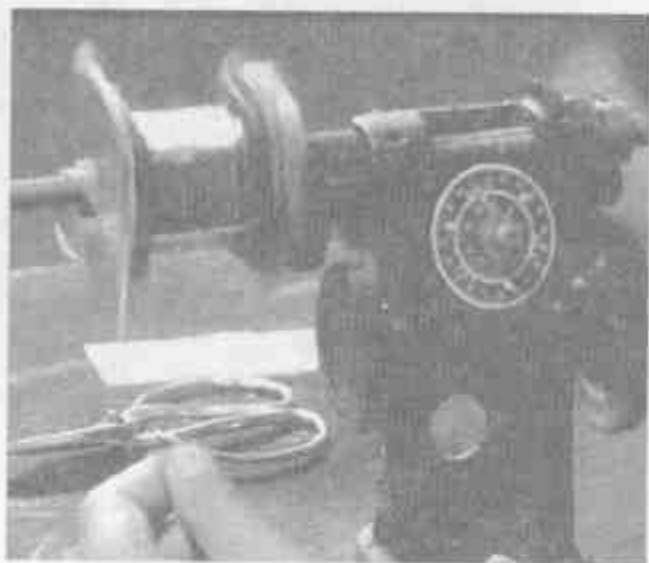


图 6-50 记录旧线圈的匝数

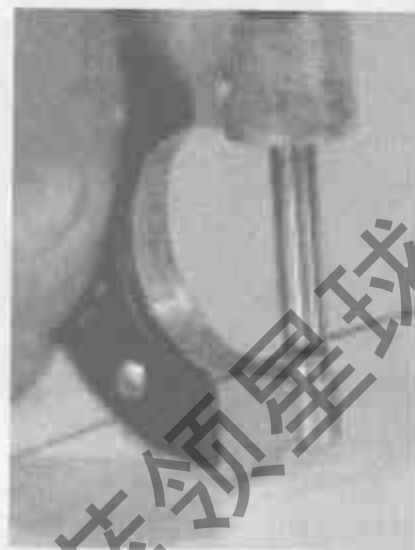


图 6-51 用千分尺测量线径

5. 清理绝缘漆

把绕组骨架上残留的绝缘漆屑清理干净，如图 6-52 所示。

6. 绕制绕组

绕制时，要求线圈紧密、平整，不出匝叠线。其要领是：持导线的手以工作台边缘为支撑点，将导线稍微拉向绕组前进的反方向约成 5° 倾角，拉线的手顺绕线前进方向慢慢移动，拉力的大小随导线直径的大小而变化，能使导线绕紧即可，如图 6-53 所示。每绕完一层绕组应垫一层绝缘材料，如图 6-54 所示。一组绕组绕制快结束时，要垫上

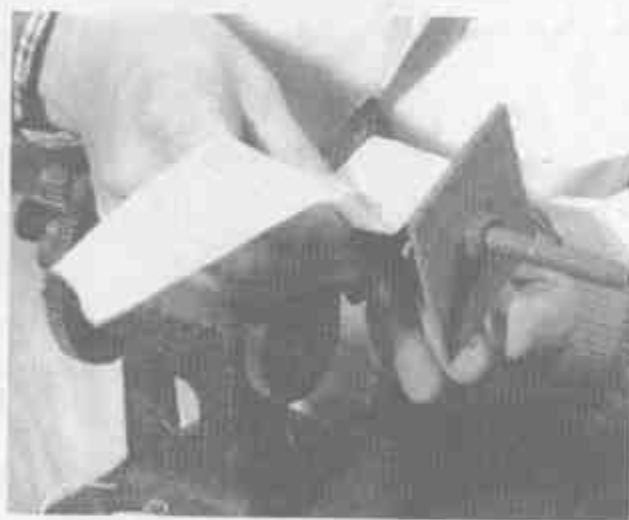


图 6-52 把骨架清理干净

一条绝缘带折条，再继续绕制。当该绕组绕制结束时，检查匝数无误后，留足余量，剪断导线。将剪断的线头插入折条缝中，拉紧绝缘带，完成线圈的线尾固定。每绕完一组绕组，就要垫好绕组间的绝缘材料，并用万用表进行绕组的通路检查。线圈所有绕组均绕制完成后，应用绝缘带包扎好，再用纱线将引出线绑扎在线圈表面，然后包上绝缘带，完成线圈的绝缘包扎。

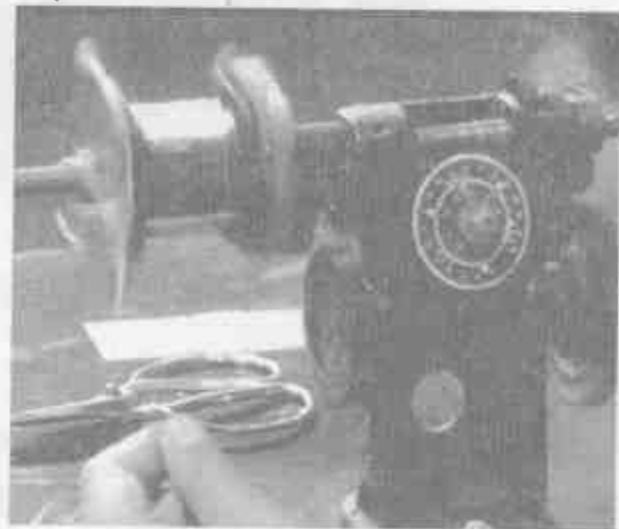
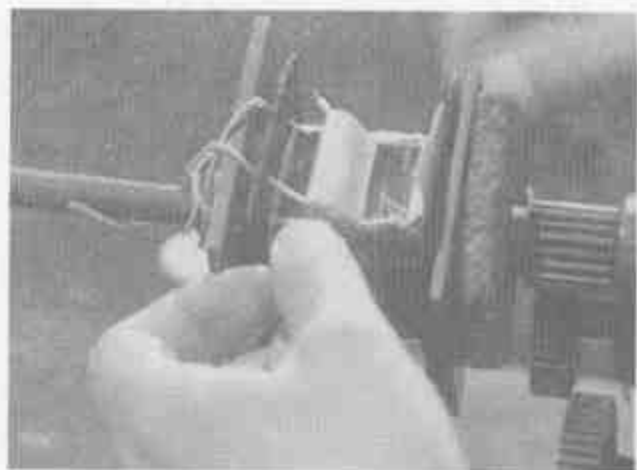


图 6-53 绕线方法



图 6-54 垫层间绝缘材料

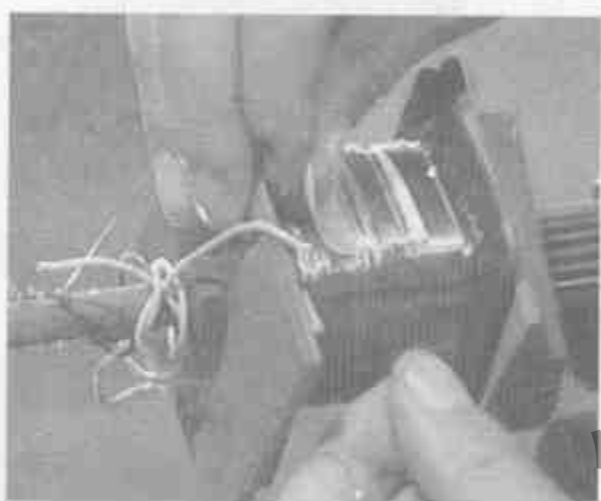
绕制绕组时引出线的处理方法如下：绕制绕组做引出线时，注意引出线应在铁芯中心柱的一侧。若线圈导线的直径在 0.3mm 以上，可直接作为引出线。如果线径较小，则应用多股软线焊接并处理好绝缘后引出，如图 6-55 所示。



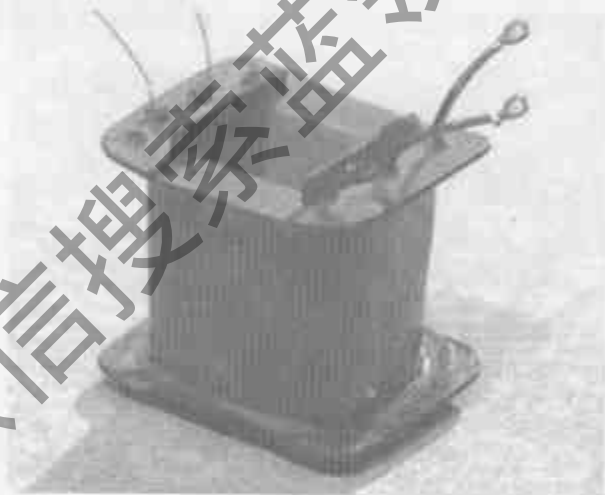
(a) 绕组引出线



(b) 焊接引出线



(c) 拉紧绝缘带



(d) 线圈绝缘包扎

图 6-55 绕组引出线及绝缘包扎

7. 安装铁芯

铁芯能否完全插满就看拆卸的时候是否不小心把铁芯弄变形了，以及安装的时候是否把铁芯上残留的绝缘漆清理干净。

清理时，尽量避免用刀刮，以免刮伤硅钢片。可用竹片、木片等轻轻地把残留的绝缘漆刮掉，然后用刷子清理干净后再装上，如图 6-56 所示。

安装铁芯时，硅钢片应从线包两边一片一片地交叉对嵌，铁芯嵌片要求紧密、整齐。嵌最后几片时，可用钢锯条或一字形螺丝刀撬开夹缝插入。铁芯插满后，用手锤把铁芯整理平整，使铁芯连接紧密，如图 6-57 所示。

8. 测试

绕组绕制好以后，用 500V 兆欧表检查各绕组间及对地绝缘电阻（应大于 $1M\Omega$ ），如图 6-58 所示。通电测量空载电流及各二次绕组的电压是否正常，过一段时间后观察有无异常发热现象，如图 6-59 所示。最后把铁芯罩装上夹紧，如图 6-60 所示。

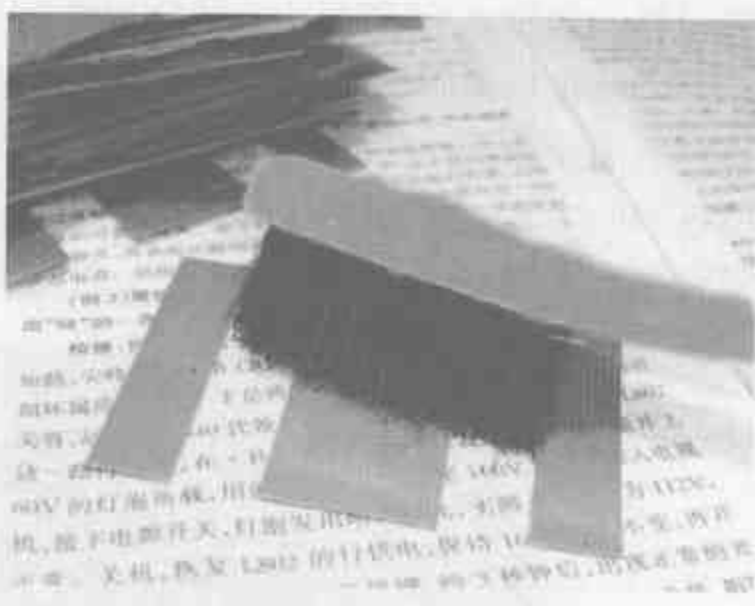


图 6-56 用刷子清理硅钢片



(a) 交叉对嵌



(b) 撬开夹缝插入



(c) 用手锤把铁芯整理平整

图 6-57 安装铁芯



图 6-58 绝缘电阻测试

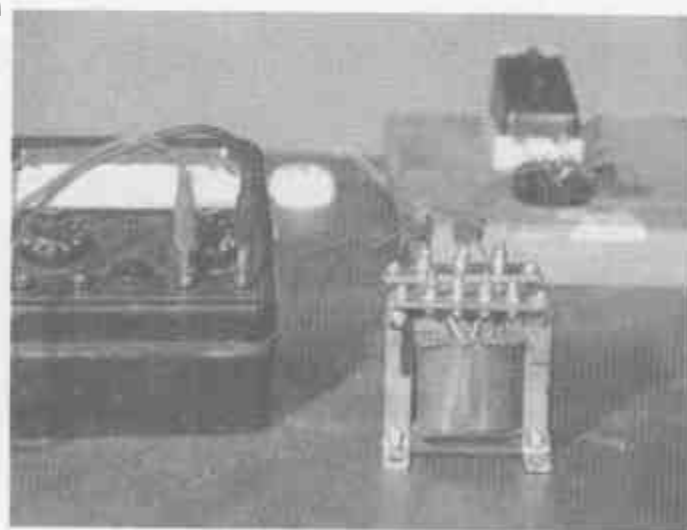


图 6-59 测量空载电压和电流



图 6-60 用台虎钳夹紧铁芯罩

9. 浸绝缘漆和烘干

重新绕制变压器的最后一道工序就是浸绝缘漆和烘干，具体内容这里不再介绍。

思路点拨

绕制变压器绕组的注意事项如下。

- ① 仔细看清图纸，看清绕组匝数、层数、段数以及各段匝数。检查导线及绝缘材料的规格是否与图纸相符。
- ② 在绕线过程中，应随时注意观察导线匝间绝缘是否破裂或出现跑层、少层现象。
- ③ 绕制绕组时应注意观察导线的弯曲状况。如发现弯曲，应用木板打平或用手钳、扳手等缠上布带校直，不可用金属工具直接接触导线。
- ④ 绕线时必须注意绕向。面对线模从左起头往右绕为右绕向，反之为左绕向。也就是说，左起右绕向，右起左绕向。
- ⑤ 注意抽头的位置及匝数。
- ⑥ 检查导线焊接是否良好。

能力PK

按照本节介绍的方法，自己练习绕制一个带中心抽头的电源变压器。

6.6.2 常见故障的判断及修复——电流电压和温升，正常运行无噪声


小型变压器常见故障的判断及修复方法见表 6-2。

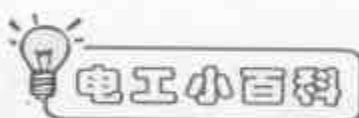
表 6-2 小型变压器常见故障的判断及修复方法

故障现象	故障分析	处理办法
接通电源后无电压输出	① 一次绕组或二次绕组开路或引出线脱焊； ② 电源插头接触不良或外接电源线开路	① 处理开路点或重绕线圈，焊牢引出线头； ② 检查、修理或更换电源线插头
空载电流偏大	① 铁芯叠厚不够； ② 硅钢片质量太差； ③ 一次绕组匝数不够； ④ 一、二次绕组局部匝间短路	① 增加铁芯厚度或重做骨架、重绕线圈； ② 更换高质量的硅钢片； ③ 增加一次绕组匝数； ④ 拆开绕组，排除短路故障
运行中响声大	① 铁芯未插紧或插错位； ② 电源电压过高； ③ 负荷过重或有短路现象	① 插紧铁芯，纠正错误硅钢片； ② 检查、处理电源电压； ③ 减轻负载，排除短路故障
电压过高或过低	① 电源电压过高或过低； ② 一次或二次绕组匝数搞错	① 检查、处理电源电压； ② 重新绕制线圈
铁芯或底板带电	① 一次或二次侧对地绝缘损坏或绝缘老化； ② 引出线碰触铁芯或底板	① 绝缘处理或更换、重绕线圈； ② 排除碰触点，做好绝缘处理

续表

故障现象	故障分析	处理办法
温升过大或冒烟	① 负载过重, 输出端有短路现象; ② 铁芯叠厚不够, 硅钢片质量太差; ③ 硅钢片间涡流过大; ④ 层间绝缘老化; ⑤ 线圈有局部短路现象	① 减轻负载, 排除短路故障; ② 增加铁芯厚度或更换高质量的硅钢片; ③ 重新处理硅钢片绝缘; ④ 浸漆、烘干, 增强绝缘或重绕线圈; ⑤ 检查、处理短路点或更换新线圈

 想一想 小型变压器的常见故障有哪些? 产生故障的原因是什么? 如何处理这些故障?



电源变压器的选用

通用的电源变压器(定制的除外)上标注的均为空载电压,使用时要注意电压调整率。通用的变压器允许超载6%使用。例如,220V/5W的变压器允许在220V/5.3W的情况下使用。如电网电压波动较大,经常超过240V,则在选用变压器的功率时要比实际使用功率大一些。用在整流稳压电路中的变压器的功率为直流稳压输出功率的1倍。

一般来说,变压器的输出电压要高于稳压电压3~3.8V。例如,5V稳压电源的变压器要选10V、8V或9V的(长期满载工作的选9V,否则选8V)。

获取更多资料

第7章 电工工具

——电工贴身小助手

电工在检修、安装电气线路时，经常要请一些小助手——电工工具帮忙，包括一些电工测量工具。正确使用和维护电工工具，既有助于提高工作效率和施工质量，又能减轻劳动强度，保证操作安全和延长电工工具的使用寿命。若使用不当，或选用不合乎规格、质量不好的工具，会影响施工质量，甚至造成事故。因此，电工必须掌握电工工具的正确使用方法。

常用电工工具是指专业电工都要使用到的工具，包括低压试电笔、高压验电器、钢丝钳、尖嘴钳、斜口钳、活络扳手、电烙铁、电工刀和螺钉旋具（又称螺丝刀）等。

通过本章学习，要求达到以下目标。

知识目标

- ① 了解常用电工工具的名称和种类。
- ② 掌握万用表、钳形电流表和兆欧表的维护常识。
- ③ 了解新型常用电工工具的使用方法。

能力目标

- ① 能够正确选择和使用常用电工工具，并做好维护保养工作。
- ② 能够正确选择和使用万用表、钳形电流表和兆欧表。
- ③ 能够正确选择和使用其他电工工具。

7.1 试电笔

——有电无电电笔检，千万别碰金属杆

试电笔也称验电笔，简称电笔，它是用来检验导线、电器和电气设备的金属外壳是否带电的一种电工工具。试电笔具有体积小、重量轻、携带方便、使用简单等优点，是电工必备的工具之一，犹如电工的“眼睛”。

1. 试电笔的结构和工作原理

试电笔常做成钢笔式结构，有的也做成小型螺丝刀结构，如图 7-1 所示。试电笔由笔尖（或刀体）探头、电阻、观察孔、氖管、笔身、弹簧和金属端盖（或金属笔挂）等组成，其基本结构如图 7-2 所示。



图 7-1 钢笔式和螺丝刀式试电笔

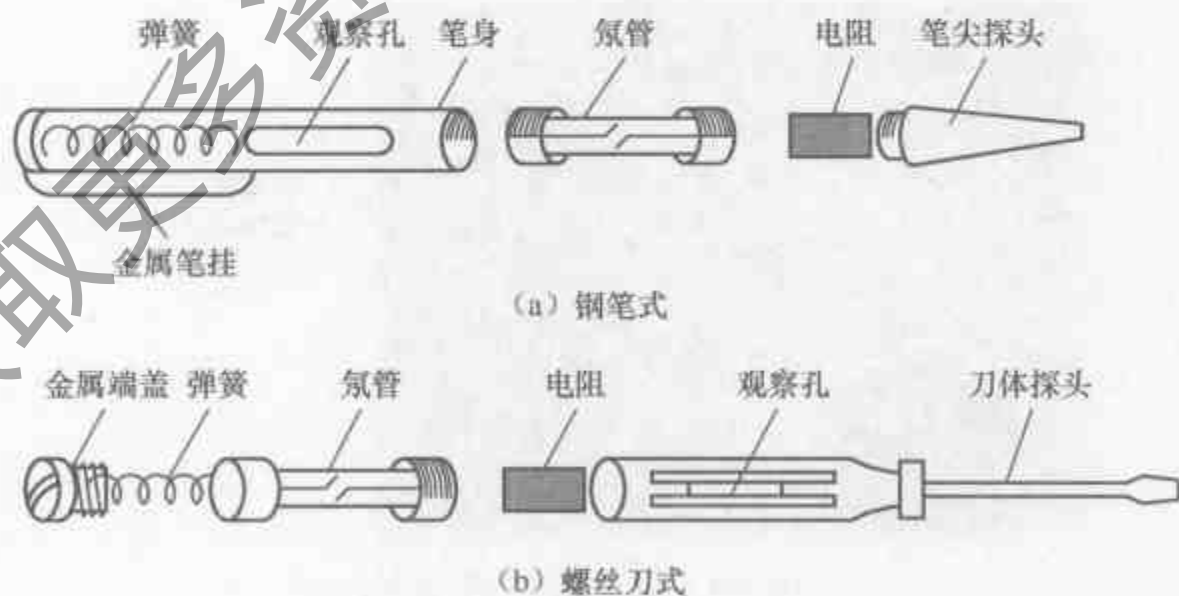


图 7-2 试电笔的基本结构

试电笔的工作原理是被测带电体通过试电笔、人体与大地之间形成的电位差超过 60V 时（不论是交流还是直流），试电笔中的氖管在电场的作用下会发出红色光。

2. 试电笔的测量范围

普通低压试电笔的电压测量范围为 60~500V。低于 60V 时，试电笔的氖管可能不会发光；对于高于 500V 的电压，严禁用普通低压试电笔去测量，以免产生触电事故。

3. 试电笔的使用方法

使用试电笔时，人手接触试电笔的部位一定要在试电笔的金属端盖或笔挂，而绝对不是试电笔前端的金属部分，如图 7-3 所示。

使用试电笔要使氖管小窗背光，以便看清它测出带电体带电时发出的红光。如果试电笔氖管发光微弱，切不可断定带电体电压不够高。也许是试电笔或带电体测试点有污垢，也可能测试的是带电体的地线，这时必须擦干净试电笔或者重新选择测试点。反复测试后，若氖管仍然不亮或者微亮，才能最终确定测试体确实不带电。

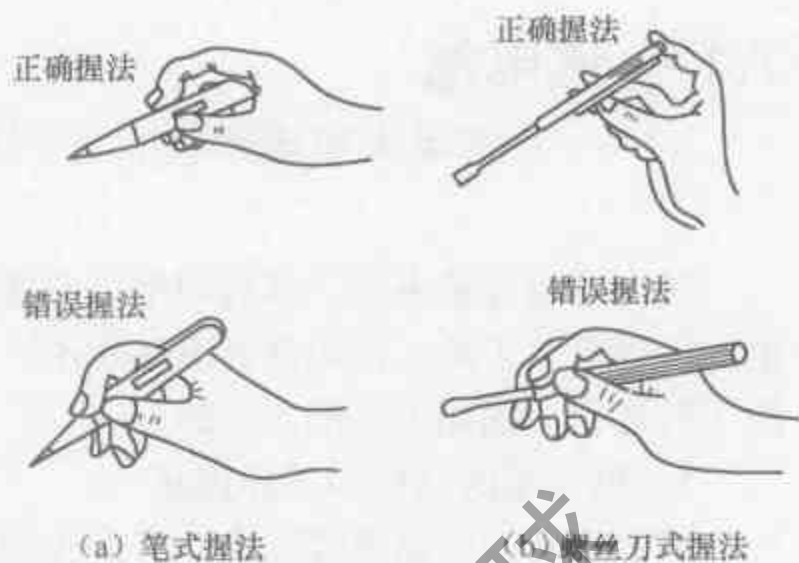


图 7-3 试电笔的握法

使用试电笔歌诀

使用电笔来验电，防止触电保安全。
手触笔尾金属点，千万别碰接地端。
笔身破裂莫使用，电阻不可随意换。
避光测量便观察，刀杆较长加套管。
保持干燥常清洁，不可接触高压电。

根据上面的歌诀，电工初学者在使用试电笔时要注意以下几个方面的问题。

- ① 使用试电笔之前，首先要检查试电笔内有无安全电阻，然后检查试电笔是否损坏，有无受潮或进水现象，检查合格后方可使用。
- ② 在使用试电笔测量电气设备是否带电之前，先要将试电笔在有电源的部位检查一下氖管是否能正常发光，若能正常发光，方可使用，如图 7-4 所示。



氖管发光，说明试电笔正常，否则有故障

图 7-4 检查试电笔的好坏

③ 在明亮的光线下或阳光直射下测试带电体时，应当注意避光，以防光线太强而不易观察到氖管是否发亮，造成误判。

④ 大多数试电笔前面的金属探头都制成小螺丝刀形状，在它拧小螺钉时用力要轻，扭矩不可过大，以防损坏。

⑤ 螺丝刀式试电笔的刀杆较长，应加装绝缘套管，以避免测试时造成短路及触电事故，如图 7-5 所示。



图 7-5 在刀杆上加装绝缘套管

- ⑥ 使用完毕后，要保持试电笔清洁，并放置在干燥处，严防摔碰。

知识链接

试电笔的特殊用途

试电笔除了用来测量线路有无电、区分相线与中性线之外，还具有一些特殊用途。

- ① 区别交、直流电源。

用试电笔区分交、直流电歌诀

电笔能分交直流，亮为交流暗直流。

交流两极全都亮，直流亮点在一头。

检测直流可分极，要看亮点在哪头。

前端亮者为正极，后端发光为负极。

当测试交流电时，氖管的两个极会同时发光；而测试直流电时，氖管只有一个极发光。把试电笔连接在正、负极之间，发亮的一端为电源的负极，不亮的一端为电源的正极。

- ② 判别电压的高低。

用试电笔判别高低压歌诀

氖管发光强或弱，电压高低可估计。

低于六十没有光，五百以上一定忌。

亮度感觉凭经验，220/380 要牢记。

有了标准作参考，根据亮度估 V 级。

普通低压试电笔的电压测量范围为 60~500V。有经验的电工可以凭借自己经常使用的试电笔氖管发光的强弱来估计电压的大约数值，氖管越亮，说明电压越高。

- ③ 区分交流电同相或异相。

用试电笔区分交流电同相或异相歌诀

是否同相莫着急，两支电笔来分析。

两脚与地要绝缘，两手各持一支笔。

各测一相导电线，观察氖管亮或熄。

同相两笔都不亮，异相都亮两支笔。

如图 7-6 所示，人站在完全对地绝缘的物体上，两只手各握一支试电笔（要注意握笔的要求，防止触电）。当两支笔同时接触两根带电的导线时，若这两根导线属于同一相，由于电位相等，即没有电压，所以试电笔不会发光，即“同相两笔都不亮”；若这两根导线各属一相

(即异相), 由于电位不相等, 存在一定的电压, 所以在两支试电笔和人体串联的通路中会有电流通过, 两支试电笔将同时发光, 即“异相都亮两支笔”。

④ 检查相线是否碰壳。用试电笔触及电气设备的壳体, 若氖管发光, 则有因相线碰壳而漏电的现象。

⑤ 判断 380V/220V 三相三线制供电线路相线接地故障。



图 7-6 用试电笔区分交流电同相或异相的方法

判断相线接地故障歌诀

星形接法三相线, 正常三线电笔亮。

若是 A 相微微亮, B、C 两相正常亮,

反复检测都如此, A 相接地出故障。

A、B、C 相不见亮, 金属接地需思量。

电力变压器的二次侧一般都接成 Y 形, 在中性点不接地的三相三线制系统中, 用试电笔触及 3 根相线时, 有两根比通常情况稍亮, 而另一根的亮度要弱一些, 则表示这根亮度弱的相线有接地现象, 但还不太严重; 如果两根很亮, 而剩余一根几乎看不见亮光, 则说明这根相线有金属接地故障。

想一想

“某市 7 岁女孩欢欢, 在家中玩耍时看见一支试电笔, 好奇的她便学着大人的样子用右手握着试电笔往电源插座上插。由于她的手握着金属部分, 一下子被电击中。家长立即将欢欢送到市第五医院烧伤科进行抢救。据该院医生的介绍, 欢欢的右手被电击伤, 烧伤深度为 3 级, 需手术治疗。”读了这则消息, 你有何感想?

电工小百科

新型试电笔介绍

① 数显感应试电笔。数显感应试电笔是近年来才出现的一种电工工具。图 7-7 所示的是比较常见的一种; 还有一种是带照明灯的感应试电笔, 如图 7-8 所示。利用感应试电笔无需物理接触, 即可检查控制线、导体和插座上的电压或沿导线检查断路位置。数显感应试电笔既灵敏又安全, 它是电工日常工作必备工具之一, 下面简要介绍其使用方法。

- 交流验电: 手触直接测量按钮, 用笔头测带电体, 有数字显示者为相线, 反之为零线, 如图 7-9 所示。
- 线外估测零、相线及断点: 手触检测按钮, 用笔头测带电体绝缘层, 有符号显示者为相线, 反之为零线; 沿线移动符号消失的部位为导线的断点位置。
- 自检: 用一只手触及直接测量按钮, 另一手触及笔头, 发光管亮者证明试电笔本身正常 (以下测量均要用手触及直接测量按钮)。
- 测电气设备的通断 (不能带电测量): 手触被测设备一端, 测另一端, 亮者为设备导通, 反之为断开。



图 7-7 常见的感应试电笔



图 7-8 带照明灯的感应试电笔

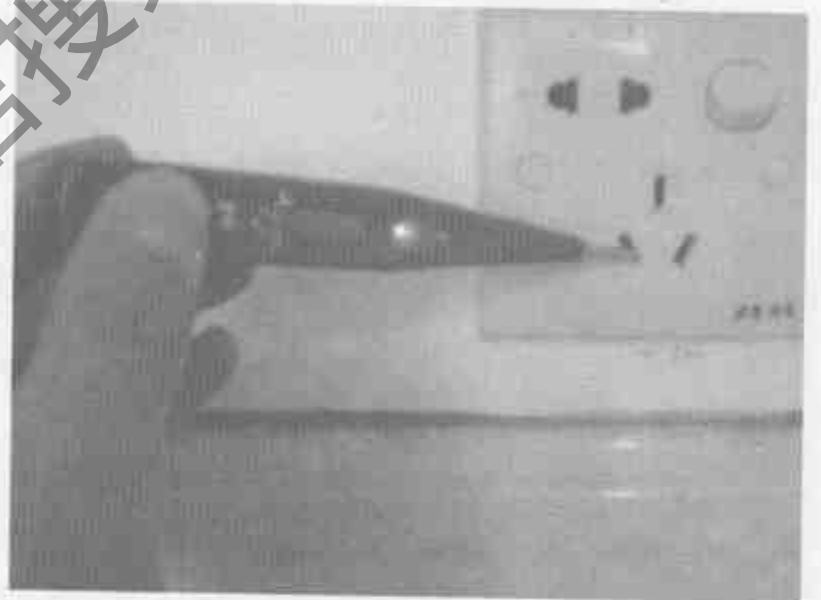


图 7-9 测量交流电

- 测电池容量：手触电池正极，用笔头测电池负极，不亮者为电池有电，亮者为无电。
- 测电子元器件。

测小电容器：手触电容器的一个极，用试电笔测另一极，闪亮一下说明电容器正常，对调位置测量。如均亮或均不亮，证明电容器短路（或容量过大）或断路。

测二极管：手触二极管的一个极，用试电笔测另一极，亮者说明手触极为正极，反之为负极。双向均亮或均不亮，则说明二极管短路或断路。

测三极管：轮流用手触三极管的一个极，分别测另外两个极，直至全亮时，手触极为基极，该三极管为 NPN 型。测某极，手触另外两个极，亮者说明所测极为基极，该三极管为 PNP 型。

在使用数显感应试电笔时，如果试电笔自检失灵，要打开后盖检查电池是否正常或接触是否良好。

② 非接触试电笔。非接触试电笔如图 7-10 所示，可用于检验危险电压是否存在，侦测护套内断路点的位置，探测微波炉是否有微波泄漏，检查电线带电情况等。

③ 防水试电笔。如图 7-11 所示，防水试电笔采用橡胶覆膜表面，使用非常安全和方便。

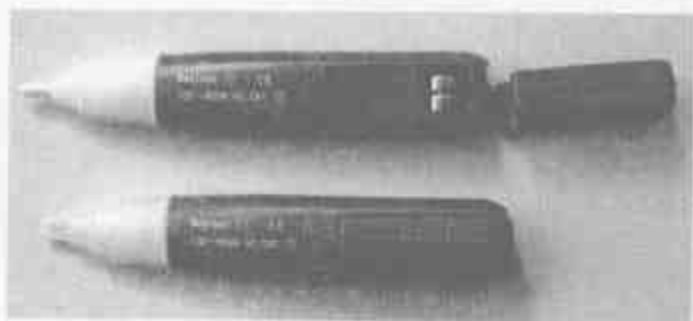


图 7-10 非接触试电笔



图 7-11 防水试电笔

7.2 高压验电器

——检验有无高压电，一人监护一人验

高压验电器是用来检查 10kV 以上高压线路和电力设备是否带电的专用验电工具，也是电工常用的安全用具之一，如图 7-12 所示。

目前广泛采用的高压验电器有发光型、声光型和风车式 3 种类型，它们一般都由检测部分（指示器部分或风车）、绝缘部分和握手部分组成。

绝缘部分是指自指示器下部金属衔接螺钉起至罩护环的部分，握手部分是指罩护环以下的部分。其中绝缘部分、握手部分根据电压等级的不同，其长度也不相同。

高压验电器的常见电压等级有 10kV、35kV、110kV、220kV 等。

发光型高压验电器一般以辉光作为指示信号；新式高压验电器也有以音响或语言作为指示信号的。风车型高压验电器靠近被测设备时，一旦指示叶片正常回转，则说明该设备有电，如图 7-13 所示。



图 7-12 使用高压验电器验电



图 7-13 风车型高压验电器

思路点拨

使用高压验电器时应注意以下几点。

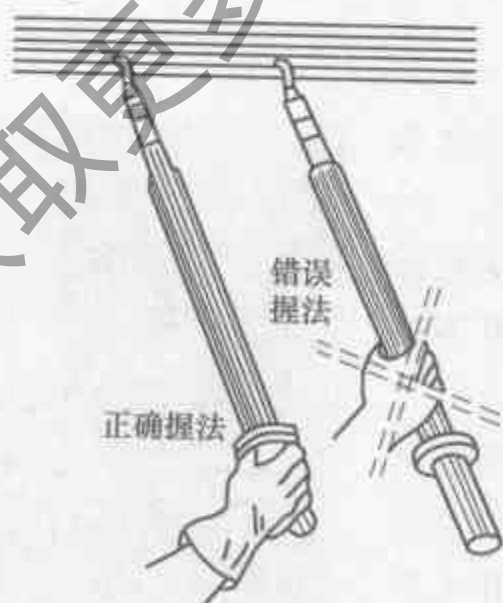
① 必须注意高压验电器的额定电压和被检验电气设备的电压等级是否适应。在使用前，应检查高压验电器的各种配件是否完好，绝缘是否符合要求，如图 7-14 所示。在室外使用高压验电器时，天气情况必须良好。



图 7-14 检查高压验电器

② 测试时，必须戴耐压强度符合要求并在有效期内检验合格的绝缘手套，用手握住高压验电器手柄（不要超过保护环），如图 7-15 (a) 所示。

③ 对线路验电应逐相进行，测试时，逐渐靠近被测体，如图 7-15 (b) 所示，直至氖管发光；若逐渐靠近被测体的过程中一直无光、声指示（或叶片不回转），则说明被测体不带电。如在接近过程中突然发光、发声或叶片有回转指示，应立即停止验电。



(a) 握法



(b) 测试方法

图 7-15 高压验电器的使用

④ 测试时，操作者最好站在高压绝缘垫上，并且一人测试一人监护，以防止发生相间短路或对地短路事故，人与带电体应保持足够的安全距离（10kV 高压为 0.7m 以上）。

⑤ 对同杆塔架设的多层电力线路进行验电时，其操作顺序为：先验低压，后验高压；先验下层，后验上层。

⑥ 每次使用完验电器后，应将验电器擦拭干净，放置在盒内，并存放在干燥通风处，以免受潮。为保证安全，验电器应按规定周期进行试验和检查。

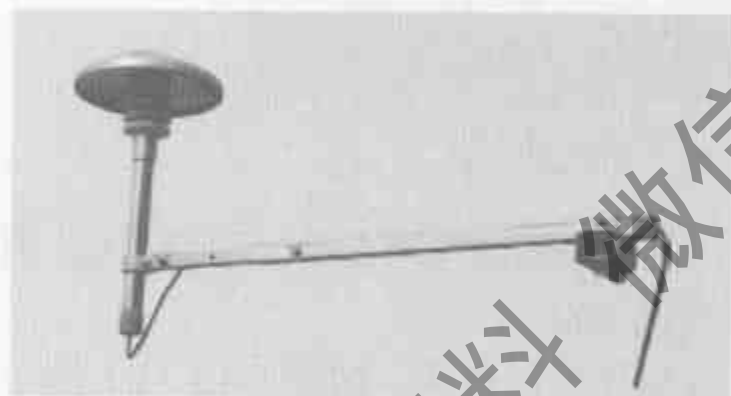
想一想 使用高压验电器时应注意哪些问题？



电工小百科

感应型高压带电显示验电装置介绍

感应型高压带电显示验电装置是一种利用静电感应原理指示高压电气设备是否带有运行电压的验电装置，如图 7-16 所示。



(a) 传感器



(b) 带电显示验电器

图 7-16 感应型高压带电显示验电装置

该装置具有以下特点。

① 复合高压带电显示功能。在高压设备带有运行电压时，常设带电显示和专设验电插件发出红色闪光，以直观、醒目的方式提醒工作人员设备带电，防止误触带电设备或带电合接刀闸等引起人身、设备事故，如图 7-17 所示。

② 分相检测逐相验电功能。每路安装 3 只专用高可靠性、抗干扰传感器，可分相检测、验证本路高压设备运行状况。传感器可有效防止旁路、邻相、隔离开关断口的一侧高压带电设备对停电部位的干扰，不会出现误指示。强制电气闭锁回路采用高可靠性元件，并具有全回路自检功能。

③ 可靠性高。具有双重显示方式，可确保验电可靠；专设的验电插件可满足安全规程的验电要求。



图 7-17 感应型高压带电显示验电装置的使用

④ 可带电安装。传感器装设在高压设备对地安全距离外，不会发生绝缘击穿而危及一次设备和人身安全，保证运行安全。安装无需停电，安装、运行、检查轻松简单。

⑤ 全天候运行。不受风、雨、雪、雾等恶劣天气的影响。

7.3 旋具

——型号规格要备齐，巧用旋具省力气

电工常用的旋具有螺钉旋具和螺母旋具两大类。使用旋具得讲究用力方法，既需要有“蛮力”，也需要用巧力。

1. 螺钉旋具

螺钉旋具是一种紧固和拆卸螺钉的工具，习惯上称为螺丝刀或起子，也称改锥。按其头部形状不同，可分为一字形和十字形两种，如图 7-18 所示。

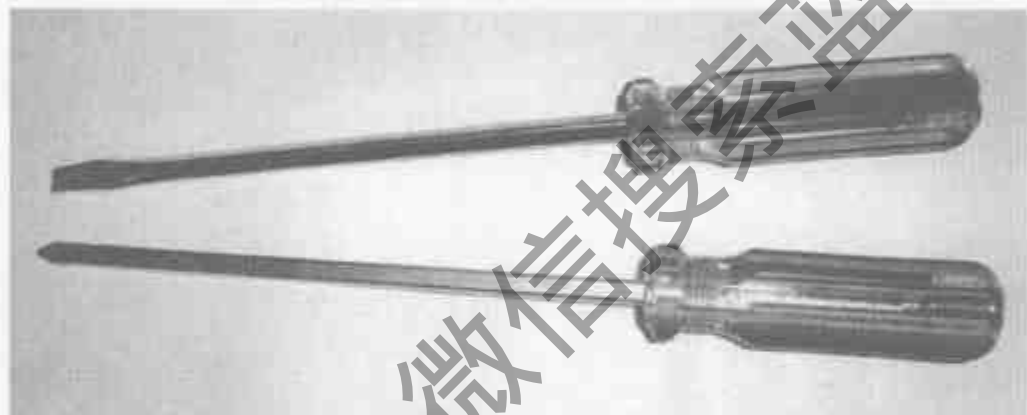
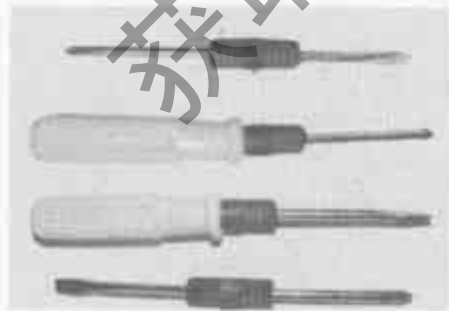


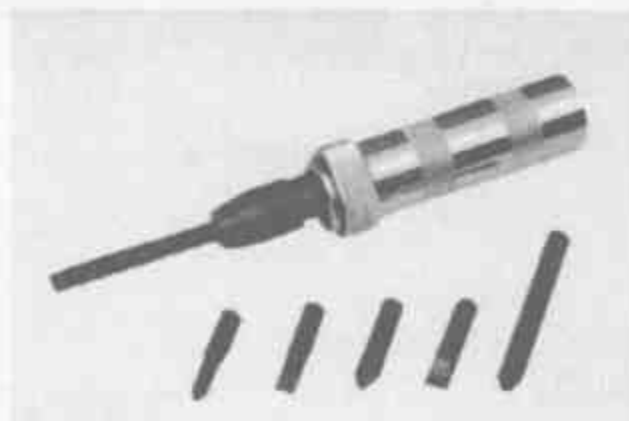
图 7-18 螺钉旋具

螺钉旋具的规格很多，其标注方法是先写标杆的外直径，再写标杆的长度（单位都是 mm）。如“6×100”表示杆的外直径为 6mm，长度为 100mm。

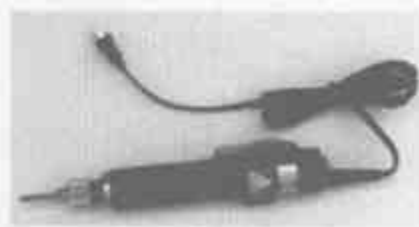
近年来还出现了多用组合式螺钉旋具、冲击式螺钉旋具、电动式螺钉旋具等新型工具，如图 7-19 所示，可根据需要选用。



(a) 组合式



(b) 冲击式



(c) 电动式

图 7-19 新型螺钉旋具

思路点拨

螺钉旋具的使用方法很简单，主要应注意以下 3 点。

- ① 根据不同螺钉选用不同规格的螺钉旋具。
- ② 螺钉旋具有两种握法,如图 7-20 所示。使用旋具时,需将旋具头部放在螺钉槽口中,并用力推压螺钉,平稳旋转旋具。虽然使用螺钉旋具是力气活,但特别要注意用力均匀,不要在槽口中蹭动,以免磨毛槽口。



图 7-20 螺钉旋具的两种握法

- ③ 不要将旋具当作撬子使用,以免损坏螺钉旋具。

2. 螺母旋具

电工常用的螺母旋具有活络扳手、呆扳手和套筒扳手,这些都是用于紧固和拆卸螺母的工具。

电工最常用的是活络扳手,其组成如图 7-21 所示,它的扳口大小可以调节。常用规格有 200mm、250mm 和 300mm 三种,使用时应根据螺母的大小来选用。

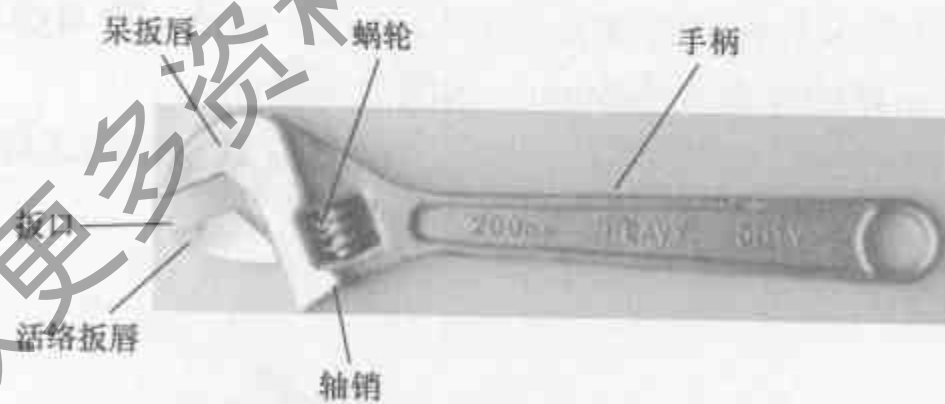


图 7-21 活络扳手

思路点拨

使用活络扳手应注意以下问题。

- ① 使用时,用右手握手柄。手越靠后,扳动起来越省力。扳动小螺母时,因需要不断地转动蜗轮,调节扳口的大小,所以手要握在靠近呆扳唇处,并用大拇指调制蜗轮,以适应螺母的大小,如图 7-22 所示。
- ② 用活络扳手的扳口夹持螺母时,呆扳唇在上,活扳唇在下。活络扳手切不可反过来使用。
- ③ 不得把活络扳手当作锤子用。

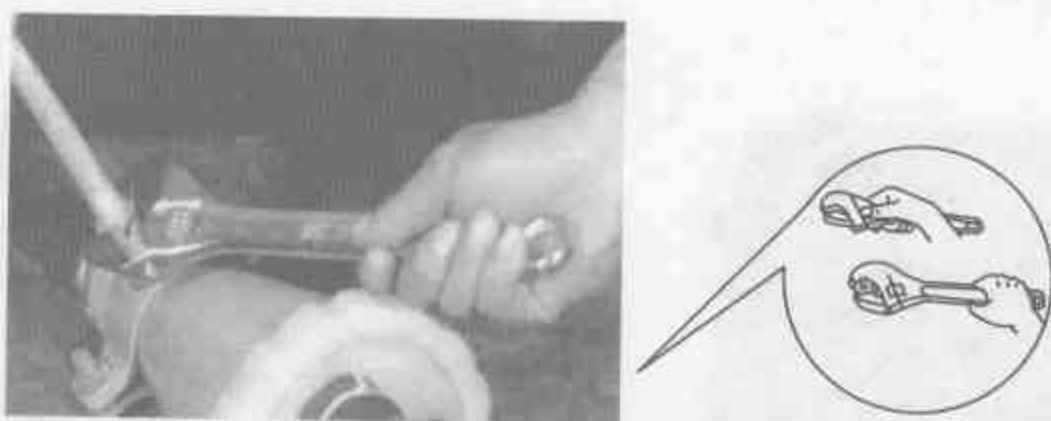
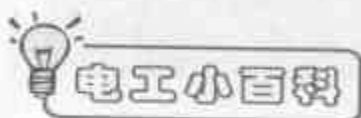


图 7-22 活络扳手的使用方法



其他旋具

电工还经常用到呆扳手，呆扳手又叫开口扳手，它有单头和双头两种，其开口与螺钉头、螺母尺寸相适应，并根据标准尺寸做成一套，如图 7-23 所示。

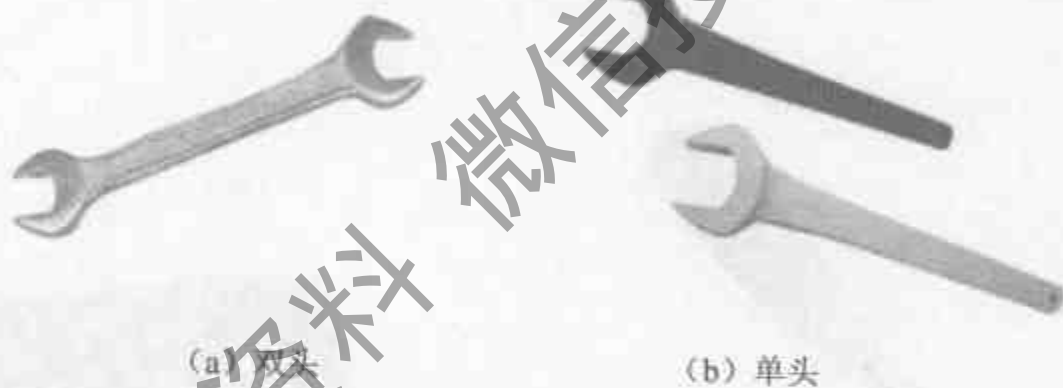


图 7-23 呆扳手

整体扳手有正方形、六角形、十二角形（俗称梅花扳手）。其中，梅花扳手在维修工作中应用颇广，如图 7-24 所示。使用时只要转过 30° ，就可改变扳动方向，所以梅花扳手在狭窄的地方工作较为方便。

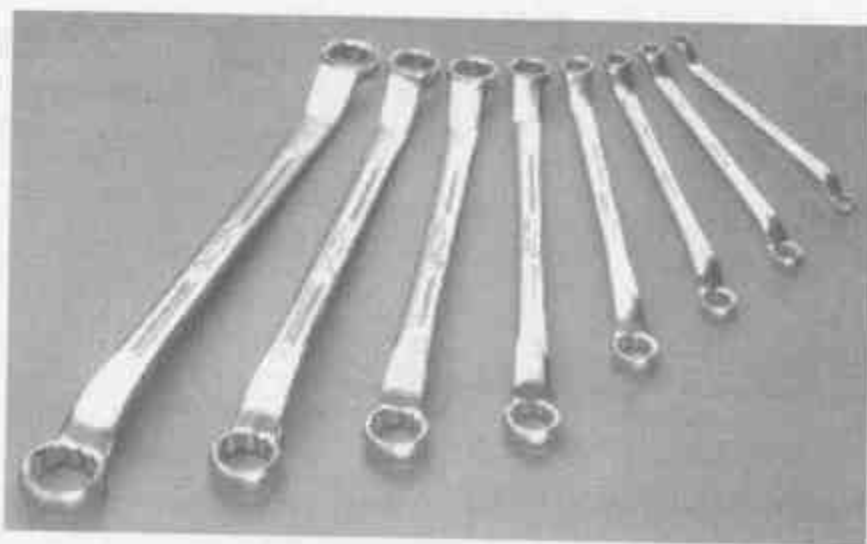


图 7-24 梅花扳手

套筒扳手由一套尺寸不等的梅花筒组成，如图 7-25 所示。使用时，用弓形的手柄连续转

动，工作效率较高。



图 7-25 套筒扳手及其使用方法

当螺钉或螺母的尺寸较大或扳手的工作空间很狭窄时，就可用棘轮扳手。这种扳手摆动的角度很小，能拧紧和松开螺钉或螺母。拧紧时，按顺时针转动手柄。方形的套筒上装有一只撑杆，当手柄向反方向扳回时，撑杆在棘轮齿的斜面中滑出，因而螺钉或螺母不会跟着反转。如果需要松开螺钉或螺母，只需翻转棘轮扳手朝逆时针方向转动即可，如图 7-26 所示。



图 7-26 棘轮扳手



想一想

在安装或检修时，合理选用螺母旋具可减轻劳动强度，说说在什么情况下使用活络扳手，在什么情况下使用呆扳手，在什么情况下使用套筒扳手？

7.4 电工刀

——庖丁解牛熟生巧，电工刀具离不了

电工刀适合电工在装配、检修工作中割削电线绝缘外皮，以及割削绳索、木桩等。电工刀的结构与普通小刀相似，它可以折叠，尺寸有大小两种。另外，还有一种多用型电工刀，既有刀片，又有锯片和银针，不但可以削电线，还可以锯割电线槽板、锥钻底孔，使用起来非常方便。电工刀的外形如图 7-27 所示，其使用方法如图 7-28 所示。

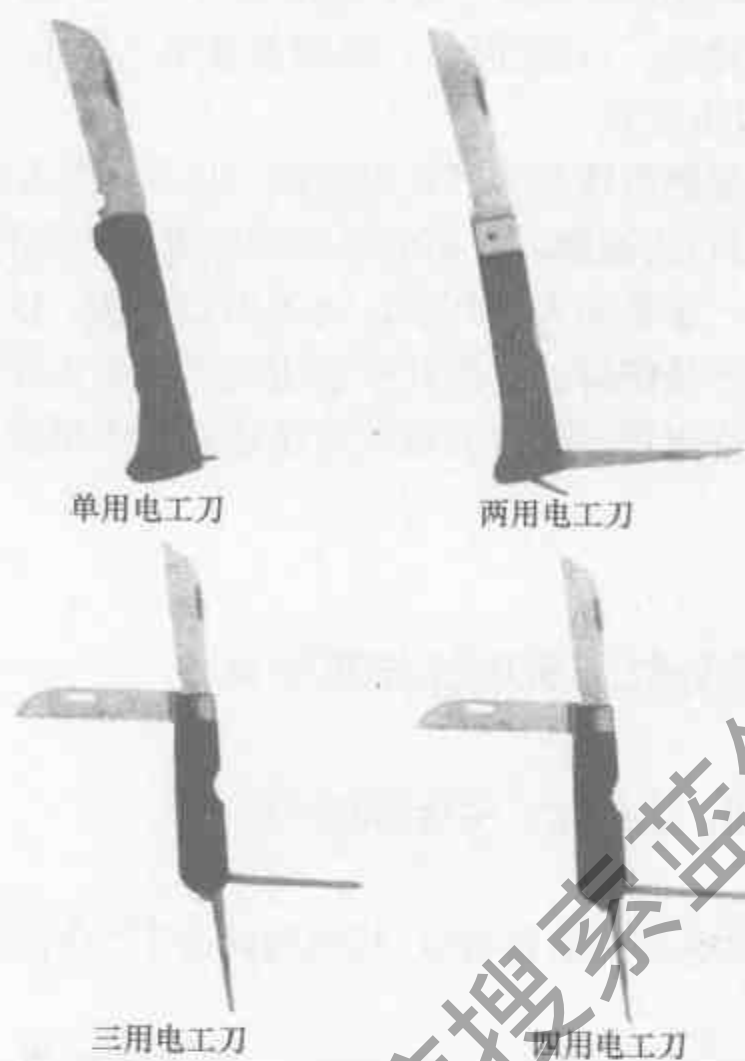


图 7-27 电工刀



图 7-28 用电工刀剥削导线的过程

思路点拨

虽然使用电工刀的方法比较简单，但是要娴熟地使用电工刀完成电工作业，尤其是做剥削电线绝缘层等比较细腻的工作，还是需要反复练习。古时候有个丁厨师，他的宰牛刀用了

19年，宰牛数千头，而刀口却像刚从磨刀石上磨出来的一样。因为他熟悉了牛的生理构造，自然懂得从何处下刀，刀刀到位，轻松简单。我们苦练电工技术，也是同样的道理。

使用电工刀时要注意以下几点。

- ① 电工刀的刀刃部分要磨得锋利才好切剥电线，但也不要太锋利，因为太锋利容易削伤线芯。磨刀刃一般采用磨刀石或油磨石，磨好后再把底部磨点倒角，即刃口稍微圆一些。
- ② 使用电工刀时刀口一定要朝人体外侧，切勿用力过猛，以免不慎划伤手指。
- ③ 电工刀的手柄一般不是绝缘的，因此严禁用电工刀带电操作电气设备。
- ④ 一般情况下，不允许用锤子敲打刀背的方法来剖削木桩等。

7.5 电工钳

——选取型号看导线，带电操作重安全

常用的电工钳有钢丝钳、剥线钳、尖嘴钳和压接钳。

1. 钢丝钳

钢丝钳主要由钳头和钳柄两大部分组成，其结构如图7-29所示。它是一种钳夹和剪切工具。

钢丝钳有150mm、175mm、200mm及250mm等多种规格，可根据内线或外线工种需要进行选用。钳头上的钳口用来弯绞或钳夹导线线头，齿口用来旋动螺母，刀口用来剪切导线或剖切软导线绝缘层，侧口用来侧切较硬的线材，如图7-30所示。

思路点拨

- ① 钢丝钳绝缘护套的耐压一般为500V，使用时必须保证手柄的绝缘性能良好。带电操作时，手离金属部分的距离应不小于2cm，以确保人身安全。
- ② 剪切带电导线时，严禁用刀口同时剪切相线和中性线，或同时剪切两根相线，以免发生短路事故。
- ③ 钳轴要经常加油，防止生锈。

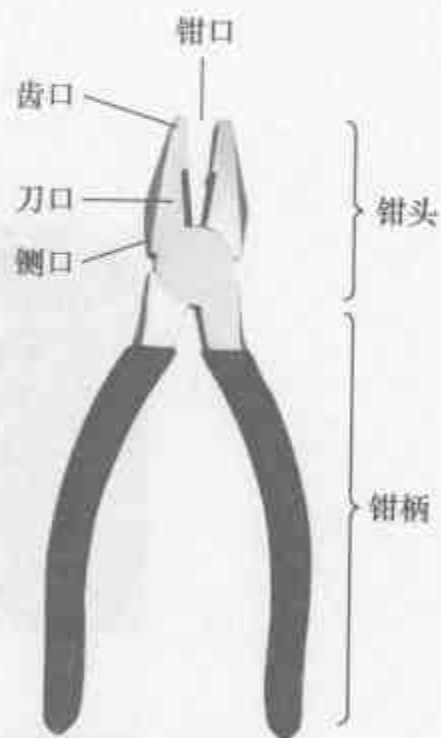
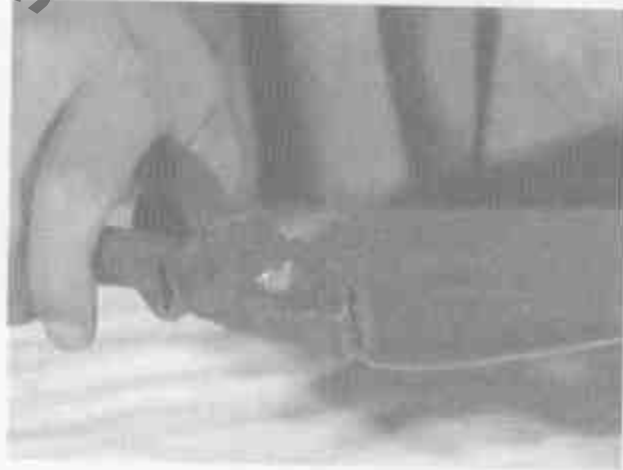


图 7-29 钢丝钳的结构

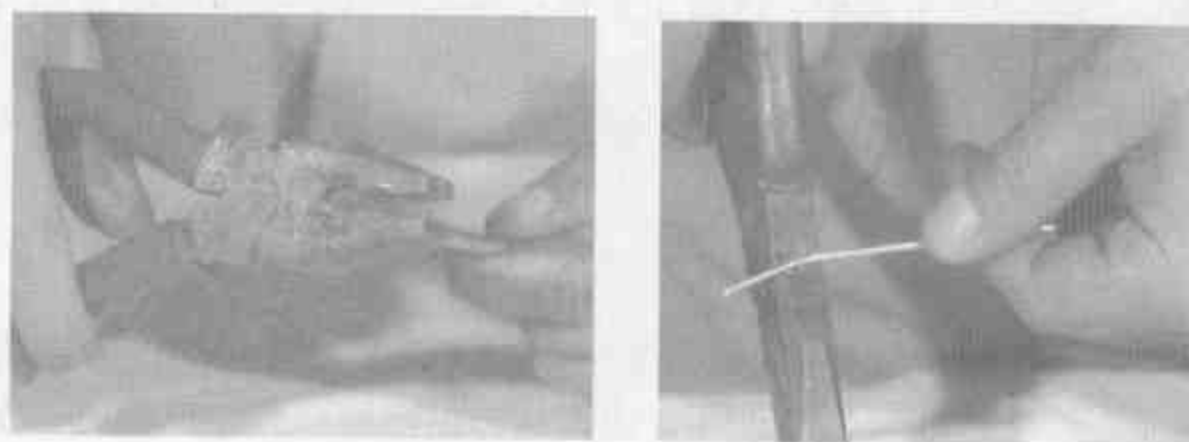


(a) 弯绞线头



(b) 旋动螺母

图 7-30 钢丝钳的使用方法



(c) 剪切导线

(d) 锯切钢丝

图 7-30 钢丝钳的使用方法 (续)

2. 尖嘴钳

尖嘴钳如图 7-31 所示, 其头部尖细, 适用于在狭小的空间夹持较小的螺钉、垫圈、导线及将单股导线接头弯圈、剥削塑料电线绝缘层, 也可用来带电操作低压电气设备。

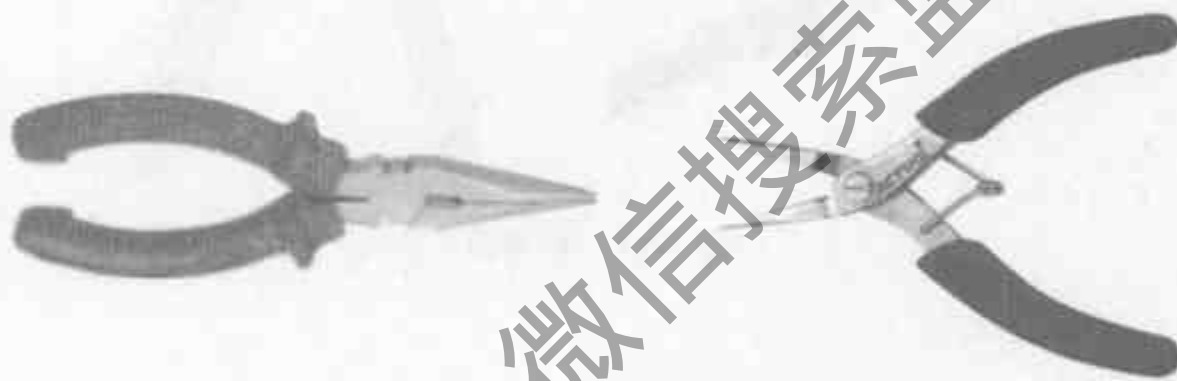
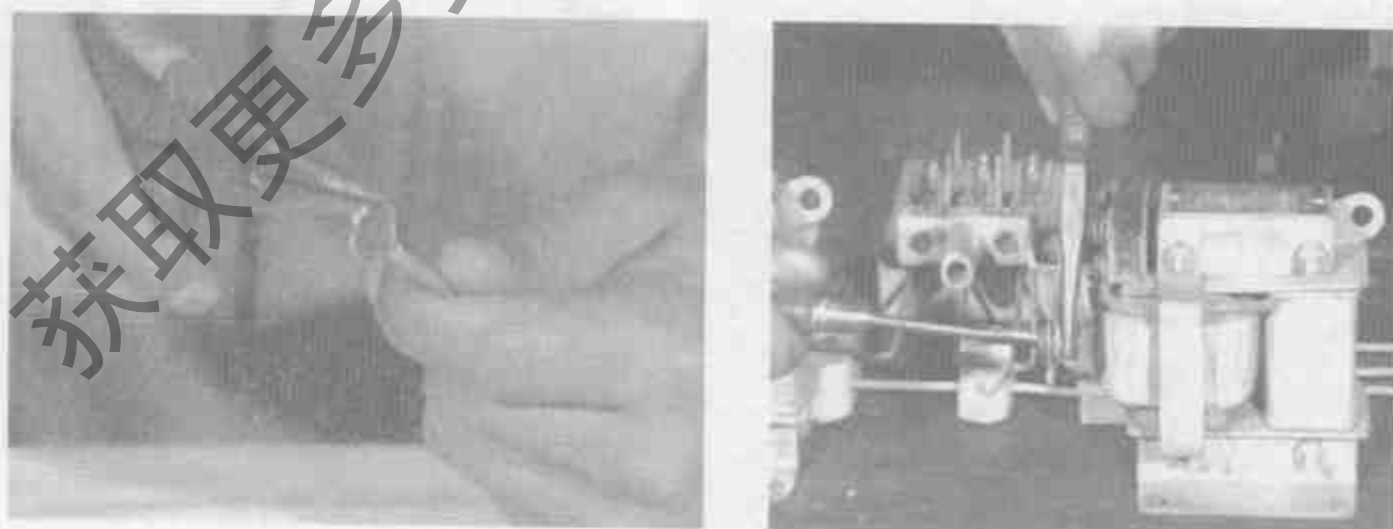


图 7-31 尖嘴钳

尖嘴钳使用灵活方便, 适用于仪器仪表制作或维修操作, 又可以作为家庭日常修理工具, 其使用方法举例如图 7-32 所示。



(a) 制作接线鼻

(b) 辅助拆卸螺钉

图 7-32 尖嘴钳使用方法举例

思路点拨

在使用尖嘴钳时应注意以下几点。

- ① 手离金属部分的距离应不小于 2cm。

② 注意防潮，钳轴要经常加油，以防止生锈；经常检查尖嘴钳的柄套是否完好，以防止触电。

③ 由于钳头比较尖细，且经过热处理，所以钳夹物体不可过大，用力时不要过猛，以防损坏钳头。

3. 剥线钳

剥线钳是用来剥除截面积为 6mm^2 以下的塑料或橡胶绝缘导线的绝缘层的专用工具，它由钳头和钳柄两部分组成，如图 7-33 所示。钳头部分由压线口和切口构成，分为 0.5~3mm 多个直径切口，用于剥削不同规格的芯线。



图 7-33 剥线钳

思路点拨

使用剥线钳时，选择的切口直径必须大于线芯直径，即电线必须放在大于其芯线直径的切口上切剥，否则会损伤芯线，如图 7-34 所示。

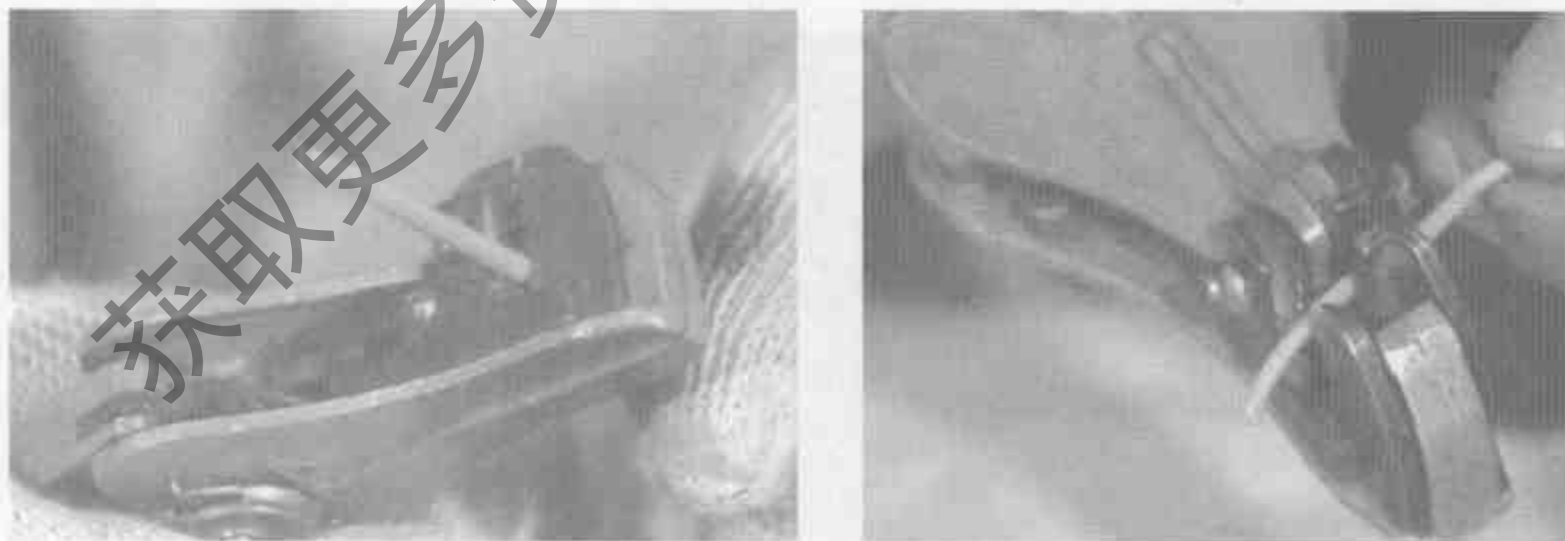


图 7-34 剥线钳的使用

4. 压接钳

压接钳又称为压线钳，是制作大截面积导线接线鼻子的专用工具，常见的有机械式、液压式和电动式 3 种，如图 7-35 所示。

(1) 机械式铝导线压接钳

如图 7-35 (a) 所示，机械式铝导线压接钳适用于输配电的室内室外工程。它由钳头和钳

柄两部分组成, 钳头由阳模、阴模和定位螺钉等构成。阴模需要根据不同规格的导线来选配。

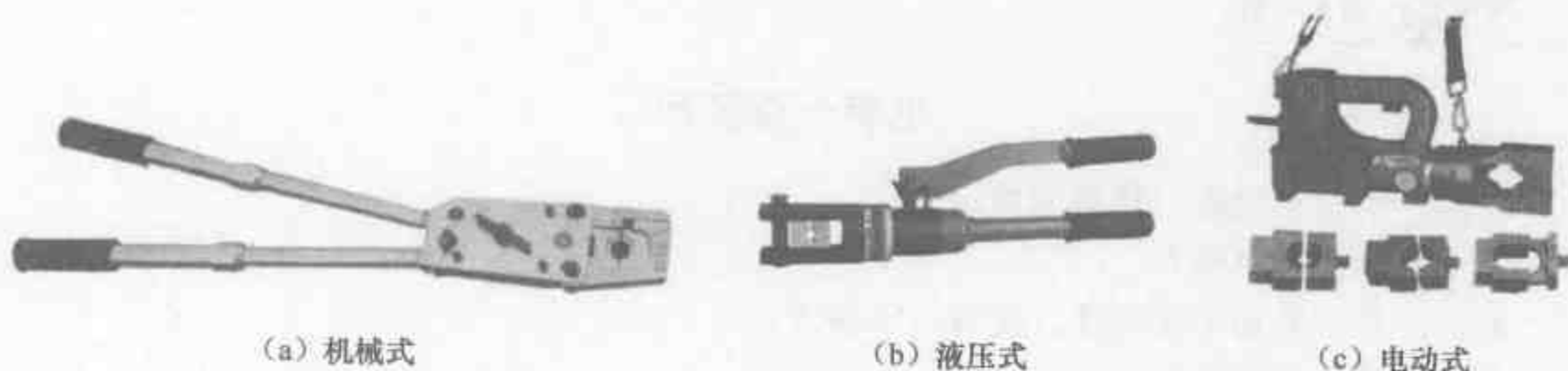


图 7-35 导线压接钳

操作时, 先把接线端头预压在钳口腔内, 将剥去绝缘层的导线端头插入接线端头的孔内, 并使被压裸线的长度超过压痕的长度, 然后将手柄压合到底, 使钳口完全闭合。当锁定装置中的棘爪与齿条失去啮合时, 则听到“嗒”的一声, 即为压接完成, 此时钳口便能自由张开, 如图 7-36 所示。



图 7-36 压接钳的使用

(2) 液压式铝导线压接钳

如图 7-35 (b) 所示, 液压式铝导线压接钳适合输配电室内室外工程中的各种接续金具、架空地下电缆线等场合使用。

(3) 电动式导线压接钳

如图 7-35 (c) 所示, 电动式导线压接钳配合电动泵可压接 $\phi 42\text{mm}$ 以下的电缆及各种金属棒、线, 其压接范围为 $150\sim 500\text{mm}^2$, 压接压力为 300kPa , 压接时间在 20s 以内。

思路点拨

使用压接钳时应注意以下几点。

- ① 压接时, 钳口、导线和冷压端头的规格必须匹配。
- ② 必须严格按照使用说明正确操作。
- ③ 压接时, 必须使端头的焊缝对准钳口凹模。
- ④ 压接时, 必须在压接钳全部闭合后才能打开钳口。



练一练

- ① 练习用尖嘴钳制作 $\phi 4\text{mm}$ 、 $\phi 6\text{mm}$ 、 $\phi 8\text{mm}$ 、 $\phi 10\text{mm}$ 的接线鼻。
- ② 练习使用导线压接钳。
- ③ 练习用剥线钳剥削导线。



电有一百多斤

老汉：电是看得着、摸得到的。

儿子：你摸到电啦？

老汉：早上磨面时摸到了，足有一百多斤。

儿子：那是电动机！

7.6 其他电工工具

——电工工具实在多，按需选用去定度

其他电工工具包括钢锯、千分尺、转速表、手电钻、电锤、电烙铁、喷灯、手摇绕线机、拉具、脚扣、蹬板、梯子、鍮子和紧线器等，如表 7-1 所示。

表 7-1

其他电工工具及其使用说明

名 称	图 示	使用 说明
钢锯		<p>钢锯是用来锯割物件的工具。安装锯条时，锯齿要朝前方，锯弓要上紧。锯条一般分为粗齿、中齿和细齿 3 种，粗齿适用于锯削铜、铝和木板材料等，细齿一般可锯削较硬的铁板及穿线铁管和塑料管等</p>
千分尺		<p>千分尺是电工用于测量漆包线外径的专用工具。使用时，将被测漆包线拉直后放在千分尺砧座和测微螺杆之间，然后调整测微螺杆，使之刚好夹住漆包线，此时就可以读数了。读数时，先看千分尺上的整数部分，再看千分尺上的小数部分，二者相加即为铜漆包线的直径尺寸。千分尺的整数刻度一般 1 小格为 1mm，旋转小数刻度一般每格为 0.01mm</p>

续表

名称	图示	使用说明
转速表		<p>转速表用于测量电气设备的转速和线速度。使用时，先大致判断电动机的转速，然后把转速表的调速盘转到相应的转速范围内。若没有把握判断电动机的转速，要将调速盘调到高位观察，确定转速后，再向低挡调，以使测试结果准确。测量转速时，手持转速表要保持平衡，转速表测试轴与电动机轴要保持同心，然后逐渐增加接触力，直到测试指针稳定后再记录数据。</p>
手电钻		<p>手电钻是用于钻孔的电动工具。在装钻头时要注意钻头与钻夹保持在同一轴线上，以防钻头在转动时来回摆动。在使用过程中，钻头应垂直于被钻物体，用力要均匀。当钻头被被钻物体卡住时，应立即停止钻孔，重新紧固钻头后再使用。在钻削金属孔过程中，若温度过高，很可能引起钻头退火，因此，钻孔时要适量加些润滑油。</p>
电锤		<p>具体使用方法见《轻轻松松学电工——技能篇》</p>
电烙铁		<p>具体使用方法见《轻轻松松学电工——技能篇》</p>

续表

名称	图示	使用说明
喷灯		<p>在使用喷灯前，应仔细检查油筒是否漏油、喷嘴是否堵塞和漏气等。根据喷灯所规定使用的燃油的种类，加注相应的燃油，油量不得超过油筒容量的 3/4，加油后应拧紧加油处的螺塞。喷灯点火时，喷嘴前严禁站人，且工作场所不得有易燃物品。点火时，在点火碗内加入适量燃油，用火点燃，待喷嘴烧热后，再慢慢打开进油阀。打气加压时，应先关闭进油阀，同时要注意保持火焰与带电体之间的安全距离。</p>
手摇绕线机		<p>手摇绕线机主要用来绕制电动机的绕组、低压电器的线圈和小型变压器的线圈。使用手摇绕线机时要注意：①要把绕线机固定在操作台上；②绕制线圈时要记录开始时指针所指示的匝数，并在绕制后减去该匝数。</p>
拉具		<p>拉具是用于拆卸皮带轮、联轴器以及电动机轴承、电动机风叶的专用工具。使用拉具拉电动机皮带轮时，要将拉具摆正，使丝杆对准机轴中心，然后用扳手上紧拉具的丝杠，用力要均匀。在使用拉具时，如果所拉部件与电动机轴间锈死，要在轴的接缝处浸些汽油或螺栓松动剂，然后用铁锤敲击皮带轮外圆或丝杆顶端，再用力向外拉皮带轮。</p>
脚扣		<p>脚扣是用于攀登电力杆塔的工具。使用前，必须检查弧形扣环部分有无破裂、腐蚀现象，脚扣皮带有无损坏，若已损坏，应立即修理或更换。不得用绳子或电线代替脚扣皮带。在登杆前，对脚扣要做人体冲击试验，同时应检查脚扣皮带是否牢固可靠。</p>

续表

名称	图示	使用说明
蹬板		<p>蹬板是用于攀登电力杆塔的工具。使用前，应检查其外观有无裂纹、腐蚀，并经人体冲击试验合格后再使用。登高作业动作要稳，操作姿势要正确，禁止随意从杆上向下扔蹬板。每年对蹬板绳子做一次静拉力试验，合格后方能使用</p>
梯子		<p>梯子有人字梯和直梯两种，用于登高作业。梯子的使用方法比较简单，要放稳，注意防滑；同时，梯子安放位置与带电体应保持足够的安全距离</p>
鍍子		<p>鍍子是用于打孔或对已生锈的小螺栓进行鍍断的一种工具。使用时，左手握紧鍍子（注意鍍子的尾部要露出 4cm 左右），右手握紧手锤，再用力敲打</p>
紧线器		<p>紧线器是在架空线路中用来拉紧电线的一种工具。使用时，将镀锌钢丝绳绕于右端滑轮上，并挂置于横担或其他固定部位，用另一端的夹头夹住电线，用摇柄转动滑轮，使钢丝绳逐渐卷入轮内，将电线拉紧并收缩至适当的程度</p>

思路点拨

使用手电钻、电锤等手动电动工具时应注意以下几点。

- ① 使用前首先要检查电源线的绝缘是否良好,如果导线有破损,可用胶布包好。最好使用三芯橡皮软线,并将电动工具的外壳接地。
- ② 检查电动工具的额定电压与电源电压是否一致,开关是否灵活可靠。
- ③ 电动工具接入电源后,要用试电笔测试外壳是否带电,如不带电时方能使用。操作过程中若需接触电动工具的金属外壳,应戴绝缘手套,穿电工绝缘鞋,并站在绝缘板上。
- ④ 钻削不同直径的孔时,要选择相应规格的钻头。
- ⑤ 在拆装钻头时,要用专用钥匙,切勿用螺丝刀和手锤敲击电钻的夹头。安装钻头时,钻头与钻夹应保持在同一轴线上,以防钻头在转动时来回摆动。
- ⑥ 在使用过程中,如果发现声音异常,应立即停止钻孔。如果因连续工作时间过长,电动工具发烫,要立即停止工作,让其自然冷却,切勿用水浇淋。
- ⑦ 钻孔完毕,应将导线绕在手动电动工具上,并放置在干燥处以备下次使用。

使用电烙铁时应注意以下几点。

① 使用之前应检查电源电压与电烙铁上的额定电压是否相符,电烙铁的额定工作电压一般为 220V。电烙铁通电后不能敲击,以免缩短其使用寿命。电烙铁使用完毕后,应拔下插头,待其冷却后再放置在干燥处,以免受潮漏电。

② 新烙铁在使用前应先用砂纸将烙铁头打磨光滑,然后进行搪锡处理(在烙铁头上沾上一层锡)。

③ 电烙铁在使用中一般用松香作为焊剂,特别是对于电线接头、电子元器件的焊接,一定要用松香作焊剂,严禁用含有盐酸等腐蚀物质的焊锡膏焊接,以免腐蚀印制电路板或使电气线路短路。用电烙铁焊接铁、锌等金属物体时,可用焊锡膏焊接。

④ 普通电烙铁应该放在带散热器的支架上(如图 7-37 所示),以延长电烙铁的寿命和保障焊接质量。如果在焊接中发现紫铜制的烙铁头氧化不易沾锡时,可用锉刀锉去氧化层,在酒精内浸泡后再使用。使用外热式电烙铁时还要经常将铜头取下,清除氧化层,以免日久造成铜头烧死。

⑤ 焊接电子元器件时,最好选用低温焊丝,在烙铁头部涂上一薄层锡后再焊接。焊接场效应管时,应将电烙铁电源线插头拔下,利用余热去焊接,以免损坏场效应管。

⑥ 电烙铁的电源线最好使用花线,因为花线的织物耐烫,橡胶受热时气味大,能提醒人注意。

⑦ 电烙铁的电热芯容易损坏,在修理时,若导线压紧螺钉没有松开,千万不能旋动烙铁手柄。



图 7-37 将电烙铁放在烙铁架上

练一练

- ① 分别用手电钻在木板上、用电锤在墙上打孔。
- ② 以铜芯线为材料，用电烙铁焊接一个正方体。
- ③ 用千分尺测量5种不同线径的漆包线。
- ④ 练习用拉具拆卸电动机的皮带轮。



电工小百科

两用尖嘴钳

将尖嘴钳稍加改制，可作为剥线尖嘴钳使用。方法是：用电钻在尖嘴钳剪线用的刀刃前段钻 $\phi 0.8\text{mm}$ 、 $\phi 1.0\text{mm}$ 两个槽孔，再分别用 $\phi 1.2\text{mm}$ 、 $\phi 1.4\text{mm}$ 的钻头稍扩一下（注意别扩穿了），使这两个槽孔有一个薄薄的刃口。这样，一个既能剪线又能剥线的尖嘴钳就制成了。

7.7 万用表

——万用电表掌中宝，电量检测少不了

电工在测量电路的电阻、电流、电压时，一般首先使用万用表，故有人把万用表戏称为电路检查的“多面手”。

万用表是最基本、最常用的电工仪表，常用的万用表包括指针式万用表和数字式万用表两大类。本书主要介绍MF47型指针式万用表（简称万用表，下同），关于数字式万用表的有关知识请读者阅读《轻轻松松学电工——器件篇》。

7.7.1 万用表的结构和测量功能——多种功能灵活用，选好量程与插孔

MF47型万用表的外部结构如图7-38所示。它由提把、表头、量程选择开关、欧姆挡调零旋钮、表笔插孔、晶体管插孔等组成。

1. 刻度线和反光镜

万用表面板上部为微安表头。表头下方中间部位有一个机械调零旋钮，用以校准表针的机械零位。表针下面的标度盘上共有7条刻度线，从上往下依次是：电阻刻度线、电压电流刻度线、10V电压刻度线、晶体管 β 值刻度线、电容刻度线、电感刻度线和电平刻度线，如图7-39所示。

标度盘上还装有反光镜，其作用是用来消除视觉误差。

万用表的刻度分为两种：线性刻度和非线性刻度。

线性刻度用来标注直流示值，少数万用表的交、直流共用一条线性刻度线。非线性刻度用于标注交流低压挡、欧姆挡和分贝挡。

线性刻度和非线性刻度的明显区别是：线性刻度弧线上的刻度是均匀的，而非线性刻度弧线上的刻度是不均匀的。线性刻度与非线性刻度如图7-40所示。

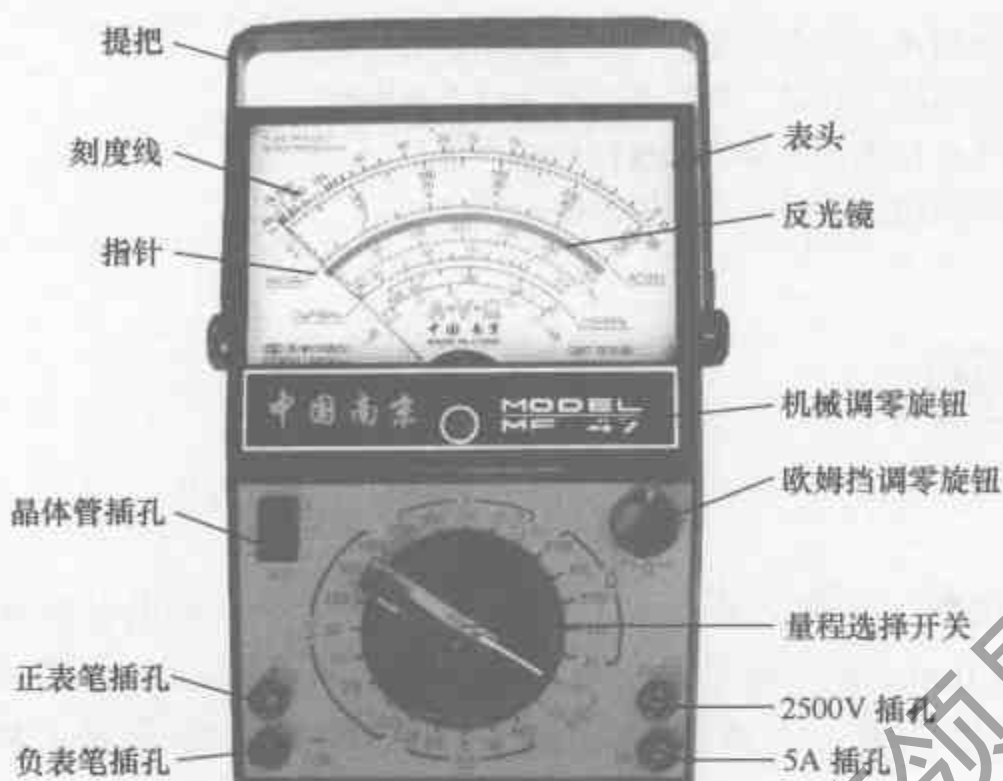


图 7-38 MF47 型万用表的外部结构

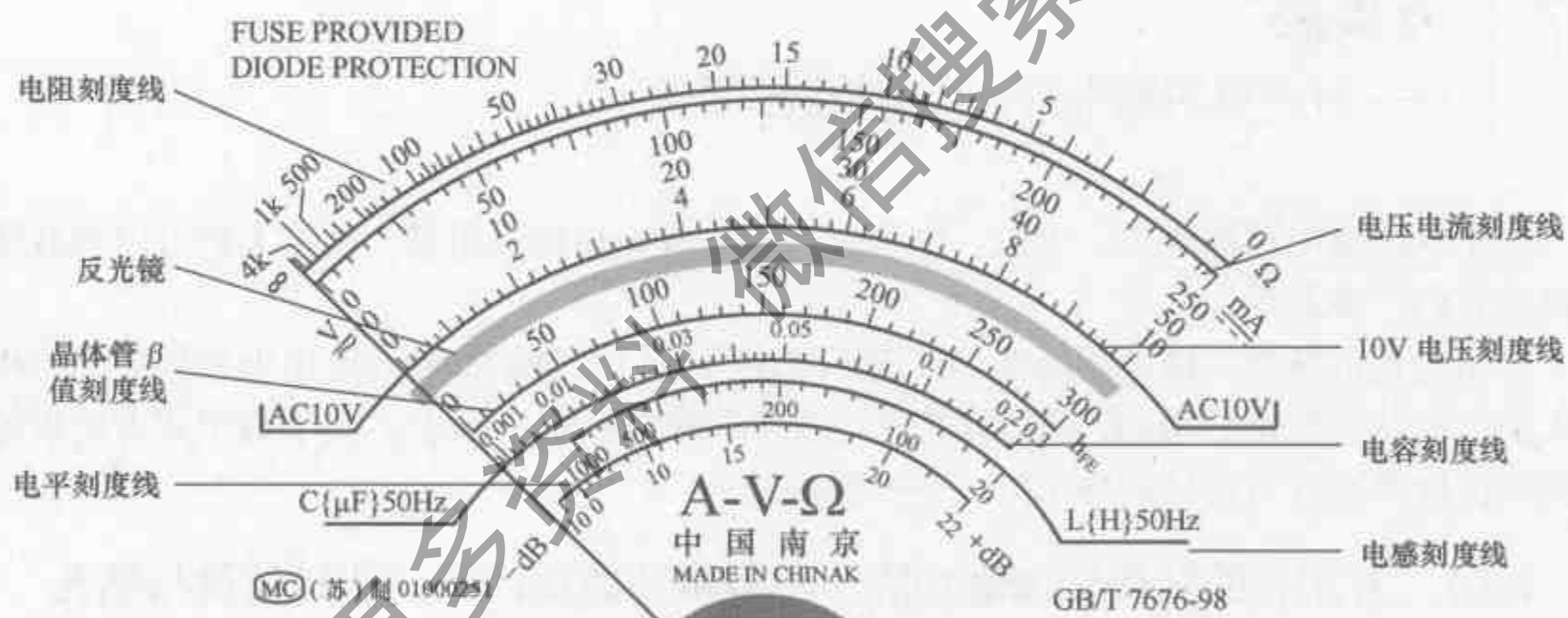


图 7-39 标度盘刻度线和反光镜

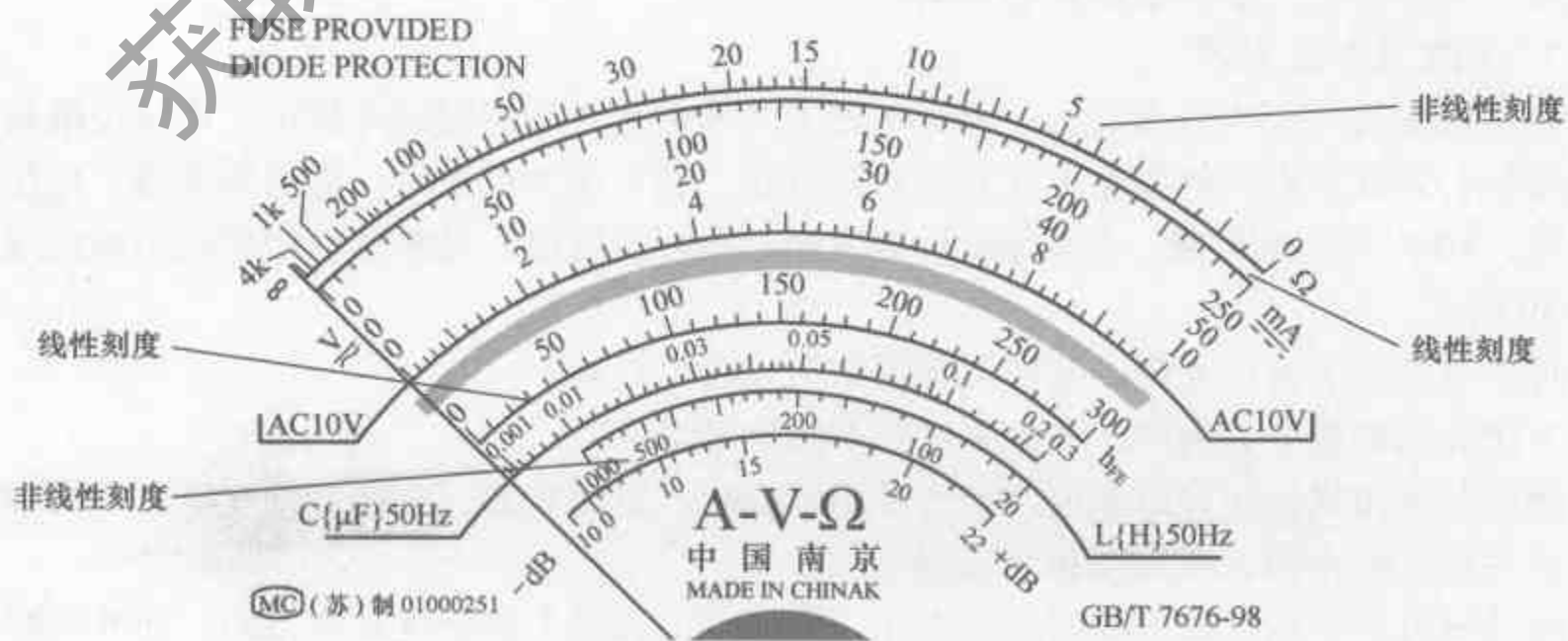


图 7-40 线性刻度和非线性刻度

2. 量程选择开关

万用表面板下部中间部位是量程选择开关，只需转动一下旋钮即可选择各个量程挡位，使用很方便，如图 7-41 所示。量程选择开关指示盘与表头标度盘相对应，按交流红色、晶体管绿色、其余黑色的规律印制成 3 种颜色，以免使用时搞错。

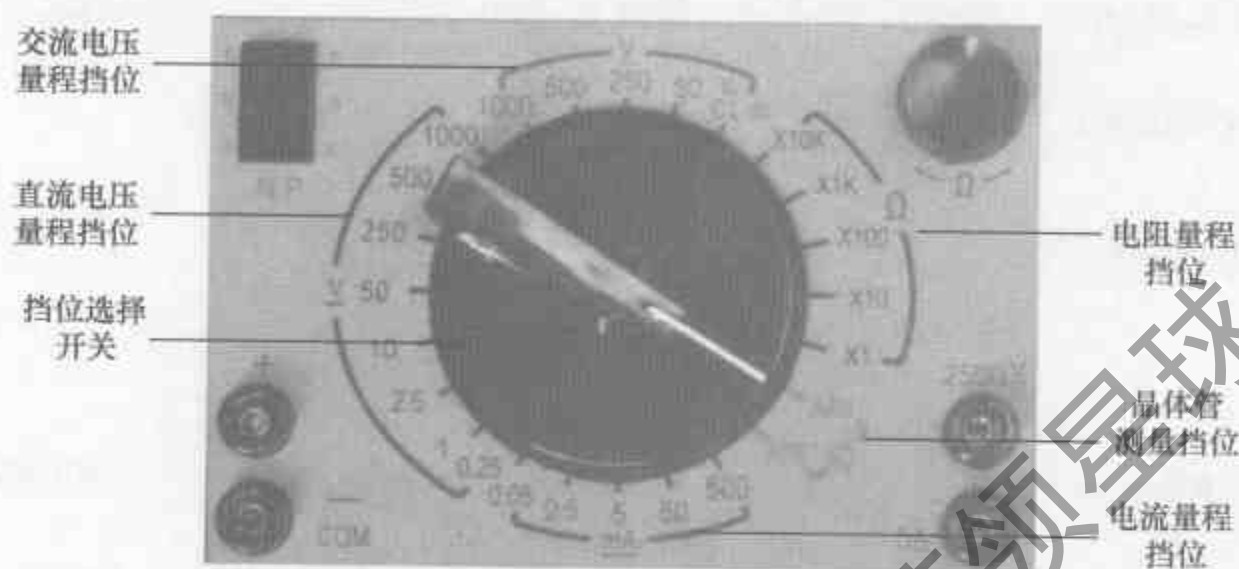


图 7-41 MF47 型万用表量程挡位

知识链接

万用表量程选择原则

万用表量程选择的原则是所选量程要大于被测量。

指针式万用表量程范围以刻度盘上满刻度点处标注的值为上限值。基本测量范围由量程开关选定后，与刻度盘上对应的基数乘以 10^n 获得测量结果。

如果不知道被测量的准确范围，应根据电路构成估算出大致范围，再从万用表的最高量程开始逐挡点试，即用测试笔快速接触测试点，观察表上示值，当被测量约为量程的 $2/3$ 时，再由点测转为直接测量，待表上读数稳定后，读取测量结果。这种方法不适于高电压、大电流的测试。

无论是指针式万用表还是数字式万用表，在选用量程时，其量程范围必须大于被测量的最大值，否则，会导致测试仪表超量程而超载。轻者使表头指针受冲击而变形，数字仪表溢出显示；重者会使仪表中的保护器件动作，如熔断器引爆、保护二极管烧坏、限位二极管短路或放电器击穿等。

3. 插孔

MF47 型万用表共有 3 组表笔插孔，如图 7-42 所示。面板下部左下角有正、负表笔插孔，一般习惯上将红表笔插入正插孔，黑表笔插入负插孔。面板右下角有 2500V 和 5A 专用插孔，当测量 2500V 交、直流电压时，正表笔应改为插入 2500V 插孔；当测量 5A 直流电流时，正表笔应改为插入 5A 插孔。面板下部右上角是欧姆挡调零旋钮，用于校准欧姆挡“ 0Ω ”的指针位置。面板下部左上角是晶体管插孔，插孔左边标注为“N”，检测 NPN 型晶体管时插入此孔；插孔右边标注为“P”，检测 PNP 型晶体管时插入此孔。

4. MF47 型万用表测量功能介绍

① 测量电阻必须使用万用表内部的直流电源。打开背面的电池盒盖，右边是低压电池仓，

装入一枚 1.5V 的 2 号电池；左边是高压电池仓，装入一枚 15V 的层叠电池，如图 7-43 所示。现在也有的厂家生产的 MF47 型万用表中 R×10k 挡使用的是 9V 层叠电池。

② 测量电阻时，将挡位选择开关置于适当的“Ω”量程挡。测量电阻前要进行欧姆调零，其方法是：用左手将两表笔短接，用右手调节面板上的欧姆挡调零旋钮，使表针准确指向“0Ω”刻度线，如图 7-44 所示。值得注意的是，每次转换电阻挡后，均应重新调零。



图 7-42 MF47 型万用表的插孔

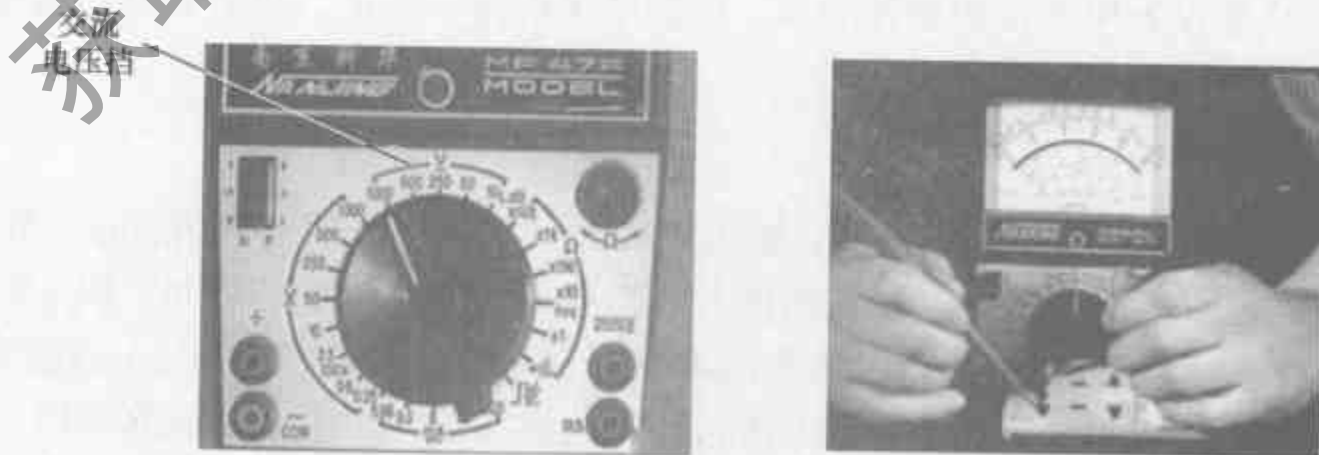


图 7-43 安装电池



图 7-44 调零操作

③ 测量 1000V 以下的交流电压时，将挡位选择开关置于所需要的交流电压量程挡，如图 7-45 所示。测量 1000~2500V 的交流电压时，将挡位选择开关置于“交流 1000V”挡，红表笔插入“交直流 2500V”专用插孔。



(a) 交流电压挡位

(b) 测量 220V 交流电压

图 7-45 测量交流电压

④ 测量 1000V 以下的直流电压时，将挡位选择开关置于所需要的直流电压挡，如图 7-46

所示。测量 1000~2500V 的直流电压时，将挡位选择开关置于“直流 1000V”挡，正表笔插入“交直流 2500V”专用插孔。



图 7-46 测量直流电压

⑤ 测量 500mA 以下的直流电流时，将挡位选择开关置于所需要的“mA”挡，如图 7-47 (a) 所示。测量 0.5~5A 的直流电流时，将挡位选择开关置于“500mA”挡，正表笔插入“5A”插孔，如图 7-47 (b) 所示。

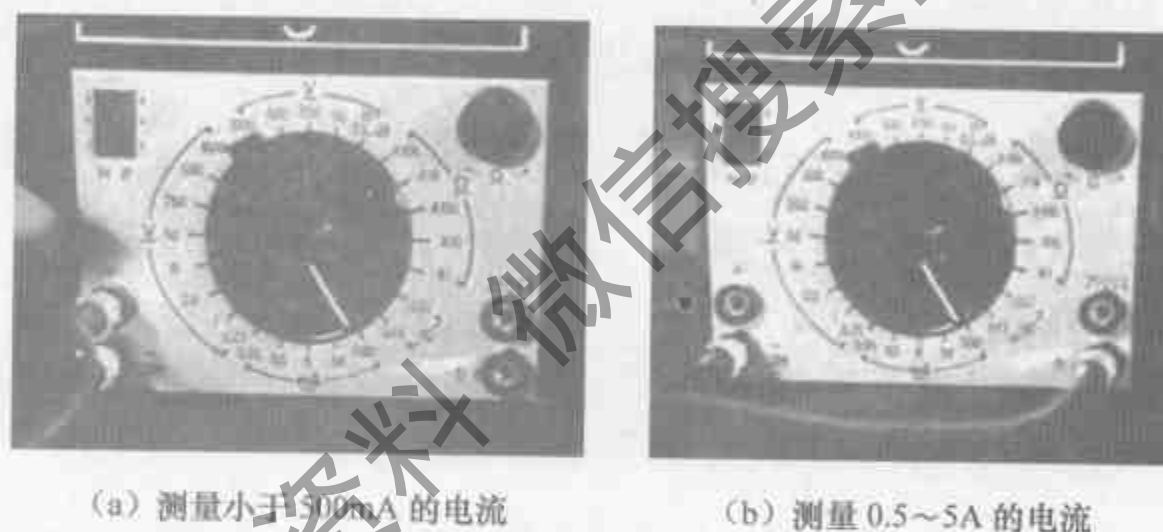


图 7-47 测量电流

⑥ 测量晶体管直流放大倍数时，将量程挡位选择开关置于“ADJ (校准)”挡，如图 7-48 (a) 所示。将两表笔短接后，调节欧姆挡调零旋钮，使表针对准 h_{FE} 刻度线上的“300”刻度。然后分开两表笔，将挡位选择开关置于“ h_{FE} ”位置，即可插入晶体管进行测量，如图 7-48 (b) 所示。左上角的晶体管插孔“N”供测量 NPN 管用，插孔“P”供测量 PNP 管用。将待测的晶体管引脚插入对应的插孔中，如图 7-48 (c) 所示，即可测量出该晶体管的 β 值。

图 7-48 测量晶体管的 β 值

⑦ 测量音频电平使用交流 10V 挡，测量时应在一支表笔上串接一个 0.1pF 的隔直流电容器。测量电容或电感时，也是用交流 10V 挡，并采用 10V、50Hz 的交流电压作为信号源，如图 7-49 所示。



图 7-49 测量音频电平、电容或电感

用 MF47 型万用表测量完毕后，应将挡位转换开关拨到交流 1000V 挡，水平放置于凉爽干燥的环境，避免震动。长时间不用时要取出电池，并用纸盒包装好后放置于安全的地方。

7.7.2 万用表的使用方法——测量之前先调零，选好量程才可行

使用万用表前，应做到以下 4 点。

- ① 万用表要水平放置。
- ② 应检查表针是否停在表盘左端的零位。如有偏离，可用小螺丝刀轻轻转动表头上的机械调零旋钮，使表针指在“0”位置，如图 7-50 所示。



图 7-50 机械调零的方法

- ③ 将表笔按测量要求插入相应的表笔插孔内。
- ④ 将量程挡位选择开关旋到相应的项目和量程上。

万用表使用完毕后，应做到以下 3 点。

- ① 拔出表笔。

② 将转换开关置于“空挡”或“OFF”挡。若表盘上没有上述两挡，可将转换开关置于交流电压最高量程挡，如图 7-51 所示。

③ 若长期不用，应将表内电池取出，以防电池的电解液渗漏而腐蚀内部电路。万用表的使用步骤为一看，二扳，三试，四测。

下面以测量电池（见图 7-52）的直流电压为例介绍万用表的使用方法。

一看：如图 7-53 所示，看现在的挡位开关处于什么位置，若不在测量所需要的位置，则进入下一步骤。



图 7-51 置于交流电压最高量程挡



图 7-52 15V 电池

二扳：如图 7-54 所示，将挡位开关扳到测量所要求的位置上。

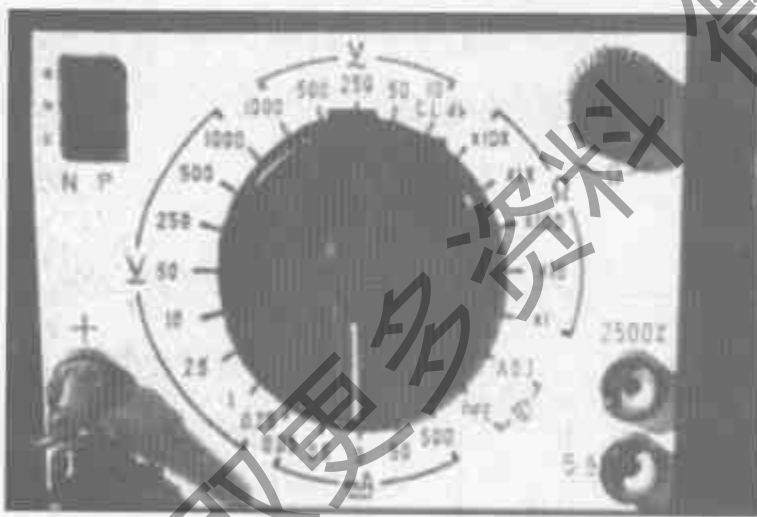


图 7-53 一看

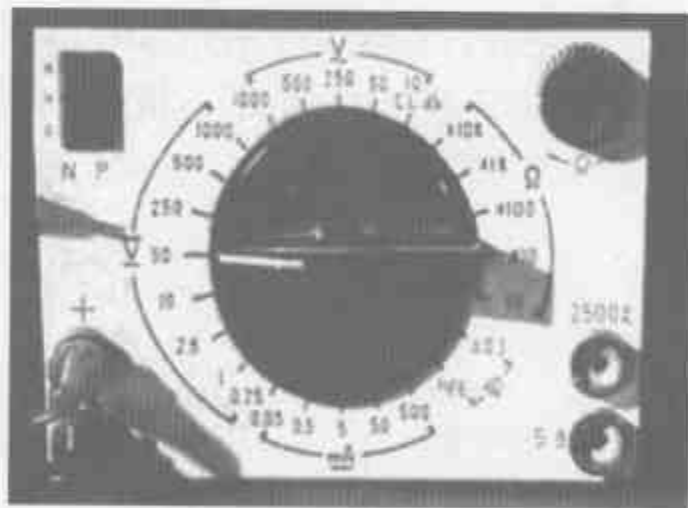


图 7-54 二扳

三试：如图 7-55 所示，先试测一下，即将一支表笔固定在测量点的一端，另一支表笔迅速地试测一下，观察表针的偏转情况。若没有问题，进入下一步。

四测：如图 7-56 所示，用表笔在测试点上接触一定时间，待指针（或数字式万用表的数字显示屏）稳定后即可进行读数。

知识链接

万用表的测量原理

万用表的基本工作原理是利用一只灵敏的磁电式直流电流表作表头，当有微小电流通过表头时，就会有电流指示。但表头不能通过大的电流，所以，必须在表头上并联或串联一些

电阻器进行分流或降压，从而测出电路中的电流值、电压值和电阻值。



图 7-55 三试



图 7-56 四测

测量直流电流时，在表头上并联一个适当的电阻器进行分流，就可以扩展电流量程。改变分流电阻器的阻值，就能改变电流测量范围，如图 7-57 (a) 所示。

测直流电压时，在表头上串联一个适当的电阻器进行降压，就可以扩展电压量程。改变电阻器的阻值，就能改变电压的测量范围，如图 7-57 (b) 所示。

测量交流电压时，因为表头是直流表，所以需要加装一个并串式半波整流电路[如图 7-57 (c) 所示]，将交流电进行整流变成直流电后再通过表头，这样就可以根据直流电的大小来测量交流电压。扩展交流电压量程的方法与扩展直流电压量程的方法相似。

测量电阻时，在表头上并联和串联适当的电阻器，同时串联一节电池，使电流通过被测电阻器，如图 7-57 (d) 所示。根据电流的大小，就可测量出电阻值。改变分流电阻器的阻值，就能改变电阻挡的量程。

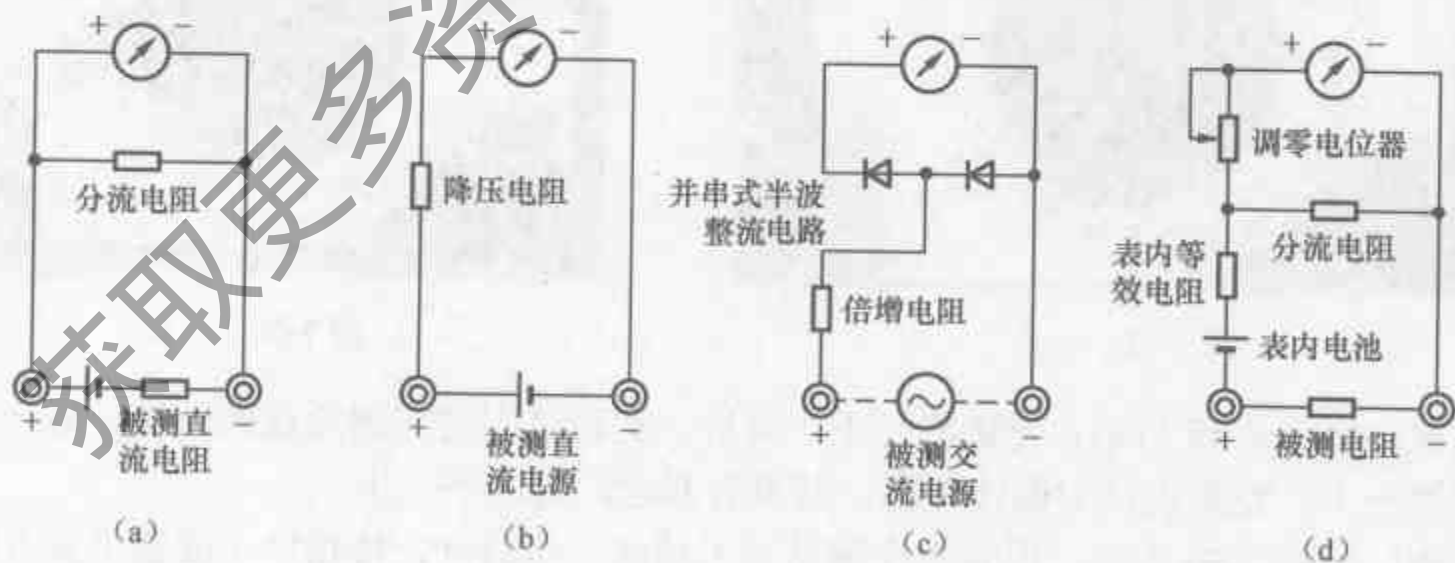


图 7-57 万用表测量电路图

思路点拨

万用表的功能和使用歌诀

万用电表多面手，电工检测少不了。
指针数字两大类，四个功能最主要。

电流电压和电阻，电压分为直和交。
 测量之前选项目，再定量程看需要。
 选择量程要适当，如不确定宁可高。
 测量数值保准确，表针最好在中腰。
 不在零位要调整，导线绝缘要可靠。
 表笔插座看一看，接触一定要良好。
 若是表针反向转，接线正负反极性。
 确保安全防触电，表笔绝缘很重要。
 测量完毕关电源，量程旋到高压挡。

结合上面的歌诀，在使用指针式万用表时还应特别注意以下几点。

- ① 使用万用表时，不要用手触及测试笔的金属部分，以保证安全和测量的准确度。
- ② 在测量较高的电压或大电流时，不能带电转动转换开关，否则有可能使开关烧坏。
- ③ 不能带电测量电阻，因为欧姆挡是由于电池供电的，被测电阻不允许带电，以免损坏表头。
- ④ 在每次使用前，必须全面检查万用表的转换开关及量程的位置，确定没有问题后再进行测量。
- ⑤ 使用指针式万用表时特别要注意准确读数，M47型万用表标度尺读法举例如图 7-58 所示。

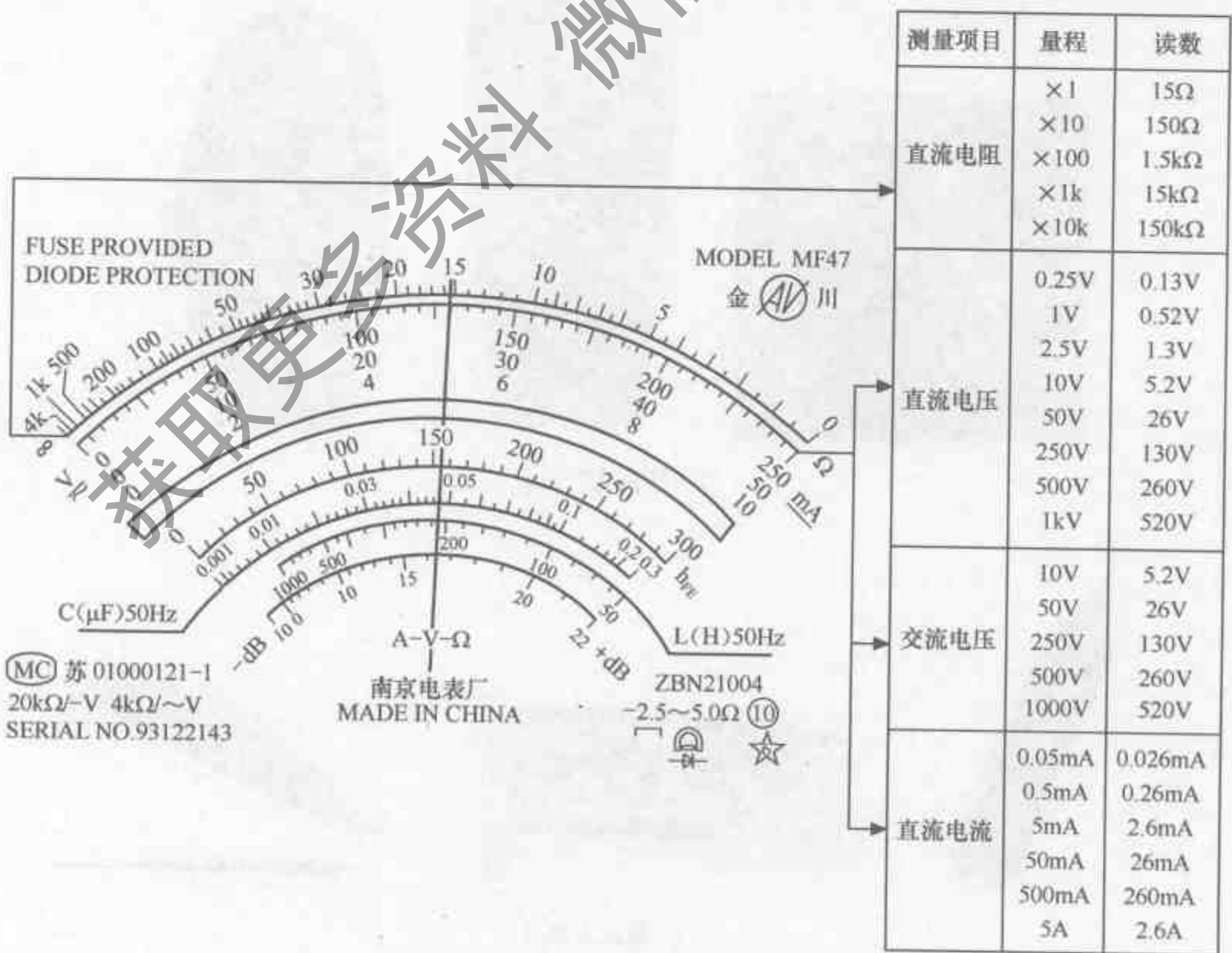


图 7-58 M47 型万用表标度尺读法举例



练一练

- ① 练习用万用表测量交流电压、直流电压、直流电流和电阻。
- ② 用万用表检查扬声器的好坏。
- ③ 用万用表测量日光灯管的灯丝电阻，并判断其好坏。



电工小百科

形形色色的万用表

万用表的型号很多，外形各异，有台式、手持式、笔式、钳形和叉形等。常见万用表的外形如图 7-59 所示。



(a) 台式万用表



(b) 手持式万用表



(c) 笔式万用表

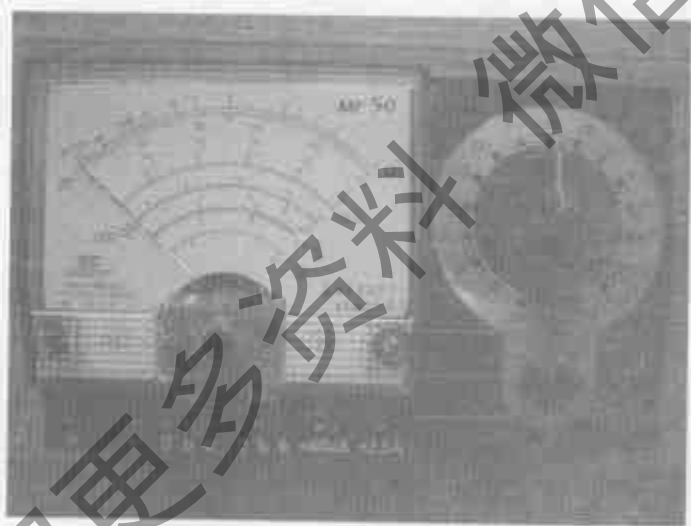
图 7-59 常见万用表的外形



(d) 钳形万用表



(e) 叉形万用表



(f) 指针式万用表

图 7-59 常见万用表的外形 (续)

7.8

钳形电流表

——钳口只容一相线，安全使用防触电

钳形电流表是一种不需要断开电路就可以测量正在运行的交流电路中电流大小的携带式仪表，使用非常方便，有的电工把这种测量方法戏称为“卡脖子”。

目前，市面上的钳形电流表主要有交流钳形电流表、谐波数字钳形电流表、泄漏电流钳形表和交直流钳形电流表等几种，电工可根据需要选用。

使用钳形电流表进行测量前，应检查钳口的开合情况，要求钳口开合自如（如图 7-60 所

示), 钳口的两个结合面应保证接触良好。如钳口上有油污和杂物, 应用汽油擦干净; 如有锈迹, 应轻轻擦去。对于指针式钳形电流表还应检查电流表指针是否指向零位, 若未指在零位, 应进行机械调零。同时, 测量前应根据负载电流的大小估计被测电流的数值, 选择合适量程, 或先选用较大的量程进行测量, 然后再根据被测电流的大小减小量程, 使读数超过满刻度的 $1/2$, 以获得较准确的读数。

在进行测量时, 用手捏紧扳手使钳口张开, 被测载流导线应放在钳口中心位置(如图 7-61 所示), 以减小测量误差。然后, 松开扳手, 使钳口(铁芯)闭合, 表头即有指示。



图 7-60 检查钳口开合情况



图 7-61 将载流导线放在钳口中心位置

测量低压母线电流时, 测量前应将相邻各相用绝缘板隔离, 以防钳口张开时可能引起相间短路。

测量 5A 以下的电流时, 如果钳形电流表的量程较大, 在条件许可时, 可把导线在钳口上多绕几圈(如图 7-62 所示), 然后测量并读数。线路中的实际电流值为读数除以穿过钳口内侧的导线匝数所得的值。

某些型号的钳形电流表附有交流电压刻度, 在测量电流、电压时应分别进行, 不能同时测量。

钳形电流表不能用于高压带电测量。在判别三相电流是否平衡时, 若条件许可, 可将被测三相电路的 3 根相线以同方向同时放入钳口中, 如图 7-63 所示。若钳形电流表的读数为零, 则表明三相负载平衡; 若钳形电流表的读数不为零, 说明三相负载不平衡。



图 7-62 测量 5A 以下电流的方法

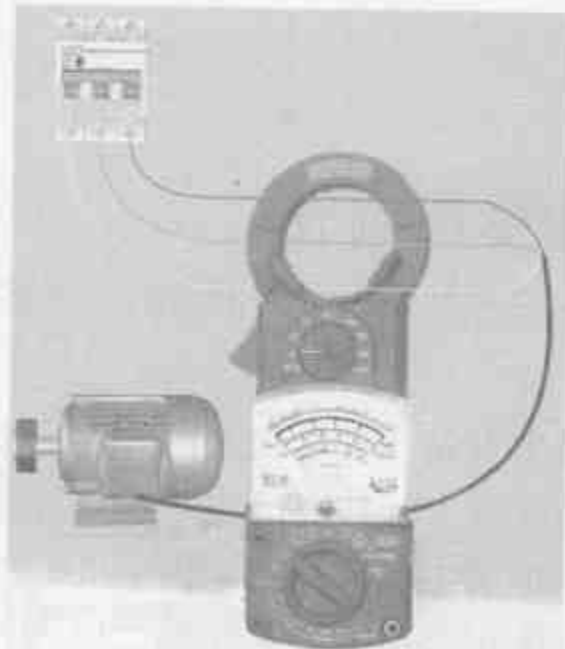


图 7-63 用钳形电流表测量三相电流示意图

测量完毕，一定要把调节开关放在最大电流量程位置，以免下次使用时不小心造成仪表损坏。

钳形电流表的型号很多，现在普遍使用的是数字式钳形电流表。

思路点拨

钳形电流表使用歌诀

交流钳形电流表，电流检测离不了。
安全使用防触电，绝缘手套要戴好。
不可测量裸导线，量程选择很重要。
导线位居口中心，测量数值最可靠。
钳口只容一相线，多芯电缆测不了。

老式的钳形表只有测量交流电流一种功能，新式的钳形表则同时具有测量交流电压、直流电压和电流、直流电阻等功能，甚至还有测量电容量、交流电频率、三相交流电源的相序等多种功能。在这一方面它已胜过了所谓的“万用表”，成为电工最常用的测量检测仪表之一。

使用机械式钳形电流表一般有 5 个步骤。

- ① 机械调零。
- ② 清洁钳口。
- ③ 选择量程。
- ④ 钳入导线并进行测量。

在进行测量时，用手捏紧扳手使钳口张开，将被测载流导线放在钳口中心位置，以减小测量误差，如图 7-64 所示。然后松开扳手，使钳口（铁芯）闭合，表头即有指示。

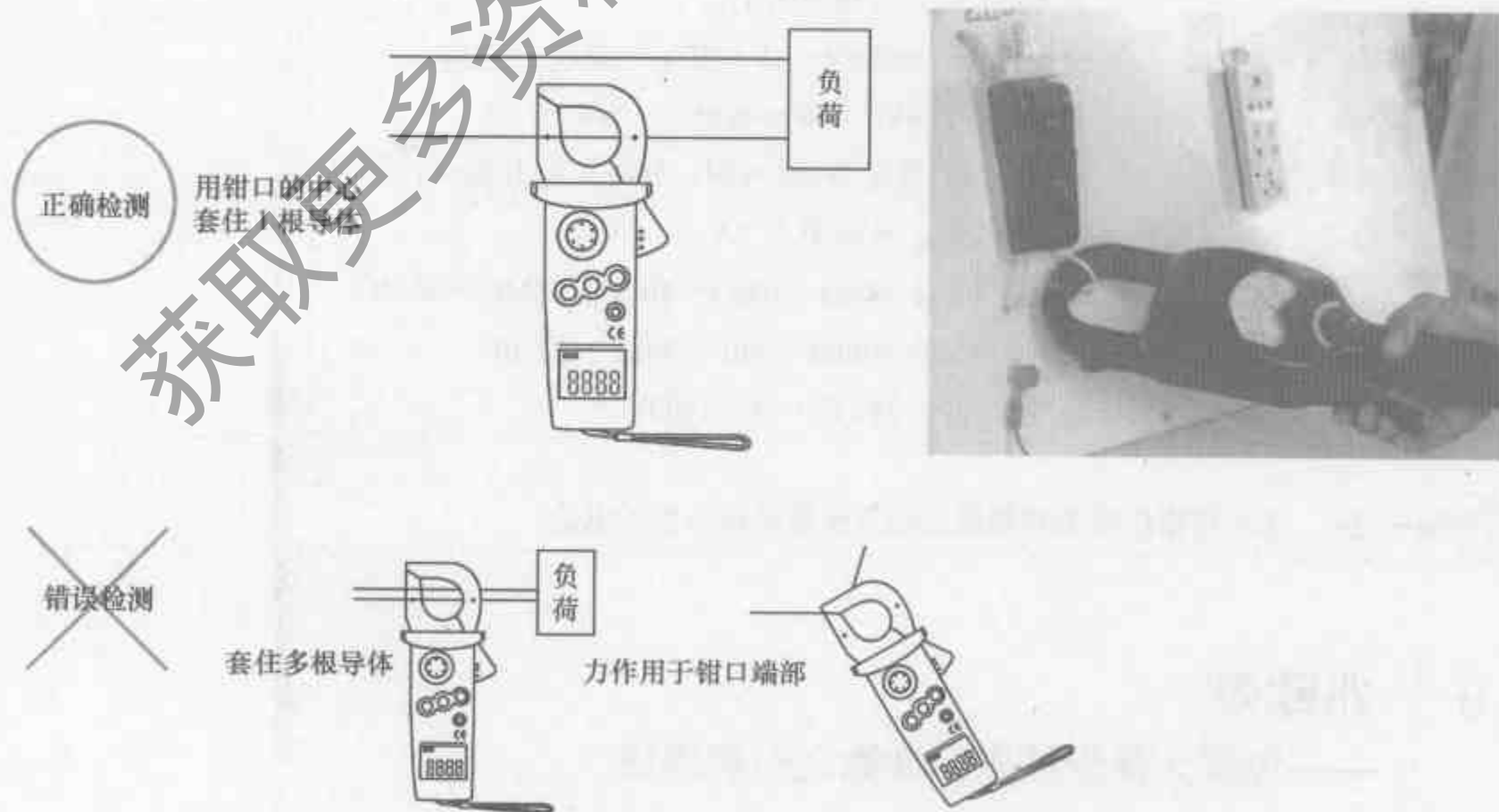


图 7-64 钳入导线的正确方法和错误方法

注意，钳口要紧密接触，如遇有杂音，可检查钳口是否清洁，或者重新开口一次，再闭合。

⑤ 高档存放。

知识链接

常用钳形表的型号及测量范围

常用钳形表的型号及测量范围见表 7-2 所示。

表 7-2 常用钳形表型号及测量范围

型 号	量 程 范 围	准 确 度
MG4-AV 交流钳形表	电流: 0~10A~30A~100A~300A~1000A 电压: 0~150V~300V~600V	2.5
MG-20 交直流钳形电流表	电流: 0~100A~200A~300A~400A~500A~600A	不超测量上限的±5%
MG25 袖珍三用钳形表	交流电压: 0~300V~600V 交流电流: 0~5A~25A~50A~100A~250A 电阻: 0~5kΩ	2.5
MG28 交直流多用钳形表	交流电流: 0~5A~25A~50A~100A~250A~500A 交流电压: 0~50V~250V~500V 直流电压: 0~50V~250V~500V 直流电流: 0~0.5mA~10mA~100mA 电阻: 0~1kΩ~10kΩ~100kΩ	不超测量上限的±5%
DT-9800 数字式钳形表	交流电流: 量程为 400A 时, 分辨率为 100mA; 量程为 600A 时, 分辨率为 1A 交流电压: 400mV~4V~40V~400V~600V 直流电压: 4V~40V~400V~600V 直流电流: 量程为 400A 时, 分辨率为 100mA; 量程为 600A 时, 分辨率为 1A 电阻: 400Ω~4kΩ~40kΩ~400kΩ~4MΩ~40MΩ 电容: 40nF~400nF~4μF~40μF~100μF 温度: -20~760℃, -4~1400°F	

练一练 练习用钳形电流表测量三相异步电动机各相的电流。

7.9

兆欧表

——测量之前先校表, 读数之时莫停摇

兆欧表又称摇表或绝缘电阻表, 是一种专门用于测量电气设备及电路绝缘电阻的仪表。常用的兆欧表有两大类: 一是采用手摇发电机供电的磁电式兆欧表, 如图 7-65 (a)

所示；二是采用电池供电的指针式兆欧表和数字式兆欧表，如图 7-65 (b) 所示。

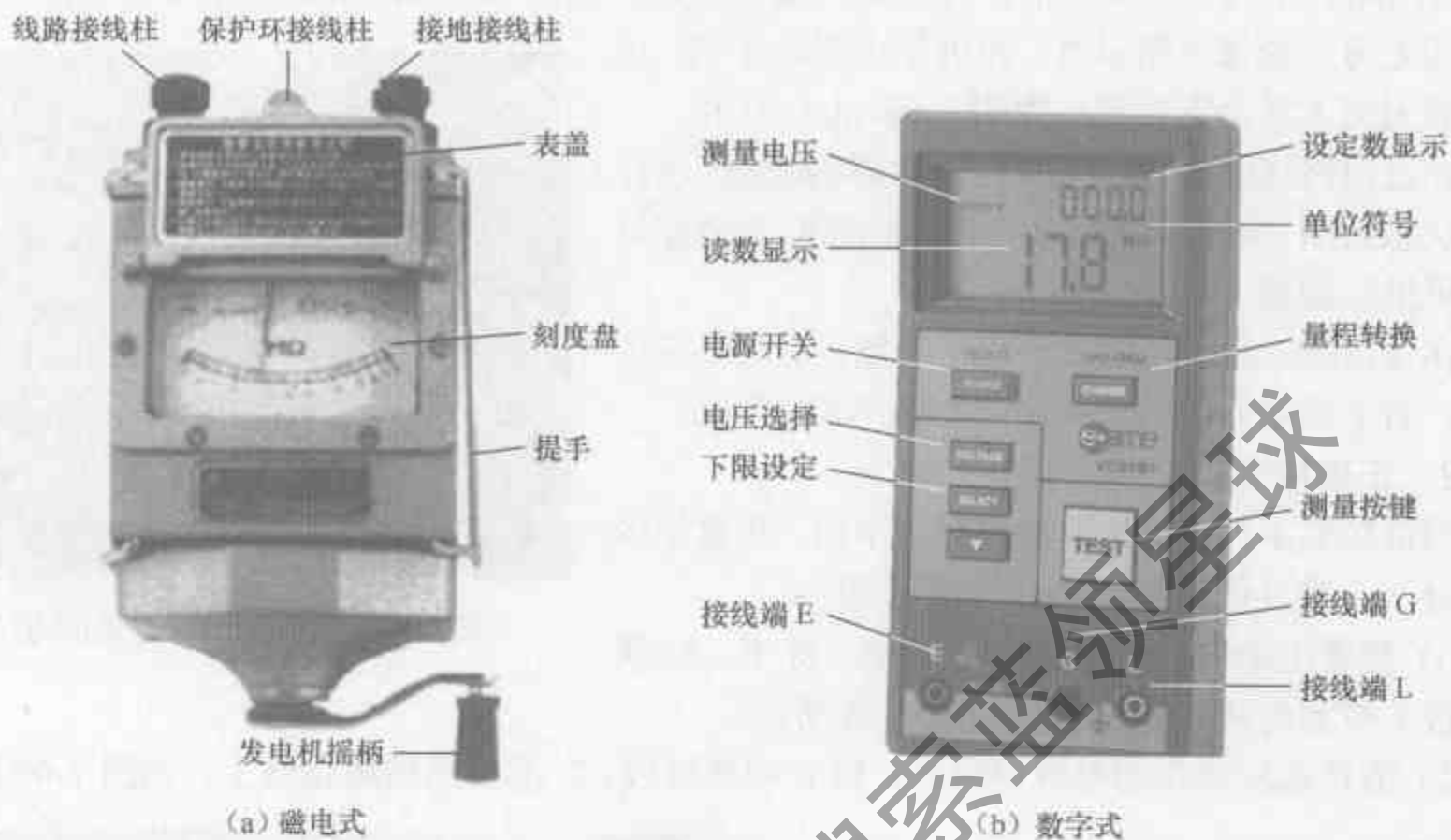


图 7-65 兆欧表

下面主要介绍比较常用的采用手摇发电机供电的兆欧表的使用方法。

1. 校表

(1) 短路试验（校零点）

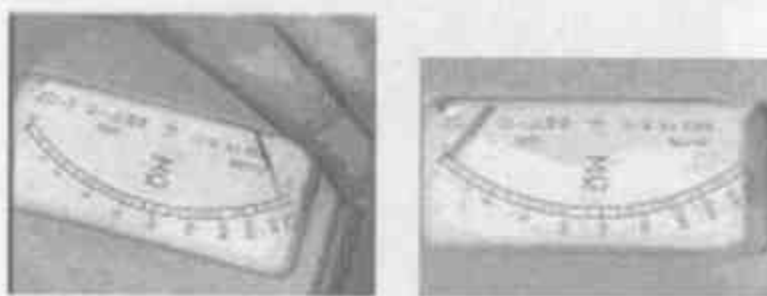
将线路、地线短接，慢慢摇动手柄，若发现表针指在零点，则立即停止摇动手柄，说明表是好的，表的零点读数是正确的，如图 7-66 (a) 所示。



(a) 短路试验



(b) 开路试验



(c) 短路试验和开路试验时表针的指示状态

图 7-66 校表

(2) 开路试验

将线路、地线分开放置后,先慢后快逐步加速,以约 120r/min 的转速摇动手柄,待表的读数在无穷大处稳定指示时,即可停止摇动手柄,说明表的无穷大显示无异常,如图 7-66 (b) 所示。

经过短路试验和开路试验两个步骤的检测,表针指示状态如图 7-66 (c) 所示,说明该兆欧表是完好的,可进行测量。

在使用时,兆欧表要保持水平放置,用左手按住表身,右手摇动兆欧表的摇柄,如图 7-67 所示。

2. 正确接线

测量对象不同,接线方法也有所不同。测量绝缘电阻时,一般只用线路 L 端和地线 E 端。

① 测量电动机绕组的绝缘电阻时,将 E、L 端分别接于被测的两相绕组上,如图 7-68 所示。

② 测量低压线路的绝缘电阻时,将 E 端接地线, L 端接到被测线路上,如图 7-69 所示。



图 7-67 摇动兆欧表摇柄的方法

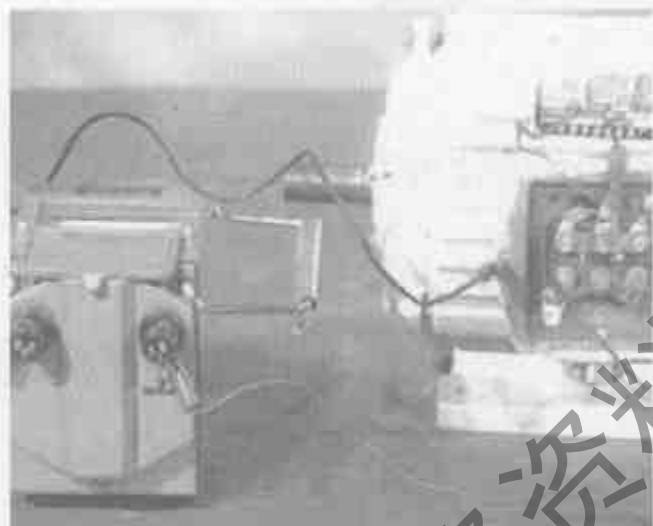


图 7-68 测量电动机绕组绝缘电阻的接线方法



图 7-69 测量低压线路绝缘电阻的接线方法

③ 测量电缆对地绝缘电阻或被测设备的漏电流较严重时, G 端接导线的屏蔽层或外壳, L 端接线芯, E 端接导线的外皮, 如图 7-70 所示。G 端接屏蔽层或外壳的作用是消除被测对象表面漏电造成的测量误差。

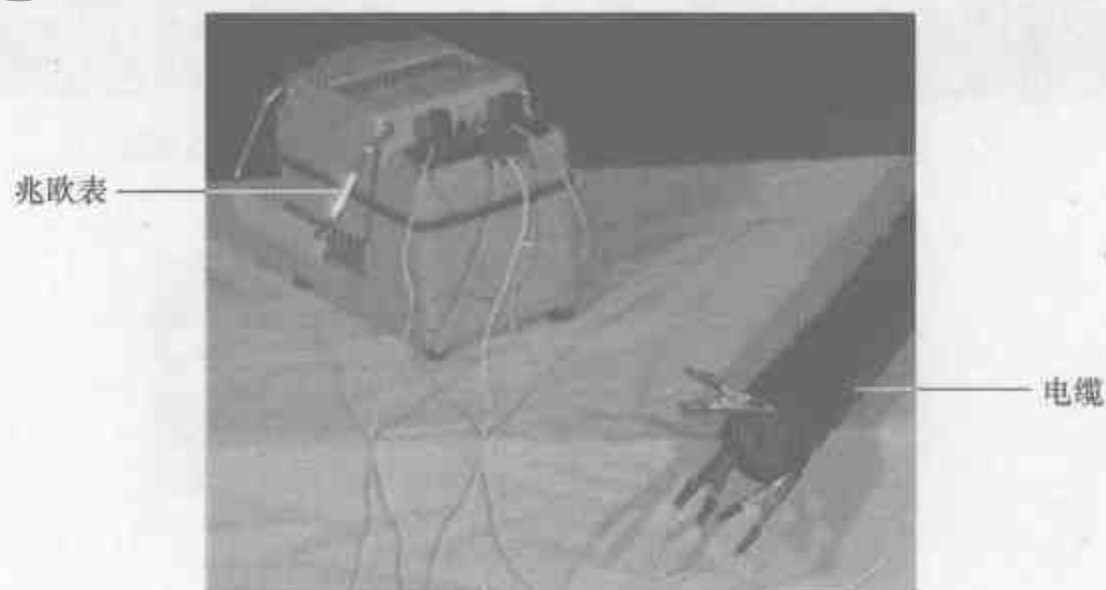


图 7-70 测量电缆对地绝缘电阻的接线方法

④ 测量家用电器的绝缘电阻时，L端接被测家用电器的电源插头，E端接该家用电器的金属外壳，如图7-71所示。

3. 测试

线路接好后，可按顺时针方向转动发电机摇柄，摇动的速度应由慢而快。当转速达到120r/min左右时，保持匀速转动，1min后读数，并且要边摇边读数，不能停下来读数，如图7-72所示。

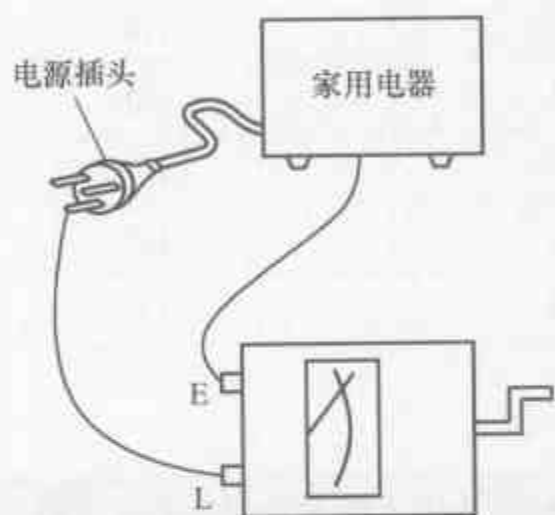


图 7-71 测量家用电器绝缘电阻的接线方法



图 7-72 边摇边读数

特别注意：在测量过程中，如果表针已经指向了“0”，此时不可继续用力摇动摇柄，以防损坏兆欧表。

4. 拆除连接线

测量完毕，待兆欧表停止转动并将被测物接地放电后，才能拆除连接导线，如图7-73所示。

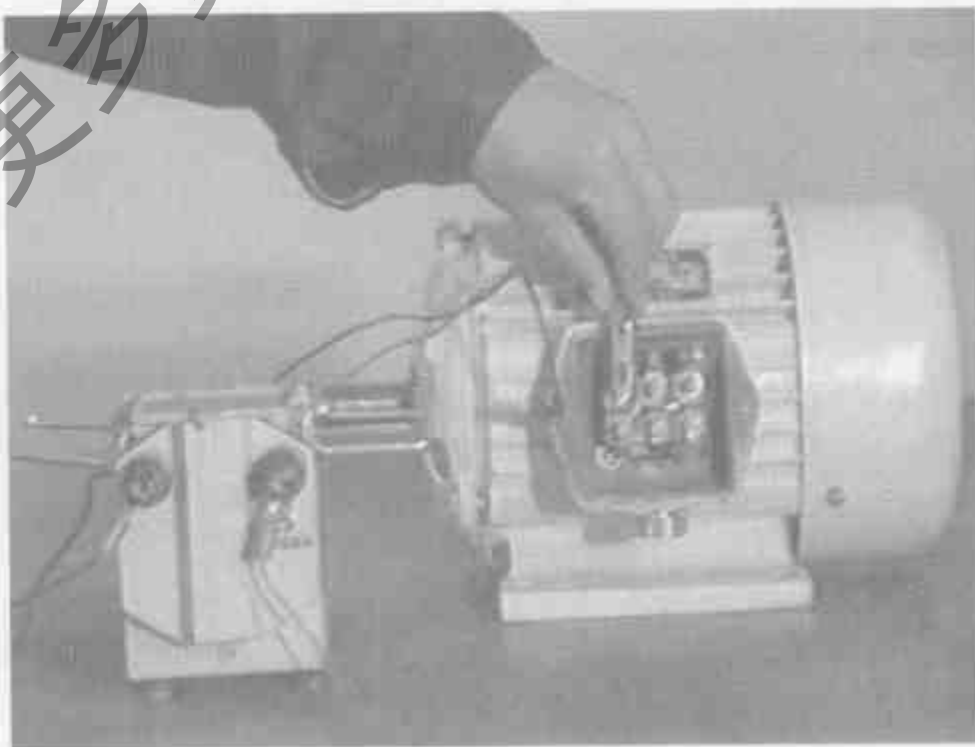


图 7-73 拆除连接导线的方法

5. 兆欧表的选用

常用兆欧表的型号及性能见表7-3，兆欧表的选用方法见表7-4。

表 7-3 常用兆欧表型号及性能

型 号	额定电压 (V)	量程 (MΩ)	准 确 度
ZC-7	100	0~200	1.0
	250	0~500	1.0
	500	1~500	1.0
	1000	2~2000	1.0
	2500	5~5000	1.5
ZC-11-1	100	0~500	1.0
ZC-11-2	250	0~1000	1.0
ZC-11-3	500	0~2000	1.0
ZC-11-4	1000	0~5000	1.0
ZC-11-5	2500	0~10000	1.0

表 7-4 兆欧表的选用

被 测 对 象	被测对象的额定电压 (V)	所选兆欧表的电压量程 (V)
线圈的绝缘电阻	500 以下	500
	500 以上	1000
发动机线圈的绝缘电阻	380 以下	1000
电力变压器、发电机及电动机线圈的绝缘电阻	500 以上	1000~2500
电气设备绝缘	500 以下	500~1000
	500 以上	2500
瓷瓶、母线、刀闸	—	2500~5000

技能提高

使用兆欧表时的注意事项

因兆欧表本身工作时产生高压电，为避免人身及设备事故，必须注意以下几点。

- ① 不能在设备带电的情况下测量其绝缘电阻。测量前必须切断被测设备的电源和负载，并进行放电；已用兆欧表测量过的设备如要再次测量，也必须先接地放电。
- ② 用兆欧表进行测量时要远离大电流导体和外磁场。
- ③ 与被测设备连接的导线要用兆欧表专用测量线或选用绝缘强度高的两根单芯多股软线，两根导线切忌绞在一起，以免影响测量准确度。
- ④ 在测量过程中，如果指针指向“0”位，表示被测设备短路，应立即停止转动手柄。
- ⑤ 被测设备中如有半导体器件，应先将其插件板拆去。
- ⑥ 在测量过程中不得触及设备的测量部分，以防触电。
- ⑦ 测量电容性设备的绝缘电阻时，测量完毕应对设备充分放电。

思路点拨

兆欧表使用歌诀

测量使用兆欧表，根据电压把表选。
 超过三五两千五，十千以下用一千。
 仪表 E 端应接地，污染严重加 G 端。
 未测绕组和元件，可靠接地保安全。
 手摇转速一百二，测后放电再拆线。



说明

在使用兆欧表之前，要进行开路试验和短路试验，即进行校表。在使用过程中，兆欧表一定要放置平稳。

合理选用兆欧表，对于 35kV 及以上的变压器应使用 2500V 的兆欧表，10kV 及以下的变压器应使用 1000V 的兆欧表；L 端接变压器的绕组，E 端接地。
 使用完兆欧表后，要将 L、E 端短路放电。



练一练 练习用兆欧表测量三相异步电动机相对相、相对外皮的绝缘电阻。



电工小百科

激动人心的无线输电实验

2007 年 6 月 7 日，美国麻省理工学院的物理系助理教授马林·索尔贾希克的研究小组宣布，他们试制成功了无线电力传输装置。利用这个装置，他们向相隔 2m 远的一个功率为 60W 的电灯泡送电，并成功点亮了灯泡，从而首次证明了无线电力传输是可行的。

索尔贾希克表示，他从事这项研究的初衷是希望能够为笔记本电脑和手机的频繁充电找到一种更佳的替代途径。“那是几年前的一个深夜，我又一次被手机的提示声吵醒。在那个月，这已经是第六次了。”索尔贾希克介绍说，“我的手机不断地响起，提示我该给它充电了。这促使我萌发了一个奇想，如果手机能够自动充电那该多好啊！”要想让手机自动充电，那就必须找到一种无线电力传输的方法。从那时起，索尔贾希克带领他的研究小组开始展开相关的理论和实验研究。

那么，为什么恰好在这个时候而不是在此前出现这种无线电力传输技术呢？研究小组的约翰·乔诺坡洛斯教授进一步解释说：“过去，人们对这样的系统并不是那么的需要，没有那么多的人迫切地想要这样的无线电力传输技术。现在，情况变了，这几年来便携式电器，如笔记本电脑、手机、iPod 音乐播放器，甚至家用机器人等得到广泛应用，而所有这些电器都要安装电池，都需要经常充电。”正是社会需求促使研究人员开始着手进行无线电力传输技术的研究。

几年后的今天，他们终于获得了成功。这一革命性的突破有望使家用电器摆脱电线和插座的束缚，而一些小型电子设备也将彻底和电池告别，从而杜绝因废弃电池带来的环境污染。

*第8章 电工识图基础

——电工通用“语言”

电路图是根据国家标准规定的图形符号和文字符号绘制的图纸，是电气工程人员经常使用并必须掌握的一种通用工程语言和工具。电工必须掌握识读电路图的基本知识，能读懂电工图纸，具备照图施工和检修的能力。

知识目标

- ① 了解电路图的组成及各组成部分的作用。
- ② 了解电气控制原理图和安装接线图的特点。
- ③ 掌握电工识图的基本方法和步骤。

能力目标

- ① 熟悉电路图常用电气符号。
- ② 掌握电气控制原理图、电气元件布置图和安装接线图的识图要领。
- ③ 能正确识读比较简单的照明电路平面图和照明控制接线图。

8.1 电工识图基本知识

——符号传递信息

一份完整的电路图由哪些部分组成，各个组成部分的地位及作用如何？电工常用的电路图有哪些？初学者常常会提出这些问题，这也是电工识图时需要掌握的几个基本知识。

8.1.1 电路图的组成——电路说明标题栏，电气符号接线连

电路图一般由电路、技术说明和标题栏 3 部分组成。

人们常常把电路图比喻为军队的作战地图，其重要性不言而喻。军事指挥官不仅要仔细分析地图，还要实地检查防御工事、武器装备和军队战斗力。维修电工同样需要把电路图和实际电路结合起来，认真研究电路图，才能解决工作中的具体问题。

1. 电路

电路是电路图的主体。电力工程中的电路可分为主电路和辅助电路两大部分，如图 8-1 所示。主电路也称一次回路，是电源向负载输送电能的电路，包括电源、控制电路和负载等。主电路在电路图中位于辅助电路的左侧或上部。辅助电路也称二次回路，是对主电路进行控制、保护、监测和指示的电路，包括控制电器、仪表、指示灯等。辅助电路位于主电路的右侧或者下部。

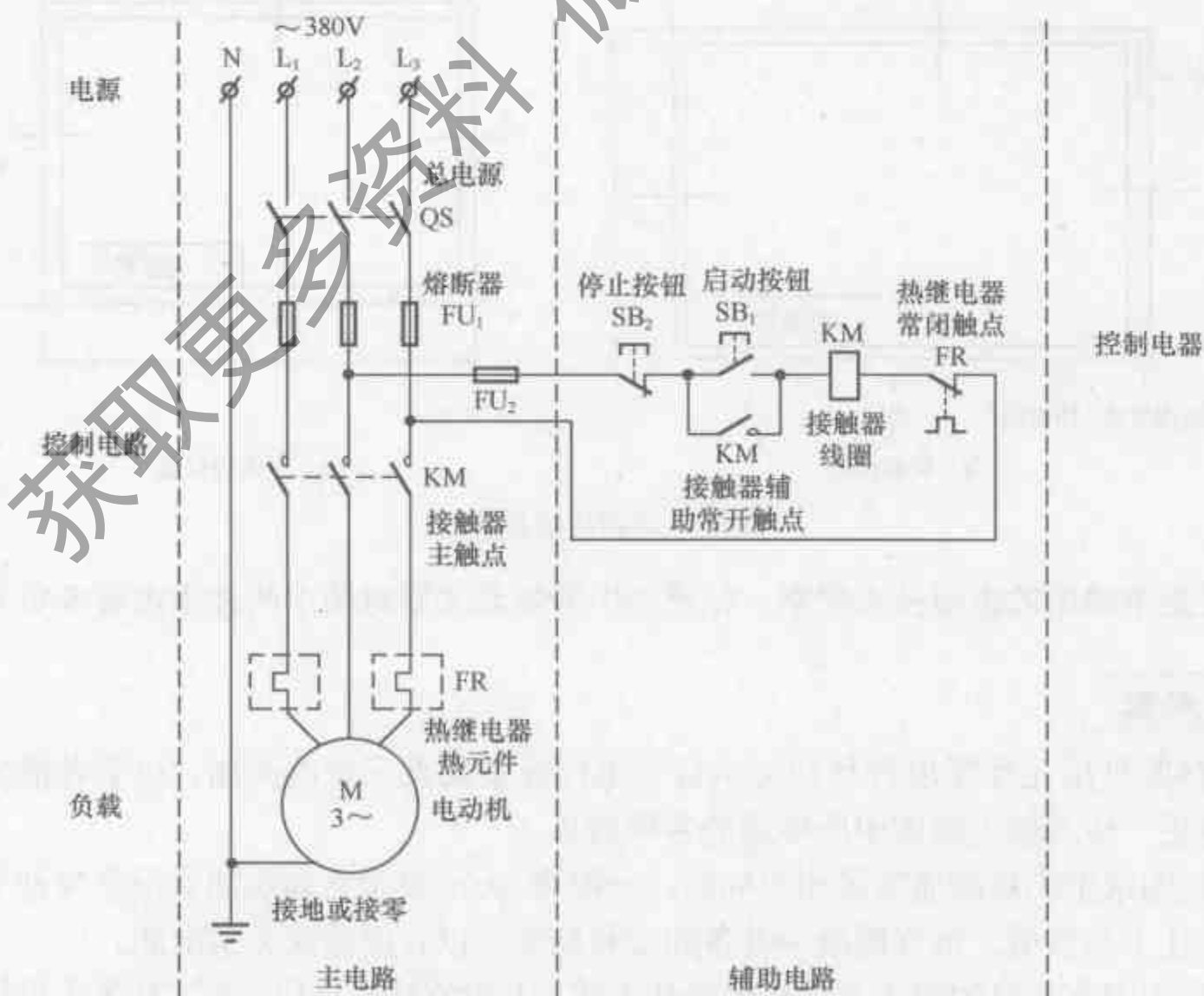


图 8-1 交流接触器控制三相异步电动机启动、停止电路图

2. 技术说明

电路图中的文字说明和元件明细表等总称为技术说明。

(1) 文字说明的作用及书写形式

文字说明通常以条文的形式书写，书写位置通常位于电路图的右上方。

(2) 元件明细表的作用及书写形式和位置

元件明细表中列出了各电气元件的名称、符号、规格和数量等，它一般位于标题栏的上方，表中的序号按照自下而上的顺序编排。

3. 标题栏

标题栏中的项目有“设计单位名称”、“工程名称”、“图纸名称”、“设计人”、“审核人”等（如表 8-1 所示），均应填写。无论采用横式或竖式图幅，工程设计标题栏均应设置在图纸的右下方，紧靠图框线。标题栏在电路图中的位置如图 8-2 所示。

表 8-1 标题栏示例

××设计院			工程名称	
审核		总工程师	电动机控制 电路图	专业
校核		总专业师		单位
制图		项目负责人		日期
设计		专业负责人		图号

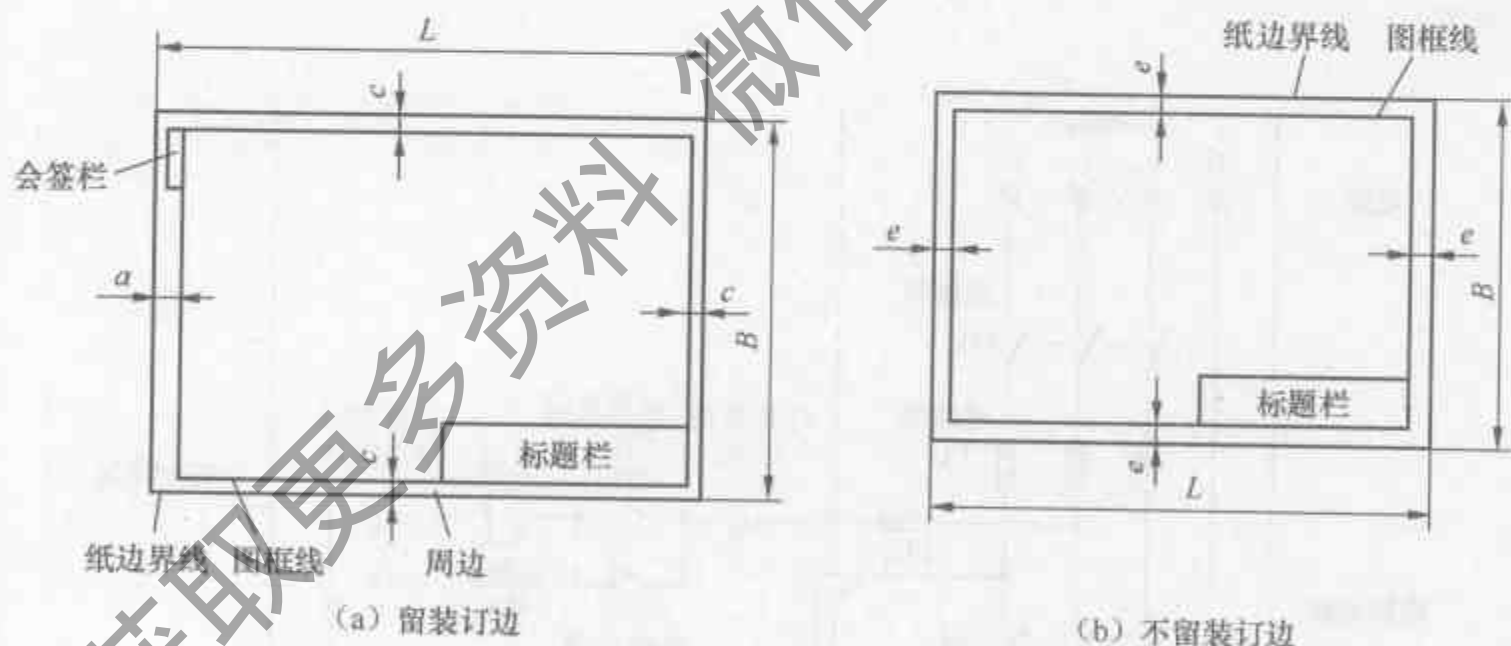


图 8-2 标题栏的位置

标题栏是电路图的重要技术档案，标题栏中的签名者要对图中的技术内容各负其责。

思路点拨

① 电路图是用元件图形符号和文字符号来代替实物表示电路的图，初学者最好同时结合实际电路进一步理解电路图中所传递的各种信息。

② 建筑图纸中的标高通常是相对标高。一般将±0.00 设定在建筑物首层室内地平面，往上为正值，往下为负值。电气图纸中设备的安装标高是以各层地面为基准的。

③ 各种图纸有各自的特点及各自的表达方式，不同的设计单位，尤其是各大设计院往往有着不同的规定画法和习惯做法。当然也有一些基本规定和格式是各种图纸统一遵守的，如

国家标准规定的图形符号等。

④ 任何电工都要求具备一定的绘图能力和识图能力。

4. 电气符号

电路图必须采用国家规定的统一的图形符号和文字符号来表示电气元器件的不同种类、规格及安装方式。电气符号一般包括图形符号、文字符号和回路标号。

(1) 图形符号

图形符号包括基本符号和一般符号。基本符号不表示独立的电气元件，只说明电路的某些特征，如“~”表示交流，“-”表示直流。一般符号是用来表示一类产品特征的一种符号，如“M”表示交流电动机，“ ⊕ ”表示双绕组变压器。图形符号举例见表8-2。

表8-2 图形符号举例

名称	图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号
常开触点		SQ	欠电压继电器线圈		FV
常闭触点		SQ	过电流继电器线圈		FA
复合触点		SQ	断电延时线圈		SJ
启动按钮		SB	通电延时线圈		SJ
停止按钮		SB	三相笼型异步电动机		M
复合按钮		SB	三相绕线转子异步电动机		M
接触器线圈		KM	串励直流电动机		M

(2) 文字符号

文字符号是用来表示电气设备、装置、元器件种类及功能的字母代码，分为基本文字符号和辅助文字符号两种。

基本文字符号有单字母符号和双字母符号两种。在单字母符号中用拉丁字母将各种电气设备、电气元件分为23大类，每一大类用一个专用字母符号表示，如“C”表示电容器类，“R”表示电阻类。双字母符号由一个表示种类的单字母符号后面加一个字母组成，如“GB”

表示蓄电池，其中“G”为电源的单字母符号。常用基本文字符号见表 8-3。

表 8-3 基本文字符号举例

名 称	单字母符号	多字母符号	名 称	单字母符号	多字母符号
发电机	G		电流表	A	
励磁机	G	GE	电压表	V	
电动机	M		功率因数表		cos
绕组	W		电磁铁	Y	YA
变压器	T		电磁阀	Y	YV
隔离变压器	T	TI(N)	牵引电磁铁	Y	YA(T)
电流互感器	T	TA 或 CT	插头	X	XP
电压互感器	T	TV 或 PT	插座	X	XS
电抗器	L		端子板	X	XT
开关	Q、S		信号灯	H	HL
断路器	Q	QF	指示灯	H	HL
隔离开关	Q	QS	照明灯	E	EL
接地开关	Q	QG	电铃	H	HL
行程开关	S	ST	蜂鸣器	H	HA
脚踏开关	S	SF	测试插孔	X	XJ
按钮	S	SB	蓄电池	G	GB
接触器	K	KM	合闸按钮	S	SB(L)
交流接触器	K	KM(A)	跳闸按钮	S	SB(I)
直流接触器	K	KM(D)	试验按钮	S	SB(E)
星—三角形启动器	K	KS(D)	检查按钮	S	SB(D)
继电器	K		启动按钮	S	SB(T)
避雷器	F	FA	停止按钮	S	SB(P)
熔断器	F	FU	操作按钮	S	SB(O)

辅助文字符号用来表示电气设备、装置、元器件及线路的功能、状态和特征，如“SYN”表示同步，“L”表示限制。常用辅助文字符号见表 8-4。

表 8-4 常用辅助文字符号

名 称	单字母符号	多字母符号	名 称	单字母符号	多字母符号
交流		AC	控制	C	
直流		DC	制动	B	BRK
电流	A		闭锁		LA
电压	V		异步		ASY
接地	E		延时	D	
保护	P		同步		SYN
保护接地	PE		运转		RUN

续表

名称	单字母符号	多字母符号	名称	单字母符号	多字母符号
中性线	N		时间	T	
模拟	A		高	H	
数字	D		中	M	
自动	A	AUT	低	L	
手动	M		升	U	
辅助		AUX	降	D	
停止		STP	备用		RES
断开		OFF	复位		R
闭合		ON	差动	D	
输入		IN	红		RD
输出		OUT	绿		GN
左	L		黄		YE
右	R		白		WH
正、向前		FW	蓝		BL
反	R		黑		BK

(3) 回路标号

在电路图中，回路上标注的文字符号和数字标号统称回路标号，它用来表示各个回路的种类和特征。回路标号一般由3位或3位以下的数字组成，按照“等电位”的原则进行标注。

5. 方位标记和位置表示法

图纸一般是按“上北下南，左西右东”的方向来绘制的，在很多情况下，图纸上用方位标记（指北针方向）来表示其朝向，如图8-3所示，箭头表示正北方向。

图中位置的表示方法有3种，即坐标法、电路编号法和表格法。

(1) 坐标法

坐标法用于将整个图纸的幅面分区，将图纸相互垂直的两边各自加以等分，分区的数目取决于图的复杂程度，但必须取偶数，每一分区长度为25~75mm。然后从图样的左上角开始，在图样横向周边用数字编号，竖向用拉丁字母编号，如图8-4所示。图幅分区后，相当于建立了一个坐标。图中某个位置的代号用该区域的字母和数字组合起来表示，且字母在前，数字在后，如C2区、B5区等。这样，在识读电路图时，用分区即可确定、查找电气元器件，为分析电路工作原理带来了极大的方便。图中的分区位置及标注方法见表8-5。

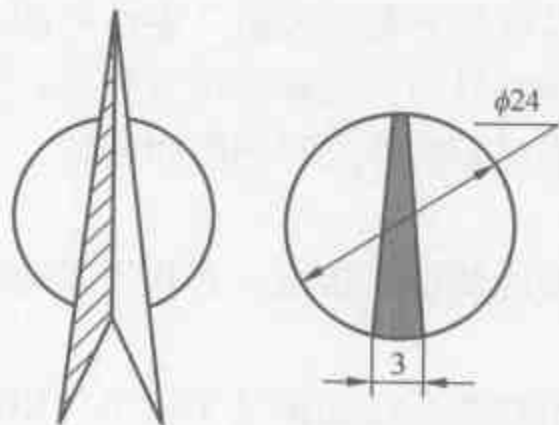


图8-3 方位标记

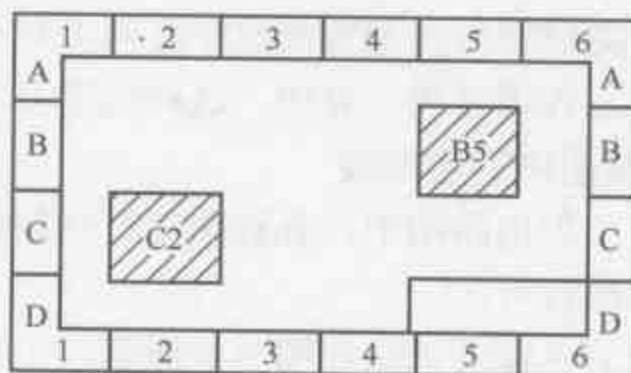


图8-4 用坐标法描述电气图

表 8-5 分区位置及标注方法

符号或元件在图中的位置		标注方法
有关联的符号在同一幅图内	本图中的 B 行	B
	本图中的 5 列	5
	本图中的 B 行 5 列 (B5 区)	B5
有关联的符号不在同一幅图内	具有相同图号的第 2 幅图中的 B5 区	2/B5
	图号为 1125 单幅图中的 B5 区	图 1125/B5
	图号为 1125 的第 2 幅图中的 B5 区	图 1125/2/B5
按项目代号确定位置的方式 (例如所指项目为=P1 系统)	=P1 系统单幅图中的 B3 区	=P1/B3
	=P1 系统的第 2 幅图中的 B3 区	=P1/2/B3

(2) 电路编号法

电路编号法是指对图样中的电器或分支电路用数字按序编号。若是水平布图，数字编号按自上而下的顺序进行；若是垂直布图，数字编号按自左而右的顺序进行，数字分别写在各支路下端。若要表示元器件相关联部分所在位置，只需在元器件的符号旁标注相关联部分所处支路的编号即可，如图 8-5 所示（图中电路从左向右编号）。线圈 K_1 下标注“5”，说明受线圈 K_1 驱动的触点在 5 号支路上；而在 5 号支路上，触点 K_2 下标注“4”，说明驱动该触点的线圈在 4 号支路上，其余可依此类推。

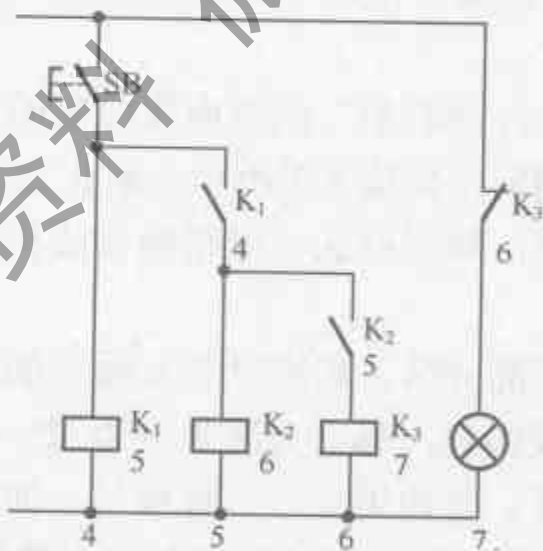


图 8-5 用电路编号法表示图中的位置

(3) 表格法

表格法是指在图的边缘部分绘制一个按项目代号进行分类的表格。表格中的项目代号和图中相应的图形符号在垂直或水平方向上对齐，图形符号旁仍需标注项目代号。图上的各项目与表格中的各项目逐一对应。这种位置表示法便于对元器件进行归类 and 统计。

6. 电路图上的连接线

在电力工程电路图中，各种图形符号的相互连接线统称连接线，其作用是连接各种设备和元件的图形符号。

连接线的单线表示法如图 8-6 所示，汇总线的单线表示法如图 8-7 所示，中断线的表示法如图 8-8 所示。

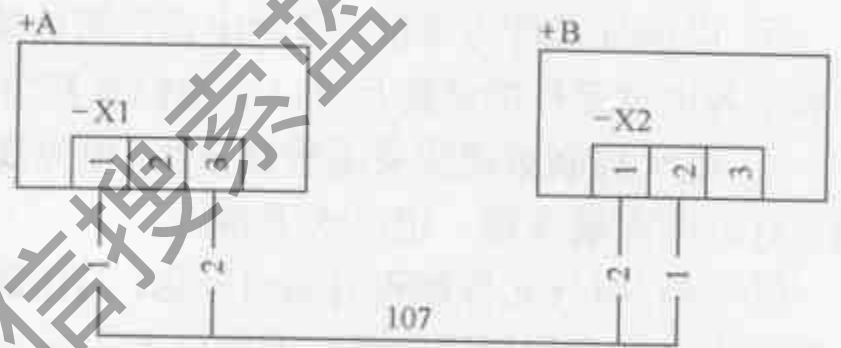
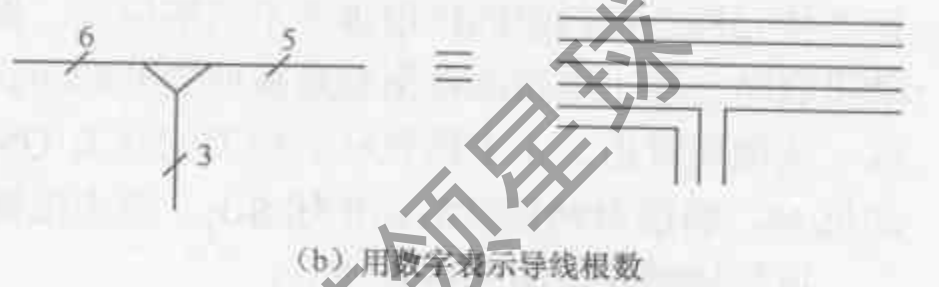
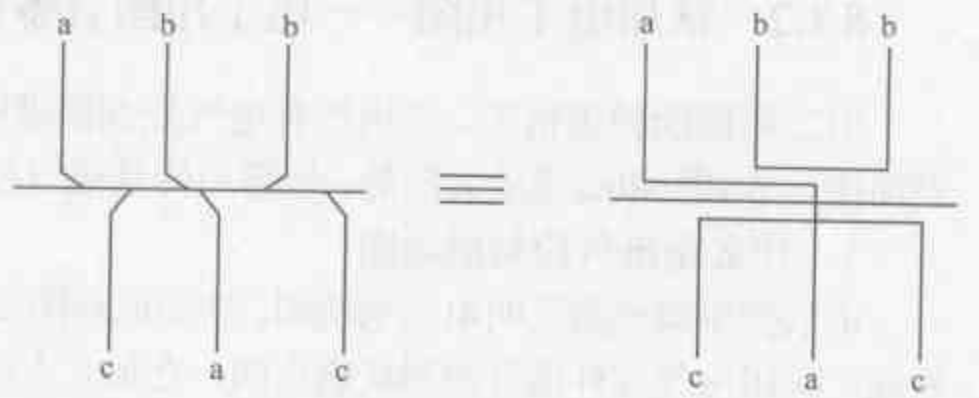
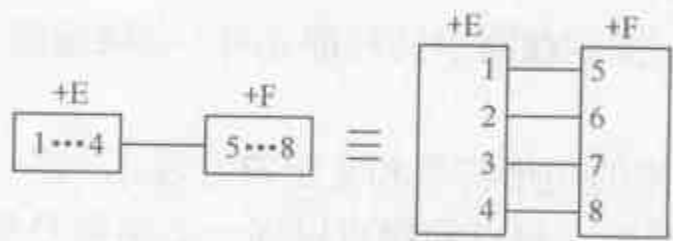
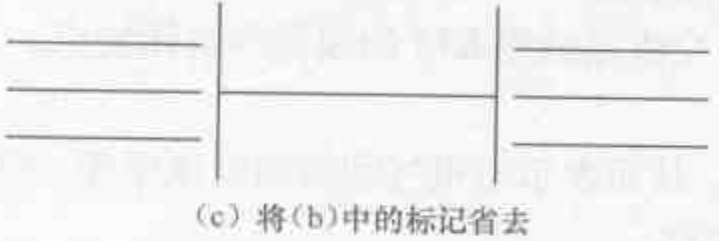
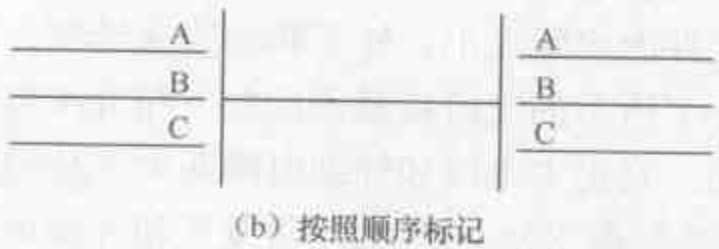
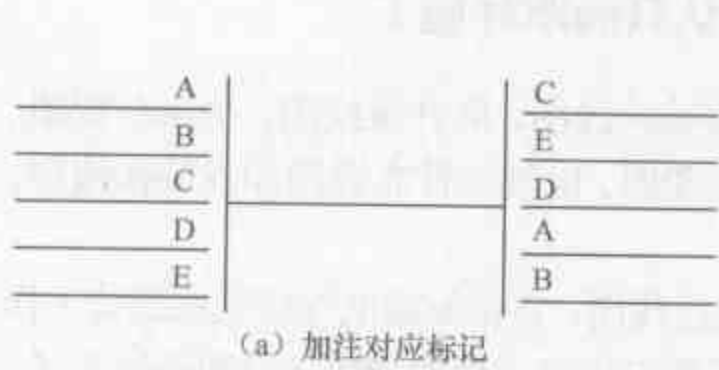


图 8-6 连接线的单线表示法

图 8-7 汇总线的单线表示法

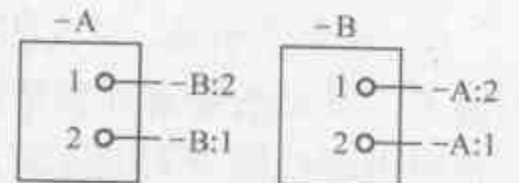
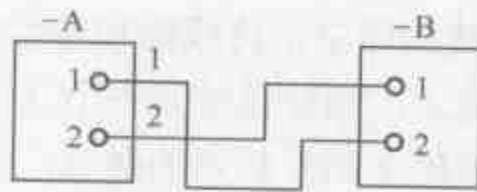
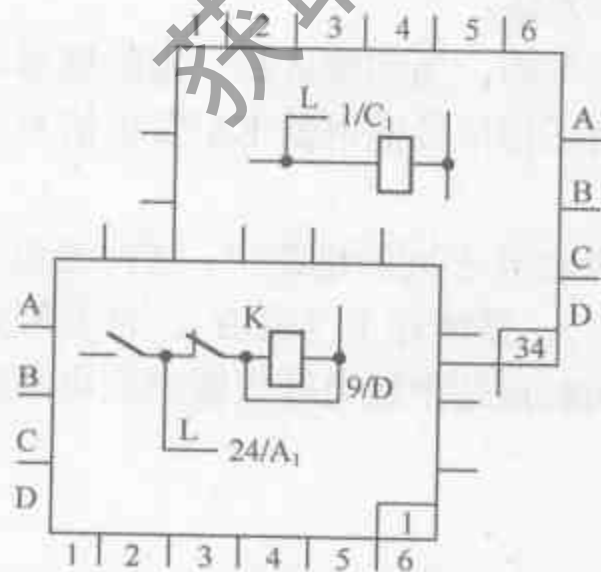
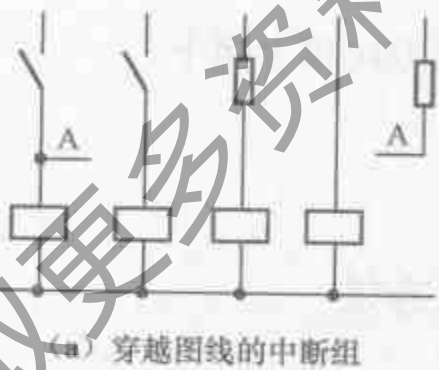


图 8-8 中断线的表示法

8.1.2 常用电工用图——电工用图有多种，认真阅图好施工

电工用图种类很多，常用的有电气控制原理图、安装接线图、展开接线图、平面布置图、剖面图、局部图和局部放大图等，最常用的是电气控制原理图、电气元件布置图和安装接线图。

1. 什么是电气控制原理图

电气控制原理图又叫电气系统图、接线原理图或原理接线图。它是根据电气控制系统的工作原理，采用电气元件展开的形式给出的，在形式上概括了所有电气元件的导电部分和接线端子。

值得说明的是，电气控制原理图并不是按照电气元件的实际大小、外形和位置来绘制，而是按元件在控制中的作用画在不同的位置。例如图 8-1 所示的交流接触器控制三相异步电动机启动、停止电路原理图就是按照展开的形式绘制的，它由主电路和辅助电路两大部分组成。从图中看出，主电路包括三相刀闸开关 QS、交流接触器 KM 的主触点以及三相异步电动机 M，辅助电路包括启动按钮 SB₁、停止按钮 SB₂、交流接触器 KM 的线圈和自锁触点。

电气控制原理图的特点如下。

① 以电气元件为单位，显示出元件间的接线情况，从而表示出电气回路的动作原理，但不表示各电气元件的结构尺寸、安装位置和实际配线方法。

② 电气控制原理图采用垂直布线，电源线水平引入。控制线路中的耗能元件（电磁线圈、指示灯）画在最下端，也可水平布线。

③ 所有电气元件都没有画出外形，只用国家标准规定的图形符号和文字符号表示。同一元件的不同部分根据需要画在不同位置，同一元件的各线圈、触点和接点以同一文字符号来标注。若同一类的电气元件有多个，可用文字符号加下标的方式区分，如 KM₁、KM₂ 等。

④ 所有电气元件的可动部分表示为非受激励或不工作状态，即“平常状态”；手动元件表示为不受外力驱动的自然状态。

⑤ 回路的排列顺序为水平方向从左到右，垂直方向自上而下。

知识链接

继电器的表示方法

继电器在二次回路接线图中的图形符号有以下两种表示方法。

① 整体表示法。如图 8-9 所示，KA₁、KA₂ 表示过流继电器，当超载达到一定限度后，过流继电器内的开关闭合，使时间继电器 KT 开始计时，而后使信号继电器 KS 发出信号，同时跳闸线圈得电，使断路器 QF 断电。

② 分离表示法。二次回路接线图中常将线圈和触点分开画在不同的电路中，这种画法应用最多。常见的是常开和常闭触点，规律是常开在下（或左），常闭在上（或右）。常开触点是指继电器线圈中无电流通过时处于断开状态的触点，常闭触点是指继电器线圈中无电流通过时处于闭合状态的触点。

2. 什么是电气元件布置图

电气元件布置图用来表明电气设备上所有电动机及其他电器的实际位置，是电气控制设备制造、安装和维修必不可少的技术文件。

电气元件布置图一般用双点画线画出设备轮廓，但不需要严格按比例；用粗实线描绘所有可见的或需要表达的电气元件外形轮廓，要求所有电气元件及设备的代号必须与电气控制原理图或明细表中的代号一致。

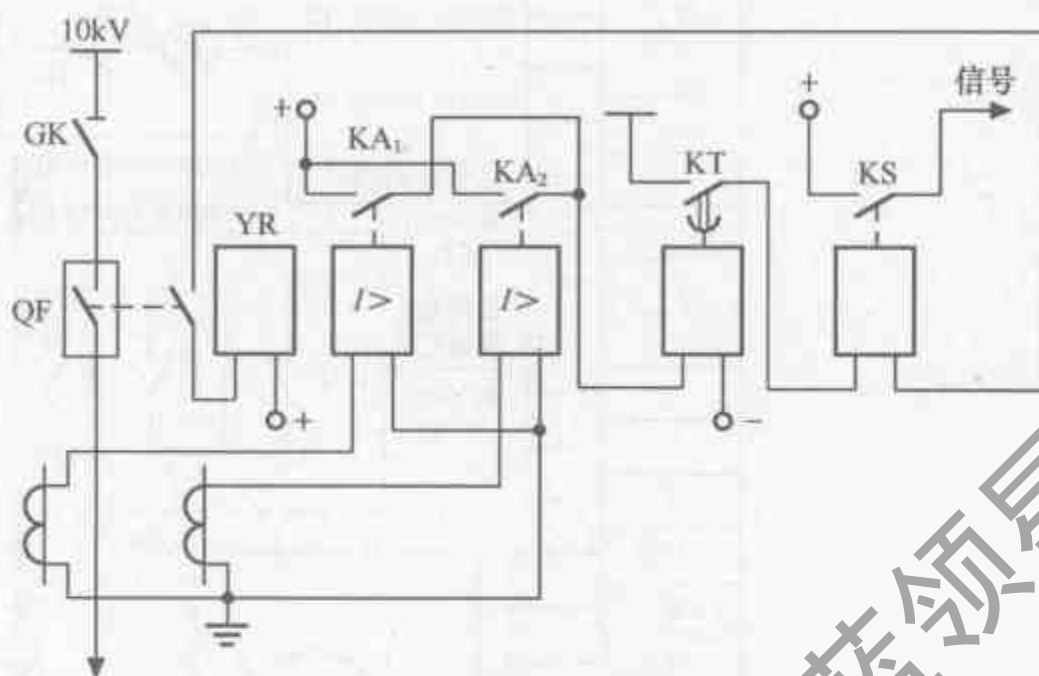


图 8-9 继电器整体表示法原理接线图

依据上面介绍的方法，根据图 8-1 所示的交流接触器控制三相异步电动机启动、停止电路原理图，可绘制出图 8-10 所示的电气元件布置图。

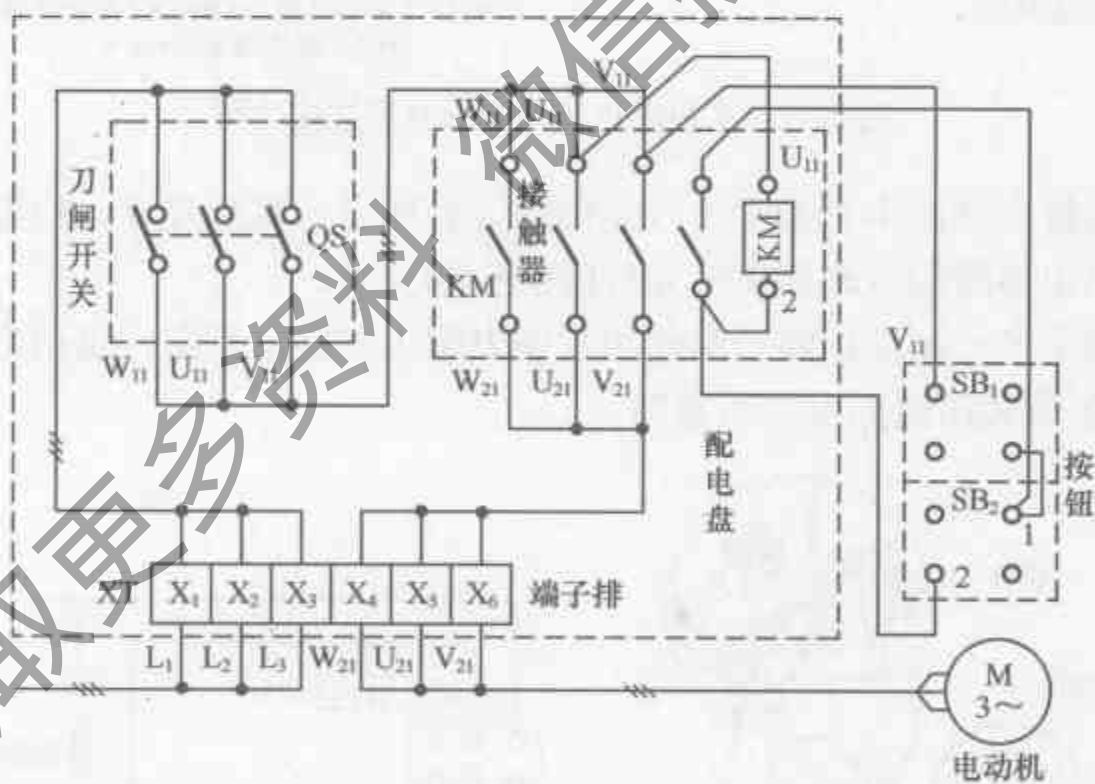


图 8-10 交流接触器控制三相异步电动机启动、停止电路电气元件布置图

3. 什么是安装接线图

安装接线图也叫安装图，是表示电气设备或装置电气连接关系的简图，是安装接线、线路检查和线路维修的主要依据。在电气控制原理图和电气元件布置图的指导下，安装接线图表示出设备与元件的相对关系、元件与元件之间的连接关系，包括项目代号、端子号、导线号、导线类型及导线截面积等内容。

图 8-11 是某机床电气控制部分安装接线图。此图标明了该系统中电源进线、按钮盒、照明灯、电动机与电气安装板之间的电气连接关系，同时也标注了连线根数、截面积及颜色，还有导线穿管材料等信息。例如：将按钮板（盒）和元件安装板用 $7\text{mm}\times 1\text{mm}$ 的红色导线连接到端子排上。

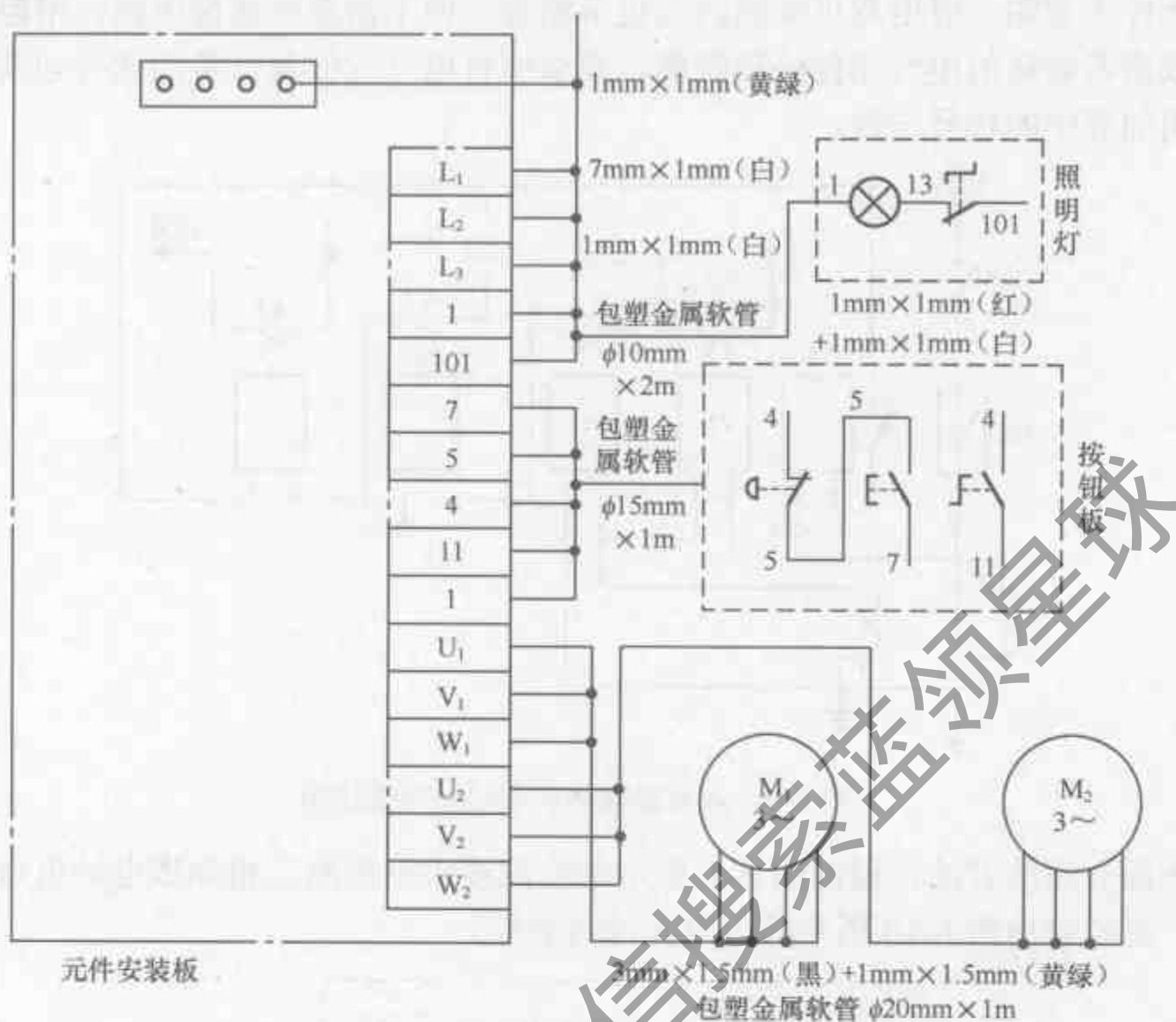


图 8-11 某机床电气控制部分安装接线图

安装接线图的特点是图中只表示电气元件的安装地点、实际尺寸、位置和配线方式等，但不能直观地表示出电路的原理和电气元件间的控制关系。

一些家用电器生产厂家往往在产品使用说明书附上安装示意图，供用户在安装和接线时参考。图 8-12 所示为某吊扇的安装示意图。

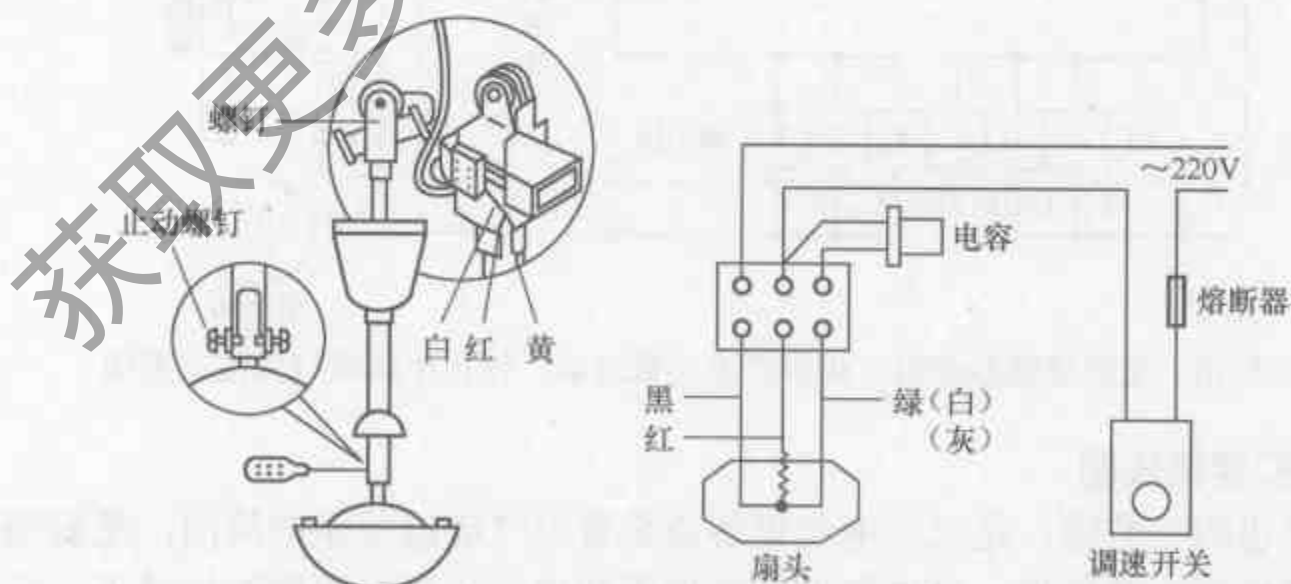


图 8-12 吊扇安装示意图

思路点拨

根据功能的不同，电气设计内容有所不同。电气施工通常可以分为内线工程和外线工程两大部分。内线工程包括照明系统图、动力系统图、电话工程系统图、共用天线电视系统图、

防盗保安系统图、广播系统图、变配电系统图和空调配电系统图等。外线工程包括架空线路图、外线工程电缆线路图和室外电源配电线路图等。

具体落实到电气设备安装施工时,按其表现内容的不同,可分为配电系统图、平面图、大样图、剖面图和二次接线图等类型。这些图在一般工程中不一定全有。

作为要参加电工技能鉴定考试的初学者,只要求掌握电气控制原理图、电气元件布置图和安装接线图的识读和绘制方法即可。



想一想

- ① 电路图由哪几部分组成?各组成部分有何作用?
- ② 电气控制原理图有何特点?



电工小百科

家庭综合布线

购买新房之后,家庭布线是应该精心考虑的。例如有线电视布线、计算机及电话布线、电力布线等,特别是对于家中有两台以上计算机的情况,是否考虑计算机网络和普通家电的线缆安排,将关系到日后是否方便使用。图 8-13 为某家庭综合布线图,可供大家参考。

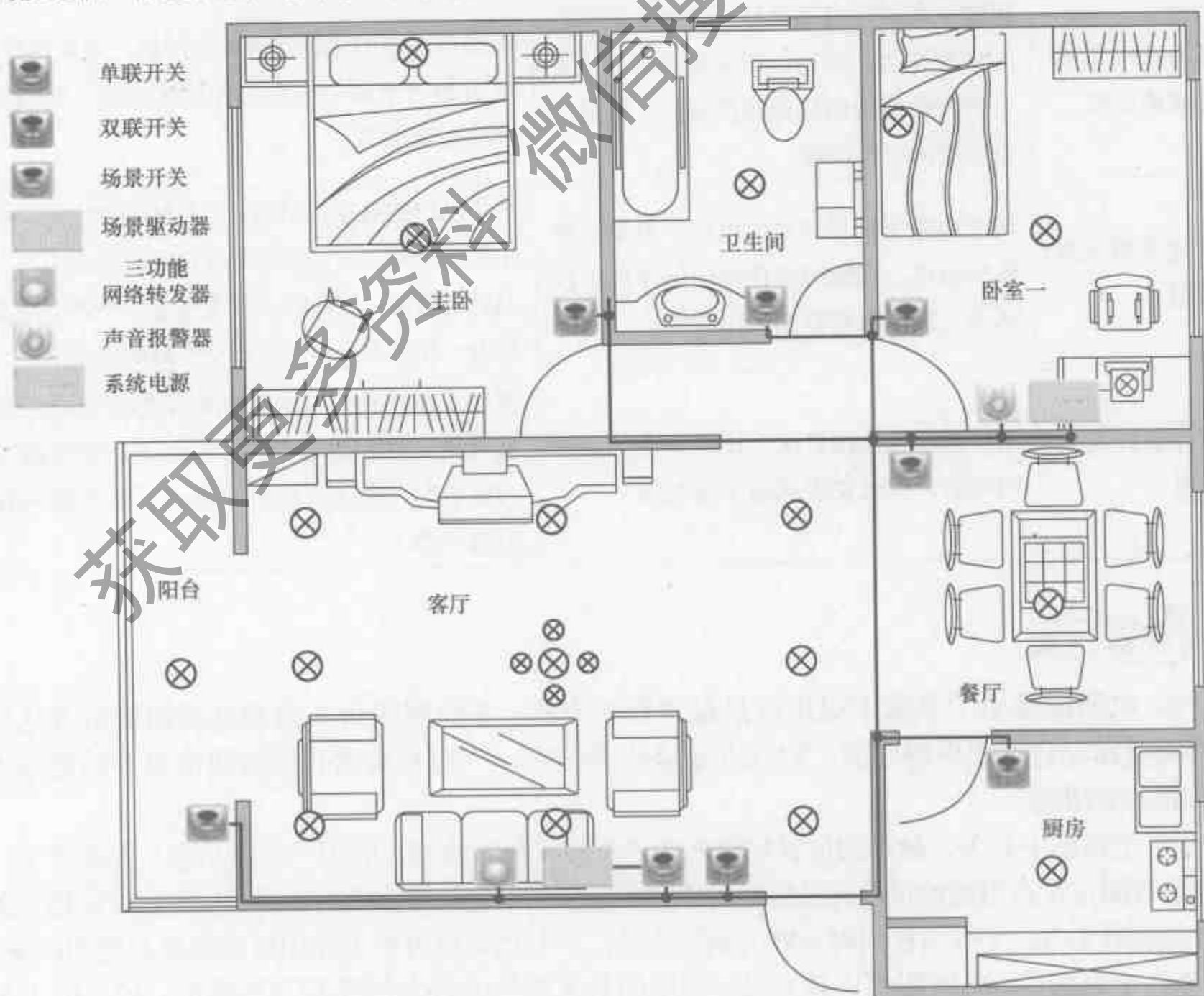


图 8-13 家庭综合布线举例

8.2 怎样看电工图

——火眼金睛需多练

8.2.1 电工识图的基本方法——看图方法四结合，触点常开未闭合

电工识图的基本方法为4个结合，即结合电工电子基础知识、结合电气元件的结构、结合典型电路和结合图样说明，具体方法见表8-6。

表8-6 电工识图的基本方法

基本方法	说 明	应用实例
结合电工电子基础知识识图	所有电路，如电力拖动电路、照明电子电路等都是建立在电工、电子技术理论基础之上的。因此，要想准确、迅速地看懂电气原理图，必须具备电工、电子方面的基础知识	如笼型异步电动机的正反转控制就是利用笼型异步电动机的旋转方向由电动机的三相电源的相序所决定的原理，用两个接触器进行切换，改变三相电源的相序，就可改变电动机的旋转方向（正转或反转）
结合电气元件的结构识图	电路中有各种电气元件，只有了解这些元件的性能、结构、相互控制关系以及在整个电路中的地位和作用，才能搞清楚电路的工作原理	配电电路中的负荷开关、断路器、熔断器等，电力拖动电路中常用的各种继电器、接触器和控制开关等
结合典型电路识图	典型电路即常见的基本电路，熟悉各种典型电路，识图时就能很快地分清主次环节，就能看懂复杂的电路图	如电动机的启动、制动、正反转控制电路，继电保护电路，时间控制电路，行程控制电路，晶体管整流、振荡和放大电路等。不管电路多复杂，几乎都是由若干典型电路所组成的
结合图样说明识图	图样说明包括图目录、技术说明、元件明细表、安装说明或施工说明等	通过看图样说明，搞清楚电路的设计意图和安装施工要求。这些内容有助于了解电路的大体情况，便于抓住看图重点，达到顺利看图的目的

思路点拨

① 电路图是电工领域中提供信息最主要的方式，各种图的命名主要是根据其所表达信息的类型和表达方式而确定的。因此在识读电路图时，一定要根据其提供的信息并清楚该电路图的主要用途。

② 电路图中开关、触点的位置均以处在“平常状态”绘制。所谓“平常状态”是指开关、继电器线圈在没有电流通过及无任何外力作用时触点的状态。通常说的常开、常闭触点是指开关电器在线圈无电、无外力作用时是断开或闭合的，一旦通电或有外力作用时触点状态随即改变。

③ 一般来说，电路图都比较复杂，图中的若干电气元件之间是相互关联的。识图的主要任务之一就是理清各个元件之间的关系。因此，建议在识图时要“瞻前顾后”，明察秋毫，

按照一定的思路，一步一步地识读。

8.2.2 电工识图的步骤——线路复杂要分辨，五看步骤反复练

对于比较复杂的电气系统控制图，可按照看说明书、看图纸说明、看标题栏、看概略图和看电路图的“五看”步骤来识读。

1. 看说明书

对于任何一个系统、装置或设备，在看图之前，应首先了解它们的机械结构、电气传动方式、对电气控制的要求、电动机和电气元件的大体布置情况以及设备的操作方法，各种按钮、开关、指示器等的作用。此外，还应了解使用要求、安全注意事项等，以便对系统、装置或设备有一个较全面完整的认识。

2. 看图纸说明

图纸说明包括图纸目录、技术说明、元件明细表和施工说明书等。识图时，首先要看清楚图纸说明书中的各项内容，搞清设计内容和施工要求，这样才能了解图纸的大体情况和抓住识图重点。

3. 看标题栏

标题栏是电路图的重要组成部分之一。根据电路图的名称及图号等有关信息，可对电路图的类型、性质、作用等有一个大致的印象，同时还可大致了解电路图的内容。

4. 看概略图（系统图或框图）

看图纸说明后，再看概略图，从而了解整个系统或分系统的概况，即它们的基本组成、相互关系及其主要特征，为进一步理解系统或分系统的工作方式和工作原理打下基础。

5. 看电路图

电路图是电气图的核心。对于一些大型设备，电路比较复杂，看图难度较大。不论怎样，都应按照由简到繁、由易到难、由粗到细的步骤去逐步看懂、看透，直到完全明白、理解。一般应先看相关的逻辑图和功能图。

如在看电动机拖动电路图时，先要分清主电路和辅助电路、交流电路和直流电路，按照先看主电路、再看辅助电路的顺序识读。看主电路时，通常是从下往上看，即从用电设备开始，经控制元件、保护元件顺次往上看电源。看辅助电路时，则自上而下、从左向右看，即先看电源，再顺次看各条回路，分析各条回路元件的工作情况及其对主电路的控制关系。

通过看主电路，要搞清楚用电设备是怎样取得电源的，电源是经过哪些元件到达负载的，这些元件的作用是什么。看辅助电路时，要搞清电路的构成、各元件间的联系（如顺序、互锁等）及控制关系，在什么条件下电路构成通路或断路，以理解辅助电路是如何对主电路进行控制的，进而搞清楚整个系统的工作原理。

思路点拨

上面介绍的“五看”方法是识读电路图的大致步骤，在识读、分析具体的电路图时，通常需要灵活运用这些步骤才能完成识图任务。一般来说，正确识读电路图还应注意以下6方面的问题。

① 首先要熟悉国家统一规定的电力设备的图形符号、文字符号、数字符号、回路编号及相关的图标，再根据绘制电气图的有关规定，概括了解电路图的布局、图形符号的配置、项

目代号及图线的连接等。

② 采用正确的分析方法。如按信息流向逐级分析，按布局顺序从左到右、自上而下逐级分析，按主电路、辅助电路等单元进行分析。

③ 了解项目的组成单元及各单元之间的连接关系或耦合方式。

④ 对常见的典型电路（如过流保护电路、欠压保护电路、过负荷保护电路、控制电路、信号电路）的工作原理和动作顺序有一定的了解，从而分析整个电路的工作原理、功能关系。

⑤ 结合元件目录表及元件在电路中的项目代号、位号，了解所用元件的种类、数量、型号及主要参数等。

⑥ 了解附加电路、机械结构与电路的连接形式及在电路中的作用。

例如在看电力拖动接线图时，主电路和辅助电路的识读步骤就各有侧重。一般来说，先看主电路，再看辅助电路。根据端子标志和回路标号，从电源端顺次查下去，搞清楚线路的走向和电路的连接方法，即搞清楚每个元件是如何通过连线构成闭合回路的。

看主电路时，第一步看用电器，弄清楚用电器的数量、类别、用途、接线方式及一些不同要求等；第二步搞清楚用什么元件控制用电器；第三步看主电路上还接有何种电器；第四步看电源，了解电源的等级。

看辅助电路时，第一步看电源，首先弄清电源的种类，其次看清辅助电路的电源来自何处，即从电源的一端到电源的另一端，按元件的顺序对每个回路进行分析；第二步搞清楚辅助电路如何控制主电路；第三步寻找电气元件之间的相互关系，接线图中的回路标号（线号）是电气元件间导线连接的标记，标号相同的导线原则上都可以接在一起，由于接线图多采用单线表示，从识别方法的角度来说，可从导线走向来加以辨别；第四步再看其他电气元件，例如看端子板内外电路的连接，内外电路中相同标号的导线应接在端子板的同号接点上。

知识链接

电路编号方法

画电路图时，应尽可能减少线条和避免线条交叉。对有直接电气联系的交叉导线连接点，要用小黑圆点表示；无直接电气联系的交叉导线则不画小黑圆点。

电路图中电路编号的方法如下。

① 主电路在电源开关的出线端按相序依次编号为 U_{11} 、 V_{11} 、 W_{11} 。然后按从上至下、从左至右的顺序，每经过一个电气元件后，编号要递增，如 U_{12} 、 V_{12} 、 W_{12} ， U_{13} 、 V_{13} 、 W_{13} ……单台三相交流电动机（或设备）的 3 根引出线按相序依次编号为 U 、 V 、 W 。对于多台电动机引出线的编号，为了不致引起误解和混淆，可在字母前用不同的数字加以区别，如 $1U$ 、 $1V$ 、 $1W$ ， $2U$ 、 $2V$ 、 $2W$ ……

② 对于辅助电路，按“等电位”原则从上至下、从左至右的顺序用数字依次编号，每经过一个电气元件后，编号要依次递增。

③ 控制电路编号的起始数字必须是 1，其他辅助电路编号的起始数字依次递增 100。如照明电路编号从 101 开始，指示电路编号就从 201 开始等。

电路图的电路编号举例如图 8-14 所示。

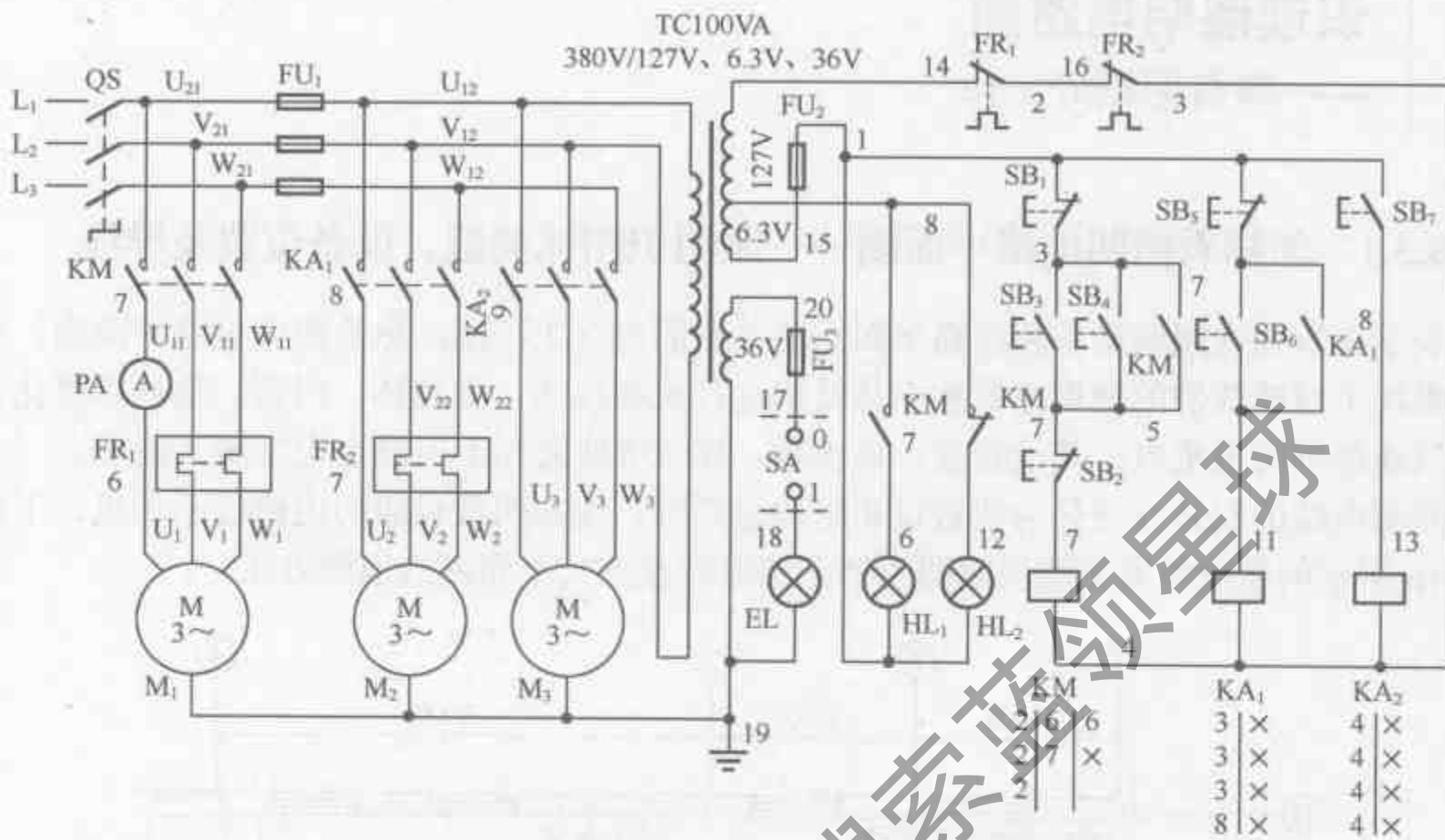


图 8-14 电路图的电路编号举例

- 想一想**
- ① 举例说明阅读电路图的基本方法。
 - ② 识读电路图一般是按照怎样的步骤进行?



轻松一刻

总功率过大

总功率过大的情形如图 8-15 所示。



图 8-15 总功率过大

8.3 识读照明电路图

——胸有图纸好工作

8.3.1 怎样看照明电路平面图——照明识图抓关键，设备位置及导线

表示建筑物内照明设备和线路平面布置关系的电气工程图，称为照明电路平面图。平面图通常用于对建筑物的地理位置和主体结构进行宏观描述，将墙体、门窗、梁柱等淡化，而对电气线路则突出重点，其他管线，如水暖、煤气等线路则不出现在电气施工图上。

照明电路的安装方式分为明敷设和暗敷设两种，现在明敷设照明电路已不多见。下面以图 8-16 所示的某校教室平面局部图为例介绍暗敷设方式平面图的识读方法。

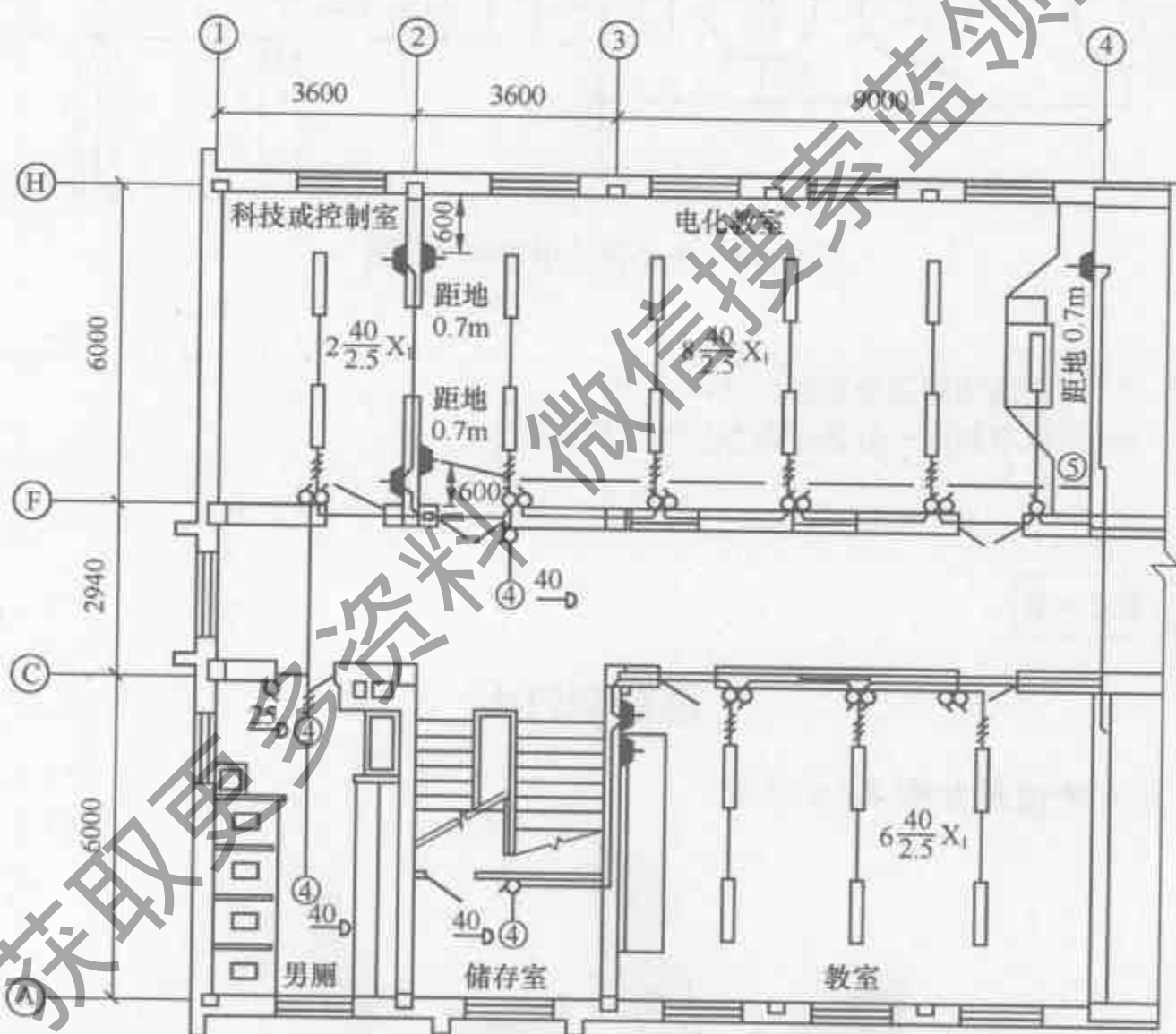


图 8-16 某校教室平面局部图

图中 A-C 轴教室电源由右侧引入到开关盒，教室内安装 6 盏 40W 单管日光灯，安装方式为吊链吊装，安装高度为距地 2.5m。教室讲台旁暗装单相两孔插座、单相三孔插座各 1 个，安装高度为 1.8m。教室内单极拉线开关距地高度为 3m。

图中 F-H 轴是电化教室。电源由右侧沿墙通过开关盒引入，电化教室内安装 8 盏单管日光灯，每盏灯的功率为 40W，安装方式为吊链吊装，安装高度为 2.5m。讲台前的日光灯与其他日光灯的安装位置不对应，但安装方式相同。电化教室内共安装单相三孔暗插座 3 个，距地高度为 0.7m，电源由本教室另一路电源单独引入。

本图中电源干线均是通过开关盒沿墙内敷设的。A-C轴男厕的电源即为F-H轴线路的终端，男厕内照明灯为25W、40W白炽灯各1盏，吸顶式安装。教室一路到楼梯间储存室为终端，楼梯间储存室内照明灯为40W白炽灯，吸顶式安装。

从图8-16可知，在照明平面图上需要表达的内容主要有电源进线位置，导线根数及敷设方式，灯具位置、型号及安装方式，各种用电设备的位置等。

(1) 电源进线位置

电源进线一般是在适当位置从开关盒穿墙引入。

(2) 导线根数的表示方法

在照明线路或电力线路平面图中，只要走向相同，无论导线的根数是多少，均可用一根线条表示，其根数用短斜线表示。一般分支干线均有导线根数和线径标志，而分支线则没有，这就需要施工人员根据电气设备要求和线路安装标准确定导线的根数和线径。

在施工时，各灯具的开关必须接在相线上。无论是几联开关，只送入开关一根相线。插座支路的导线根数由 n 联中极数最多的插座决定，如二三孔双联插座是3根线，若是四联三极插座，也是3根线。

(3) 照明器具的表示方法

照明器具在平面图上表示的方法一般是用图形符号加文字标注。文字标注主要表达的是照明器具的种类、安装数量、灯泡的功率、安装方式、安装高度等。具体表达形式为：

$$a = b \cdot \frac{c \times d}{e \cdot f}$$

式中： a 为某场所同类型照明器具的套数，通常在一张平面图中各类型灯分别加以标注； b 为灯具类型代号，可以查阅施工图册或产品样本； c 为照明器具内安装的灯泡或灯管的数量，通常一个或一根可以不表示出来； d 为每个灯泡或灯管的功率(W)； e 为照明器具底部距本层楼地面的高度(m)； f 为安装方式代号，灯具安装方式的主要形式如表8-7所示。

表8-7 灯具安装方式及符号

名称	符号	名称	符号
线吊式	CP	吸顶灯或直附式	S
自在器线吊式	CP	嵌入式(嵌入不可进入的顶棚)	R
固定线吊式	CP1	顶棚内安装(嵌入可进入的顶棚)	CR
防水线吊式	CP2	墙壁内安装	WR
吊线器式	CP3	台上安装	T
链吊式	Ch	支架上安装	SP
管吊式	P	柱上安装	CL
壁装式	W	座装	HM

8.3.2 怎样看照明控制接线图——导线走向莫混淆，控制关系要记牢

照明控制接线图包括原理接线图和安装接线图。在照明平面图上表示照明设备连接

关系的图就是安装接线图，它可以清楚地表现灯具、开关、插座、线路的具体位置和安装方法。

1. 如何看原理接线图

某家庭三室两厅供电电路如图 8-17 所示。该住宅设计用电负荷为 6~7kW，其供电电路共有 9 个支路。其中有两路用于照明，当一路发生故障时，另一路能提供照明用电，从而保证供电和便于处理故障。

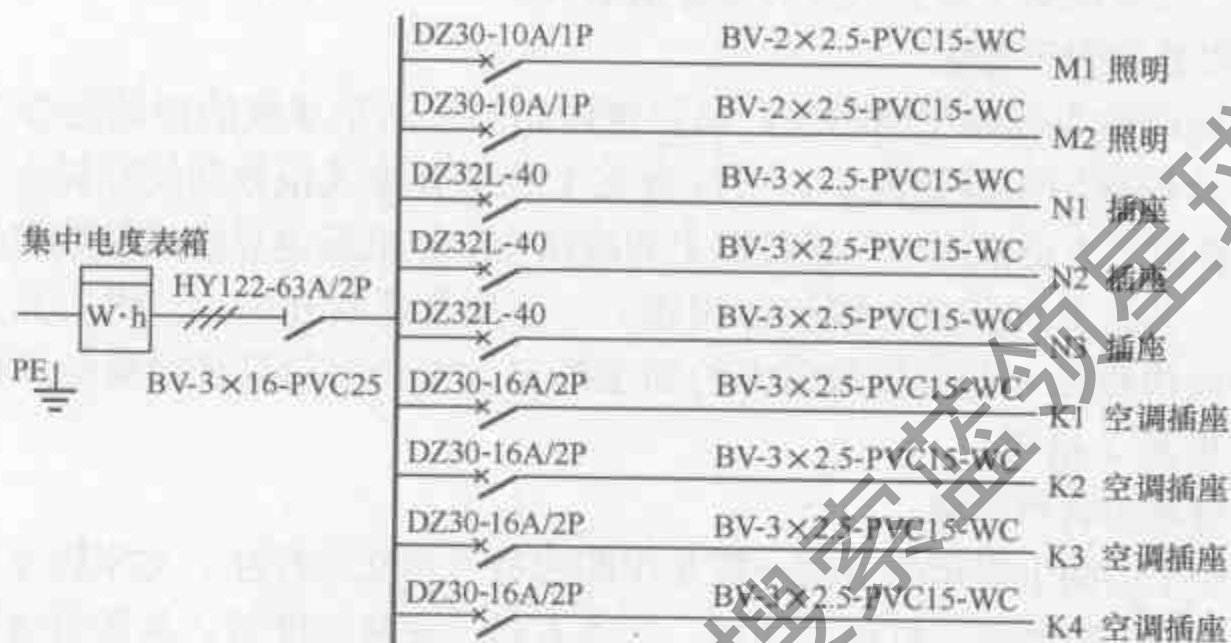


图 8-17 某家庭三室两厅供电电路原理图

总电源开关为一只 HY122-63A/2P 型开关，它是模数化双极 63A 隔离开关。总电源处不设漏电保护器，各插座支路均装设漏电保护器（带短路保护的）。这样，可以防止支路漏电引起总电源处漏电保护器跳闸而导致整座住宅断电。

由于空调器全部采用壁挂式，所以空调支路不设漏电保护器。如果客厅要采用柜式空调器，则该支路应装设漏电保护器。

2. 如何看安装接线图

平面图中的安装接线图表明了开关、灯具、插座的具体位置，线路的走向及其与开关、插座的连接关系，因此看懂安装接线图就显得非常重要，下面从最简单的安装接线图谈起。

图 8-18 (a) 是一个开关控制 1 盏灯的平面接线图，图 8-18 (b) 是其对应的原理图。到开关的导线和开关与灯座之间的导线根数都是 2。

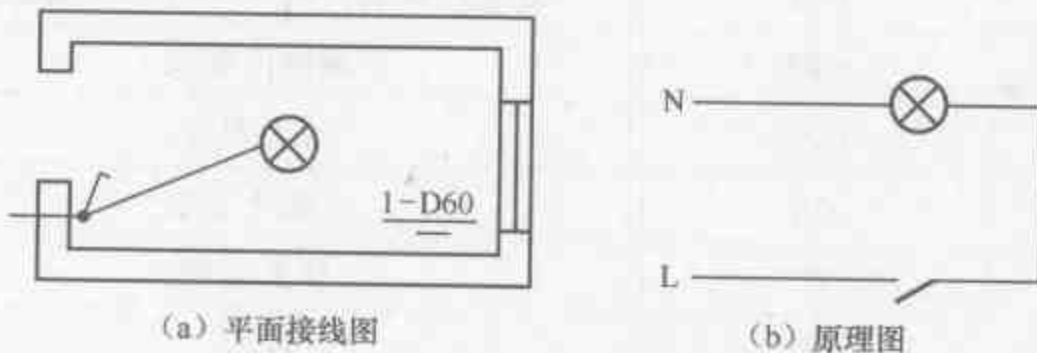


图 8-18 1 个开关控制 1 盏灯

图 8-19 (a) 是 2 个双控开关控制 1 盏灯的平面接线图，图 8-19 (b) 是其对应的原理图。从平面图上可以看出灯具开关和线路的具体布置；由灯的图形符号和文字符号可以知道，图

中的这盏灯为一般灯具，灯泡功率为 60W，吸顶安装，开关为扳把开关，暗装。

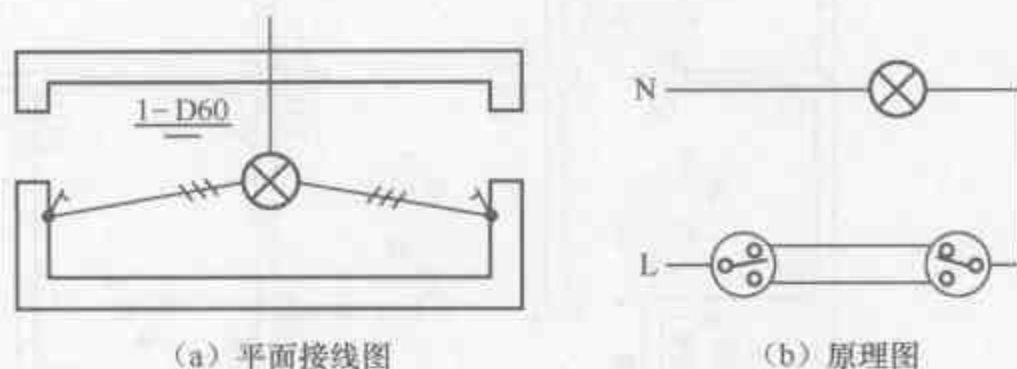


图 8-19 用 2 个双控开关控制 1 盏灯

对于比较复杂的线路，还要提供安装详图。安装详图包括控制原理图和二次接线图，它是用来表示电气设备与元件的控制方式及控制线路的图样。通过安装详图可以知道系统控制部分的接线方式、控制电缆、控制线路的走向及布置。

知识链接

照明电路图的有关说明

- ① 识读照明电路图应抓住以下关键环节，再逐一进行分析。
 - 照明配电箱的型号、数量、安装标高以及配电箱的电气系统。
 - 照明线路的配线方式、敷设位置、线路走向、导线规格型号及根数、导线的连接方法。
 - 灯具的类型、功率、安装位置、安装方式及标高。
 - 开关的类型、安装位置、距离地面的高度及控制方式。
 - 插座及其电器的类型、容量、安装位置、安装高度。
- ② 在识读电路图的同时，一定要认真阅读设计说明，理解设计者的设计意图。
- ③ 在进行暗敷设照明电路电气安装时，线路的走向和位置不一定与图纸完全相符，特别是水泥现浇建筑，线路的敷设原则是尽可能减少接头和转弯，以利于穿线和减少事故隐患。
- ④ 一般来说，应该严格按照安装接线图进行施工，但对设计图中不合理的地方可根据实际情况进行局部修正。在工程完成后，必须绘制出竣工图（如图 8-20 所示），以备今后检修之用。
- ⑤ 在安装接线图上，不可能将所有电气设备的安装标准一一标明，看图时需要掌握相应的电气安装标准和施工验收规范，施工者可依据施工及验收规范进行安装。如明装插座距离地面不应低于 1.8m，暗装插座距离地面不应低于 0.3m；一般开关安装高度为距离地面 1.3m，距门 0.15~0.20m。



标注符号

常用导线敷设方式的标注符号如表 8-8 所示，线管敷设部位的标注符号如表 8-9 所示。



图 8-20 竣工图举例

表 8-8 常用导线敷设方式的标注符号

名称	符号	名称	符号
导线或电缆穿焊接钢管敷设	SC	用钢线槽敷设	SR
穿电线管敷设	TC	用电线桥架敷设	CT
穿硬聚氯乙烯管敷设	PC	用瓷夹板敷设	PL
穿阻燃半硬聚氯乙烯管敷设	FPC	用塑料夹敷设	PCL
用绝缘子(瓷瓶或瓷柱)敷设	K	穿蛇皮管敷设	CP
用塑料线槽敷设	PR	穿阻燃塑料管敷设	PVC

表 8-9 线管敷设部位的标注符号

名称	符号	名称	符号
沿钢索敷设	SR	沿屋架或跨屋架敷设	BE
沿柱或跨柱敷设	CLE	沿墙面敷设	WE
沿天棚面或顶板面敷设	CE	沿能进入的吊顶内敷设	ACE
暗敷设在梁内	BC	暗敷设在柱内	CLC
暗敷设在墙内	WC	暗敷设在地面或地板内	FC
暗敷设在屋面或顶板内	CC	暗敷设在不能进入的吊顶内	ACC

8.3.3 识图举例——方法步骤须牢记，触类旁通记典例

1. 怎样识读住宅楼电气平面图

图 8-21 为某住宅楼二层单元电气平面图。

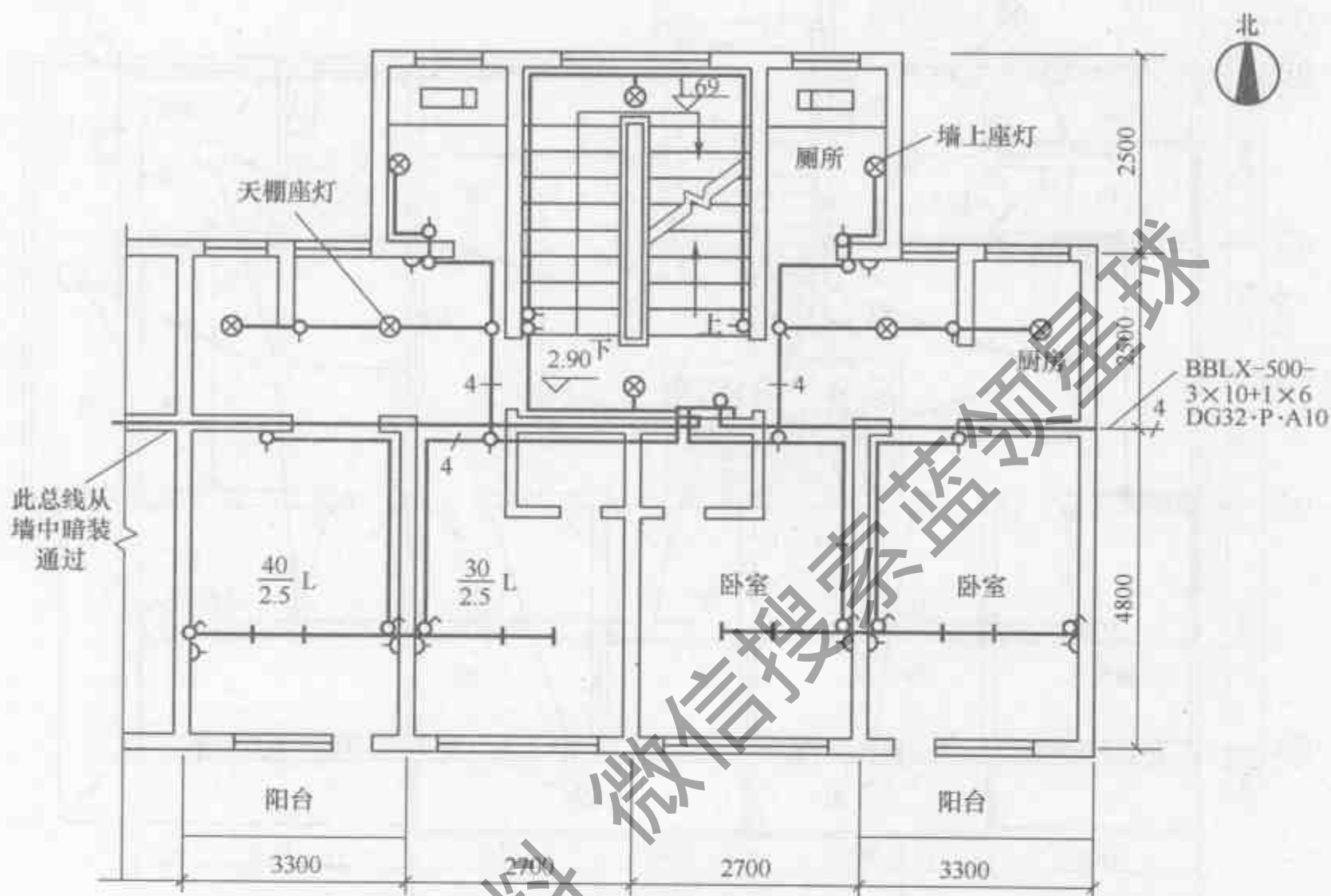


图 8-21 某住宅楼二层单元电气平面图

① 图中的建筑结构为两单元两居室住宅，两个单元门分别在楼梯左右两侧，配电箱（明装）与楼梯相对。每个单元的组成为卧室两间、门厅一间、厨房一间和厕所一间。一间卧室带阳台，另一间带壁式储藏室。

② 单元内电气线路的构成及电气线路敷设情况如下：电源干线从墙中穿过引至配电箱，干线用直径为 32mm 的钢管敷设，内穿 BBLX-500-3×10+1×6 导线 4 根，即绝缘耐压强度为 500V 的纱包橡皮绝缘铝导线，规格为 10mm² 的导线 3 根，规格为 6mm² 的导线 1 根引进，并引出单元配电箱，此配电箱为左右两单元共用。楼道内照明灯电源由配电箱内引出，楼梯灯的电源需参考其他图纸确定。

③ 单元内卧室的照明灯具为单管日光灯。有阳台的房间内日光灯功率为 40W，另一间房间的日光灯功率为 30W，安装高度为距地 2.5m，采用吊链吊装。在与灯位相对的位置安装单相两孔带开关插座 1 个，安装高度应不低于 1.8m。卧室内照明灯的开关安装在进门处，如果使用拉线开关，其安装高度应为 2~3m，距门框 150~200mm。线路的敷设应按图纸的技术说明进行施工。

④ 图中线路上的数字表示导线的根数。如图中卧室内、门厅内的“4”即表示本处是 4 根导线。有些图纸在电路上用画几条短线的方法表示导线的根数，并在其旁边标出导线的型号。没有标示时，一般为两根导线，需要施工人员根据需要自行分析决定。

2. 怎样识读标准层照明平面图

在砖混结构或现浇混凝土高层住宅建筑中，每个单元房间的面积、格局不相同，所以电气线路的布置也有所不同。图 8-22 为某楼宇标准层照明平面图的局部。

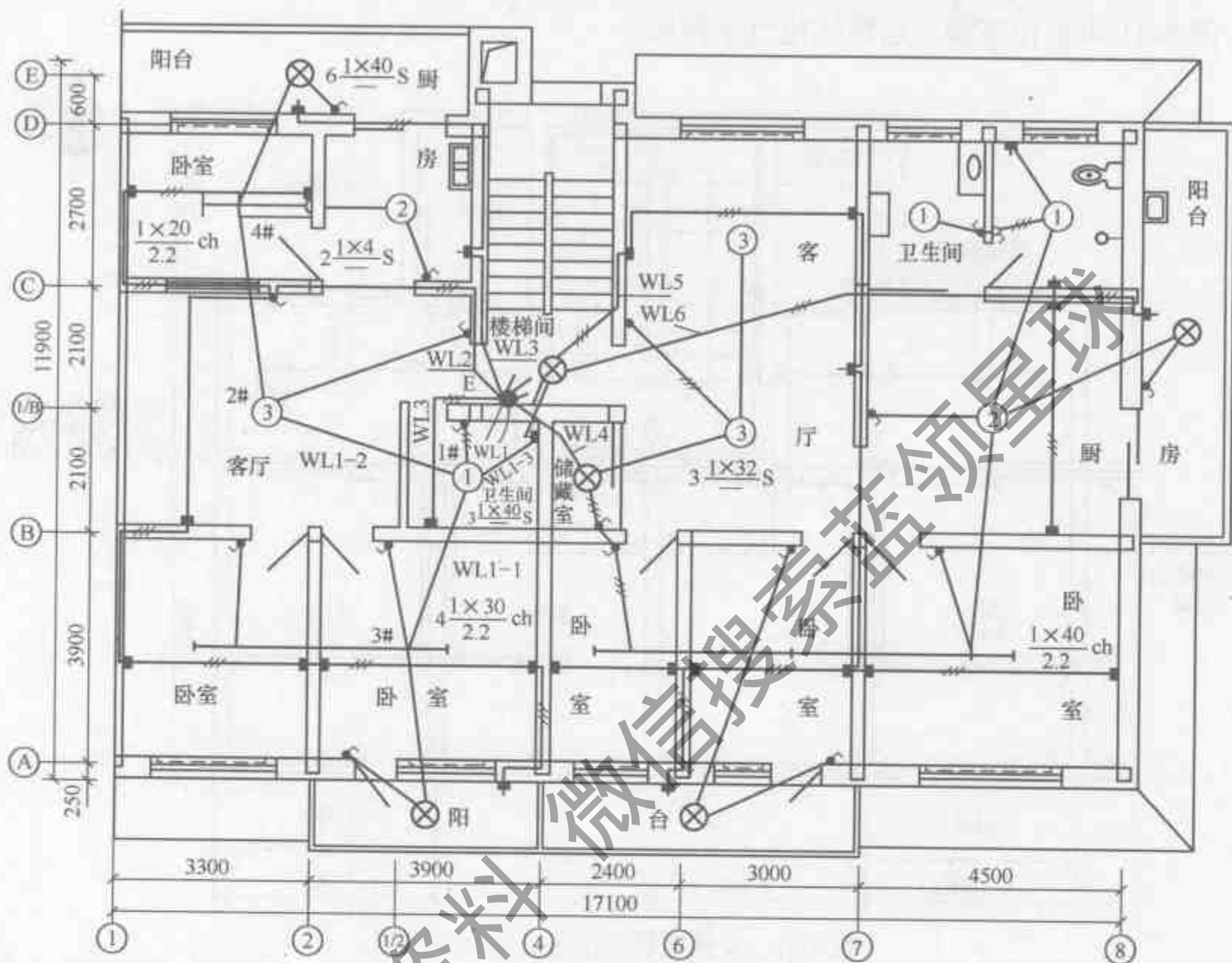


图 8-22 某楼宇标准层照明平面图局部

① 根据该图设计说明中的要求，所有管线均采用焊接钢管沿墙或楼板内敷设，管径为 15mm，导线采用塑料绝缘铜导线，截面积为 2.5mm^2 。管内导线的根数按图中标注，黑实线（表示管线）上没有标注的表示敷设两条导线，黑实线上的斜短线表示导线根数。如有 3 条斜线，即为 3 根导线。在图中，卧室里插座之间的导线为 3 根，以此类推。

② 电源从楼梯间的照明配电箱 E 引入，WL1、WL2、WL3 是左侧单元供电线路，WL4、WL5、WL6 是右侧单元供电线路。WL1 是左侧单元内照明电路，且在卫生间灯头盒内分成 3 条照明支路，即 WL1-1、WL1-2、WL1-3。WL4 是右侧单元内照明电路。电源在配电箱内一般由单极自动开关控制，不经过漏电保护器。

图中，卧室内安装单管日光灯，功率为 30W 或 40W，安装高度为 2.2m，安装方式为吊链吊装。客厅、阳台、卫生间均为白炽灯吸顶安装。

③ 左侧单元 WL3 引出两个分路。一是引到卫生间，图中的标注是经 1/B 轴用直角引至 B 轴上。实际工程施工时，这根管可由 E 箱直接引至插座上去，不必有直角弯。另一路是经 3 轴沿墙引至厨房的两个插座，3 轴内侧一只，D 轴外侧阳台一只。在实际工程施工时，也可直接沿楼板引去，不必沿墙拐直角弯引去。按照设计说明的要求，这 3 只插座均为暗装，其安装高度为 1.8m，且卫生间应采用防溅式插座。

④ WL1 支路引出后的第一接线点是卫生间的玻璃罩吸顶灯，然后再从这里分散出去，共有 3 个支路，即 WL1-1、WL1-2、WL1-3。这里，还有引至卫生间入口处的一条管线，接至卫生间内的单极开关上，这一管线不能算是一条支路。图中标注的 3 根导线，其中一根为保护线。WL1-1 分路是引至 A-B 轴卧室照明的电源，在 3#灯位又分出两个支路，一个支路到左侧卧室日光灯位，另一支路到阳台吸顶灯位。卧室、阳台照明灯的开关均安装在进门处，为暗装单极开关，安装高度为 1.4m，距离门框 150~200mm。

⑤ WL1-2 支路是引至客厅、厨房及 C-E 轴卧室及阳台的电源。其中，客厅 2#位为环形吸顶 32W 日光灯，此标注在相邻单元客厅内。从 2#灯位将电源引至 C-D 轴的卧室日光灯位，该日光灯的功率为 20W，采用吊链式吊装，距地面高度为 2.2m。再由此处将电源引至阳台和厨房，其灯具为吸顶式安装。

⑥ WL1-3 支路是引至卫生间、阳台暗装插座的线路。插座为单相三孔插座，安装高度为 1.8m。WL2 是引至客厅和卧室的插座电源线路，客厅和卧室的插座安装高度为 0.3m。实际施工时，线路取向应尽可能减少弯曲，以利于穿线施工。

可见，1#、2#、3#、4#灯位有两个用途：一是安装本身的灯具；二是将电源由此分散出去，起分线盒的作用。这在照明电气施工中是最常用的安装方法。从灯具标注上看，同一张图样上同类灯具的标注只标注一处，在进行图样的识读时一定要注意这一点。

在右侧单元中，线路的布置及灯具等电器的安装方式和方法与左侧单元基本相同，施工时相互对照参阅即可。

能力 PK

按照本章介绍的方法，阅读图 8-23 所示的照明平面图，想一想各房间是如何布线的？

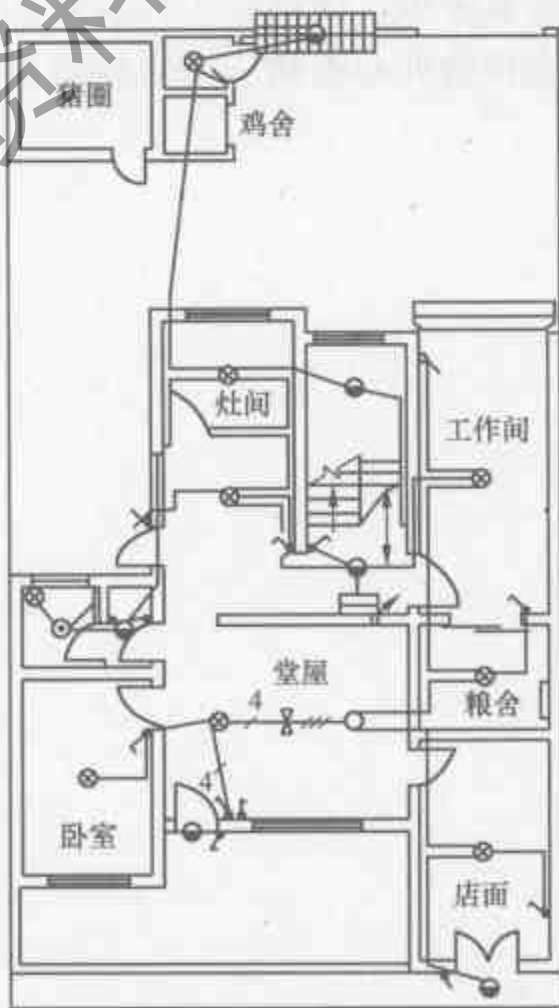


图 8-23 某家庭照明平面布置图

第9章 安全用电常识

——安全用电规矩多

随着电气化程度的提高，人们接触电的机会成倍增多，触电事故时有发生。据有关统计资料显示，用电过程中触电的主要原因依次是私拉乱接、违章作业、设备失修、设备安装不合格等，而这些事故原因都直接或间接地与缺乏用电常识和电气安全知识有关。没有规矩，不成方圆，从事电气工作的人员必须懂得安全用电常识，牢固树立安全第一的观念，避免事故发生，否则将追悔莫及。

知识目标

- ① 掌握电击伤与电灼伤的概念。
- ② 了解单相触电、两相触电和跨步电压触电的概念。
- ③ 了解触电急救的3种形式。

能力目标

- ① 理解并掌握安全用电的基本要求，能结合工作实际加以运用。
- ② 能运用口对口人工呼吸法和胸外心脏挤压法对触电者进行抢救。

9.1 电流对人体的危害

——电流产生热效应，轻则受伤重要命

一旦电流通过人体，电流会对人体产生热效应、化学效应以及刺激作用等一系列效应，影响人体的功能，严重时可损伤人体，甚至危及生命。

电流通过人体时会产生热量，热量较少时，人体局部组织的温度略有升高，但不会影响人体健康。当热量较多时，可使人体温度急剧升高，严重时可损伤人体组织，甚至引起死亡。电流通过人体时，人体内还会发生电解、电泳和电渗等化学效应，明显影响人体的功能和反应，严重时还能损伤人体组织，危及生命。另外，电流通过人体时，还会刺激人体的组织和器官，引起人体内不同区域及不同器官的反应，如使内脏及组织发生功能改变，甚至引起内分泌系统功能的改变，进而影响到血液循环、机体代谢、组织营养状态等。其中，电流的刺激作用对心脏的影响最大，常常会引起心室纤维性颤动，导致心跳停止而死亡。大多数触电死亡事故是由于心室纤维性颤动而造成的。

归纳起来，电流对人体的伤害一般分为两种类型，即电击伤与电灼伤。

① 电击伤：指电流流过人体时造成的人体内部的伤害，主要破坏人的心脏、肺及神经系统的正常工作。电击的危险性最大，一般死亡事故都是由电击造成的。

② 电灼伤：指电弧对人体外表造成的伤害，主要是局部的热、光效应，轻者造成皮肤灼伤，严重者可损伤肌肉、骨骼。常见的有灼伤、烙伤和皮肤金属化等，严重时可危及人的性命。

知识链接

电流危害人体的因素

① 电流大小对人体有何影响？

通过人体的电流越大，人体的生理反应就越明显，感应就越强烈，引起心室颤动所需的时间就越短，致命的危险就越大。

② 电流频率对人体有何影响？

一般认为，40~60Hz的交流电对人最危险。随着频率的增加，危险性将降低。当电源频率大于20000Hz时，所产生的损害明显减小，但高压高频电流对人体来说仍然是十分危险的。

③ 通电时间对人体有何影响？

通电时间长后，人体电阻因出汗等原因而降低，导致通过人体的电流增大，触电的危险性也随之增加。通电时间对人体的影响见表9-1。引起触电危险的工频电流和通过电流的时间关系可用下式表示：

$$I = \frac{165}{\sqrt{t}}$$

式中： I 表示引起触电危险的电流（mA）， t 表示通电时间（s）。

表 9-1 通电时间对人体的影响

电流 (mA)	交流电 (50Hz)		直 流 电
	通电时间	人体反应	人体反应
0~0.5	连续	无感觉	无感觉
0.5~5	连续	有麻刺、疼痛感, 无痉挛	无感觉
5~10	数分钟内	痉挛、剧痛, 但可摆脱电源	有针刺、压迫及灼热感
10~30	数分钟内	迅速麻痹, 呼吸困难, 不能自由活动	压痛、刺痛, 灼热感强烈, 有痉挛
30~50	数秒至数分钟	心跳不规则, 昏迷, 强烈痉挛	感觉强烈, 有刺痛、痉挛
5~100	超过 3min	心室颤动, 呼吸麻痹, 心脏麻痹而停跳	剧痛, 强烈痉挛, 呼吸困难或死亡

④ 电流路径对人体有何影响?

电流通过头部可使人昏迷; 通过脊髓可能导致瘫痪; 通过心脏会造成心跳停止, 血液循环中断; 通过呼吸系统会造成窒息。因此, 从左手到胸部是最危险的电流路径, 从手到手、从手到脚也是很危险的电流路径, 从脚到脚是危险性较小的电流路径。电流路径与通过人体心脏的电流的比例关系见表 9-2。

表 9-2 电流路径与通过人体心脏的电流的比例关系

电 流 路 径	左手到脚	右手到脚	左手到右手	左脚到右脚
流经心脏的电流与通过人体总电流的比例	6.4%	3.7%	3.3%	0.4%



安全用电

安全用电的漫画形式说明如图 9-1 所示。



图 9-1 补课

9.2 触电类型

——单相两相和跨步，触电种类心有数

根据电流通过人体的路径和触及带电体的方式，一般可将触电分为单相触电、两相触电和跨步电压触电等。

1. 什么是单相触电

人体某一部位与大地接触，另一部位与一相带电体接触所导致的触电事故称单相触电，如图 9-2 所示。

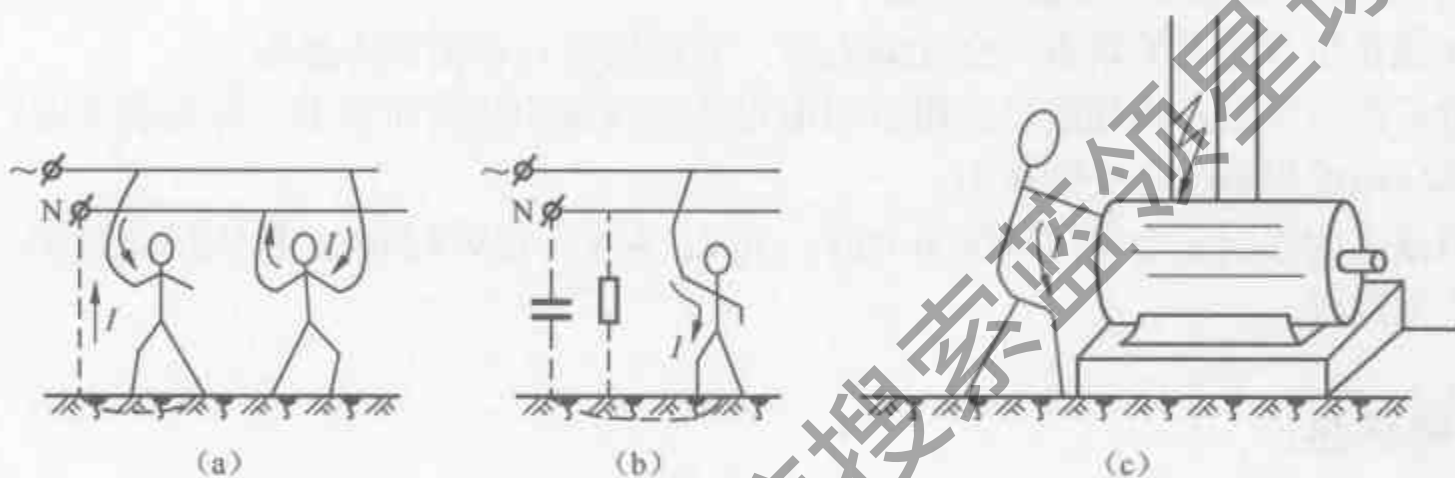


图 9-2 单相触电

2. 什么是两相触电

发生触电时，人体的不同部位同时触及两相带电体，称两相触电。两相触电时，相与相之间以人体作为负载形成回路，如图 9-3 所示。此时，流过人体的电流大小完全取决于电流路径和供电电网的电压。

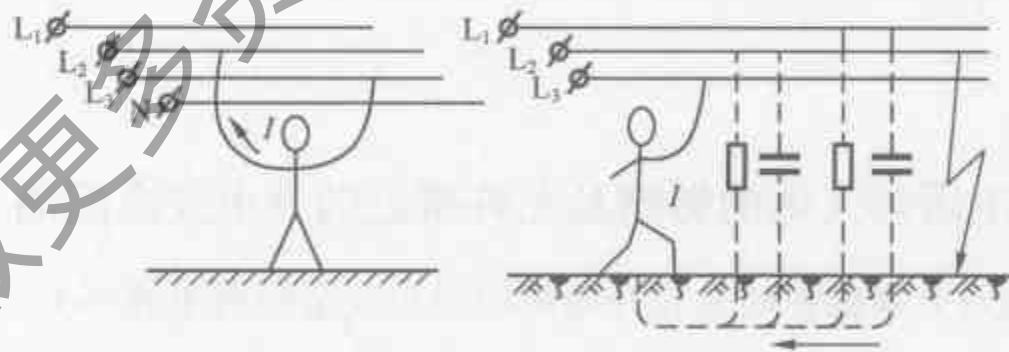


图 9-3 两相触电

3. 什么是跨步电压触电

当输电线出现断线故障，输电线掉落在地时，以此电线落地点为圆心，周围地面产生一个相当大的电场，离圆心越近电压越高，离圆心越远则电压越低。在距电线落地点 1m 以内的范围内，约有 68% 的电压降；在 2~10m 的范围内，约有 24% 的电压降；在 11~20m 的范围内，约有 8% 的电压降。因此，离电线 20m 外，对地电压基本为零。

当人距圆心 10m 以内，双脚迈开时（约 0.8m），势必出现电位差，这就称为跨步电压，如图 9-4 所示。电流从电位高的一脚进入，由电位低的一脚流出，电流流过人体而使人触电。人体触及跨步电压而造成的触电，称跨步电压触电。

跨步电压触电时，电流仅通过身体下半部，基本上不通过人体的重要器官，故一般不会

危及人体生命，但人体感觉相当明显。当跨步电压较高时，流过两下肢的电流较大，易导致两下肢肌肉强烈收缩，此时如身体重心不稳，极易跌倒而造成电流流过人体的重要器官（如心脏等），引起死亡事故。



图 9-4 跨步电压触电

4. 什么是静电触电和感应电触电

人体触及带有静电的设备时会受到电击，导致伤害，称为静电触电。

停电后的电气设备或线路受到附近用电设备或线路的感应而带电，称为感应电。人体触及带有感应电的设备也会受到电击。

我国规定的额定安全电压等级为 42V、36V、24V、12V 和 6V，机床局部照明一般采用 36V 的安全电压。

思路点拨

触电类型歌诀

安全用电很重要，触电类型要记牢。
单相两相和跨步，安全距离要可靠。
不懂千万别乱摸，练就技能本领高。

遵章是安全的先导，违章是事故的预兆。无论哪种类型触电都有危险，而且非常危险，都有可能对人体造成不同程度的伤害，甚至危及人的性命！

知识链接

电压对人体的影响及允许接近的最小安全距离

实验证明，电压对人体的影响及允许接近的最小安全距离见表 9-3。

表 9-3 电压对人体的影响及允许接近的最小安全距离

接触时的情况		允许接近的安全距离	
电压 (V)	对人体的影响	电压 (kV)	设备不停电时的安全距离 (m)
10	全身在水中时跨步电压界限为 10V/m	10 及以下	0.7
20	湿手的安全界限	20~35	1.0
30	干燥手的安全界限	44	1.2
50	对人的生命无危险界限	60~110	1.5
100~200	危险性急剧增大	154	2.0
200 以上	对人的生命产生威胁	220	3.0
1000	被带电体吸引	330	4.0
1000 以上	有被弹开而脱险的可能	500	5.0

9.3 安全用电的基本要求

——遵守规程顾大局，人财两安真幸福

安全用电，用电安全，为防止触电事故的发生，应综合采取一系列措施。每一个电气操作人员都应遵守安全操作规程，因为这其中的许多规定是一些人用鲜血甚至生命换来的教训。

1. 安全用电对电气工作者有哪些基本要求

- ① 加强安全教育，树立“安全第一”的观念，使所有人员懂得安全用电的重大意义。
- ② 遵守电工技术操作规程。上岗时必须戴好规定的防护用品，一般不允许带电作业。工作前应详细检查所用工具是否安全可靠，了解场地、环境情况，选好安全位置工作。
- ③ 各项电气工作要认真严格执行“装得安全、拆得彻底、检查经常、修理及时”的规定，否则到关键时刻就有问题了。
- ④ 在线路、设备上工作时，要切断电源，并挂上警告牌，验明无电后才能进行工作。图9-5所示为常见的禁止合闸标志牌。



图9-5 常见的禁止合闸标志牌

- ⑤ 不准无故拆除电气设备上的熔丝、过负荷继电器和限位开关等安全保护装置。机电设备安装或修理完工后在正式送电前，必须仔细检查绝缘电阻及接地装置和传动部分的防护装置，使之符合安全要求。
- ⑥ 发生触电事故时应立即切断电源，并采用安全、正确的方法立即对触电者进行救助。触电急救的形式有自救、互救和医务抢救3种，见表9-4。

表9-4 触电急救的形式

急救形式	急救方法
自救	当触电者清醒时，要努力让自己脱离电源，并要防止操作撞伤等二次事故
互救	对于他人触电，首先要让触电者脱离电源，具体方法如下： ① 迅速拉闸，或拔掉电源插头，或切断电源线； ② 迅速用绝缘工具，如干燥的竹竿、木棍等挑开触电者身上的导线或电气用具； ③ 站立在干燥的木板、衣物等绝缘物上，戴绝缘手套或裹着干燥衣物拉开导线、电气用具或触电者
医务抢救	触电者脱离电源后，必须根据情况立即就地实行抢救。根据统计，抢救及时、方法正确的，均有良好的效果；时间拖长才开始抢救的，救活的概率很小

- ⑦ 装接灯头时，开关必须控制相线；敷设临时线路时应先接地线，拆除时应先拆相线。工作中拆除的电线要及时处理好，带电的线头须用绝缘带包扎好。

⑧ 在使用电压高于 36V 的手电钻时，必须戴好绝缘手套、穿好绝缘鞋。使用电烙铁时，安放位置不得有易燃物或靠近电气设备，用完后要及时拔掉插头。

⑨ 高空作业时系好安全带，如图 9-6 所示；扶梯脚应有防滑措施。登高作业时，工具、物品不准随便向下扔，须装入工具袋内以吊送方式传递，如图 9-7 所示。地面上的人员应戴好安全帽，并离开施工区 2m 以外。



图 9-6 常用安全带



图 9-7 电工工具袋

⑩ 在雷雨或大风天气，严禁在架空线路上工作。雷电流对人体的危害如图 9-8 所示。

⑪ 低压架空带电作业时应有专人保护，使用专用绝缘工具，戴好专用防护用品，如图 9-9 所示。

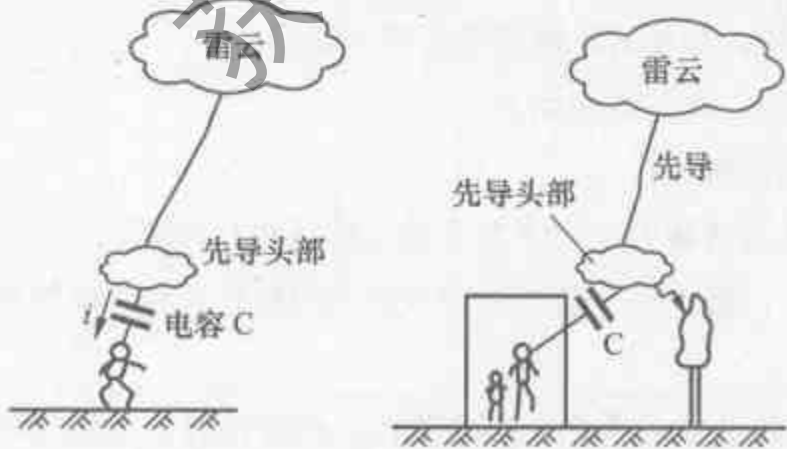


图 9-8 雷电流对人体的危害



图 9-9 在电杆上作业的安全措施

⑫ 在低压架空带电作业时，人体不得同时接触两根线头，不得越过未采取绝缘措施的导线。例如在图 9-10 所示的高低压同杆架设线路中施工时，就应当特别注意安全。

⑬ 在带电的低压开关柜（箱）上工作时，必须采取防止相间短路及接地等安全措施。低压开关柜如图 9-11 所示。

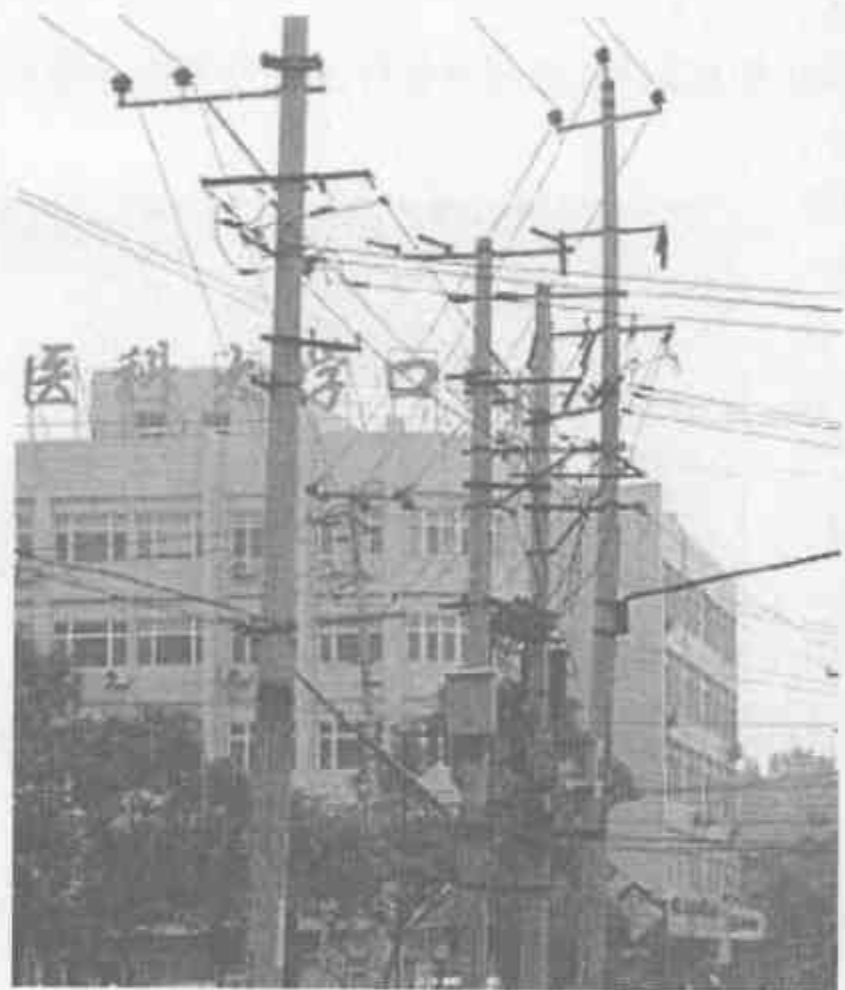


图 9-10 高低压同杆架设的线路

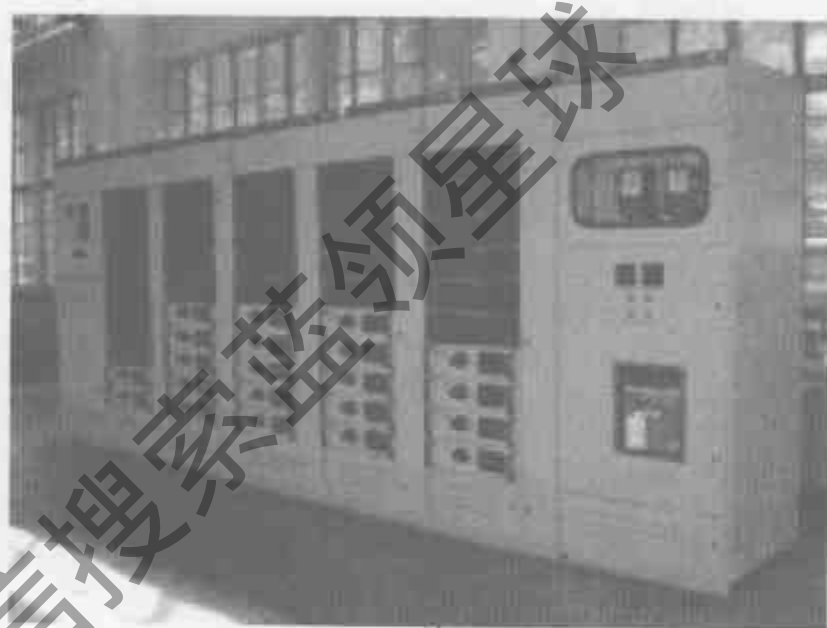


图 9-11 低压开关柜

⑭ 当发生电器火灾时，应立即切断电源。应用四氯化碳、二氧化碳或干粉灭火器灭火（如图 9-12 所示），严禁用水或普通酸碱泡沫灭火器灭火。

⑮ 配电室严禁无关人员入内。外单位参观时必须经有关部门批准，由电气专业人员带入，如图 9-13 所示。倒闸操作必须由专职电工进行；复杂的操作应由两人进行，一人操作，一人监护。



图 9-12 电器火灾与灭火器



图 9-13 学生参观高压发电站

2. 对电气设备安全运行有何基本要求

① 各种电气设备应根据环境的特点建立相适应的电气设备运行管理规程和电气设备的安装规程,以保证设备处于良好的安全工作状态。

② 为了保证电气设备正常运行,必须制定维护检修规程,定期对各种电气设备进行维护、检修,消除隐患,以防止设备和人身事故的发生。

③ 建立各种安全操作规程,如变配电室值班安全操作规程,电气装置安装规程,电气装置检修、安全操作规程,手持式电动工具的管理、使用、检查和维修安全技术规程等。各种安全规程的文字表述要清楚、明白,不能有歧义,更不能有错别字,否则,出现像图 9-14 所示漫画中的情形就麻烦了。

④ 认真执行电气设备安全检查制度。例如,定期检查电气设备的绝缘情况,保护接零和保护接地是否牢靠,灭火器材是否齐全,电气连接部位是否完好等。发现问题,应及时维护和检修。

⑤ 遵守负荷开关和隔离开关的操作顺序。断开电源时,先断开负荷开关,再断开隔离开关;接通电源时顺序相反,即先合上隔离开关,再合上负荷开关。

⑥ 电气设备一般都应采取过载保护、短路保护、欠电压和失压保护、断相保护和防止误操作保护等措施。

⑦ 凡有可能遭雷击的电气设备都应装配防雷装置。

⑧ 定期测定电气设备的绝缘电阻,定期测定接地装置的接地电阻。对安全工具、避雷器、变压器油等也应定期检查、测定或进行耐压试验。



图 9-14 漫画:要命的错字

知识链接

触电抢救方法

触电抢救方法见表 9-5。

表 9-5

触电抢救方法

触电者症状	实施方法	抢救方法
有心跳无呼吸	口对口人工呼吸法	① 使触电者身体伸直,仰卧,头部尽量后仰,鼻孔朝天; ② 捏紧触电者的鼻子,贴嘴吹气,使其胸部扩张; ③ 吹 2s,吸停 3s,5s 为一个周期最恰当(如果口掰不开,可向鼻孔吹气)
有呼吸,心跳停止或不规则	胸外心脏挤压法	① 使触电者仰卧在硬地上; ② 抢救者跨腰跪在被救者腰部两侧,两手相叠,掌根用力压胸膛,压下 3~4cm,慢压突放,手掌不离胸膛,以 80~100 次/分效果最好; ③ 抢救儿童用单手,100 次/分左右

续表

触电者症状	实施方法	抢救方法
呼吸和心跳均停止	口对口人工呼吸和胸外心脏挤压法	① 一人抢救：采取两种方法交替进行，即吹气2~3次，再挤压心脏10~15次，而且吹气和挤压的速度可提高一些； ② 两人抢救，每5s吹气一次，每1s挤压一次，两人交替进行



电工小百科

低压架空线路拉线带电引起的触电事故

天下着小雨，姚大娘路经电杆旁蹭脚时，用手抓拉线，触电倒地。路旁一女青年看到她摔倒，急忙上前用手扶她，女青年也触电倒下。此时，路过的张××看到此景，急忙跑去拉女青年的衣服，突然感到手麻，即放开衣服，大喊“触电啦！触电啦！”居住在邻院的电工王××听到喊声，立即拿着扁担跑到电杆处将女青年和姚大娘拨开，经抢救无效，两人均死亡。

造成这次触电死亡事故的原因是：线路绝缘不良，拉线上把紧挨铁横担，又未加绝缘子，下雨天气，线路绝缘瓷件的绝缘水平大幅度降低，泄漏电流增大，致使拉线带电，两人先后触及拉线而触电。

造成这次事故的另一因素是村里未采取加装总的漏电保护器等防止触电的技术措施。

获取更多资料

参 考 文 献

- [1] 杨清德. 图解电工技能. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [2] 杨清德, 胡萍. 电工技能与应试指导. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [3] 曾祥富, 兰永安. 电工基础 (2 版). 重庆: 重庆大学出版社, 2003.
- [4] 孔晓华, 周德仁, 汪宗仁. 电工基础 (2 版). 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [5] 林向淮, 安志强. 电工识图入门. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [6] 才家刚. 电工口诀. 北京: 机械工业出版社, 2005.

获取更多资料 微信搜索蓝领星球



读书笔记

获取更多资料 微信搜索蓝领星球