

维修电工从业 上岗一本通

孙正根●等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



维修电工从业上岗一本通

孙正根 等编著



机械工业出版社

维修电工是实用性强、操作要求高的行业。本书以人力资源和社会保障部《维修电工》国家职业技能鉴定及技术工人等级考核标准为依据,坚持实用原则,将理论与实践相结合为编写依据,在内容上注意通俗、易懂;理论知识方面注意少而精;让读者系统、清晰地了解维修电工的基础知识,轻松地具备操作灵活的实用技能。

本书可作为企业培训部门、职业鉴定培训机构、再就业和农民工培训机构等的参考培训用书,也可供技校、中职、各种短训班培训使用,同时也可作为从事电工的技术人员的自学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

维修电工从业上岗一本通/孙正根等编著. —北京:机械工业出版社, 2012. 1

ISBN 978-7-111-36861-8

I. ①维… II. ①孙… III. ①电工—维修—基本知识 IV. ①TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 268577 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:朱 林 责任编辑:朱 林

版式设计:霍永明 责任校对:肖 琳

封面设计:陈 沛 责任印制:李 妍

北京振兴源印务有限公司印刷

2012 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 12.5 印张 · 306 千字

0 001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-36861-8

定价:29.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

随着电力工业和电子工业的迅猛发展、电力资源已经被广泛地应用于各个领域，同时，新材料、新技术的不断出现，让维修电工已成为各行业不可缺少的一个重要岗位，对于其技术的要求也越来越高，使得维修电工这一职业工种的社会需求不断攀升。

本书以初级维修电工为指导，主要讲述电工的基础知识与基本技能、照明线路与低压电器的安装与检修、三相异步电动机的调试与使用保养、常用变压器的调试与检修，以及电器控制线路的安装与检修等内容，培养是有较深的理论知识和熟练操作技能为主，并对电气设备进行维修保养的特殊技术人员，帮助更多有志于从事维修电工职业的劳动者能尽快走上工作岗位。

本书第1章由李开明编写；第2~4章由李丽、杨子俊编写；第5章由李开明、杨子俊编写，全书由孙正根统稿。

由于水平有限，本书难免会有些纰漏与不足之处，敬请读者批评指正！

编 者

2011 年 11 月

目 录

前言

第 1 章 维修电工的基本技能	1
1.1 电工基本知识	1
1.1.1 直流电路的基本知识	1
1.1.2 磁的基本知识	8
1.1.3 电容器	11
1.1.4 正弦交流电基础	12
1.1.5 单元自测题	15
1.2 电工工具、仪表与常用材料	16
1.2.1 常用工具与量具的使用	16
1.2.2 常用指示仪表的使用	25
1.2.3 常用材料的选择与使用	46
1.2.3.1 导电材料	46
1.2.3.2 绝缘材料	49
1.2.3.3 磁性材料	53
1.2.4 单元自测题	56
1.3 电气识图	56
1.3.1 电气识图的基本知识	56
1.3.2 电气图的识读方法和步骤	60
1.3.3 单元自测题	61
1.4 维修电工基本操作技能	61
1.4.1 钳工基本操作技能	61
1.4.2 焊工基本操作技能	67
1.4.3 导线连接的基本操作	78
1.4.4 绝缘恢复的基本操作	85
1.4.5 登高工具与绳子结扣的使用	87
1.4.6 单元自测题	90
1.5 电路、电器安全用电常识	90
1.5.1 触电保护与安全电压	90
1.5.2 电气安全工作规程	92
1.5.3 接地与接零	93
1.5.4 触电急救的基本知识	96
1.5.5 单元自测题	98
第 2 章 照明线路与低压电器的安装	
检修	99
2.1 照明装置和电路的安装与维修	99

2.1.1 照明器具的安装和维修	99
2.1.2 电能计量装置的安装	114
2.1.3 室内照明电路的安装	116
2.1.4 部分电路的增设和拆除	125
2.1.5 线路的检修和保养	125
2.1.6 一般线路常见故障的排除方法	126
2.1.7 单元自测题	127
2.2 常用低压电器的使用与故障检修	127
2.2.1 常用的低压电器	127
2.2.2 低压电器常见故障与维修	140
2.2.3 单元自测题	146
第 3 章 三相异步电动机的检修与日常	
保养	147
3.1 电动机的基本知识	147
3.1.1 常用电动机的用途与分类	147
3.1.2 三相异步电动机的结构	147
3.1.3 三相异步电动机的工作原理	150
3.1.4 单元自测题	151
3.2 三相异步电动机的使用与检修	151
3.2.1 三相异步电动机的使用与日常	
保养	151
3.2.2 三相异步电动机的拆装	152
3.2.3 三相异步电动机绕组故障的	
检修	155
3.2.4 三相异步电动机的常见故障及	
修理	160
3.2.5 单元自测题	162
第 4 章 常用变压器的检修与日常	
保养	163
4.1 变压器的基本知识	163
4.1.1 变压器的工作原理	163
4.1.2 变压器的结构和种类	164
4.1.3 单元自测题	167
4.2 变压器的维护与检修	167
4.2.1 变压器的维护与保养	167
4.2.2 变压器工作异常与故障处理	168

4.2.3 单元自测题	174	5.1.6 常用电动机控制电路的检修	184
第 5 章 电器控制电路的安装与检修	175	5.1.7 单元自测题	184
5.1 电动机控制电路	175	5.2 典型生产设备电气控制及常见故障	
5.1.1 电动机控制电路的基本知识	175	分析	184
5.1.2 电气控制的一般规律	176	5.2.1 C6140 型车床控制电路与检修	184
5.1.3 电动机基本控制电路的安装		5.2.2 Z3040 型摇臂钻床控制电路	187
步骤	179	5.2.3 M7120 型平面磨床电气控制	
5.1.4 三相异步电动机的起动控制		电路	190
电路	181	5.2.4 常用机床电气控制电路的故障	
5.1.5 三相异步电动机的制动控制		检修	191
电路	182	5.2.5 单元自测题	193

第 1 章 维修电工的基本技能

1.1 电工基本知识

1.1.1 直流电路的基本知识

电路，对于电工来说是最为常见的一个概念，简单来说就是电流通过的闭合路径。它是由各种元器件按一定的方式用导线连接组成的总体。电路的组成部分包括：

- 1) 电源是提供电能和设备，如发电机、电池等。
- 2) 负载是取用电能的设备，如电灯、电扇、电动机等。
- 3) 中间环节包括控制装置和导线等。控制装置是根据负载的需要，起分配电能和控制电路的作用，如变压器、控制开关等；导线是把以上组成部分连成电路，传输电能。

电路的功能和作用有两类：一是进行电能的传输和变换，如图 1-1 所示；二是进行信号的传递与处理。例如，收音机的输入是由声音转换而来的电信号，通过晶体管组成的放大电路，输出的便是放大的电信号，从而实现了放大功能。

在日常生活中，人们经常使用到各种电器，其中很多都是应用直流电路原理工作的。图 1-2 是简单的电路，图 1-2a 中的干电池将化学能转换为电能，小灯泡取用电能并转换为光能；导线用来连接电源和负载；开关为电流提供通路，把电源的能量供给负载，并根据负载需要接通和断开电路。

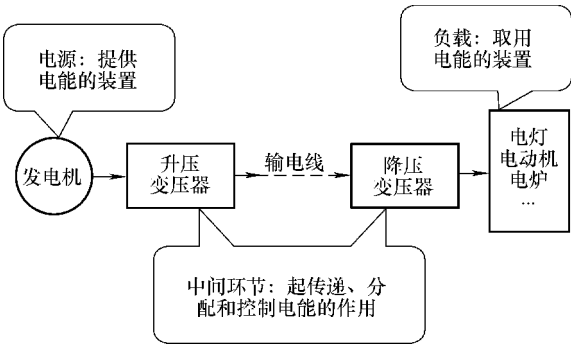


图 1-1 电能传输和变换示意图

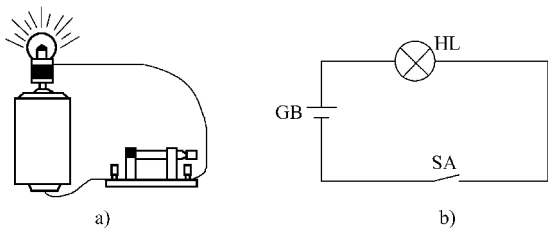


图 1-2 实物图和电路图

a) 实物图 b) 电路图

使用国家标准规定的符号来表示电路连接情况的图称为电路图，如图 1-2b 所示。电路中常用元器件的图形符号见表 1-1。

一、电路的基本物理量

1. 电压

电场力把单位正电荷从电场中点 A 移到点 B 所做的功 W_{AB} 称为 A、B 间的电压，用 U_{AB} 表示，即

表 1-1 常用元器件的图形符号

名称	符 号	名称	符 号	名称	符 号
电灯		电容		正极	+
开关		电阻		负极	-
电池		可调电阻		电压表	
电感		可调电容		电流表	
磁心电感		电解电容		直流	---
熔断器		接地		交流	~

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q}$$

(1-1)

电压的单位为伏特（V）。如果电场力把1 库仑（C）电量从点 A 移到点 B 所做的功是1 焦耳（J），则 A 与 B 两点间的电压就是 1V。计算较大的电压时用千伏（kV），计算较小的电压时用毫伏（mV），即

1kV = 1000V

1V = 1000mV

电压总是相对两点之间的电位而言的，所以用双下标表示，左下标（如 A）代表起点，右下标（如 B）代表终点。

电压的方向则由起点指向终点，有时用箭头在图上标明。如图 1-3 所示，图 1-3a 中 U_{AB} 为电压的实际方向，在复杂电路中，一般很难知道电压的方向，所以就假设一个方向为参考方向。当标定的参考方向与电压的实际方向相同时，电压为正值；当标定的参考方向与实际方向相反时（见图 1-3b），电压为负值。

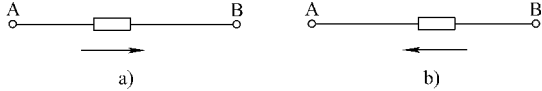


图 1-3 电压的方向

- a) 参考正方向与实际方向一致
- b) 参考正方向与实际方向相反

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点，即由“+”极指向“-”极，因此，在电压的方向上电位是逐渐降低的。电路中元器件的电流参考方向与电压参考“+”极到“-”极的方向一致，即电流与电压降参考方向一致，这样的电压和电流的参考方向称为一致的参考方向或关联的参考方向。

2. 电流

电流是因电荷的定向移动而形成的。当金属导体处于电场之内时，自由电子会受到电场力的作用，逆着电场的方向做定向移动，这就形成了电流。电流的大小用每秒钟内通过导体横截面的电荷量来表示；其文字符号是 I 。电流 I 的单位是安培（A），简称安。大小和方向均不随时间变化的电流叫恒定电流，简称直流，记为 DC。

在 1 秒（s）内通过导体横截面的电荷量为 1 库仑（C）时，其电流则为 1A。对于恒定

电流，电流用单位时间内通过导体截面的电量 Q 来表示，即

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

电流的单位也常用千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 (μA) 来表示，它们之间的关系是

$$1\text{kA} = 1000\text{A}$$

$$1\text{A} = 1000\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

通常规定正电荷的移动方向表示电流的实际方向。在外电路，电流由正极流向负极；在内电路，电流由负极流向正极。在简单电路中，电流的实际方向可由电源的极性确定；在复杂电路中，电流的方向有时事先难以确定。

为了分析电路的需要，我们引入了电流的参考正方向的概念。在进行电路计算时，先任意选定某一方向作为待求电流的正方向，并根据此正方向进行计算，若计算得到结果为正值，说明电流的实际方向与选定的正方向相同；若计算得到结果为负值，说明电流的实际方向与选定的正方向相反，如图 1-4 所示。图中实线箭头表示电流的参考正方向，虚线箭头表示实际方向。

3. 电动势

为了维持电路中有持续不断的电流，必须有一种外力，把正电荷从低电位处（如负极 B）移到高电位处（如正极 A）。在电源内部就存在着这种外力。如图 1-5 所示，外力克服电场力把单位正电荷由低电位 B 端移到高电位 A 端，所做的功称为电动势，用 E 表示。电动势的单位也是 V。如果外力把 1C 的电量从点 B 移到点 A，所做的功是 1J，则电动势就等于 1V。

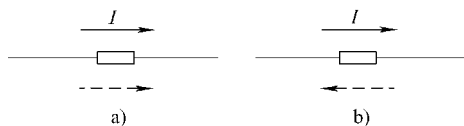


图 1-4 电流的方向

- a) 参考正方向与实际方向一致
- b) 参考正方向与实际方向相反

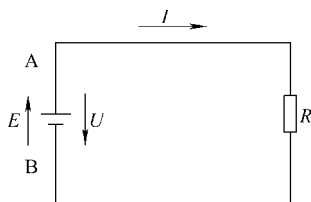


图 1-5 电动势

电动势的方向规定为从低电位指向高电位，即由“-”极指向“+”极。

4. 电功率

在直流电路中，根据电压的定义，电场力所做的功是 $W = QU$ 。把单位时间内电场力所做的功称为电功率，则有

$$P = \frac{W}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-3)$$

功率的单位是瓦特 (W)。对于大功率，采用千瓦 (kW) 或兆瓦 (MW) 作单位；对于小功率则用毫瓦 (mW) 作单位，即

$$1\text{MW} = 1000\text{kW}$$

$$1\text{kW} = 1000\text{W}$$

$$1\text{W} = 1000\text{mW}$$

在电源内部,外力做功,正电荷由低电位移向高电位,电流逆着电场方向流动,将其他能量转变为电能,其电功率为

$$P = EI \quad (1-4)$$

当已知设备的功率为 P 时,在 t 秒内消耗的电能为 $W = Pt$,电能就等于电场力所做的功,单位是焦耳 (J)。在电工技术中,往往直接用瓦特·秒 ($W \cdot s$) 作单位,实际上则用千瓦·时 ($kW \cdot h$) 作单位,俗称 1 度电,即 $1 \text{ 度} = 1kW \cdot h$ 。

【例】一盏 $60W$ 的灯泡,平均每天用它来照明的时间为 $4h$,那么每月 (按 30 天计) 消耗的电能为多少?

解 该电灯平均每月工作时间为 $t = 4 \times 30h = 120h$, 则

$$W = Pt = 60W \times 120h = 7200W \cdot h = 7.2kW \cdot h$$

二、电阻和欧姆定律

导体对电流 (直流) 的阻碍作用称为导体的电阻,用 R 或 r 表示,单位是欧姆 (Ω),简称欧。例如灯泡、电阻丝等负载都是电阻,图 1-6 所示为常见的各种电阻器。常用的电阻单位还有千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$),即

$$1M\Omega = 1000k\Omega$$

$$1k\Omega = 1000\Omega$$

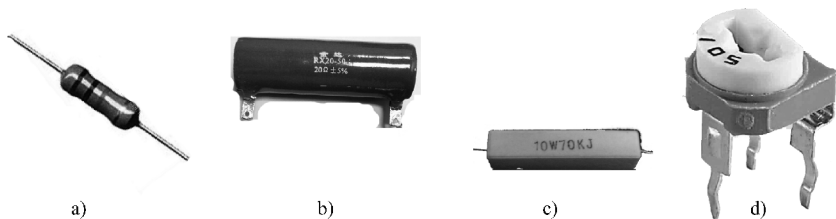


图 1-6 常见电阻元件

a) 色环电阻 b) 绕线电阻 c) 水泥电阻 d) 可调电阻

电阻定律为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-5)$$

式中 ρ ——制作电阻所用材料的电阻率 ($\Omega \cdot m$);

L ——绕制电阻所用导线的长度 (m);

S ——绕制电阻所用导线的横截面积 (m^2);

R ——电阻值 (Ω)。

电阻的倒数 $G = \frac{1}{R}$ 称为电导,它的单位是西门子 (S)。

1. 部分电路的欧姆定律

图 1-7 是不含电动势,只含有电阻的一部分电路。当在电阻 R 两端加上电压 U 时,电路中有电流流过。当电阻 R 不变,如果电压 U 发生变化,则流过电阻的电流也随着变化。

流过导体的电流与这段导体两端的电压成正比,与这段导体的电阻成反比,称为部分电路欧姆定律,表示为

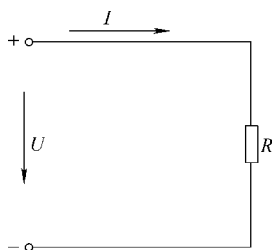


图 1-7 部分电路的欧姆定律

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

或 $U = IR$ (U 与 I 方向相同); $U = -IR$ (U 与 I 方向相反)。

2. 全电路的欧姆定律

如图 1-8 所示, 为一个简单的闭合电路, r_0 为电源内阻, R 为负载电阻, 若忽略导线的电阻, 则此段电路用欧姆定律表示为

$$I = \frac{E}{R + r_0} \quad (1-6)$$

式 (1-6) 的意义是: 电路中流过的电流, 其大小与电动势成正比, 而与电路的全部电阻成反比。电源的电动势和内电阻一般认为是不变的, 所以, 改变外电路电阻, 就可以改变回路中电流的大小。

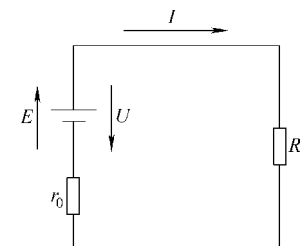


图 1-8 闭合电路的欧姆定律

三、电阻电路的连接和计算

由于工作的需要, 常需要将许多电阻按不同的方式连接起来, 组成一个电路网络。

1. 电阻的串联

如图 1-9 所示为由若干个电阻顺序地连接成一条无分支的电路, 称为串联电路, 图中有 3 个串联电阻。

由于该电路只有一条通路, 所以电路的总电阻 R 必然等于各串联电阻之和, 即

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

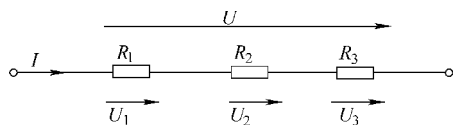


图 1-9 电阻的串联

R 称为电阻串联电路的等效电阻。而多个电阻串联时的计算关系如下:

1) 等效电阻: $R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$

2) 分压关系: $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \cdots = \frac{U_n}{R_n} = \frac{U}{R} = I$

3) 功率分配: $\frac{P_1}{R_1} = \frac{P_2}{R_2} = \cdots = \frac{P_n}{R_n} = \frac{P}{R} = I^2$

当两只电阻 R_1 、 R_2 串联时, 等效电阻 $R = R_1 + R_2$, 则有分压公式

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (1-7)$$

2. 电阻的并联

将几个电阻都接在两个共同端点之间的连接方式称为并联。图 1-10 所示电路是由 3 个电阻并联组成的。

设总电流为 I 、电压为 U 、总功率为 P , 它们之间的计算关系如下:

1) 等效电导: $G = G_1 + G_2 + \cdots + G_n$

即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

2) 分流关系: $R_1 I_1 = R_2 I_2 = \cdots R_n I_n = RI = U$

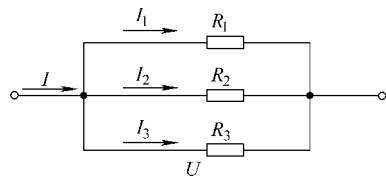


图 1-10 电阻的并联

3) 功率分配: $R_1 P_1 = R_2 P_2 = \cdots = R_n P_n = RP = U^2$

当两只电阻 R_1 、 R_2 并联时, 等效电阻 $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$, 则有分流公式

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1-8)$$

实际应用中, 各用电器在电路中通常都是并联运行的, 属于相同电压等级的用电器必须并联在同一电路中, 这样才能保证它们都在规定的额定电压下正常工作。

【例】有三盏电灯接在 220V 电源上, 其额定值分别为 220V、100W, 220V、60W, 220V、40W, 求总功率 P 、总电流 I 以及通过各灯泡的电流及等效电阻。

解 因外接电源符合各灯泡额定值, 所以各灯泡能正常发光, 故总功率为

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = (100 + 60 + 40) \text{ W} = 200 \text{ W}$$

总电流与各灯泡电流为

$$I = \frac{P}{U} = \frac{200}{220} \text{ A} \approx 0.9 \text{ A}$$

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{100}{220} \text{ A} \approx 0.45 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{P_2}{U_2} = \frac{60}{220} \text{ A} \approx 0.27 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{P_3}{U_3} = \frac{40}{220} \text{ A} \approx 0.18 \text{ A}$$

等效电阻为

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.9} \Omega \approx 244.4 \Omega$$

四、电路的工作状态

1. 额定值

为了保证电气设备和电路元器件能够长期安全地正常工作, 所以规定了额定电压、额定电流、额定功率等铭牌数据。

1) 额定电压: 电气设备或电路元器件在正常工作条件下允许施加的最大电压。

2) 额定电流: 电气设备或电路元器件在正常工作条件下允许通过的最大电流。

3) 额定功率: 在额定电压和额定电流下消耗的功率, 即允许消耗的最大功率。

4) 额定工作状态: 电气设备或电路元器件在额定功率下的工作状态, 也称满载状态。

5) 轻载状态: 电气设备或电路元器件在低于额定功率时的工作状态。轻载时电气设备不能得到充分利用或根本无法正常工作。

6) 过载(超载)状态: 电气设备或电路元器件在高于额定功率时的工作状态。过载时电气设备很容易被烧坏或造成严重事故。

2. 电源的通路、开路和短路

干电池、铅蓄电池及一般直流发电机等都是直流电源, 它们是具有不变的电动势和较低内阻的电源, 称其为电压源。图 1-11 所示为几种常见的电压源。

(1) 电源的通路

如图 1-12a 所示, 电压与电流之间的关系为

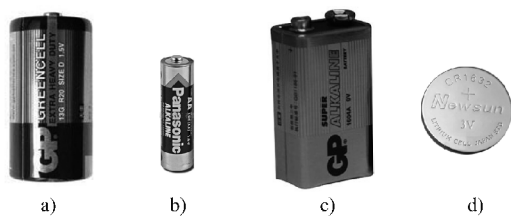


图 1-11 常见的电压源

a) 1 号电池 b) 5 号电池 c) 方电池 d) 钮扣电池

$$I = \frac{E}{R_0 + R}$$

1) 功率的平衡：电源产生功率等于负载取用功率与内阻及线路损耗功率之和。

2) 电源与负载的判定：电源： U 与 I 的实际方向相反，电流从“+”流出，发出功率；负载： U 、 I 实际方向相同，电流从“+”流入，取用功率。

3) 额定值与实际值：电源输出的功率和电流取决于负载的大小，当电气设备工作在最佳状态时各个量的值称为额定值，电气设备所处的工作状态为实际值。实际值不一定等于其额定值。电路中的用电器是由用户控制的，而且是经常变动的，当并联的用电器数量增多时，等效电阻 R 就会减小，而电源电动势 E 通常为一恒定值，且内阻 R_0 很小，电源端电压 U 变化很小，则电源输出的电流和功率将随之增大，这时称为电路的负载增大。当并联的用电器数量减少时，等效负载电阻 R 增大，电源输出的电流 I 和功率将随之减小，这种情况称为负载减小。

(2) 电源的开路

若图 1-12a 中某处导线断开，电源则处于开路状态，其特点为

$$I = 0 \quad U_0 = E$$

(3) 电源的短路

如图 1-12b 所示，其特点为

$$U = 0 \quad I = I_s = \frac{E}{R_0}$$

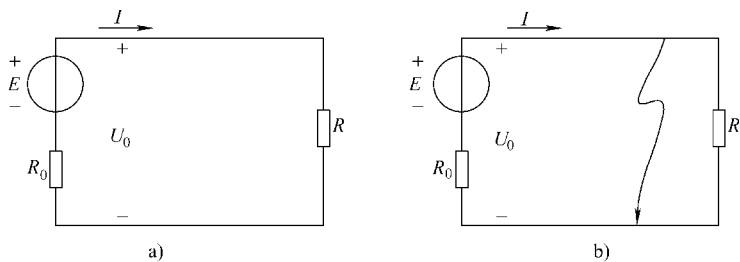


图 1-12 电源的有载工作及短路

a) 电源的有载工作 b) 电源短路

短路是一种很严重的事故，应尽量避免。为了防止发生短路事故，以免损坏电源，常在电路中串接熔断器。熔断器中装有熔丝，一旦短路，串联在电路中的熔丝将因发热而熔断，从而保护电源免于烧坏。

1.1.2 磁的基本知识

电和磁是相互联系不可分割的两类物质，电磁感应现象在电工、电子技术、电气自动化等方面的广泛应用对推动社会生产力和科学技术的发展发挥了重要的作用。

一、磁场

在磁体周围存在一种特殊物质，它具有力和能的特性，称为磁场。磁场和电场都是有方向的，通常用磁力线来描绘磁场的分布情况，如图 1-13 所示。

磁力线具有以下特点：

1) 磁力线是互不交叉、不能中断的闭合曲线。在磁体外部由 N 极指向 S 极，在磁体内部由 S 极指向 N 极。

2) 磁力线上任意一点的切线方向，就是该点磁场的方向，即该点磁针 N 极所指的方向。

3) 磁力线的疏密程度反映了磁场的强弱，磁力线越密表示磁场越强。均匀磁场中磁力线是相互平行而均匀分布的。

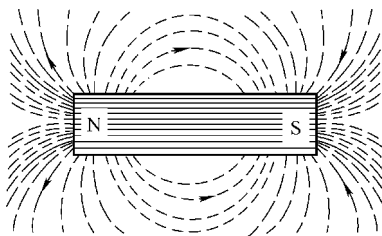


图 1-13 磁铁周围的磁力线示意图

二、电流的磁场

通电导线的周围存在着磁场，磁场是由电荷运动产生的。

1. 通电直导线周围的磁场

通电直导线周围磁场的磁力线是一些以导线上各点为圆心的同心圆，这些同心圆都在与导线垂直的平面上，如图 1-14 所示。

磁力线的方向与电流方向之间的关系可用安培定则（又称右手螺旋定则）来判断，如图 1-15 所示，用右手握住通电直导线，拇指指向电流的方向，弯曲四指的指向即为磁力线的方向。

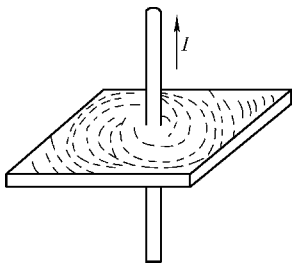


图 1-14 通电导线周围磁场的磁力线示意图

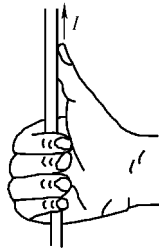


图 1-15 右手螺旋定则

2. 通电螺线管的磁场

通电螺线管的磁力线是一簇穿过线圈横截面的闭合曲线，其方向与电流方向之间的关系也可用安培定则来判定，如图 1-16 所示，用右手握住螺线管，弯曲的四指指向线圈电流方向，拇指所指方向为螺线管内的磁场方向。螺线管中间部分为匀强磁场，在螺线管两端磁场最强。

三、磁场对载流导体的作用

1. 磁通

穿过某一面积的磁力线的总数叫穿过该面积的磁通量，简称磁通，用字母 Φ 表示。它

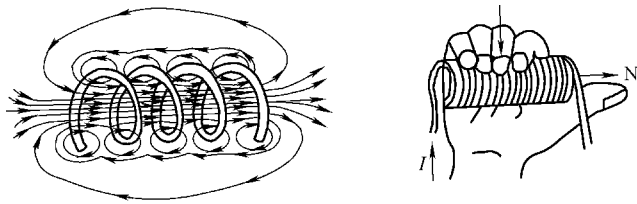


图 1-16 通电螺线管的磁场

的单位是韦伯，用符号 Wb 表示。

当面积一定时，穿过该面积的磁通越大，磁场就越强。例如在选用变压器、电磁铁等铁心材料时，希望其通电线圈产生的全部磁力线尽可能多地通过铁心的截面，以提高效率。

2. 磁感应强度

垂直通过单位面积的磁力线的多少叫该点的磁感应强度。在均匀磁场中，磁感应强度可表示为

$$B = \frac{\Phi}{S} \tag{1-9}$$

式中 B ——磁感应强度 (T)， $1\text{T} = 1\text{Wb}/\text{m}^2$ 。

磁感应强度 B 等于单位面积的磁通量；所以磁感应强度也叫磁通密度。为了在平面上表示出磁感应强度的方向，常用符号 “ $\times$ ” 或 “ $\cdot$ ” 表示垂直进入纸面或垂直从纸面出来的磁力线或磁感应强度，识图时应予以注意。

3. 磁场对载流导体的作用

载流直导体在均匀磁场中受到的电磁力可表示为

$$F = BIl \tag{1-10}$$

式中 B ——磁感应强度 (T)；

F ——通电导体受到的电磁力 (N)；

I ——电流 (A)；

l ——导体与磁力线垂直的有效长度 (m)。

电流方向与磁场方向垂直时，磁场对电流的电磁力最大。电流方向与磁场方向平行时，磁场对电流不产生电磁力。电磁力的方向可用左手定则判定（见图 1-17）：伸开左手，四指与拇指垂直且在同一个平面内，让磁力线穿过手心，四指指向电流方向，拇指的指向就是磁场对电流作用力的方向。

若当导线与磁感应强度的方向成某一个角度时，应分解磁感应强度为与导线垂直、与导线平行两个分量。判断受力方向时，让垂直导线分量从手心穿过，即可准确判断出作用力的方向。

四、电磁感应

前面阐述了电生磁的理论，同样磁也可以生电。

1. 电磁感应现象

利用磁场产生电流的现象叫电磁感应。电动机就是利用电磁感应现象将电能转化为机械能工作的。

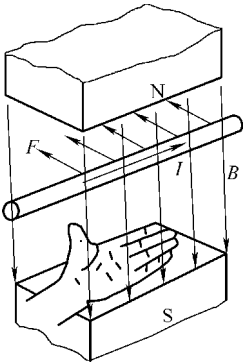


图 1-17 左手定则

- 1) 产生感应电流的条件只要穿过闭合电路的磁通量发生变化, 闭合电路中就会产生感应电流。当闭合电路中一部分导体切割磁力线时, 闭合电路中就会产生感应电流。
- 2) 感应电流的方向。当导体切割磁力线时, 闭合电路中感应电流方向应是: 伸开右手, 拇指与四指垂直且在同一个平面内, 让磁力线从手心穿过, 拇指指向导线切割磁力线的运动方向, 四指的指向即为感应电流的方向 (见图 1-18)。

2. 感应电动势

要使闭合电路中有电流产生, 这个电路中必定有电动势存在。在电磁感应现象中, 闭合导体回路里有感应电流, 那么这个回路中也必定有电动势存在。

在图 1-19 中, 设导体 ab 的长度是 L , 以速度 v 向右运动, 这时在导体两端产生的电动势叫做感应电动势, 用 e 表示, 即

$$e = BLv \tag{1-11}$$

式中 e ——导体两端的感应电动势 (v);
 B ——磁感应强度 (T);
 L ——切割磁力线导体的长度 (m);
 v ——导体切割磁力线的速度 (m/s)。

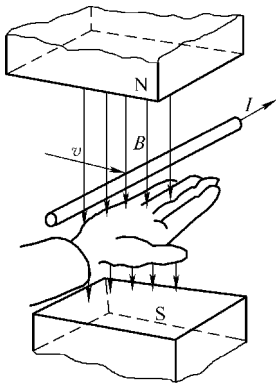


图 1-18 右手定则示意图

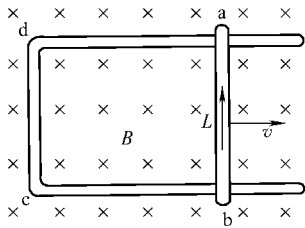


图 1-19 直导体切割磁力线产生感应电动势

感应电动势的方向可用右手定则判定。在图 1-19 中, 判定为由 b 到 a , 即 ab 作为一个电源。 a 端是正极, b 端是负极。或者说 a 端的电动势高于 b 端的电动势 ($U_a > U_b$)。感应电动势的方向与电源内部感应电流的方向一致。

产生感应电动势的那部分导体就相当于电源。感应电动势是反映电磁感应本质的物理量, 它的产生与导体回路是否闭合无关。只要穿过导体回路的磁通量发生变化, 回路中就会产生感应电动势。如果导体回路是闭合的, 那么回路中就有感应电流, 感应电流的强弱取决于感应电动势的大小和回路的电阻。如果回路是断开的, 回路中就没有感应电流, 但感应电动势仍然存在。

五、自感

1. 自感现象

当导体中流过的电流发生变化时, 会引起通过导体自身的磁通量的变化, 从而使导体本身产生感应电动势, 这个电动势总是阻碍导体中电流的变化。这种由于导体本身的电流发生变化而产生的电磁感应现象叫自感现象。在自感现象中产生的感应电动势叫自感电动势。自

感现象是电磁感应的一种特殊情形。在直流电路中只在通电和断电的瞬间显示出来；在交流电路中，自感电动势起着阻碍电流变化的作用。

如图 1-20a 所示，当接通开关 S 时，与电阻 R 串联的灯泡 HL_1 立刻会发光，而与线圈 L 串联的灯泡 HL_2 却逐渐亮起来，在时间上明显地落后于灯泡 HL_1 。这种现象是由于线圈 L 有自感作用造成的。因为在接通电源的瞬间，电路中的电流增大，穿过线圈 L 的磁通量也随之增加，线圈中产生了阻碍磁通量增加的自感电动势（见图 1-20b），这个自感电动势阻碍线圈中电流的增大，使灯泡 HL_2 中的电流不能立刻达到正常值，所以 HL_2 不能立即发光。

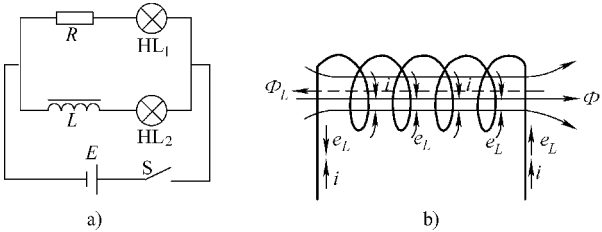


图 1-20 自感及自感电动势
a) 电路 b) 自感电动势

2. 自感电动势

自感电动势与导体中电流的变化率 $\Delta I / \Delta t$ 成正比，即

$$e_L = L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (1-12)$$

式 (1-12) 中的比例系数 L 叫导体（或线圈）的自感系数， L 与线圈的形状、长短、匝数等因素有关。线圈越粗、越长，匝数越密，自感系数 L 越大，有铁心时 L 可增大数千倍。

L 又称为自感或电感，单位是亨利，简称亨，符号是 H。线圈中电流 1s 改变 1A，产生感应电动势为 1V，自感系数 L 为 1H，常用的较小单位有毫亨（mH）和微亨（ μH ）。

$$1H = 1000mH \quad 1mH = 1000\mu H$$

1.1.3 电容器

在两个导体之间如果用绝缘物质隔开时，就构成了一个电容器。组成电容器的两个导体叫极板，中间的绝缘物叫电容器的介质。广义地说，被介质分开的任意形状的金属导体的组合，都可以看作是一个电容器。例如，被空气分割的两根架空导线，地下电缆的两根芯线，任一根架空线与大地之间，都相当于一个电容器。

电容器是一种存储电荷的容器。在使电容器的一个极板带上正电荷，另一个极板带上等量的负电荷，那么异性电荷就要互相吸引而保持在电容器的极板上，所以说，电容器存储了电荷。如图 1-21 所示，把电容器和直流电源接通，在电场力的作用下，电源负极的自由电子将向与它相连的 B 极板上移动，使 B 极板带有负电荷；而另一极板 A 上的自由电子将向与它相连的电源正极移动，使 A 极板带有等量的正电荷。这种电荷的移动直到极板间的电压与电源电压相等时为止。这样，在极板间的介质中建立了电场，电容器存储了一定的电荷和电场能量。我们把电容器存储电荷的过程叫做电容器的充电。

将充好电的电容器 C 通过电阻 R 接成如图 1-22 所示的闭合回路，由于电容器存储着电场能量，两极板间有电压 U_C ，可以等效为一个直流电源。在电压 U_C 的作用下，B 极板上的自由电子就会跑向 A 极板与正电荷中和，极板上的电荷逐渐减少， U_C 逐渐降低，直到 $U_C = 0$ 时，电荷释放完毕。这一过程称为电容器的放电。

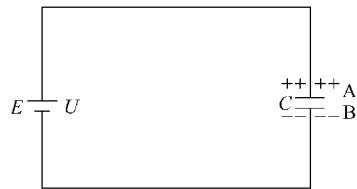


图 1-21 电容器的充电

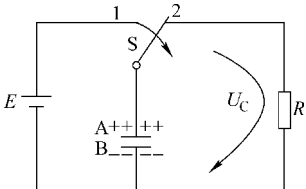


图 1-22 电容器的放电

电容器是一种存储电荷的容器。电容器存储电荷量的多少，与加在电容器两端的电压成正比。由于各种电容器结构不同，所用的介质也不一样，因此在同样的电压下，不同的电容器所存储的电荷量也不一定相等。常用电容器的外形如图 1-23 所示。

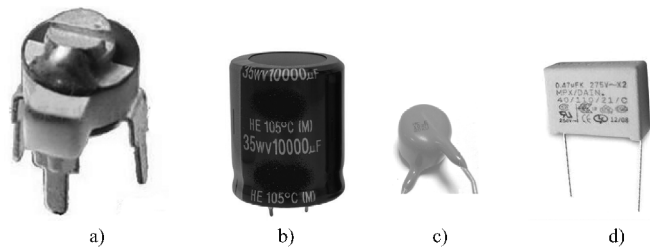


图 1-23 电容器

a) 可调电容器 b) 电解电容器 c) 陶瓷电容器 d) 聚丙烯电容器

为了比较和衡量电容器本身存储电荷的能力，可用每伏电压下电容器所存储电荷量的多少作为电容器的电容量，电容量用字母 C 表示，即

$$C = \frac{Q}{U} \tag{1-13}$$

式中 C —— 电容器的电容量；
 Q —— 极板上的电荷量；
 U —— 电容器两端的电压。

若电压 U 的单位为伏特 (V)，电荷量 Q 的单位为库仑 (C)，则电容量的单位为法拉 (F)，在实际应用中，法拉这个单位太大，电容的单位也常用 μF (微法) 或 pF (皮法) 来表示，即

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} \quad 1\mu\text{F} = 10^6 \text{pF}$$

1.1.4 正弦交流电基础

无论是工业或是农业生产，还是日常生活中，被广泛使用的电能几乎都取自交流电网。在电力系统中，考虑到传输、分配和应用电能方面的便利性、经济性，所以大都采用交流电。

图 1-24 是一个简单的交流电路。当交流电源的出线端 a 为正极, b 为负极时, 电流 i (图中实线所示) 就从 a 端流出, 经负载流回 b 端; 而当出线端 a 为负极, b 为正极时, 电流 i (图中虚线所示) 则从 b 端流出, 经负载流回 a 端。

可见, 交流电不仅方向随时间做周期性变化, 其大小也随时间连续变化, 且在每一瞬间都有不同的数值。其大小和方向都随时间做周期性变化的电动势、电压和电流统称为交流电。在交流电作用下的电路称为交流电路。

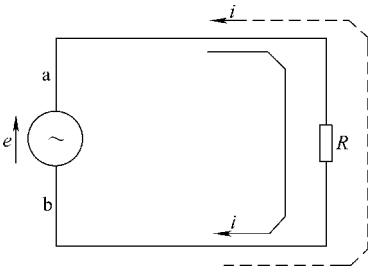


图 1-24 简单的交流电路

一、交流电的产生

获得交流电的方法有多种, 其中大多数交流电是由交流发电机产生的。

图 1-25a 为一最简单的交流发电机, 标有 N、S 的为两个静止磁极。磁极间放置一个可以绕轴旋转的圆柱形铁心, 称为转子。转子铁心上绕有线圈, 线圈两端分别与两个铜质集电环相连。集电环经过电刷与外电路(电阻)相连。

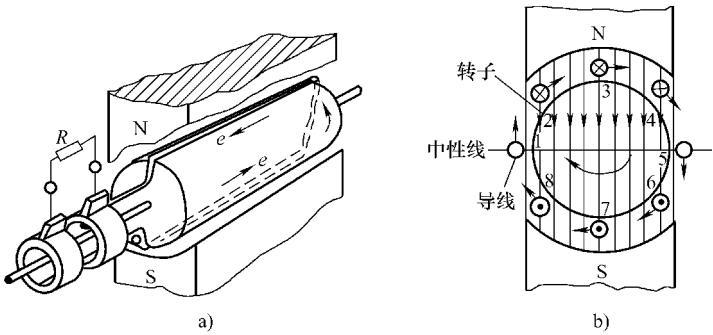


图 1-25 交流发电机

a) 结构示意图 b) 交流电的产生

为便于分析, 我们把图 1-25a 简化成图 1-25b。当转子铁心以角速度 ω 顺时针旋转时, 线圈随转子一起旋转。当转到位置 1 时, 不切割磁力线, 没有感应电动势产生。转到位置 2 时, 绕组切割磁力线, 产生感应电动势, 用右手定则可以判定其方向是由外向里的。转到位置 5 时, 不切割磁力线, 没有感应电动势产生。转到位置 6 时又将切割磁力线而产生感应电动势, 用右手定则可以判定其方向是从里向外的。这样, 线圈随转子旋转一周时, 导体中感应电动势的方向交变一次, 即转到 N 极下是一个方向, 转到 S 极下变为另一个方向, 这就是产生交流电的基本原理。

为了获得正弦交变电动势, 适当设计磁极形状, 使得空气隙中的磁感应强度在 $\bigcirc - \bigcirc$ (即磁极的分界面, 称中性面) 处为零, 在磁极中心处最大 ($B = B_m$), 沿着铁心的表面按正弦规律分布。若用 α 表示气隙中某点和轴线构成的平面与中性面的夹角, 则该点的磁感应强度为 $B = B_m \sin \alpha$, 如图 1-26 所示。

当铁心以角速度旋转时, 线圈绕组切割磁力线, 产生感应电动势, 其大小是 $e = BLv$ 。

假定计时开始时, 绕组所在位置与中性面的夹角为 φ_0 , 经过时间 t 后, 它们之间的夹角则变为 $\alpha = \omega t + \varphi_0$, 对应绕组切割磁场的磁感应强度为 $B = B_m \sin \alpha (\omega t + \varphi_0)$, 将其代入式

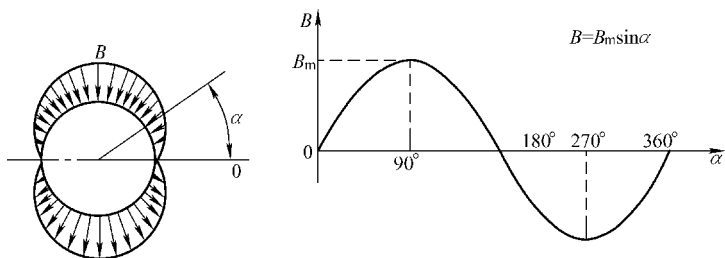


图 1-26 发电机气隙中磁感应强度的分布

(1-11) 就得到绕组中感应电动势随时间变化的规律, 即

$$e = Blv = B_m \sin(\omega t + \varphi_0) lv$$

或

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1-14)$$

其中, $E_m = B_m lv$ 称作感应电动势的最大值。

当线圈 ab 边转到 N 极中心时, 绕组中感应电动势为最大值 E_m ; 线圈再转 180° , ab 边对准 S 极中心时, 绕组中感应电动势为 $-E_m$ 。

二、正弦交流电的物理量

在图 1-26 中所示的发电机, 当转子以等速旋转时, 绕组中感应出的正弦交变电动势的波形如图 1-27 所示。图形反映出感应电动势在转子旋转过程中随时间变化的规律。图中横轴表示时间, 纵轴表示电动势大小。

1. 周期、频率、角频率

当发电机转子转一周时, 转子绕组中的正弦交变电动势也就变化一周。我们把正弦交流电变化一周所需的时间叫周期, 用 T 表示, 周期的单位是 s (秒)。

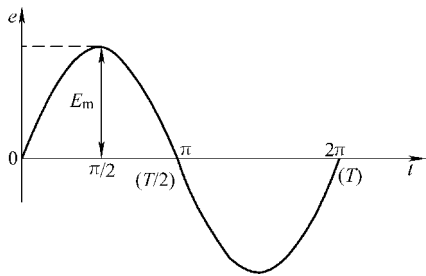


图 1-27 正弦电动势的波形图之一

1s 内交流电变化的周数, 称为交流电的频率, 用 f 表示为

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-15)$$

其中, f 的单位是赫兹 (Hz)。

正弦量的变化规律用角度描述是很方便的, 每一时刻的值都可与一个角度相对应。如图 1-27 所示, 横轴用角度刻度, 当角度变到 $\pi/2$ 时, 电动势达到最大值, 当角度变到 π 时, 电动势变为零值。这个角度不表示任何空间角度, 只是用来描述正弦交流电的变化规律, 所以把这种角度叫电角度。

每秒钟经过的电角度叫角频率, 用 ω 表示。角频率与频率、周期之间的关系如下:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (1-16)$$

其中, ω 的单位为弧度/秒 (rad/s)。50Hz 相当于 314rad/s。

【例】已知一正弦交流电的周期为 0.0025s, 试求其频率和角频率。

解 因频率为周期的倒数, 所以

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.0025} \text{Hz} = 400 \text{Hz}$$

角频率为 $\omega = 2\pi f = (6.28 \times 400) \text{ rad/s} = 2512 \text{ rad/s}$

2. 瞬时值、最大值、有效值

1) 瞬时值。交流电在变化过程中，每一时刻的值都不同，该值称为瞬时值。瞬时值规定用小写字母表示。

正弦交流电路中的电压、电流及电动势，其大小和方向均随时间变化，其瞬时值数学表达式为

$$\left. \begin{aligned} e &= E_m \sin(\omega t + \varphi_e) \\ u &= U_m \sin(\omega t + \varphi_u) \\ i &= I_m \sin(\omega t + \varphi_i) \end{aligned} \right\} \quad (1-17)$$

2) 最大值。正弦交流电波形上的最大幅值便是交流电的最大值（见图 1-28）。它表示在一周内，数值最大的瞬时值。最大值规定用大写字母加脚标 m 表示，例如， E_m 、 U_m 等。

3) 有效值。正弦交流电的瞬时值是随时间变化的，计量时用正弦交流电的有效值来表示。交流电表的指示值和交流电器上标示的电流、电压数值一般都是有效值。有效值规定用大写字母表示，如 E 、 I 、 U 等。

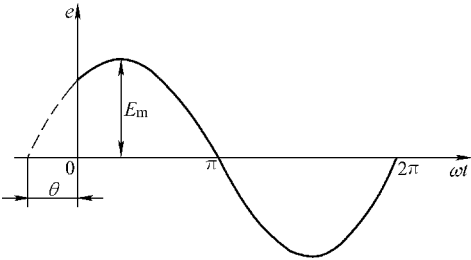


图 1-28 正弦电动势的波形图之二

我们平常所说的电压高低、电流大小或电器上的标称电压或电流指的均是有效值。有效值是由交流电在电路中做功的效果来定义的。叙述为：交流电流 i 通过电阻 R 在一个周期 T 内产生的热量与直流电流 I 通过 R 在时间 T 内产生的热量相等时，这个直流电流的数值称为交流电流的有效值。

$$\left. \begin{aligned} E_m &= \sqrt{2}E \\ U_m &= \sqrt{2}U \\ I_m &= \sqrt{2}I \end{aligned} \right\} \quad (1-18)$$

由式 (1-18) 可见，正弦交流量的最大值是其有效值的 $\sqrt{2}$ 倍，通常所说的交流电压 220V 是指有效值，其最大值约为 311V。

1.1.5 单元自测题

1. 计算电路中某点的电位时，所选路径上各电阻电压的正负值和电动势的正负值是如何规定的？

2. 一个额定电压为 $U = 220\text{V}$ ，额定功率 $P = 40\text{W}$ 的白炽灯，若把它接在电压为 110V 的线路上，则该灯泡的实际功率是多少？

3. 将三个阻值均为 R 的电阻做不同的连接，能得到几种电阻值？分别是多少？

4. 如图 1-29 所示，已知电路中的负载电阻 $R = 23\Omega$ ，供电线路的电阻 $R_L = 0.3\Omega$ ，电源的内阻 $r = 0.7\Omega$ ，电源的电动势 $E = 24\text{V}$ ，试计算：

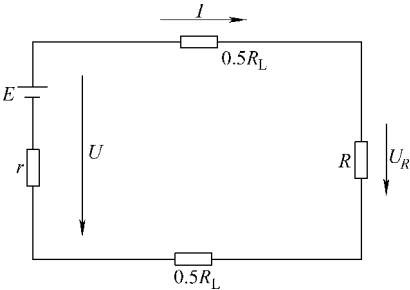


图 1-29 题 4 图示

- 1) 电路中的电流 I ;
- 2) 负载两端的电压 U_R 和电源两端输出的电压 U ;
- 3) 电源产生的功率 P_E 、输出功率 P 和负载上消耗的功率 P_R 以及线路损耗的功率 P_L 。
- 4) 当负载两端发生短路 ($R=0$) 时, 电路中的短路电流 I_S 。

1.2 电工工具、仪表与常用材料

1.2.1 常用工具与量具的使用

电工常用工具是指一般专业电工都要用到的工具。它们可以帮助电工在作业时顺利地完成工作、监视和排除故障。

一、验电器

验电器分为高压和低压两类, 如图 1-30 所示。

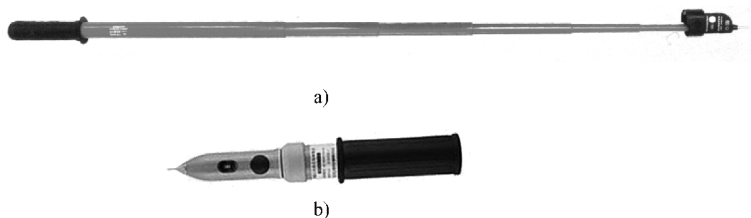


图 1-30 验电器实物图
a) 高压验电器 b) 低压验电器

低压验电器又称为试电笔, 是检验导线、电器和电气设备是否带电的一种常用工具, 检测范围为 $60 \sim 500\text{V}$, 有钢笔式和旋具式两种。它由氖管、电阻、弹簧和笔身等组成。验电器的结构如图 1-31 所示。

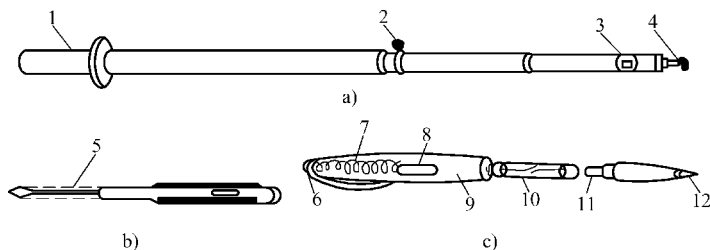


图 1-31 验电器结构示意图
a) 10kV 高压验电器 b) 旋具式低压验电器 c) 钢笔式低压验电器
1—把柄 2—紧固螺钉 3—氖管窗 4—触钩 5—绝缘套管 6—笔尾的金属体
7—弹簧 8—小窗 9—笔身 10—氖管 11—电阻 12—笔尖的金属体

使用高压验电器时, 要注意安全, 雨天不可在户外测验; 测验时要戴符合耐压要求的绝缘手套; 不可一人单独测验, 身旁要有人监护; 测试时, 要防止发生相间或对地短路事故; 人体与带电体应保持足够的安全距离 (10kV 为 0.7m 以上)。

低压验电器的使用方法和注意事项如下:

1) 使用时必须按照如图 1-32 所示的正确方法握好验电器，以手指触及笔尾的金属体。使用前，先要在有电的电源上检查验电器的氖管能否正常发光。

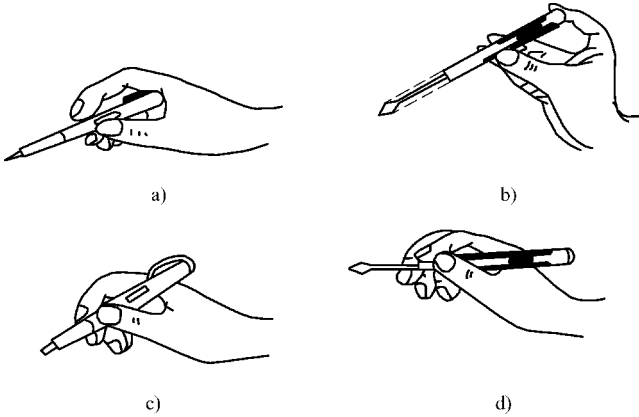


图 1-32 低压验电器的握法
a)、b) 正确握法 c)、d) 错误握法

- 2) 在明亮的光线下测试时，往往不容易看清氖管的辉光，应当避光检测。
- 3) 验电器的金属探头多制成旋具形状，只可以承受很小的力矩，使用时应注意，以防损坏。
- 4) 用低压验电器区分相线和零线时，氖管发亮的是相线，不亮的是零线。
- 5) 用低压验电器区分交流电和直流电时，交流电通过氖管时，两极附近都发亮；而直流电通过时，仅一个电极附近发亮。
- 6) 用低压验电器判断电压的高低时，若氖管发暗红色的光，且轻微点亮，则说明电压较低。若氖管发黄红色的光，且很亮，则说明电压较高。
- 7) 用低压验电器识别相线接地故障时，在三相四线制电路中，发生单相接地后，用验电器测试中性线，氖管会发亮。在三相三线制星形联结的电路中，用验电器测试三根相线，如果两相很亮，另一相不亮，则这相可能有接地故障。

二、钢丝钳

钢丝钳是钳夹和剪刀工具，由钳头和钳柄两部分组成，如图 1-33 所示。

钳口用来弯绞或钳夹导线线头；齿口用来紧固或起松螺母；刀口用来剪切导线或剖切软导线绝缘层；铡口用来铡切电线线芯和钢丝、铅丝等较硬金属。常用的规格有 150mm、175mm、200mm 三种，如图 1-34 所示。



图 1-33 钢丝钳实物图

使用电工钢丝钳时应注意：

- 1) 使用电工钢丝钳前，必须检查绝缘柄的绝缘是否完好。在钳柄上应套有耐压为 500V 以上的绝缘管。如果绝缘损坏，不得带电操作。
- 2) 使用时的握法如图 1-34b 所示，刀口朝向自己面部。头部不可代替锤子作为敲打工具使用。
- 3) 用电工钢丝钳剪切带电导线时，不得用刀口同时剪切相线和零线或同时剪切两根相

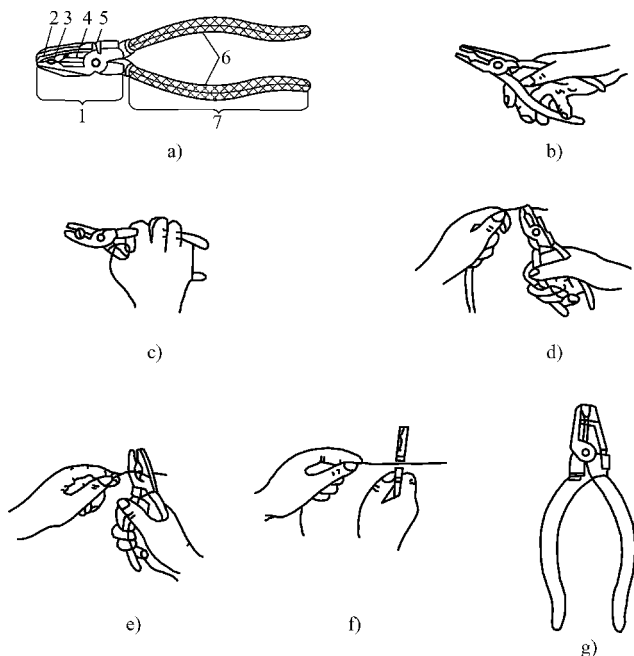


图 1-34 钢丝钳结构和使用的示意图

a) 钢丝钳（电工用） b) 握法 c) 紧固螺母 d) 钳夹导线头 e) 剪切导线 f) 侧切钢丝 g) 裸柄钢丝钳（电工禁用）
1—钳头 2—钳口 3—齿口 4—刀口 5—侧口 6—绝缘管 7—钳柄

线，以免发生短路故障。

三、尖嘴钳和斜嘴钳

尖嘴钳（见图 1-35）适于在较狭小的工作空间操作，可以用来弯扭和钳断直径为 1mm 以下的导线。有铁柄和绝缘柄两种，绝缘柄的为电工所用，绝缘的工作电压为 500V 以下。常用规格（全长）有 130mm、160mm、180mm 及 200mm 四种。目前常见的多数是带刃口的，既可夹持零件又可剪切细金属丝。

斜嘴钳（见图 1-36）是用于剪切金属薄片及细金属丝的一种专用剪切工具，其特点是剪切口与钳柄成一角度，适于在比较狭窄和有斜度的工作场所使用。常用规格有 130mm、160mm、180mm 和 200mm 四种。



图 1-35 尖嘴钳实物图

四、螺钉旋具

螺钉旋具俗称为改锥、起子或螺丝刀，如图 1-37 所示。

螺钉旋具分为一字形和十字形两种，以配合不同槽形的螺钉使用。常用的有 50mm、100mm、150mm 及 200mm 等规格，其结构如图 1-38 所示。

使用螺钉旋具时应注意：

- 1) 电工不得使用金属杆直通柄顶的螺钉旋具，否则容易造成触电事故。
- 2) 为了避免螺钉旋具的金属杆触及皮肤或邻近带电体，应在金属杆上套绝缘管。

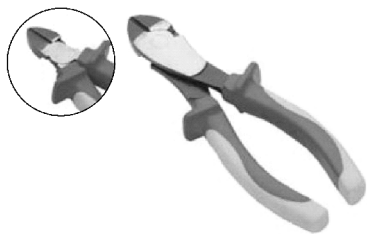


图 1-36 斜嘴钳实物图

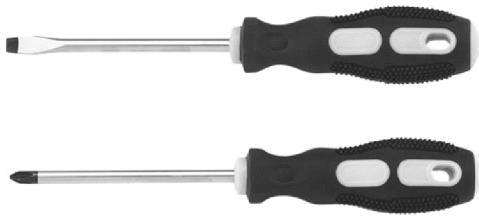


图 1-37 螺钉旋具

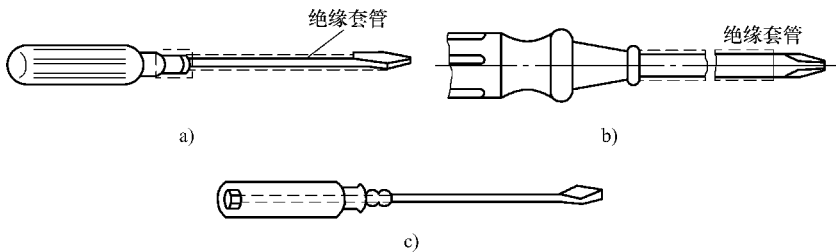


图 1-38 螺钉旋具的结构

a) 一字形螺钉旋具 b) 十字形螺钉旋具 c) 穿心金属杆螺钉旋具（电工禁用）

3) 螺钉旋具头部厚度应与螺钉尾部槽形相配合，斜度不宜太大，头部不应该有倒角，否则容易打滑。

4) 螺钉旋具在使用时应使头部顶牢螺钉槽口，防止因打滑而损坏槽口。同时注意，不用小螺钉旋具去拧旋大螺钉。否则，一是不容易旋紧，二是螺钉尾槽容易拧豁，三是螺钉旋具头部易受损。反之，如果用大螺钉旋具拧旋小螺钉，也容易造成因力矩过大而导致小螺钉乱牙现象。螺钉旋具的使用如图 1-39 所示。

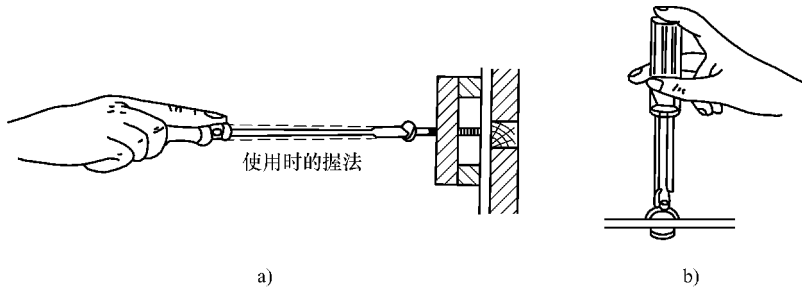


图 1-39 螺钉旋具的使用

a) 小螺钉旋具的用法 b) 大螺钉旋具的用法

五、剥线钳

剥线钳（见图 1-40）用来剥削横截面积在 6mm^2 以下塑料或橡胶绝缘导线的绝缘层。

剥线钳由钳口和手柄两部分组成，其结构如图 1-41 所示。剥线钳有 $0.5 \sim 3\text{mm}$ 的多个直径切口，用于不同规格线芯的剥削。使用时切口大小必须与导线线芯直径相匹配，过大难以剥离绝缘层，过小易切断芯线。



图 1-40 剥线钳实物图

手柄绝缘的剥线钳，可以带电操作，但工作电压必须在 500V 以下。

六、活扳手

活扳手又称为活扳头，如图 1-42 所示。

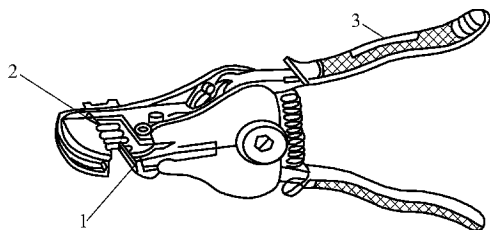


图 1-41 剥线钳结构示意图

1—压线口 2—刀口 3—钳柄

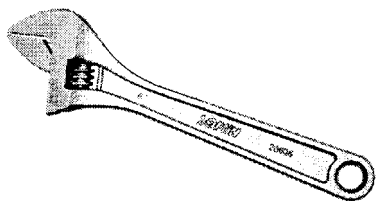


图 1-42 活扳手实物图

活扳手由头部和柄部组成（见图 1-43），头部由定扳唇、动扳唇、蜗轮和轴销等构成。旋转蜗轮可以调节扳口的大小。常用的规格有 150mm、200mm、250mm 和 300mm 等，按螺母大小选用适当规格。

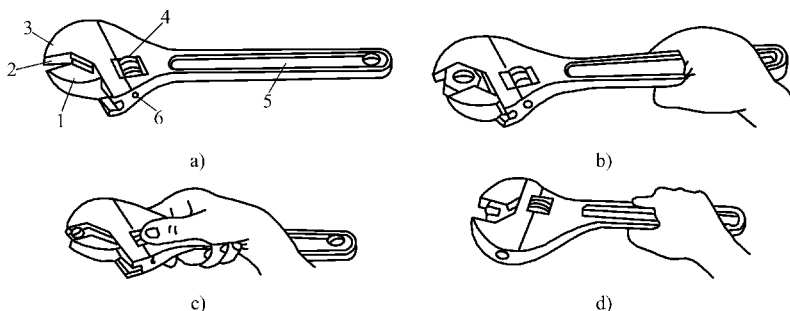


图 1-43 活扳手结构与使用示意图

a) 活扳手构造 b) 扳拧较大螺母时的握法 c) 扳拧较小螺母时的握法 d) 错误握法

1—动扳唇 2—扳口 3—定扳唇 4—蜗轮 5—手柄 6—轴销

扳拧较大螺母时，需用较大力矩，手应握在近柄尾处，如图 1-43b 所示；扳拧较小螺母时，需用力矩不大，但螺母过小容易打滑，宜按照如图 1-43c 所示的方法握紧手柄，可随时调节蜗轮，收紧扳唇防止打滑。

活扳手不可反用，如图 1-43d 所示，即动扳唇不可作为重力点使用，也不可钢管接长柄部来施加较大的扳拧力矩。

七、电工刀

电工刀的外形如图 1-44a 所示，禁止用电工刀切削带电的绝缘导线，在切削导线时，刀口一定朝向人体外侧，不准用锤子敲击，如图 1-44b 所示。

八、射钉枪

射钉枪（见图 1-45）是利用弹筒内火药爆发时的推力，将特制的螺钉射入混凝土或砖砌体内以固定管线支架等。操作时要注意安全，周围严禁有工作人员。射钉枪内孔有 6mm、8mm 和 10mm 三种。射钉直径为 3.7mm、4.5mm，射钉长度一般为 13 ~ 62mm，型号有 SDT—A301 等。

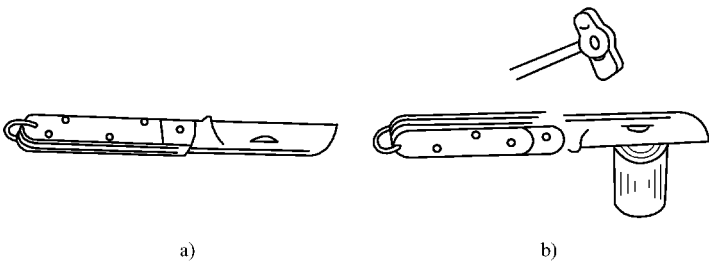


图 1-44 电工刀的外形及错误用法
a) 外形 b) 错误用法



图 1-45 射钉枪实物图

九、冲击钻和电锤

冲击钻与电锤是一种携带式带冲击的电动钻孔工具，主要用于对混凝土、砖墙进行钻孔，安装膨胀螺栓或膨胀螺钉，以固定设备或支架。冲击钻的外形如图 1-46 所示。常用规格和型号见表 1-2。



图 1-46 冲击钻和电锤实物图

表 1-2 电动冲击钻和电锤的规格和型号

规 格		冲击钻（型号）		电锤（型号）
		JIZC—10	JIZC—20	ZIC—SD01—26
额定电压/V		220	220	220
额定转速/(r/min)		1200	800	420
额定功率/W		250	≥320	≥620
额定转矩/N·cm		90	≥350	≥450
额定冲击次数/min ⁻¹		14000	8000	2850
额定冲击幅度/mm		0.8	1.2	
最大钻孔直径 /mm	钢铁中	6	13	
	混凝土中	10	20	26

电动冲击钻是电工常用的设备，其外观如图 1-47 所示。

在使用过程中应注意以下几点：

1) 根据孔径大小，选择合适的钻头，在更换钻头前，一定要将电源开关断开或将手电钻的电源插头从插座上拔出，以免在更换钻头过程中因不慎误压开关导致电钻旋转从而发生操作人员损伤事故。

2) 通电前应检查电源引线和插头、插座是否完好无损，通电后，用验电器检查是否漏电。

3) 单相电钻的电源引线应选用三芯坚韧橡皮护套线；三相电钻的电源引线应选用四芯坚韧橡皮护套线，并与相应的插头和插座配合使用，特别注意护套线中接地芯线不得接错。

4) 有些电钻有“钻孔”和“冲击”两种工作方式，当钻孔时，应选用相应尺寸的普通钻头，并将工作方式置“钻孔”位置；需“冲击”钻孔（在水泥墙上钻孔）时，应选用相应尺寸的冲击钻头，并将工作方式置“冲击”位置。

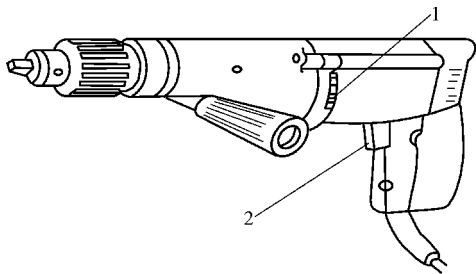


图 1-47 冲击钻结构示意图

1—调节开关 2—电源开关

十、拆卸器

拆卸器又称为拉具或拉子。它主要用于拆卸带轮、联轴器和轴承。使用拆卸器时要放正，其爪钩的位置应基本平衡，螺杆应对准电动机轴心，用力要均匀（见图 1-48）。若直接拉脱有困难，可在螺杆已拉紧时用木槌敲击带轮的外圆或在带轮与轴的接缝处渗些煤油，必要时采用热脱方法（用喷灯或气焊枪将带轮外表面加热，使之膨胀，将带轮迅速拉下）。

十一、压接钳

压接钳是连接导线的一种工具。

1. 液压导线压接钳

液压导线压接钳主要依靠液压传动机构产生压力达到压接导线的目的。适用于压接多股铝芯、铜芯导线，作中间连接和封端，是电气安装工程方面压接导线的专用工具，用途较广，如图 1-49 所示。

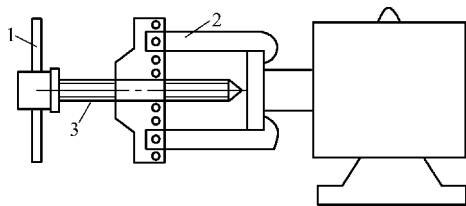


图 1-48 拆卸器

1—扳手 2—可调节抓手 3—螺杆

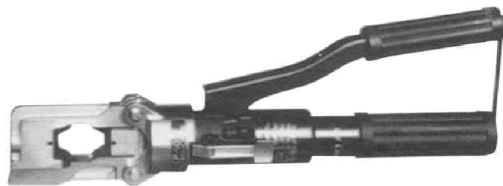


图 1-49 液压导线压接钳实物图

液压导线压接钳全套压模规格为 16mm^2 、 25mm^2 、 35mm^2 、 50mm^2 、 70mm^2 、 95mm^2 、 120mm^2 、 185mm^2 及 240mm^2 等。压接范围是：压接铝芯导线截面积为 $16 \sim 240\text{mm}^2$ ，压接铜芯导线截面积为 $16 \sim 150\text{mm}^2$ 。压接形式是六边形围压截面。

2. 手动导线压接钳

1) 手动导线压接钳如图 1-50 所示。可压接导线截面积为 $6 \sim 240\text{mm}^2$ 。压接形式是围压、点压。



图 1-50 手动导线压接钳实物图

2) 手动电缆导线机械压接钳，分别适用于中、小截面积的铜芯或铝芯电缆接头的冷压和中、小截面积各种导线的钳压连接。

使用压接钳时，应根据导线截面积选择适当规格的压模，不能混用。各种导线压接钳的使用范围见表 1-3。

表 1-3 各种导线压接钳使用范围

名 称	型 号	适 用 导 线	配套模具/副
手动液压钳	SLY—240 型	JY16—240	10
	SYQ—12A 型	TJ16—150	
导线压线钳	JYJ— I	围压：LJ6—240 和 TJ6—185	12
	JYJ— II	围压、点压：LGJ6—300	13
手动导线机械压接钳	SXQ—16（X）型	钳压：LJ16—185 和 LGJ35—240	9
手动电缆机械压接钳	SXQ—16（L）型	环压：L10—240 和 T10—250	11
		点压：L25—240 和 T35—150	9
压接断线两用大剪刀	NIJ—1	LJ25—70 LGJ25—70	8
	NIK—2	LJ95—185 LGJ95—120	9
液压（脚踏式）导线压接钳	YTY—240	TJ16—240	围压

3) 压接断线两用大剪刀，如图 1-51 所示，具有一具两用、操作简单的特点。

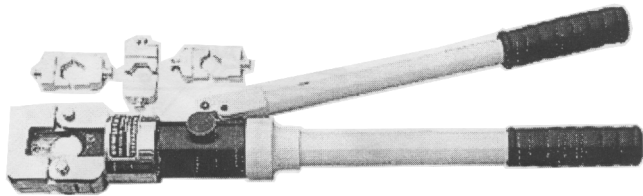


图 1-51 液压断线、压接两用钳

十二、断线钳

断线钳专用于剪断直径较粗的金属丝、线材及电线电缆等（见图 1-52）。它有铁柄、管柄和绝缘柄 3 种形式，其中带绝缘柄的断线钳可用于带电场合，其工作电压为 1000V 以下。

十三、金属直尺

金属直尺是用厚 1mm、宽 25mm 的不锈钢板制造的。尺的一端是直边，叫做工作端边，尺的长度有 150mm、200mm、300mm、1000mm 和 1500mm 等，其外形如图 1-53 所示。

十四、钢卷尺

钢卷尺分为自卷式卷尺（小钢卷尺）、制动式卷尺（小钢卷尺）和摇卷式卷尺（大型卷尺）3 种。其规格品种见表 1-4。

十五、游标卡尺

游标卡尺用于测量物体的长、宽、高、深和圆环的内、外直径。其实物如图 1-54 所示。



图 1-52 断线钳实物图

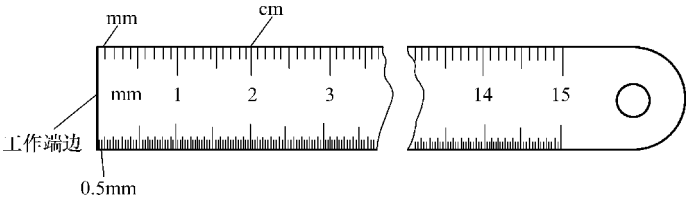


图 1-53 金属直尺的外形示意图

表 1-4 钢卷尺的规格品种

品种	自卷式、制动式	摇卷式
测量上限/m	1、2、3、4、5、6	5、10、15、20、30、50、100

游标卡尺的主要部分是一条尺身和一条可以沿主尺滑动的游标。由尺身和游标分别构成（见图 1-55）内、外测量爪，内测量爪用于测量槽宽度和管的内径，外测量爪用于测量零件的厚度和管的外径，深度尺用于测量槽和筒的深度。



图 1-54 游标卡尺实物图

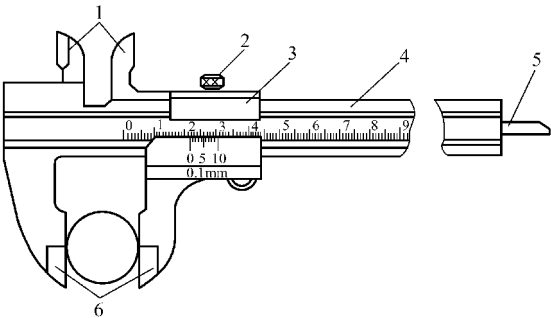


图 1-55 游标卡尺外形示意图

1—内测量爪 2—紧固螺钉 3—游标
4—尺身 5—深度尺 6—外测量爪

尽管各种游标卡尺的游标的长度不同，分度格数不同，但基本原理和读数方法是一样的。以 10 分度游标为例，尺身的最小分度是 1mm，游标上有 10 个小的等分刻度，游标尺上

每一小分度线之间的距离为 0.9mm，从“0”线开始，每向右一格，增加 0.1mm。

1. 操作方法

测量前，要做“0”标志检查，即将测量爪合在一起（即零刻度）时，游标的零刻度线与尺身的零刻度线重合。当外测量爪夹一工件时，游标对在尺身上某一位置，从尺身上给出 $X = 21\text{mm}$ ，再细心观察游标上的哪一根分刻度线与尺身上分刻度对得最齐。在图

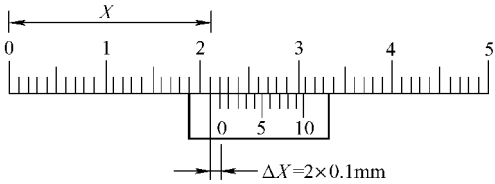


图 1-56 游标卡尺的读法

1-56 中，第 2 根分刻线对得最齐，所以游标给出 $\Delta X = 0.2\text{mm}$ ，则工件总长度为 $21\text{mm} + 0.2\text{mm} = 21.2\text{mm}$ 。

2. 使用游标卡尺注意事项

- 1) 读数时要防止视觉误差，要正视，不可旁视。
- 2) 在测量爪卡住被测物体时，松紧要适当，当需要将被测物体取下读数时，要旋紧紧固螺钉。
- 3) 注意保护内、外测量爪。使用完毕后，应把游标卡尺放在专用盒内，不可与其他工具叠放在一起。

1.2.2 常用指示仪表的使用

电工仪表是实现电磁测量过程所需技术工具的总称，一般用来测量电压、电流、电阻、电功率、电能、相位、频率、功率因数等。

一、电工仪表的分类

电工仪表的分类见表 1-5。

表 1-5 电工仪表的分类

按测量对象分	按电流的性质分	按使用方式分	按使用条件分	按准确度分
1. 电流表（安培表、毫安表、微安表） 2. 电压表（伏特表、毫伏表、微伏表以及千伏表） 3. 功率表（瓦特表） 4. 电能表、欧姆表、相位表等	1. 直流仪表 2. 交流仪表 3. 交直流两用仪表	1. 安装式仪表（或称为板式仪表） 2. 便携式仪表等	A、A1、B、B1 和 C5 组。有关各组仪表使用条件的规定可查阅有关的国家标准	0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 共 7 个准确度等级

二、电工仪表的测量误差和准确度等级

1. 测量误差

在测量过程中，由于受到测量方法、测量设备、测量条件及测试经验等多方面因素的影响，测量结果不可能是被测量的真实值，而只是它的近似值，任何的测量结果与被测量的真实值之间总是存在着差异，这种差异称为测量误差。

2. 准确度等级

电工仪表分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 共 7 个准确度等级。不同准确度

等级的电工仪表的基本误差也不同，见表 1-6。

表 1-6 不同准确度等级的电工仪表的基本误差

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差（%）	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0	±1.5	±2.5	±5.0

三、电工仪表的型号

仪表的产品型号可以反映出仪表的用途和工作原理。产品型号是按规定的标准编制的，对安装式和可携式仪表的型号规定了不同的编制规则。

1. 安装式仪表型号的组成

安装式仪表型号的编制规则如图 1-57 所示。

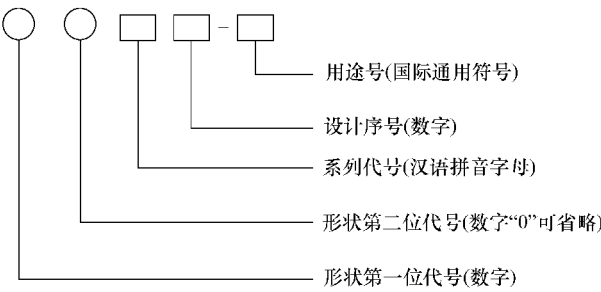


图 1-57 安装式仪表型号的编制规则

其中，形状第一位代号按仪表面板形状最大尺寸编制；形状第二位代号按外壳形状尺寸特征编制；系列代号按测量机构的系列编制，见表 1-7。

表 1-7 系列代号编制表

系列	磁电系	电磁系	电动系	感应系	整流系	静电系	电子系
代号	C	T	D	G	L	Q	Z

例如，44L2—V 型电压表，型号中的“44”为形状代号，可以从有关标准中查出其外形和尺寸，“L”表示该表是整流系仪表，“2”表示设计序号，“V”表示该表用于测量电压。

2. 可携式仪表型号的组成

电子可携式仪表不存在安装问题，所以将安装式仪表型号中的形状代号省略，即是它的产品型号。例如，T62 - V 型电压表，“T”表示该表是电磁系仪表，“62”表示设计序号，“V”表示该表是电压表。

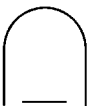
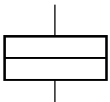
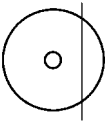
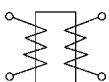
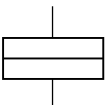
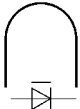
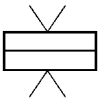
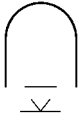
四、电工仪表的标志

电工仪表的表盘上有许多表示其基本技术特性的标志符号，根据国家标准的规定，每一种仪表必须有表示测量对象单位、准确度等级、工作电流种类、相数、测量机构的类别、使用条件组别、工作位置、绝缘强度试验电压大小、仪表型号和各种额定值等标志符号。常见电工仪表和附件的表面标志符号见表 1-8 ~ 表 1-10。

表 1-8 常见电工仪表工作电流种类的符号

名称	直流	交流	直流和交流	具有单元件的三相平衡交流负载
符号				

表 1-9 常见电工仪表工作原理的图形符号

名称	符号	名称	符号
磁电系仪表		铁磁电动系仪表	
磁电系比率表		铁磁电动系比率表	
电磁系仪表		感应系仪表	
电磁系比率表		静电系仪表	
电动系仪表		整流系仪表（带半导体整流器和磁电系测量机构）	
电动系比率表		热电系仪表（带接触式热变换器和磁电系测量机构）	

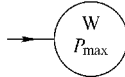
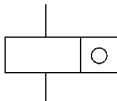
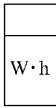
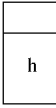
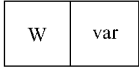
五、万用表

万用电表简称万用表，又称为万能表、多用表。它是一种多功能、多量限便于携带的电工用表，一般的万用表可以用来测量直流电流、电压，交流电流、电压，电阻，电感，电容，音频电平 parameters，有的万用表还可以用来测量二极管、晶体管的参数。

万用表有指针式万用表和数字式万用表两种。

指针式万用表主要由表头、测量电路、转换开关等组成。其原理是把被测量转换成直流电流信号，使磁电系表头指针偏转。

表 1-10 常见电工仪表的图形符号

图形符号	名称及说明	图形符号	名称及说明	图形符号	名称及说明
	提示仪表（星号按规定的文字或图形符号代替）		波长表		温度计和高温计
	电压表		示波器		最大需量指示表 （由一台积算仪表操纵）
	电流表		差动电压表		脉冲计（电动计数器件）
	无功电流表		检流计		相位表
	功率表		盐度计		频率表
	无功功率表		积算仪表（星号按规定的文字或图形符号代替）		转速表
	功率因数表		电能表（瓦时计）		记录式功率表
	记录仪表（星号按规定的文字或图形符号代替）		小时计时器		记录式示波器
	同步表		组合式记录式功率表和无功功率表		

1. 指针式万用表的使用

1) 仪表的放置与零位检查。万用表使用时,要把表平放;检查指针是否指在零位,如不在零位,应进行调节。

2) 插孔(或接线柱)的选择。测量前应检查测试表笔应接在什么位置。红表笔应接在红色或标有“+”的插孔内(或接线柱上),黑表笔应接在黑色或标有“-”或“*”的插孔内(或接线柱上),这样测量直流电参量时,永远红表笔接正极,黑表笔接负极,可防止因极性接反而烧坏仪表。有些万用表对特殊量的测量有专门的插孔(如MF500A型万用表面板上有5A和2500V两个专用插孔),在测量特殊量时应把红表笔插到相应的专用插孔内。

3) 测量挡位的选择。使用时应根据不同的测量对象,将转换开关旋至相应的挡位上。有的万用表有两个转换开关旋钮,使用时要相互配合。例如MF500A型万用表,一个是测量挡位转换,一个是倍率转换。在进行挡位选择时,应特别小心,稍有不慎就有可能损坏仪表。特别是测量电压时如误选了电流或电阻挡,将会使表头损坏。所以选择了测量种类后,应仔细检查无误后再进行测量,特别是测试过程中改变被测量时更应小心。

4) 量程的选择。测量电流电压时,应尽量使指针工作在满刻度的 $1/2 \sim 2/3$ 以上的区域;测量电阻时,应尽量使指针指示在量程的 $1/3 \sim 2/3$ 位置处。如果测量前无法估计被测量的大致范围,则应先把转换开关旋至量程最大的位置进行粗测,然后再选择适当的量程进行准确测量。改变量程时,必须将万用表与电路分离。

5) 测量电压。测量电压时,电表应和被测电路并联,如被测量为直流,还应注意极性;如测前不知极性,可选电压最高一挡测量范围,然后两表笔快接快离。注意表的偏转方向,以辨别正负。测1000V以上的高电压时,必须使用专用的绝缘表笔和引线,先将接地表笔接好(一般为负极),然后一只手拿另一支表笔接在高压测量点上。千万不要两手同时拿着表笔,空闲的一只手也不要接触接地的金属元器件上。表笔、手指、鞋底等应保持干燥,必要时戴上橡胶手套或站在橡胶垫上。测量时最好另有一人看表,以免一人只顾看表而使手触电。

6) 测量电流时万用表应与被测电路串联,测量直流电流时还应注意极性。测量大电流时要注意接触点连接紧密可靠。

7) 测量电阻。

① 调零。每一次测量电阻都必须调零,改变欧姆倍率挡后也必须重新进行调零。当调零无法达到欧姆表零位时,则说明电池电压太低,应更换电池。

② 不允许带电测电阻。若带电测量,不仅测量不准而且有可能烧坏表头。所以测量前应先切断电源。电路中有电容时应先放电然后再测量。

③ 被测电阻不能有并联支路,否则其测量值是被测电阻与并联支路的电阻并联后的等效电阻。所以,如果不能确定被测电阻上是否有并联支路,必要时应将被测电阻一端从电路中断开再进行测量;而且,测量电阻时不能用手接触两表笔的金属部分,特别是在测量高阻值电阻时更应注意。

④ 万用表欧姆挡不能直接测量微安表、检流计等表头的电阻,也不能直接测标准电池。

8) 用欧姆挡测晶体管参数。用欧姆挡测晶体管参数时,一般应选用 $R \times 100$ 挡或 $R \times 1k$ 挡。因为晶体管所能承受的电压较低,允许通过的电流较小。万用表欧姆低倍率挡的内阻较

小，电流较大，如 $R \times 1$ 挡的电流可达 100mA， $R \times 10$ 挡电流可达 10mA；高倍率挡的电池电压较高，一般 $R \times 10k$ 以上倍率挡电压可达十几伏，所以一般不宜用低倍率挡或高倍率挡去测晶体管的参数。注意万用表的红表笔与表内电池负极相连，黑表笔与电池正极相连。

9) 正确读数。万用表的表面有很多刻度标尺，应根据被测量的量限在相的标尺上读出指针指示的数值。另外，读数时应尽量使视线与表面垂直，对有反光镜的万用表，应使指针与其相重合，再进行读数。

10) 注意操作安全：

① 不允许用手接触表笔金属部分，否则会引起触电或影响测量准确度。

② 不允许带电旋转转换开关，特别是在测量高电压和大电流时。否则，在转换过程中，转换开关的触刀和触点分离和接触瞬间产生电弧，使触点损坏。

③ 万用表使用完毕，应将表笔从插口中拔出，并将转换开关置“OFF”位置或交流电最高挡。

11) 其他注意事项。

① 万用表不能靠近强磁场区（如发电机、电动机等），要防止剧烈振动，不要放在潮湿或高温处。

② 在干燥的天气，万用表表面的玻璃与指针之间易发生静电吸引现象，使指针停在某一刻度不回到零位，这时可站在地上（不绝缘），用湿润的绒布擦拭表盘，指针可返回零位。

③ 测量交流电压时，应考虑电压的波形，因万用表交流电压的刻度是按“正弦电压经整流后的平均值换算到交流有效值”来记刻度的，所以不能用来测量非正弦有效值（非正弦电压或电流有效值一般可用电动系或电磁系仪表来测量）。

12) 指针式万用表常见故障及原因见表 1-11。

表 1-11 指针式万用表常见故障及原因

故障位置	故障现象	可能原因
表头部分	摇动表头，指针摆动不正常，指针停止不动或摆动很大而无阻尼	1) 游丝被绞住 2) 支撑部位被卡住 3) 机械平衡不好 4) 表头断线或分流电阻断开 5) 游丝断
直流电流部分	无指示	1) 表头被短路 2) 表头线路脱焊或动圈断路 3) 表头串联电阻损坏或脱焊 4) 分挡开关没接好
	在同一量限内各量限误差不一，有正也有负	1) 分流电阻某一挡接触不良或阻值增大，此时一般先正差，后负差 2) 分流电阻某一挡因烧坏而短路或阻值变小。此时一般先负差，后正差，转到哪一挡的分流电阻出现正负误差，就是故障所在

(续)

故障位置	故障现象	可能原因
直流电流部分	各挡示值偏高	1) 与表头串联的电阻值变小 2) 分流电阻值偏高 3) 表头灵敏度偏高 (如重绕动圈或换了游丝后)
	各挡示值偏低	1) 与表头串联的电阻值变大 2) 分流电阻值偏低 3) 表头灵敏度偏低
	小量程时指示很快但较大量程无指示	分流电阻损坏或脱焊
	相串联的标准表有显示, 而被校表无指示	1) 表头线圈脱焊或动圈短路 2) 表头被短路 3) 与表头串联的电阻损坏或脱焊
直流电压部分	无指示	1) 电压部分开关公用焊接点脱焊 2) 最小量程挡附加电阻断线或损坏
	某量限通, 其他量限正常	1) 转换开关接触不好或断开 2) 转换开关触点与附加电阻脱焊
	小量限误差大, 量限增大误差减少	小量限附加电阻有故障
	某量限明显不准, 其前准确, 其后误差随量限增大而减小	该挡附加电阻有故障
	某量限后无指示	出现故障的那一挡附加电阻断路
交流电压部分	误差很大, 低 1/2 左右	全波整流电路中有一片被击穿
	示值很小或只有轻微摆动	整流器被击穿
	各挡示值均偏低	整流器性能变差, 反向电阻减小
	小量限误差大, 量限增大误差减少	1) 最小量限附加电阻阻值增大 2) 表头并联可变电阻活动触点接触不良
电阻挡部分	表笔短接指针无指示	1) 转换开关公共接触点引线断 2) 调零电位器中心焊点引线断 3) 调零电位器可动触点串联电阻断
	指针调不到零位	1) 电池容量不足 2) 转换开关接触不良, 电阻增大 3) 调零电位器动触点串联电阻阻值增大
	调零时指针跳动不定	1) 调零电位器接触不良 2) 调零电位器阻值变大
	个别量限误差很大	该挡分流电阻变值或烧坏
	个别量限不通	1) 转换开关接触不良 2) 该挡串联电阻开路 3) 该挡与表头部分并联的电阻烧断

2. 数字式万用表的使用

数字式万用表采用数字显示代替传统万用表的指针指示。数字式万用表具有很高的灵敏度和准确度, 显示清晰美观, 便于观看, 且具有无视差、功能多样、性能稳定、过载能力强

等优点，因而得到广泛的应用。

(1) 数字式万用表的组成

数字式万用表由信号调节器、直流数字电压表和电源三大块组成，如图 1-58 所示。其中，信号调节器主要是进行被测参数与直流电压之间的转换，一般包括直流衰减器（进行直流测量）、A-D 转换（进行交流测量）、I-V 转换（进行电流测量）、Ω-V 转换（进行电阻测量）等几个主要部分。直流数字电压表由 A-D 转换、计数器、译码显示器和控制器等组成。

DT-890 系列万用表是我国当前较为流行的三位半数字式万用表。

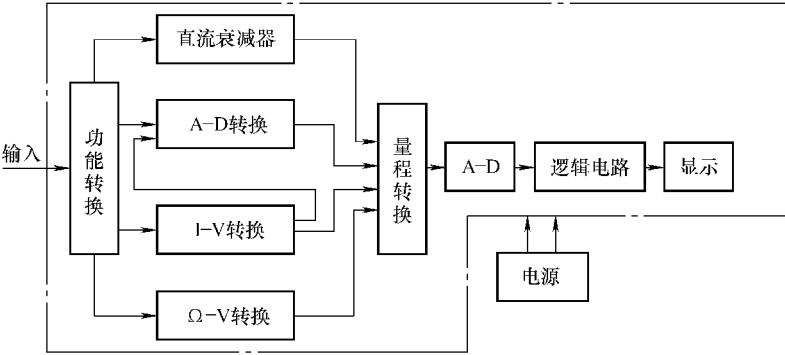


图 1-58 数字式万用表的组成

(2) DT-830 型万用表的外形结构

DT-830 型万用表的面板如图 1-59 所示。主要包括显示器部分、电源开关、量程选择开关、 h_{FE} 插口、输入插孔、输出插孔和电池盒等组成。

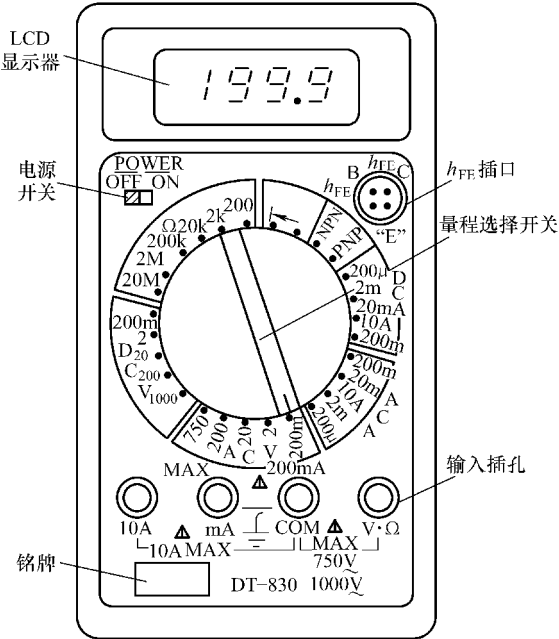


图 1-59 DT-830 型万用表的外形结构

1) 显示器: 采用三位半大字号 LCD 显示器, 最大显示值为 199.9。仪表具有自动调零和自动极性显示功能, 如果被测电压或电流为负, 则自动显示负号, 仪表还具有电池电压不足提示功能、超量限指示功能等。

2) 电源开关: 字母“POWER (电源)”置“ON”为开, “OFF”为关。

3) 量程开关: 为 6 刀 28 掷开关, 可用万用表的面板完成测试功能与量程的选择。

4) h_{FE} 插口: 采用四芯插座, 标有 B、C、E (E 有两个, 内部连通)。用于测量晶体管的 h_{FE} 。

5) 输入插孔: 共有 4 个输入插孔, 分别标有“10A”、“mA”、“COM”和“V· Ω ”, 在“V· Ω ”与“COM”之间标有 750 $\tilde{V}$ 和 1000 $\tilde{V}$, 表示从这两个插孔输入的最大交流电压不得超过 750V (有效值), 最大直流电压不得超过 1000V, 在“mA”与“COM”之间标有 MAX 200mA, 表示最大输入电流为 200mA; 在“10A”与“COM”之间标有“10A MAX”表示最大输入电流 10A。

6) 电池盒: 位于后盖下方, “OPEN”表示打开熔丝 (0.5A) 也装于其中。

(3) 使用方法

1) 测量直流电压: 电源开关置“ON”(下同), 量程开关置“DC V”内合适量程 [未知被测量大小时, 先用量限的最高挡 (下同)], 红表笔接“V· Ω ”孔, 黑表笔接“COM”孔。

2) 测量交流电压: 量程开关置“AC V”内合适量程, 红表笔插入“V· Ω ”孔, 黑表笔插入“COM”孔。对被测交流量, 要求频率为 45 ~ 500Hz, 最大允许输入电压 750V。

3) 测量直流电流: 量程开关置“DC A”范围内合适挡, 红表笔接“mA”孔, 黑表笔接“COM”孔。当被测电流在 200mA ~ 10A 之间时, 量程开关应接 200mA/10A 挡, 红表笔接“10A”孔。

4) 测量交流电流: 量程开关置“AC A”范围内合适挡, 表笔接法同 3)。

5) 测量电阻: 量程开关置“ Ω ”范围内合适挡, 红表笔连接“V· Ω ”孔, 黑表笔接“COM”孔。

注: 200 Ω 挡的最大开路电压为 1.5V, 其余电阻挡约为 0.75V。

6) 测量二极管: 量程开关置二极管挡, 红表笔连接孔, 接二极管正极; 黑表笔接“COM”孔, 接二极管的负极 (开路电压为 2.8V)。测试电流为 (1 ± 0.5) mA, 测锗管应显示 0.150 ~ 0.300V, 测硅管应显示 0.550 ~ 0.700V。

7) 测量晶体管: 根据晶体管选择“PNP”或“NPN”挡, 把管子的电极插入 h_{FE} 插孔内。

8) 检查电路通断: 量程开关置蜂鸣器挡, 红表笔连接“V· Ω ”孔, 黑表笔接“COM”孔。当被测电路电阻低于 (20 ± 10) Ω 时, 蜂鸣器发出声响, 表示该段电路是通的。

(4) 使用注意事项

1) 使用前认真阅读说明书, 熟悉仪表面板结构, 弄清面板上各开关、旋钮和插孔等的作用及其使用方法。

2) 不应在高温 (超过 400 $^{\circ}\text{C}$)、低温 (低于 0 $^{\circ}\text{C}$)、高湿 (相对湿度高于 80%) 以及阳光直射情况下使用和保存。

3) 如果事前无法估计被测电流或电压的大小, 应先用其量程最高挡测量, 然后再选用

合适的量程。

4) 数字式万用表的输入阻抗很高,当两表笔开路时,外界干扰会从输入端窜入,显示出没有规律变化的数字,这属于正常现象,一般情况下不会影响测量准确性,但当被测电压很低,其内阻又超过时,就会引入外界干扰,必要时可把表笔改接成屏蔽线,将金属屏蔽层接通大地,可消除表笔感应进去的干扰信号。

5) 测交流时应用黑表笔(与“COM”孔相连)接被测电压的低电位端(如信号发生器的公共地端或机壳),以消除仪表对地分布电容的影响,减少误差。

6) 数字式万用表交流挡反映的被测信号为正弦量时,与其平均值成正比的量(仅通过调节有关电阻,显示有效值),所以不能用于直接测量非正弦量的电压,如方波、矩形波、三角波、锯齿波等。当正弦信号的非线性失真大于5%时,测量误差会明显加大。

7) 不宜在测量电压、电流时转换量程开关,严禁在测高电压(220V以上)或大电流(0.5A以上)时拨动量程开关,以防产生电弧、烧坏开关触点。

8) 严禁带电测电阻。

9) 在测量电阻或检测二极管时,红表笔接“V·Ω”孔,带正电;黑表笔接“COM”孔,带负电,这与模拟式万用表正好相反。

10) 使用 h_{FE} (晶体管电流放大倍数)插孔测量晶体管时,由于测试电压较低,向被测晶体管基极提供的电流仅 $10\mu A$ 左右,集电极电流 I_C 也较小,所以,被测晶体管在低电压小电流下工作,测出的 h_{FE} 仅作参考。对于穿透电流较大的锗管 h_{FE} 的测量值比专用仪器测量值偏高20%~30%。

(5) 数字式万用表的检修

1) A-D转换器是数字式万用表的“心脏”,一旦数字式万用表发生故障,应首先检查和判断故障现象是在某一挡还是每一挡都存在。对所有挡都不能工作,应首先检查A-D转换电路和电源电路;若仅某一挡有问题,其余挡正常,说明A-D电路和电源电路正常。

2) 直流200mV是三位半数字式万用表的基本量程,其余量程大多是在此基础上扩展而成。因此,检修数字式万用表时,首先应检查该挡是否正常工作,并判断故障是在A-D部分,还是在其他电路上。

数字式万用表的故障检修比较复杂,不同的型号所使用的元器件也不一定相同,维修时要区别对待,这里不多赘述。

六、钳形电流表

钳形电流表不需要断开被测电路就能进行电流测量,它的准确度较低,但因为使用非常方便,所以在维护工作中得到广泛的应用(见图1-60)。

1. 结构原理

钳形电流表的结构如图1-61所示。它由电流互感器和整流系电流表组成。电流互感器的铁心可以开合,当捏紧扳手时,铁心张开,让被测电流导线进入铁心中,然后放手松开扳手,使铁心闭合。这时,通过电流的导线相当于电流互感器的一次绕组。二次绕组已在仪表内接好,通过整流电路与电流表连接。通过电流表可指示出被测电流的大小。

2. 使用方法

(1) 机械调零

使用前,检查钳形电流表的指针是否指向零位。如发现没指向零位,可用螺钉旋具轻轻



图 1-60 钳形电流表实物图

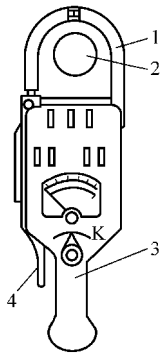


图 1-61 钳形电流表的外形示意图

1—钳形铁心 2—钳口 3—手柄 4—铁心开口按钮

旋动机械调零旋钮，使指针回到零位。

(2) 清洁钳口

测量前，要检查钳口的开合情况以及钳口面上有无污物。如钳口面有污物，可用溶剂洗净，并擦干；如有锈斑，应轻轻擦去。

(3) 选择量程

测量时，应将量程选择旋钮置于合适位置，使指针偏转后能稳定停留在某刻度上，以减少测量误差。测量较小电流时，为了使读数准确，在条件许可时，可将被测导线多绕几圈后放进钳口进行测量，被测电流等于仪表的读数除以放进钳口中的导线圈数。

(4) 读取数值

紧握钳形电流表手柄，按动铁心开口按钮打开钳口，将被测线路的一根载流导线置于钳口内中心位置，再松开铁心开口按钮，使两钳口表面紧紧贴合，将表持平，然后读数，即为测得的电流值。

(5) 高量程挡存放

测量完毕，退出被测电线。将量程选择旋钮置于高量程挡，以免下次使用时不慎损伤仪表。

3. 钳形电流表的日常维护

1) 钳形电流表的准确度比较低，一般在 2.5 级以下，通常在不便于拆线或不能切断电路的情况下进行测量。

2) 为使读数准确，钳口的结合面应保持良好的接触，如有杂声，应将钳口重新开合一次。若杂声依然存在，应检查钳口处有无污垢存在，如有，可用汽油擦拭干净。

3) 测量完毕一定要把仪表的量程选择旋钮置于最大量程，以防下次使用时，因疏忽大意而造成损坏仪表的意外事故。

七、绝缘电阻表

绝缘电阻表用于测量电动机、电器和线路的绝缘电阻。

1. 绝缘电阻表的结构原理

绝缘电阻表的基本结构是由直流高压电源和磁电系比率表两部分组成的。直流高压电源多由手摇发电机产生，也有用 220V 交流电经晶体管整流而来，还有用于电池经晶体管电路转换而来的。

绝缘电阻表的原理如图 1-62 所示，图中点画线框内为绝缘电阻表的内部电路，固定在同一轴上的两线圈 1、2 相交成一定的角度。一个线圈与电阻 R_2 串联，另一个线圈与 R_1 及被测电阻 R_x 串联，两支路并联后接到手摇发电机 G 的两端。当摇动发电机时，两线圈中同时有电流流过，与永久磁铁作用产生方向相反的转矩，使可动部分偏转，其偏转角与两电流比值大小成反比。绝缘电阻表有 3 个接线端子，分别为“地”（或“E”）、“电路”（“L”或“线”）、“保护”（“G”或“屏”）。

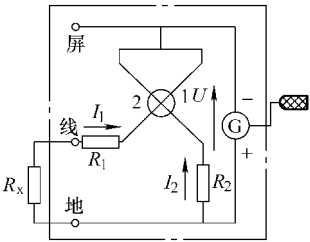


图 1-62 绝缘电阻表的结构原理示意图

2. 绝缘电阻表的使用

(1) 绝缘电阻表电压等级的选择

一般额定电压在 500V 以下的电气设备，要选用额定电压为 500 ~ 1000V 的绝缘电阻表，额定电压在 500V 以上的电气设备应选用 1000 ~ 2500V 的绝缘电阻表。特别注意不要用输出电压太高的绝缘电阻表测量低压电气设备，否则有可能把被测设备损坏。绝缘电阻表常见故障及排除方法见表 1-12。

表 1-12 绝缘电阻表常见故障及排除方法

常见故障	可能原因	排除方法
指针不到“∞”	1) 导丝变质、变形，残余转矩增大 2) 发电机电压不足 3) 电压回路的电阻变质 4) 电压线圈间短路或断线	1) 修理或更换导丝 2) 修理发电机 3) 更换回路电阻 4) 重绕电压线圈
指针不到“0”	1) 导丝变质、变形 2) 电流线圈电阻变化：电阻增大，指针不到零位；电阻减小，超过零位 3) 电压线圈电阻变化：电阻减小，指针不到零位；电阻增大，超过零位 4) 电流线圈或零点平衡线圈有短路或断线	1) 修理或更换导丝 2) 更换电流回路电阻 3) 更换电压回路电阻 4) 重绕电压线圈
发电机发不出电压或电压很低	1) 线路接头断线 2) 绕组断线 3) 电刷磨损、接触不好	1) 检查线路，焊牢断线 2) 重绕线圈 3) 更换电刷 4) 焊牢断线，调整接触面

(续)

常见故障	可能原因	排除方法
摇发电机时：摇不动/有抖动/有卡碰现象/摇动很重	1) 轴承脏、严重缺油 2) 轴承弯曲 3) 发电机转子与磁轭相碰 4) 各齿轮间啮合不好	1) 拆洗轴承，重新上油 2) 校直 3) 拆下发电机检查 4) 调整齿轮位置，特别是偏心轮位置
摇发电机时有大滑现象	1) 偏心轮固定螺钉松动 2) 调速器弹簧或其弹性失灵	1) 调整偏心轮位置 2) 转动调速器螺母，拉紧弹簧，使摩擦轮压紧摩擦轮

(2) 接线

绝缘电阻表 3 个接线柱接法如下：

- 1) “电路”（或“线”、“L”）：与被测物体上和大地绝缘的导体部分相接。
- 2) “地”（或“E”）：与被测物体的外壳或其他导体部分相连。
- 3) “保护”（或“屏”）：只有在被测体表面漏电很严重的情况下才使用本端子。

例如：测量电动机或变压器的线圈对地绝缘电阻时，将绕组导线接于“电路”柱上，设备外壳和铁心接于“地”柱上，瓷套管表面绕几圈导线并接于“保护”柱上。测量电缆的芯线对外壳绝缘时，将电缆的芯线接“电路”柱，外壳接“地”柱，芯线的绝缘物接“保护”柱。

(3) 测量前的检查

1) 使用绝缘电阻表前，应对绝缘电阻表进行一次开路和短路试验，检查仪表是否良好，即在未接被测设备时，摇动绝缘电阻表到额定转速，指针应指到无穷大（∞）；然后将“线路”和“地”短接，缓慢摇动手柄，指针应指在零处。否则说明绝缘电阻表有故障。

2) 测试前应将被测设备的电源切断，并接地短路放电 2 ~ 3min，对含有大容量电感、电容等元件的电路也应先放电后测量。绝不允许绝缘电阻表测量带电设备的绝缘电阻。

(4) 测量

将手摇发电机手柄由慢到快地摇动，若发现指针指零，说明被测绝缘物有短路现象，应立即停止摇动手柄，以免绝缘电阻表过热损坏；若指示正常，则应使转速平稳，且在额定的范围内（一般规定为 120r/min ± 24r/min），等指针稳定后再读数。

(5) 测试完毕后的处理

测试完毕后，当绝缘电阻表没有停止转动或被测物没有对地放电前，不可用手去触及被测物的测量部分，也不可进行拆线工作。特别是测量有大电容的电气设备时，必须先将绝缘电阻表与被测物断开，再停止手柄转动。这主要是为了防止电容放电损坏绝缘电阻表。

八、功率表

功率在直流电路中能反映被测电路中电压和电流的乘积（ $P = UI$ ），在交流电路中除反映电流与电压之乘积外，还能反映其功率因数。

功率表俗称电力表（见图 1-63），多采用电动系结构，既能测直流也能测交流；既可测正弦电路，也可测非正弦电路的功率。

部分常用携带式单相功率表的规格型号见表 1-13。



图 1-63 功率表实物图

表 1-13 部分常用携带式单相功率表的规格型号

名称	型号	额定电流/A	额定电压/V	准确度	接入方式及用途
单相 功率表	D19—W	0 ~ 0.5 ~ 1, 0 ~ 2.5 ~ 5, 0 ~ 5 ~ 10	0 ~ 150 ~ 300	0.5	直接, 携带式
	D26—W	0 ~ 0.5 ~ 1, 0 ~ 1 ~ 2, 0 ~ 2.5 ~ 5, 0 ~ 5 ~ 10, 0 ~ 10 ~ 20	0 ~ 15 ~ 75 ~ 300 0 ~ 150 ~ 250 ~ 500 0 ~ 150 ~ 300 ~ 600	0.5	直接, 携带式, 交、直流两用
	D51—W	0 ~ 2.5 ~ 5	0 ~ 75 ~ 150 ~ 240 ~ 600 0 ~ 48 ~ 100 ~ 240 ~ 480	0.5	直接, 携带式
三相 功率表	16D3—W	5	100, 127, 220	2.5	直接, 开关板 式, 交、直流两用
	16D12—W	5	127, 220	2.5	经电流互感器和 电压互感器
	19D1—W	5	100	2.5	直接, 开关板 式, 交、直流两用
		5	127, 220, 380	2.5	经电流互感器

1. 直流电路功率的测量

直流电路内负载功率 $P = UI$ 。因此只要用直流电流表和电压表测量出电路中的电流和电压值，两者相乘即可。当电压表的内阻 $R_V \gg$ 负载电阻 R_Z 时，可按图 1-64a 接线。当电流表内阻 $R_A \ll R_Z$ 时，可按图 1-64b 接线。如果用直流功率表来测量直流电路的功率，如图 1-65 所示接线，功率表的读数就是被测负载的功率值。

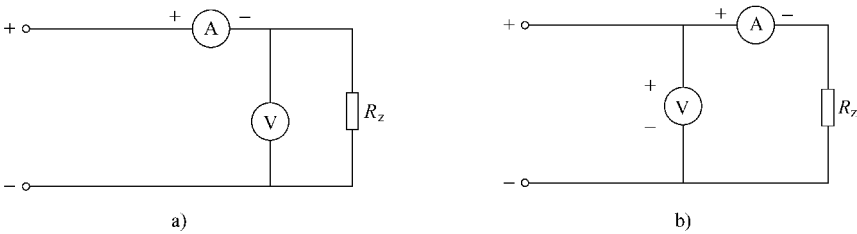


图 1-64 用直流电流表和电压表测量功率的电路
a) $R_V \gg R_Z$ 时 b) $R_A \ll R_Z$ 时

2. 单相交流电路功率的测量

在单相交流电路内，负载的功率 $P = UI\cos\varphi$ ，它可以用交流电流表、交流电压表和功率因数表测得的 3 个数值相乘求得。但由于此法用表较多，内阻影响大，又需同时读数，故一般不采用。常用的测量方法是用功率表直接测得。这是一种电动系交直流两用功率表，它由两组线圈组成：一组是电流线圈，负载电流通过它；一组是电压线圈。指针的偏转与负载的电压、电流以及它们的相位差的余弦乘积成正比，因此可以测量交流电路的功率。

由于它的测量与电流、电压之间的相位有关，所以电流线圈与电压线圈的接线必须按规定的连接，才能获得正确的测量值。仪表上注有“*”或“+、-”符号的端点应接

在一起，如图 1-65 所示。

要注意功率表的读数是偏移格数，而实际功率值还要经过计算。

当需要对高电压、大电流电路进行功率测量时，功率表的量程不够，可按图 1-66 所示接线。这时电路的功率为

$$P = P_1 K_1 K_2$$

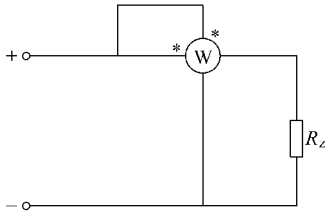


图 1-65 用功率表测量功率的电路图

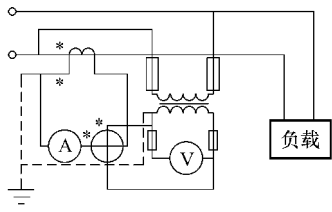


图 1-66 带有互感器的功率表测量功率的电路图

3. 三相交流电路功率的测量

在三相交流电路内，平均有功功率计算公式如下。

当负载星形联结时

$$P = U_{L1} I_{L1} \cos\varphi_{L1} + U_{L2} I_{L2} \cos\varphi_{L2} + U_{L3} I_{L3} \cos\varphi_{L3}$$

当三相电路完全对称时，三相电路的平均功率为

$$P = 3 U_x I_x \cos\varphi_x = \sqrt{3} UI \cos\varphi$$

式中 U_x 、 I_x ——相电压、相电流的有效值；

U 、 I ——线电压、线电流的有效值；

$\cos\varphi$ ——平均功率因数。

(1) 有功功率的测量

1) 三相四线制电路中有功功率的测量方法：用 3 只单相有功功率表按图 1-67 所示接线。此种方法无论三相电压是否对称，也无论三相电流是否平衡，测量的结果总是正确的。当三相电压全平衡且三相电流也完全对称时，可以用图中任何一只功率表来测量，然后把该表的读数乘以 3 就是三相有功功率值。

2) 三相三线制电路中有功功率的测量方法：

① 双功率表法。按图 1-68 所示接线，无论负载是星形联结还是三角形联结，三相功率值是两只功率表读数的代数和。此种测量方法，可以正确反映出三相三线制电路中的有功功

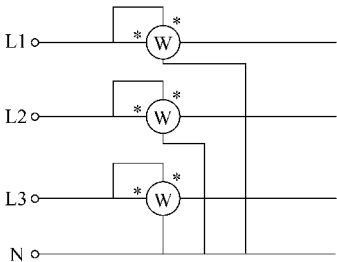


图 1-67 用 3 只单相有功功率表测三相四线制电路中有功率电路图

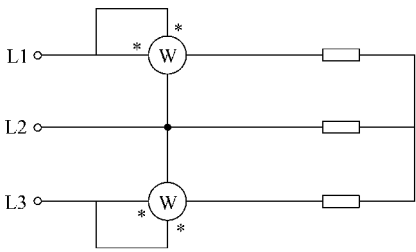


图 1-68 用两只单相有功功率表测三相三线制电路中有功率电路图

率，同时两个功率表的读数大小也可以反映出功率因数的变化。当 $P_{L1} = P_{L3}$ 时， $\cos\varphi = 1$ ；当 $P_{L1} = 0$ 时， $\cos\varphi = 0.5$ （感性）；当 $-P_{L1} = P_{L3}$ 时， $\cos\varphi = 0$ （感性）。应注意的是，每只功率表上承受的是线电压。

② 三相有功功率表法。用三相有功功率表进行测量的接线，如图 1-69 所示，三相有功功率表实际上相当于两个单相功率表组合在一起的铁磁电动系（或电动系）仪表。它有两个电压主线圈和两个电流线圈，分别接于电路之中，其内部接法就是如图 1-69 所示的双功率表法。当采用电压或电流互感器时，电路的实际功率 P 为电表的读数 P_1 乘以电压互感器和电流互感器的比率，即 $P = P_1 K_1 K_2$ 。

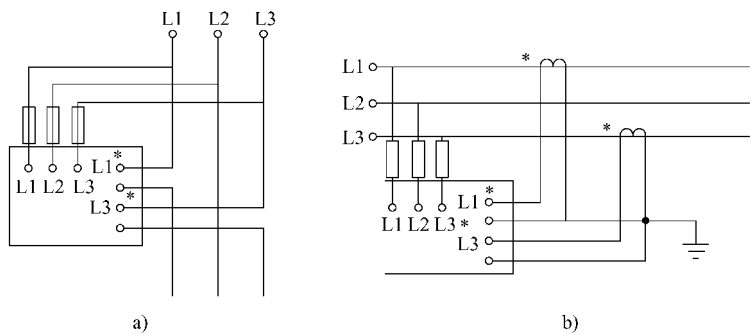


图 1-69 三相有功功率表的接线电路图
a) 直接接入法 b) 带有电流互感器的接法

(2) 无功功率的测量

如图 1-70 所示，用两只单相有功功率表，采用跨相 90° 接法，可以测量对称三相交流电路的无功功率。其值为两只有功功率表读数之和乘以 $\sqrt{3}/2$ ，单位为乏（var）。

九、电能表

电能表俗称为电能表（见图 1-71），是用来测量某一时间段发电机发出电能或负载消耗电能的仪表。

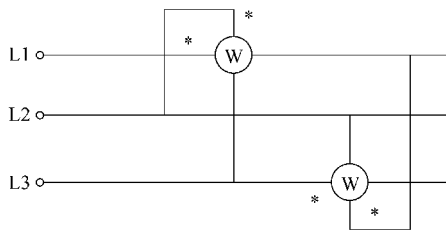


图 1-70 用两只单相有功功率表跨相 90° 测量三相电路中无功功率电路图



图 1-71 电能表实物图

根据工作原理分类，电能表可分为感应系和电子系，在一般情况下，大多采用交流感应

系电能表。根据接入方式分类,电能表可分为单相有功、三相三线有功、三相四线有功、三相三线无功和三相四线无功。根据付款方式,电能表可分为普通电能表和预付费电能表。

1. 感应系电能表

感应系电能表是利用电磁感应的原理制作的。它由载流线圈产生交变磁场,在可动部分导体中产生感应电流,感应电流又和交变磁场相互作用产生驱动转矩,使仪表工作。

(1) 单相电能表的结构和接线

单相电能表由驱动元件(包括电压元件和电流元件)、转动元件、制动元件和计数机构等组成,如图 1-72 所示。

单相电能表的接线如图 1-73 所示。其接线要求如下:

- 1) 按负载电流大小选择适当截面的导线,电能表的标定电流应等于或略大于负载电流。
- 2) 相线应接电流线圈首端(同名端一般用 * 或 + 号表示),零线应一进一出,相线、零线不能接反,否则会造成计量错误,甚至很不安全。
- 3) 电能表电压连接片(电压小钩)必须连接牢固。
- 4) 开关、熔断器应接在负载侧。

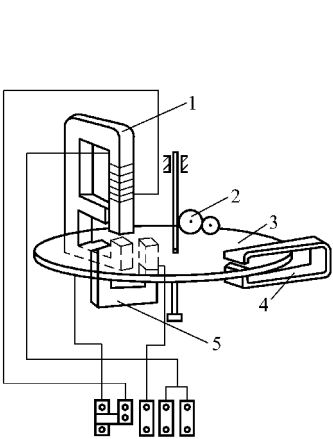


图 1-72 单相电能表的结构示意图
1—电压元件 2—计数机构 3—铝盘
4—制动元件 5—电流元件

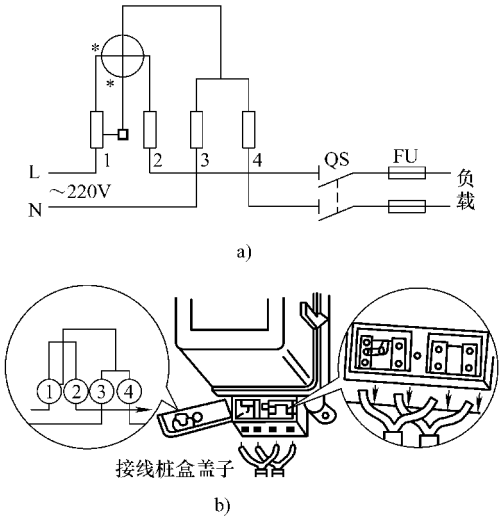


图 1-73 单相电能表的接线电路图、示意图
a) 原理电路图 b) 实物示意图

(2) 三相有功电能表的接线原理

三相有功电能表的接线原理如图 1-74 和图 1-75 所示。

2. 电子系电能表

由于微电子技术和计算机技术的发展,高精度、高可靠性的电子元器件以及大规模集成电路的大量应用,使得电能表的电子化成为可能。电子系电能表就是采用微电子技术来计量电能的仪表,如果采用微机芯片也可称智能化仪表。一般它采用超低功耗大规模集成电路和 SMT 工艺制造,由于没有感应式电能表的电压、电流元件的铁心和线圈,自身重量轻、功率消耗小,这大大提高了产品的节能性和可靠性,且延长了使用寿命;而且,它具有补遗、叠加、

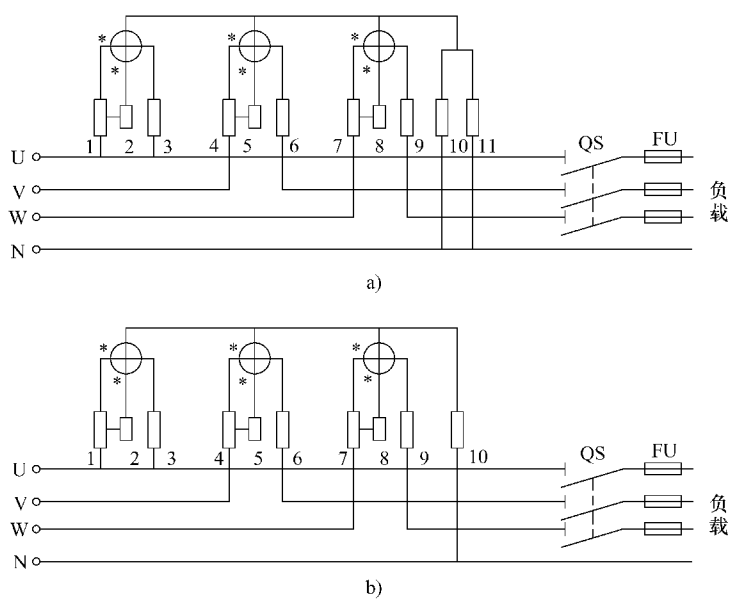


图 1-74 三相四线电能表的接线原理图
a) DT-25A 型 b) DT-40~80A 型

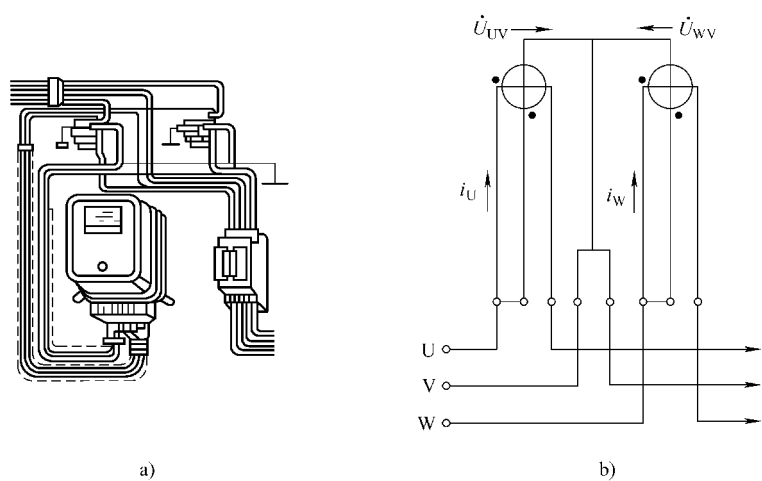


图 1-75 三相三线电能表的接线原理图
a) 实物示意图 b) 接线原理图

超容量报警、预警提醒、断电警告、自动拉闸断电、使用各种特殊软件（如防窃电软件）及与计算机直接联网进行远程抄表等功能，在 20 世纪 90 年代就已经得到了广泛的应用。

DDSY283 型单相电子式电能表的原理框图和接线图如图 1-76 和图 1-77 所示。

3. 电能表的安装与维护

(1) 安装

电能表属于在基准法规规范下的测量仪器，它的安装有如下要求：

1) 电能表在出厂前经检验合格并加铅封。所以，首先应检查铅封是否完好，对于无铅封或铅封已开过的仪表，应请有关部门重新检验后方可使用。

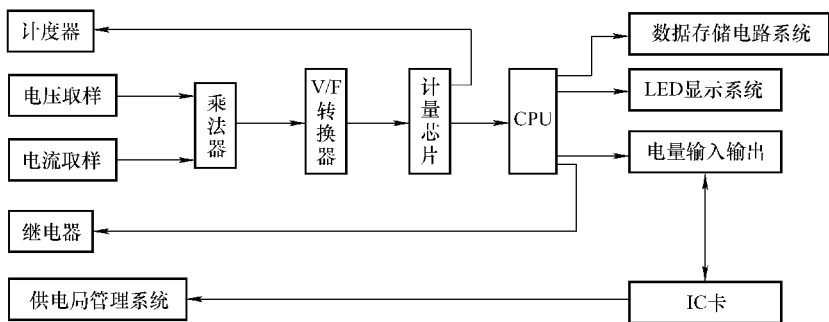


图 1-76 DDSY283 型单相电子式电能表的原理框图

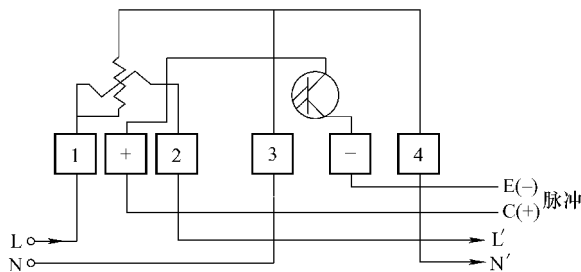


图 1-77 DDSY283 型单相电子式电能表的接线图

2) 安装环境中如有潮湿、污染、振动、机械接触等，可能引起电能表测量功能的损坏，必须对其予以重视，且确实加以防护。

3) 电能表的安装地点必须满足特殊需要，原则上不能在起居室、厨房、厕所、浴室与盥洗室、储藏间、潮湿房间、地下室、汽车库、油库、具有高温的暖气间、有火灾危险的工作间等处安装，应安装在室内通风干燥的地方。例如，专门的电能表房间，用户引入线的房间、走廊、楼梯间（但不是在梯级上）。尤其是电子系电能表，电子产品对温度、湿度的要求都很高，应该按照有关规定进行安装。

4) 电能表用 3 根螺钉固定，底座应固定在坚固、耐火、不易振动的物体上，确保安装使用的安全性、可靠性，在有污秽或有可能损坏仪表的场所，仪表应用保护柜保护。尤其是电子系电能表内部采用插件较多，如果受到剧烈振动，很可能使插件板松动、元器件脱焊、接触不良甚至接线断开等，造成仪表故障。

5) 从地面到电能表中部的距离应不少于 1.1 m，且不大于 1.85m。

6) 为了避免不允许的高温，电能表上部的接线空间不允许作为线路分配器来使用。

7) 为了装设必要的过电流保护机构与线路器件，要求有足够的空间和保证损耗热量充分排出。

8) 对于灯和电流回路插座的过电流保护机构，应装入导线保护开关。

9) 电能表应按接线图正确接线。接线端钮盒的引入线应使用铜线或铜接头，端钮盒内螺钉应拧紧，避免因接触不良或引线太细发热而引起烧毁。

(2) 维护

1) 在电子式电能表编程中，使用校表台用手持终端编程器时，要关掉校表用的红外线

光源及其他红外线光源。在红外通信时，RS-485 接口不能操作；同样，在 RS-485 接口操作时，红外通信也不能同时进行。在对电能表设置计量常数时，不应有电流，否则可能会产生计量误差。不要将所有仪表编为同一编号，否则仪表在一起将无法进行红外线编程，也无法进行远程联网集中抄表。

2) 在使用时，应经常有计划周期性地对电能表进行检查。外观检查主要有外壳、接线柱、表壳玻璃等是否完好；表面是否清洁，连接铜线是否松动，铜线绝缘层是否有烧结的迹象。

4. 电能表常见故障与检修

(1) 感应系电能表常见故障与检修

感应系电能表常见故障及排除方法见表 1-14。

表 1-14 感应系电能表常见故障及排除方法

常见故障	可能原因	排除方法
计量电量偏少	1) 机械计度器传动比不合理 2) 计度器卡字 3) 涡轮、蜗杆和齿轮没有啮合好 4) 电压、电流铁心磁极与回磁极间的气隙不合理 5) 铝盘和转轴安装不平衡	1) 更换符合实际的传动元件 2) 检修或更换计度器 3) 调整啮合部件，并加适当的润滑油 4) 反复调整气隙 5) 重新调整铝盘和转轴的平衡度，并加适量的润滑油
计量电量偏多	1) 机械计度器传动比不合理 2) 计度器字轮损坏 3) 电压或电流线圈的匝数不准确 4) 制动的永久磁铁失磁 5) 电压、电流铁心磁极与回磁极间的气隙不合理	1) 更换符合实际的传动元件 2) 更换计度器字轮 3) 重新调整电压或电流线圈及重新调试 4) 更换永久磁铁 5) 反复调整其中气隙
电能表反转	单相电进出接线错误，三相电正相序接成逆相序	重新将线接正确
潜动现象造成计量误差	1) 装配不当或受振动、冲击 2) 校验时错位或调整不当电网三相电压不平衡 3) 三相电能表防潜装置安装位置不合理或接线中造成该电压线圈断相 4) 电流铁心一边的线圈因各种原因发生短路时，形成对铝盘不对称的电流工作磁通，于是产生不对称的涡流损耗，这就破坏了转矩的平衡关系，其结果使电流线圈短路侧的合成潜动力较大	1) 执照要求正确装配，安装在坚固、耐火、不易振动的物体上 2) 重新调校电能表 3) 重新合理分配三相负载 4) 重新安装防潜装置中的电压线圈位置，重新接线。找出故障点，并进行相应处理

(2) 电子系电能表常见故障与检查

电子系电能表常见故障及排除方法见表 1-15。

表 1-15 电子系电能表常见故障及排除方法

常见故障	可能原因	排除方法
计量电量偏少	1) 光敏传感器发生故障, 不计脉冲 2) 光敏传感器灵敏度不够, 丢失某些采样 3) 光敏传感器安装位置松动, 使反射信号无法接收 4) 反射标志过窄, 使光敏传感器来不及反应 5) 反射标志颜色过浅, 使光敏传感器无法识别 6) 传输电路或插件接触不良 7) 单片机死机 8) 电压过低	1) 更换光敏传感器 2) 调整光敏传感器灵敏度 3) 重新安装光敏传感器, 调试使其处于适当位置 4) 加宽反射标志 5) 采用深黑色反射标志 6) 查找接触不良位置, 重新连接或换用新的插件 7) 将所有电源断开, 过一段时间再启动, 使单片机复位, 或更换单片机 8) 换用电压工作范围宽的电子元器件
计量电量偏多	1) 转盘不洁, 造成光敏传感器误将杂物当成反射标志 2) 反射标志有斑点, 造成连读 3) 开关闭合时产生脉冲毛刺, 造成脉冲数多计量	1) 清洁或更换转盘 2) 重新涂抹反射标志 3) 加强表的抗干扰性能, 电路中增加门电路
显示故障	1) 显示驱动电路故障 2) 相关引脚虚焊 3) 数码管或液晶片本身的缺陷	1) 找出故障点, 并进行相应处理 2) 虚焊部分重新焊接 3) 更换数码管或液晶片
电源电路故障	1) 交流部分无电压, 接线断开 2) 变压器、压敏电阻、滤波电容器、稳压二极管虚焊或已损坏	1) 找出故障点, 将进行相应处理 2) 虚焊部分重新焊接, 损坏部分进行更换
剩余电量为零时不断电	1) 继电器或断路器损坏 2) 断电驱动电路损坏	1) 更换继电器或断路器 2) 找出故障点, 并进行相应处理
表不认 IC 卡	1) 插入时间过短 2) 卡座故障 3) IC 卡未插到位, 使卡座上的引脚与簧片接触不良 4) RS-485 通信故障	1) 适当延长 IC 卡插入时间 2) 更换卡座 3) 重新插入, 且要到位 4) 重新插入接口, 且要到位
红外读数故障	1) 距离或位置不对 2) 电池不足 3) 红外线接收器或发射器故障	1) 调整和缩短抄表位置 2) 更换电池 3) 更换故障元件

(续)

常见故障	可能原因	排除方法
超限定功率不跳闸	1) 整机抗干扰性能差 2) 继电器损坏使之不跳闸	1) 送厂家维修或换一种产品 2) 更换继电器
继电器跳闸后不能恢复	1) 设计时起动电压过高 2) 继电器损坏	1) 更换继电器 2) 更换继电器

1.2.3 常用材料的选择与使用

1.2.3.1 导电材料

导电材料一般是指导线，常用的导线有铜导线和铝导线。铜导线的电阻率比铝导线小，焊接性能和机械强度比铝导线好，故它常用于要求较高的场合。铝导线密度比铜导线小，而且资源丰富，价格较铜低廉。

导线有单股和多股两种，一般截面积在 6mm 及以下为单股线；截面积在 10mm² 及以上为多股线。多股线是由几股或几十股线芯绞合在一起的，有 7 股、19 股、37 股等。导线还分为裸导线和绝缘导线，绝缘导线有电磁线、绝缘电线、电缆等多种。常用绝缘导线在导线线芯外面包有绝缘材料，如橡皮、塑料、棉纱、玻璃丝等。

一、常用导线的型号及应用

1. B 系列橡皮塑料电线

这种系列的电线结构简单，电气和力学性能好，广泛用作动力、照明及大中型电气设备的安装线。交流工作电压为 500V 以下。

2. R 系列橡皮塑料软线

这种系列软线的线芯由多根细铜丝绞合而成，除具有 B 系列电线的特点外，还比较柔软，广泛用于家用电器、小型电气设备、仪器仪表及照明灯线等。

此外还有 Y 系列通用橡套电缆，该系列电缆常用于一般场合下的电气设备、电动工具等的移动电源线。

几种常用导线的名称、结构、型号和应用见表 1-16。

表 1-16 几种常用导线的名称、结构、型号和应用

名 称	型号		允许长期 工作温度/℃	主要用途
	铜芯	铝芯		
聚氯乙烯绝缘电线	BV	BLV	65	用于 500V 以下动力和照明电路的固定敷设
聚氯乙烯绝缘护套线	BVV	BLVV		用于 500V 以下照明和小容量动力电路固定敷设
聚氯乙烯绝缘绞合软线	RVS			用于 250V 及以下移动电器和仪表及吊灯的电源连接导线
聚氯乙烯绝缘平行软线	RVB			
氯丁橡胶套软线	RXF	RX		用于安装时要求柔软的场合及移动电器电源线

注：型号中，V 表示聚氯乙烯绝缘，X 表示橡皮绝缘，XF 表示氯丁橡胶绝缘。

3. 常用绝缘导线的规格和安全载流量 (见表 1-17 ~ 表 1-20)

表 1-17 塑料绝缘线的规格和安全载流量

(单位: A)

导线 截面 面积 /mm ²	固定敷设用的线芯		明线 安装		穿钢管安装						穿硬塑料管安装					
	芯线股数/ 单股 直径/mm	近似 英规			一管 二根线		一管 三根线		一管 四根线		一管 二根线		一管 三根线		一管 四根线	
			铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
1.0	1/1.13	1/18#	17		12		11		10		10		10		9	
1.5	1/1.37	1/17#	21	16	17	13	15	11	14	10	14	11	13	10	11	9
2.5	1/1.76	1/15#	28	22	23	17	21	16	19	13	21	16	18	14	17	12
4	1/2.24	1/13#	35	28	30	23	27	21	24	19	27	21	24	19	22	17
6	1/2.73	1/11#	48	37	41	30	36	28	32	24	36	27	31	23	28	22
10	7/1.33	7/17#	65	51	56	42	49	38	43	33	49	36	42	33	38	29
16	7/1.70	7/16#	91	69	71	55	64	49	56	43	62	48	56	42	49	38
25	7/2.12	7/14#	120	91	93	70	82	61	74	57	82	63	74	56	65	50
35	7/2.50	7/12#	147	113	115	87	100	78	91	70	104	78	91	69	81	61
50	19/1.83	19/15#	187	143	143	108	127	96	113	87	130	99	114	88	102	78
70	19/2.14	19/14#	230	178	177	135	159	124	143	110	160	126	145	113	128	100
95	19/2.50	19/12#	282	216	216	165	195	148	173	132	199	151	178	137	160	121

表 1-18 橡胶绝缘线（皮线）的规格和安全载流量

(单位: A)

[illegible]

表 1-19 护套线和软导线的安全载流量 (单位: A)

导线截面积 /mm ²	护套线								软导线		
	双根芯线				三根或四根芯线				单根芯线	双根芯线	
	塑料绝缘		橡胶绝缘		塑料绝缘		橡胶绝缘		塑料绝缘	塑料绝缘	橡胶绝缘
	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铜	铜
0.5	7		7		4		4		8	7	7
0.75									13	10.5	9.5
0.8	11		10		9		9		14	11	10
1.0	13		11		9.6		10		17	13	11
1.5	17	13	14	12	10	8	10	8	21	17	14
2.0	19		17		13		12	12	25	18	17
2.5	23	17	18	14	17	14	16	16	29	21	18
4.0	30	23	28	21.8	23	19	21				
6.0	37	29		28	22						

表 1-20 绝缘导线安全载流量的温度校正系数

环境最高平均温度/℃	35	40	45	50	55
校正系数	1.0	0.91	0.82	0.71	0.58

二、导线的选择

1. 线芯材料的选择

作为线芯的金属材料，必须同时具备的特点是：电阻率较低，有足够的机械强度；在一般情况下有较好的耐腐蚀性；容易进行各种形式的机械加工，价格较便宜。铜和铝基本符合这些特点，因此，常用铜或铝作为导线的线芯。

2. 导线截面积的选择

选择导线时，一般应考虑 3 个因素：长期工作允许电流、机械强度和电路电压降在允许范围内。

(1) 根据长期工作允许电流选择导线截面积

根据导线敷设方式不同、环境温度不同，导线允许的载流量也不同。通常把允许通过的最大电流值称为安全载流量。在选择导线时，可依据用电负荷，参照导线的规格型号及敷设方式来选择导线截面积。表 1-21 是一般用电设备负载电流计算公式。

表 1-21 一般用电设备负载电流计算公式

负载类型	功率因数	计算公式	每千瓦电流量/A
电灯、电阻	1	单相: $I_p = P/U_p$	4.5
		三相: $I_L = P\sqrt{3}/U_L$	1.5
荧光灯	0.5	单相: $I_p = P/(U_p \times 0.5)$	9
		三相: $I_L = P/(\sqrt{3}U_L \times 0.5)$	3
单相电动机	0.75	$I_p = P/[U_p \times 0.75 \times 0.75(\text{效率})]$	8
三相电动机	0.85	$I_L = P/[\sqrt{3}U_L \times 0.85 \times 0.85(\text{效率})]$	2

注：公式中， I_p 、 U_p 为相电流、相电压； I_L 、 U_L 为线电流、线电压。

(2) 根据机械强度选择导线截面积

导线安装后和运行中，要受到外力的影响。导线本身自重和不同的敷设方式使导线受到不同的张力，如果导线不能承受张力作用，会造成断线事故。在选择导线时必须考虑导线截面积。

(3) 根据电压损失选择导线截面积

1) 住宅用户，由变压器低压侧至线路末端，电压损失应小于 6%。

2) 电动机在正常情况下，电动机端电压与其额定电压不得相差 $\pm 5\%$ 。

按照以上条件选择导线截面积的结果，在同样负载电流下可能得出不同截面积数据。此时，应选择其中最大的截面积。

1.2.3.2 绝缘材料

绝缘是指利用绝缘材料对带电体进行封闭和隔离。长久以来，绝缘一直是作为防止电事故的重要措施，良好的绝缘也是保证电气系统正常运行的基本条件。绝缘材料又称为电介质，其导电能力很小。工程上应用的绝缘材的电阻率一般都不低于 $1 \times 10^7 \Omega \cdot \text{m}$ 。

绝缘材料的主要作用是用于对带电的或不同电位的导体进行隔离，使电流按照确定线路流动。电绝缘材料具有较高的绝缘电阻和耐压强度，并能避免发生漏电、击穿等事故；其次是耐热性能要好，其中尤其以不因长期受热作用（热老化）而产生性能变化最为重要；此外，还应有良好的导热性、耐潮性和有较高的机械强度以及工艺加工方便等特点。

一、绝缘材料的分类

(1) 按材料的化学成分划分可分为以下几种

1) 无机绝缘材料：有云母、石棉、玻璃、陶器及大理石等。

2) 有机绝缘材料：有虫胶、树脂、橡胶、棉纱、纸及丝绸等，大多用于制造绝缘漆和绕组导线等。

3) 混合绝缘材料：有塑料、电木及有机玻璃等，用作电器的底座和外壳等。

(2) 按材料的物理状态划分可分为以下几种

1) 气体绝缘材料：有空气、二氧化碳及六氟化硫等。

2) 液体绝缘材料：有矿物油（变压器油、断路器油、电缆油）、合成油（硅油）及植物油等。

3) 固体绝缘材料：有绝缘漆、胶、纸、云母、塑料及陶瓷等。

(3) 按材料的耐热等级可分为 7 个级别（见表 1-22）。

表 1-22 绝缘材料的耐热等级

级别	绝缘材料	最高允许温度/℃
Y	天然纤维材料及制品，如木材、纺织品等，及以醋酸纤维和聚酰胺为基础的纺织品和易于热分解和溶化点较低的塑料	90
A	工作于矿物油中和用油或树脂复合胶浸过的 Y 级材料，漆包线、漆布、漆丝的绝缘及油性漆等	105
E	聚酯薄膜和 A 级材料复合、玻璃布、油性树脂漆、胶纸板	120
B	聚酯薄膜、云母制品、玻璃纤维、石棉等，聚酯漆及聚酯漆包线	130

(续)

级别	绝缘材料	最高允许温度/℃
F	用耐油有机树脂或漆粘合、浸渍的云母、石棉、玻璃丝制品及复合硅有机聚酯漆等	155
H	加厚的 F 级材料、复合云母、有机硅云母制品、硅有机漆及复合薄膜等	180
C	用有机粘合剂及浸渍剂的无机物，如石英、石棉、云母、玻璃和电瓷材料等	> 180

二、绝缘油

绝缘油主要有矿物油和合成油两大类，其中矿物油的使用最为广泛。主要用于电气绝缘、冷却、灭弧及填充绝缘间隙等。常用绝缘油的性能与用途见表 1-23。

表 1-23 常用绝缘油的性能与作用

名 称	质量指标		凝固点不高于/℃	主要用途
	透明度	绝缘强度 / (kV · cm)		
10 号、20 号变压器油，即 DB—10、DB—20 型	透明	160 ~ 180 180 ~ 210	- 10 - 25	用于变压器及油断路器中起绝缘和散热作用
45 号变压器油，即 DB—45 型			- 45	
45 号开关油，即 DV—45 型	透明		- 45	在低温工作下的油断路器中作绝缘，排热灭弧用
1 号、2 号电容器油，即 DD—1、DD—2 型	透明	200	- 45	在电力工业、电容器上作绝缘用；在电信工业、电容器上作绝缘用

三、绝缘漆和绝缘胶

1. 绝缘漆

绝缘漆按用途分为浸渍漆、漆包线漆和硅钢片漆等，常用电工绝缘漆的品种、型号和用途见表 1-24。

表 1-24 常用电工绝缘漆的品种、型号和用途

名称	型号	溶剂	耐热等级/℃	用 途
醇酸浸渍漆	1030 1031	200 号溶剂汽油 二甲苯	B (130)	具有较好的耐油性，耐电弧性，烘干迅速。作浸渍电动机、电器线圈，也可作覆盖漆和胶粘剂
三聚氰胺醇酸浸渍漆	1032	200 号溶剂汽油 二甲苯	B (130)	具有较好的干透性、耐热性、耐油性和较高的电气性能。供温热带地区电动机、电器线圈作浸渍之用
三聚氰胺环氧树脂浸渍漆	1033	二甲苯 丁醇	B (130)	同上，用于浸渍电动机、变压器、电工仪表线圈以及电器零部件表面覆盖

(续)

名称	型号	溶剂	耐热等级/℃	用 途
有机硅浸渍漆	1053	二甲苯 甲苯	H (180)	具有耐高温、耐寒性、抗潮性、耐水性、耐电晕、化学稳性好的特点。供浸渍 H 级电动机、电器线圈及绝缘零部件用
耐油性清漆	1012	200 号溶剂 汽油	A (105)	具有耐油、耐潮性，干燥迅速、漆膜平滑光泽。用作浸渍电动机、电器线圈及粘合绝缘纸等
硅有机覆盖漆	1350	二甲苯 甲苯	H (180)	适用于 H 级电动机、电器线圈作表面覆盖层，在 180℃ 下烘干
硅钢片漆	1610 1611	煤油	A (105)	用于涂覆硅钢片
环氧无溶剂浸渍漆（地腊）	515—1 515—2		B (130)	用于各类变压器、电器线圈浸渍处理。干燥温度 130℃

2. 绝缘胶

广泛用于浇注电缆接头和套管、浇注电流互感器、某些干式变压器，以及密封电子元件和零部件等。电缆浇注胶的性能和用途见表 1-25。

表 1-25 电缆浇注胶的性能和用途

名称型号	击穿电压/（kV · 2.5mm）	特性和用途
黄色电缆胶（1810）	>45	电气性能好，抗冻裂性好，适宜浇注 10kV 及以上电缆接头
黑色电缆胶（1811，1812）	>35	耐潮性好，适宜浇注 10kV 以下电缆接头
环氧电缆胶	>82	密封性好，电气和力学性能高，适宜浇注 10kV 以下电缆接头
环氧树脂灌封剂		电视机高压包等高压线圈的灌封、粘合等

四、绝缘、浸渍纤维制品及电工层压制品

常用纤维、层压制品绝缘材料的性能和用途见表 1-26。

表 1-26 常用纤维、层压制品绝缘材料的性能和用途

产品名称	型 号	耐热等级/℃	主要性能和用途
电话纸	DH - 40 DH - 50 DH - 70	Y (90)	结实、不易破裂。用于 $\phi < 0.4\text{mm}$ 的漆包线的层间绝缘，专供电信电缆绝缘
电缆纸	DL - 08 DL - 12 DL - 17	Y (90)	柔顺，耐拉力强。用于 $\phi > 0.4\text{mm}$ 漆包线的层间绝缘。低压绕组间的绝缘。电缆专用
绝缘纸板	DY - 00/100 DY - 50/50 DY - 100/00	Y (95)	耐弯曲、耐热，适用于电动机、电器绝缘和保护材料，变压器油中作嵌件、垫块

(续)

产品名称	型 号	耐热等级/℃	主要性能和用途
油性漆布（黄蜡布）	2010 2012	Y (90)	耐高压、但耐油性差。用于低压电动机、电器线圈层及组间绝缘
油性玻璃漆布	2412	E (120)	耐热好，耐压较高。一般电动机、电器线圈绝缘，也可在油中工作
油性漆绸（黄蜡绸、带）	2212	A (105)	耐高压、较薄，耐油性好。适用于油中工作的电动机、变压器、电器线圈绝缘
环氧酚醛层压玻璃布板	3240	B (130)	具有高的力学性能、介电性能和耐水性。适用于电动机、电器设备中作绝缘结构零部件
酚醛层压纸板	3250	E (120)	结实、易弯折。用于线包骨架等，可在变压器油中使用
虫胶衬垫云母板	5731	B (130)	耐热好，耐压较高但较易碎，不耐潮。用于电动机、电器等各类绝缘衬垫

五、电工用塑料、绝缘薄膜和其制品

常用电工用塑料、绝缘薄膜材料的性能和用途见表 1-27。

表 1-27 常用电工用塑料、绝缘薄膜材料的性能和用途

产品名称	型号	耐热等级/℃	主要性能和用途
聚乙烯（PE）塑料		Y (70)	电气性能优异，耐寒、耐潮性能良好。主要供电线电缆用
聚氯乙烯（PVC）塑料		Y (60 ~ 105)	力学性能优异，电气性能良好，耐潮、耐电晕、不延燃、成本低。供电线电缆用
ABS 塑料			象牙色，不透明体，有良好的机电综合性能。用于仪表、电器外壳、支架、小型电动机外壳
聚乙烯薄膜		Y (80 ~ 100)	耐弯性好、化学稳定性高，耐酸、耐碱，吸湿性好，绝缘性能和耐辐射性尤为突出，但不耐油。用于通信电缆，高频电缆，水底电缆等作绝缘层
聚酯薄膜	6020	B (120 ~ 140)	耐热、耐高压，用于高压绕组层、相间及电动机槽部等的绝缘
聚酯薄膜青壳纸	6520	E (120)	用于 E 级电动机、电器作槽绝缘、衬垫绝缘和匝间绝缘
聚氯乙烯薄膜粘带		低于 Y (6 ~ 080)	较柔软，粘性强，耐热差。用于一般电线电缆接头包扎绝缘
自粘橡胶带			具有耐热、耐潮、抗振动、耐化学腐蚀等特性，但抗拉强度较低，适用于电缆头密封

六、绝缘电阻检测

绝缘电阻是衡量绝缘性能优劣的最基本的指标，绝缘电阻试验是最基本的绝缘试验。

1. 使用绝缘电阻表测量绝缘电阻的方法

绝缘电阻表上端钮 E 通常接地或接设备外壳，端钮 L 接被测线路，电动机、电器的导线或电动机绕组。测量电缆芯线对外皮的绝缘电阻时，为消除芯线绝缘层表面漏电引起的误差，还应在绝缘上包以锡箔，并使之与 G 端连接。

2. 使用绝缘电阻表测量绝缘电阻时应注意下列事项

1) 应根据被测物的额定电压正确选用不同电压等级的绝缘电阻表。所用绝缘电阻表的工作电压应高于绝缘物的额定工作电压。

2) 测量前，必须断开被测物的电源，并进行放电；测量结束后也应进行放电。放电时间一般不应短于 $2 \sim 3\text{min}$ 。对于高电压、大电容的电缆线路，放电时间应适当延长，以消除静电荷，防止发生触电危险。

3) 测量前，应对绝缘电阻表进行检查。首先，使绝缘电阻表端钮处处于开路状态，转动摇把，观察指针是否在“ ∞ ”位；然后，再将 E 和 L 两端短接起来，慢慢转动摇把，观察指针是否迅速指向“0”位。

4) 测量过程中，如指针指向“0”位，表明被测物绝缘失效，应停止转动摇把，以防表内线圈发热烧坏。

5) 禁止在雷电时或邻近设备带有高电压时用绝缘电阻表进行测量工作。

3. 绝缘电阻指标

1) 新装和大修后的低压线路和设备，要求绝缘电阻不低于 $0.5\text{M}\Omega$ ；运行中的线路和设备，要求可降低为每伏工作电压不小于 1000Ω ；安全电压下工作的设备同 220V 一样，不得低于 $0.22\text{M}\Omega$ ；在潮湿环境，要求可降低为每伏工作电压 500Ω 。

2) 携带式电气设备的绝缘电阻不应低于 $2\text{M}\Omega$ 。

3) 配电盘二次线路的绝缘电阻不应低于 $1\text{M}\Omega$ ，在潮湿环境，允许降低为 $0.5\text{M}\Omega$ 。

4) 10kV 高压架空线路每个绝缘子的绝缘电阻不应低于 $300\text{M}\Omega$ ； 35kV 及以上的不应低于 $500\text{M}\Omega$ 。

5) 运行中 $6 \sim 10\text{kV}$ 和 35kV 电力电缆的绝缘电阻分别不应低于 $400 \sim 1000\text{M}\Omega$ 和 $600 \sim 1500\text{M}\Omega$ 。干燥季节取较大的数值；潮湿季节取较小的数值。

6) 电力变压器投入运行前，绝缘电阻应不低于出厂时的 70% ，运行中的绝缘电阻可适当降低。

1.2.3.3 磁性材料

常用的磁性材料就是指铁磁性物质，是电器产品中的主要材料。按其性能不同可分为软磁材料和硬磁材料两大类。

一、软磁材料

软磁材料主要用作导磁回路，要求磁导率很高；用于交变磁场作为磁路的软磁材料，还要求单位损耗小，即剩磁 B 和矫顽力 H 较小，因而磁滞现象不严重，是一种既容易磁化又容易去磁的材料，一般都是在交流磁场中使用，而且是应用最广泛的一种磁性材料。

1. 软磁材料的品种、主要特点和应用范围

软磁材料的品种、主要特点和应用范围见表 1-28。

= 表 1-28 软磁材料的品种、主要特点和应用范围

品 种	主要特点	应用范围
电工纯铁 (牌号 DT)	饱和磁感应强度高,冷加工好。但电阻率低,铁损高,不能用在交流磁场中,有磁时效现象	一般用于直流或脉动成分不大的电器中作为导磁铁心
硅钢片 (牌号 DR、RW 或 DQ)	和电工纯铁相比,电阻率增高,铁损降低,磁时效基本消除,但导热系数降低,硬度提高,脆性增大。适用在强磁场条件下使用	电动机、变压器、继电器、互感器、开关等产品的铁心
铁镍合金 (牌号 1J50、1J51)	与其他软磁材料相比,磁导率 μ 高,矫顽力 H_c 低,但对应力比较敏感。在弱磁场下,磁滞损耗非常低,电阻率又比硅钢片高,所以高频特性好	频率在 1MHz 以下弱磁场中工作的器件,如电视机、精密仪器用特种变压器等
铁铝合金 (牌号 1J12 等)	和铁镍合金相比,电阻率高,比重小,但磁导率低,随着铝质量分数的增加(超过 10%),硬度和脆性增大,塑性变差	弱磁场和中等磁场下工作的器件,如微型电动机、音频变压器、脉冲变压器及磁放大器
软磁铁氧体 (牌号 R100 等)	属非金属磁化材料,烧结体,电阻率非常高,高频时具有较高的磁导率,但饱和磁感应强度低,温度稳定性也较差	高频或较高频率范围内的电磁元件(磁心、磁棒及高频变压器等)

2. 硅钢片

硅钢片是电力和电信工业的基础材料,用量占磁性材料的 90% 以上,硅钢片的品种、性能和主要用途见表 1-29。

表 1-29 硅钢片的品种、性能和主要用途

分 类			牌 号	厚度/mm	应用范围
热轧硅钢片	热轧电机钢片		DR1200—100 DR740—50 DR1100—100 DR650—50	1.0、 0.50	中小型发电机和电动机
			DR610—50 DR530—50 DR510—50 DR490—50	0.5	要求损耗小的发电机和电动机
			DR440—50 DR400—50	0.5	中小型发电机和电动机
			DR360—50 DR315—50 DR290—50 DR265—50	0.5	控制微型电机、大型汽轮发电机
	热轧变压器钢片		DR360—35 DR320—35	0.35	电焊变压器和扼流圈
			DR320—35 DR280—35 DR360—35 DR360—50 DR315—50 DR290—35	0.35、 0.50	电抗器和电感线圈
冷轧硅钢片	无取向	电机用	DW530—50 DW470—50	0.50	大型直流电动机、大中小型交流电动机
			DW360—50 DW330—50	0.50	大型交流电机
		变压器用	DW530—50 DW470—50	0.50	电焊变压器、镇流器
			DW310—35 DW270—35 DW360—50 DW330—50	0.35 0.50	电力变压器、电抗器

(续)

分 类			牌 号	厚度/mm	应用范围
冷轧硅钢片	单取向	电机用	DQ230—35 DQ200—35 DQ170—35 DQ151—35 DQ350—50 DQ320—50	0. 35 0. 50	大型发电机
			G1、G2、G3、G4	0. 05 0. 2 0. 08	中高频发电机、微型电动机
		变压器用	DQ230—35 DQ200—35 DQ170—35 DQ151—35	0. 35	电力变压器、高频变压器
			DQ290—35 DQ260—35 DQ230—35 DQ200—35	0. 35	电抗器、互感器
			G1、G2、G3、G4 (日本牌号)	0. 05 0. 2 0. 08	电源变压器、高频变压器、脉冲变压器、镇流器

二、硬磁材料

硬磁材料具有大面积的磁滞回线特性，矫顽力和剩磁感应强度都很大，这种材料在外磁场中充磁，撤除外磁场后仍能保留较强的剩磁，形成恒定持久的磁场，故又称为永磁材料。它主要用作储藏和提供磁能的永久磁铁，如磁电式仪器用的钨钢和铬钢；测量仪表和微型电机用的铝镍钴、硬磁铁氧体和稀土永磁材料等。硬磁材料的品牌和用途见表 1-30。

表 1-30 硬磁材料的品牌和用途

硬磁材料品牌			用 途 举 例
铝镍钴合金	铸造铝镍钴	铝镍钴 13	转速表、绝缘电阻表、电能表、微型电动机及汽车发动机
		铝镍钴 20	话筒、万用表、电能表、电流表、电压表、记录仪及消防泵磁电动机
		铝镍钴 32	
		铝镍钴 40	扬声器、记录仪及示波器
	粉末烧结铝镍钴 铝镍钴 9 铝镍钴 25		汽车电流表、曝光表、电器触头、受话器、直流电动机、钳形电流表及直流继电器
铁氧体硬磁材料			仪表阻尼元件、扬声器、电话机、微电机及磁性软水处理
稀土钴硬磁材料			行波管、小型电机、副励磁机、拾音器精密仪表、医疗设备及电子手表
塑料变形硬磁材料			里程表、罗盘仪、计量仪表、微型电动机及继电器

1.2.4 单元自测题

1. 低压试电笔的测量电压范围是多少?
2. 如何用万能表测量电流、电压?
3. 使用电工用钢丝钳应注意哪些问题?
4. 使用电工刀应注意哪些问题?
5. 使用电烙铁应注意哪些问题?
6. 使用钳形电流表测量电流能否同时放入两根不同相导线?

1.3 电气识图

1.3.1 电气识图的基本知识

电气识图,说得通俗点就是读图纸,是电工在施工作业中常需要用到的知识。在电工图样中的电气符号可分为文字符号、图形符号和回路标号 3 种。根据最新的国家规定:从 1990 年 1 月 1 日起,电气系统图中的文字符号和图形符号必须符合最新的国家标准。

一、电工图样中的电气符号

1. 文字符号

文字符号是用来表示电气设备、装置和元器件的种类和功能的代号,又可分为基本文字符号和辅助文字符号。

1) 基本文字符号可用单字母符号或双字母符号表示。例如:“K”代表继电器,“KA”代表电流继电器,“KV”代表电压继电器;“Q”代表电力开关,“QS”代表隔离开关,“QF”代表断路器;“T”代表变压器,“TA”代表电流互感器,“TV”代表电压互感器等。

2) 辅助文字符号常加在基本文字符号之后,可进一步表示电气设备装置和元器件的功能、特征及状态等。例如“RD”表示红色,“GN”表示绿色。辅助文字符号也可以标注在图形符号处。辅助文字符号还可以单独使用。例如:“ON”和“OFF”分别表示接通和断开,“YB”表示电磁制动器等。

此外,若基本文字符号和辅助文字符号仍不够使用时,还可以采用补充文字符号,但也要遵循国家有关规定原则。如“1G”(或“G1”)表示 1 号发电机,“2T”(或“T2”)表示 2 号变压器等。

2. 图形符号

图形符号是电气图样或其他文件中用来表示电气设备或概念的图形记号或符号。它是电工图样中的基本符号。图形符号的含义是由其形式决定,不受符号大小和图线粗细的影响,但同一份图样中图形符号的尺寸和图线粗细应保持一致。有些图形符号还注以文字符号或物理量符号作为补充。

表 1-31 ~ 表 1-33 分别列出新国标电气符号中常用电气设备的文字符号,常用的一次、二次电气设备的图形符号和常用的文字符号。

表 1-31 常用电气设备的文字符号

文字符号	中 文 名 称	文字符号	中 文 名 称
A	放大器	GB	蓄电池
AV	电压调节器	GM	励磁机
C	电容器	GS	同步发电机
EL	照明灯	HA	声响指示器（蜂鸣器、电铃、警铃）
F	过电压放电器件、避雷器	HL	指示灯、光字牌、信号灯
FR	热继电器	HLG	绿色指示灯
FU	熔断器	HLR	红色指示灯
G	发电机、振荡器	HLY	黄色指示灯
KA	电流继电器	RP	电位器
KM	中间继电器、接触器	SA	控制开关、选择开关
KT	时间继电器	SB	按钮
KV	电压继电器	TA	电流互感器
L	电感、电感线圈、电抗器、消弧线圈	TAN	零序电流互感器
M	电动机	TM	电力变压器
N	绕组、线圈、中性线	TV	电压互感器
PA	电流表	U	变流器、整流器
PE	保护导体、保护线	V	二极管、三极管、稳压管、晶闸管、各种晶体管
PV	电压表	X	接线柱
Q	电力开关	XB	连接片、切换压板
QF	断路器	XT	端子板、端子排
QL	负荷开关	YA	电磁铁线圈
QS	隔离开关	YA - N	合闸电磁铁
R	电阻、电位器、变阻器	YA - F	跳闸电磁铁

表 1-32 常用一次电气设备的图形符号

图 形	名 称	图 形	名 称
 或 	三相感应电动机	 或 	电流互感器
 或 	双绕组变压器	 或 	电压互感器
 或 	电抗器		熔断器
	避雷器		熔断器
	隔离开关		断路器
	负荷开关		接触器

表 1-33 常用二次电气设备的图形符号

名 称	图 形	名 称	图 形
开关电器 一般符号		开关（动合）	
动断（常闭）触点		开关（动断）	
动合（常开）触点		操作器件或继电器的绕组（线圈）	或
手动开关		热继电器	
接触器动合触点		熔断器	
延时闭合的动合触点		延时闭合的动断触点	
延时断开的动合触点		延时断开的动断触点	

3. 回路标号

为了表示电路图中各回路的种类和特征，通常用文字符号和数字标注出来，这种标方法称为回路标号。

回路标号要按照“等电位”的原则进行标注，即回路中凡连接在同一节点上的所有导线，它们都具有同一电位，因而应标注以同一回路标号，只有经过线圈、绕组、触头、电阻、电容等各元器件或部件所间隔的线段才标注不同的回路标号。回路标号中的数字通常用3位或3位以下数字来表示。

在交流一次回路中用个位数字的顺序区分回路的相别，用十位数字的顺序区分回路中的不同线段。如U相回路按1、11、21、31……顺序标号；V相回路按2、12、22、32……顺序标号；W相回路按3、13、23、33……顺序标号，对不同供电电源的回路也可以用百位数字的顺序标号进行区分。如三相交流电源端用L₁、L₂、L₃标号，经开关电器后用L₁₁、L₁₂、L₁₃标号，再经熔断器以后用L₂₁、L₂₁、L₂₃标号。而三相交流异步电动机定子绕组首端用U₁、V₁、W₁标号，尾端用U₂、V₂、W₂标号。

在交流二次回路中，回路的主要压降元器件、部件两侧的不同线段分别按奇数和偶数的顺序标号。如一侧按1、3、5、7……顺序标号，另一侧按2、4、6、8……顺序标号。

二、图形符号的使用规则

1) 图形符号都是按无电压、无外力作用下的常态画成的。如继电器或接触器被驱动的

常开触点都在断开的位置上，常闭触点都在闭合位置；断路器或隔离开关在断开位置；带零位的手动开关在零位位置；不带零位的手动控制开关在图中规定的位置。

2) 事故、备用、报警等开关应表示在设备正常使用时的位置，如在特定的位置时，图上应有说明。

3) 机械操作开关或触点的工作状态与工作条件或工作位置有关，其对应关系应在图形符号附近加以说明，以便进一步了解电路的原理和功能。按开关或触点类型的不同，可采用不同的表示方法。

三、电气制图的一般规则

1. 电气图的组成

电气图一般是由电路图、技术说明和标题栏 3 部分组成的，见表 1-34。

表 1-34 电气图的组成

名 称		定 义	说 明
电路器	主电路	电源向负载输送电能的电路，一般包括电动机、变压器、开关、接触器、熔断器和负载等	1) 通常主电路通过的电流较大，导线的线径粗；通过辅助电路的电流较小，导线的线径也较细 2) 要采用国家统一规定的图形符号和文字符号来表示元器件的不同种类、规格以及安装形式
	辅助电路	对主电路进行控制、保护、监测、指示的电路，一般包括继电器、仪表、指示灯、控制开关等	
技术说明	文字说明	注明电路的要点及安装要求等	1) 通常写在电路图的右上方，若说明较多，也可附页说明 2) 以表格的形式写在标题栏的上方，元器件明细表中序号自下而上编排
	元器件明细表	列出电路中元器件的名称、符号、规格和数量等	
标题栏		在电路图的右下角，其中注有工程名称、图名、图号及设计人、制图人、审核人、批准人的签名和日期等	标题栏是电路图的重要技术档案，栏目中的签名者应对图中的技术内容负责

2. 图上位置的表示方法

图上位置的表示方法有 3 种：图幅分区法、电路编号法、表格法。

(1) 图幅分区法（又称为坐标法）

图幅分区法是将整个图面分区，将图样相互垂直的两边各自加以等分，每一区长度为 25 ~ 75mm。然后从图样的左上角开始，在图样周边的竖边方向按行用大写字母分区编号，横边方向按列用数字分区编号，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。图幅分区法如图 1-78 所示。

(2) 电路编号法

它是指对图样中的电气或分支电路用数字按序编号。

若水平布图，数字编号按自上而下的顺序；若垂直布图，数字编号按自左而右的顺序。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。其方法如图 1-79 所示。

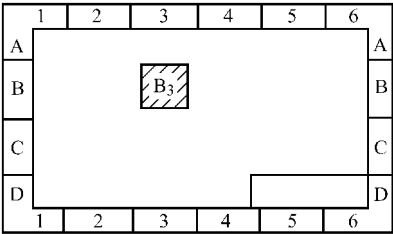


图 1-78 图幅分区法

(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对齐，图形符号旁仍需标注项目代号。这种位置表示法便于对元器件进行归类 and 统计。表格法如图 1-80 所示。

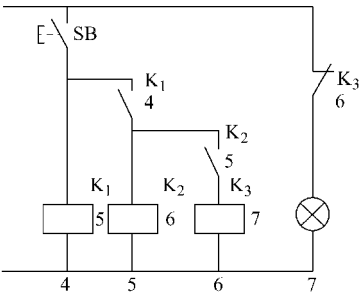


图 1-79 电路编号法

电阻器	R_{b11}	R_{b21}	R_{c1}	R_{e1}	R_{b12}	R_{b22}	R_{c2}	R_{e2}	R_L
电容器	C_1	C_2			C_{e1}	C_3			C_{e2}
晶体管	VT_1					VT_2			

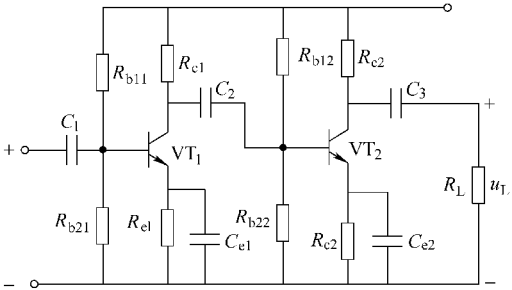


图 1-80 表格法

1.3.2 电气图的识读方法和步骤

一、电气识图的基本方法

1. 电子基础知识识图

所有电路如电力拖动、照明电子电路、仪器仪表等，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的工作原理，必须具备电工、电子的基础知识。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，通过改变三相电源的相序，来改变电动机的旋转方向（正转或反转）。

2. 结合电器元器件的结构识图

电路中有各种电器元器件，只有了解这些元器件的性能、结构、相互控制关系以及在整个电路中的地位 and 作用，才能搞清楚电路的工作原理。如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 and 控制开关等。

3. 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，抓住主要矛盾，就能看懂复杂的电路图。如电动机的起动、制动、正反转控制电路；继电保护电路、时间控制电路 and 行程控制电路、晶体管整流、振荡 and 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。

4. 结合图样说明识图

图样说明包括图目录、技术说明、元器件明细表、安装说明 or 施工说明。通过看图样说明搞清楚电路的设计说明 and 安装施工要求。这些内容有助于了解电路的大体情况，便于抓住识图重点，达到顺利识图的目的。

二、电气识图的基本步骤

1. 看标题栏

了解电气图的名称及标题栏中有关内容，结合有关的电路基础知识，对该电气图的类

型、性质、作用有一个明确的认识，同时对电气图的内容有一个大致的轮廓印象。

2. 看电气图形符号和文字符号

了解电气图内各组成部分的作用、信息流向、相互联系、控制关系，注意电气与机械机构的连接关系，从而对整个电路的工作原理、性能要求等有一个全面的了解。

3. 根据信息流向、布局顺序或主、辅电路进行分析

(1) 按信息流向逐级分析

此种方法非常适于看电力电子电路图。从信号输入到信号输出，信号流向贯穿始终；也可从负载分析到电源；又可从电源分析到负载，电流流向哪里便分析到哪里。

(2) 按布局顺序进行分析

按布局顺序从左到右，自上而下逐条回路（或逐级）进行分析，这种方法适于一些布局有特色、区域性强的、简单的电路图。

(3) 按主、辅电路进行分析

先分析主路，而后再看辅助电路，最后了解它们之间的相互关系及控制关系。这种方法适于看机床及其他机械装置的电路图。

上述3种方法也可交叉使用。

1.3.3 单元自测题

- 1. 电气图识读的方法是什么？
- 2. 电气图识读的步骤是怎样的？

1.4 维修电工基本操作技能

1.4.1 钳工基本操作技能

在对各种电气设备安装、保养、维护与检修过程中，除了必备的电工知识外，还需要掌握一定的钳工基本操作技能。钳工的操作技能就是利用各种切削工具和冷加工的方法，将材料加工成规定的开头，并将其装配到设备中的能力。

一、划线与弯曲

1. 划线

划线是根据图样的尺寸要求，用划针工具在毛坯或半成品上划出待加工部位的轮廓线（或称为加工界限）或作为基准的点、线的一种操作方法。划线的精度一般为 0.25 ~ 0.5mm。对划线的要求是：尺寸准确、位置正确、线条清晰、冲眼均匀。

(1) 划线用到的工具

划线需要用的工具见表 1-35。

表 1-35 划线工具

编号	1	2			3					4		
	基准工具	夹持工具			直接绘划工具					量具		
名称	划线平板	方箱	千斤顶	V 形铁	划针	划规	划卡	划针盘	样冲	金属直尺	直角尺	高度尺

(2) 划线基准

用划线盘划各种水平线时，应选定某一个基准作为依据，并以此来调节每次划针的高度，这个基准称为划线基准。常选用重要孔的中心线为划线基准，或零件上尺寸标注基准线为划线基准。

(3) 划线的操作要点

- 1) 看懂图样，了解零件的作用，分析零件的加工顺序和加工方法。
- 2) 工件夹持或支承要稳妥，以防滑倒或移动。
- 3) 在一次支承中应将要划出的平行线全部划全，以免再次支承补划，造成误差。
- 4) 正确使用划线工具，划出的线条要准确、清晰。

2. 弯曲

弯曲是把材料按需要弯成各种曲线或折线的工艺过程。

(1) 弯曲工具

弯曲所需要用到的工具见表 1-36。

表 1-36 弯曲工具

编号	1	2	3
名称	锤子	弯棒	弯管器

(2) 板料的弯曲方法

电工常把板料弯成管卡和管夹头。管卡的弯曲方法如图 1-81 所示，管夹头的弯曲方法如图 1-82 所示。

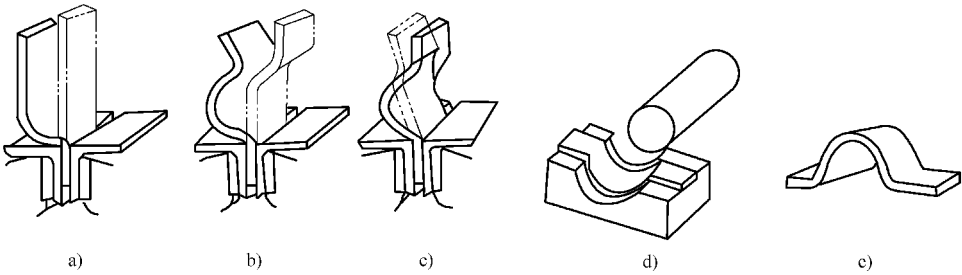


图 1-81 管卡的弯曲方法示意图

a) 一端成形 b) 两端成形 c) 两端校直 d) 圆弧整形 e) 管卡成形

(3) 圆柱管的弯曲方法

- 1) 直径在 25mm 及以下的电线管，即中、小型电线管，按如图 1-83 所示方法进行弯曲。
- 2) 在弯曲时，要逐渐移动弯棒，且一次弯曲的弧度不可以过大，否则会弯裂或弯瘪钢管。在弯曲直径在 25mm 以上的电线管（即大型电线管）或各种厚壁管，应按图 1-84 所示的方法进行弯曲。
- 3) 在弯曲钢管时，凡是壁薄、直径大的钢管，在弯曲时，管内要灌满沙，否则会把钢管弯瘪。如采用加热弯曲，要用干燥无水分的沙子。灌沙后，管的两端要塞上木塞，其工艺要求如图 1-85 所示。

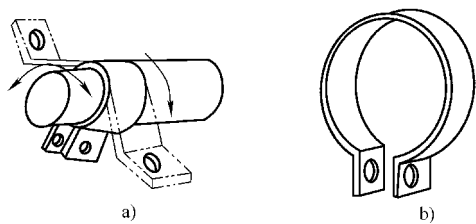


图 1-82 管夹头的弯曲方法
a) 弯曲方法 b) 管夹头成形



图 1-83 中小型电线管的弯曲方法示意图

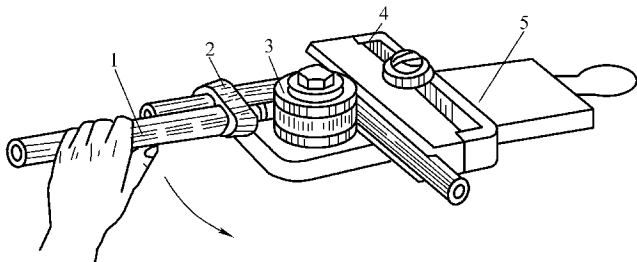


图 1-84 大型电线管或厚壁管的弯曲方法
1—手柄 2—扣钩 3—转盘 4—靠铁 5—底盘

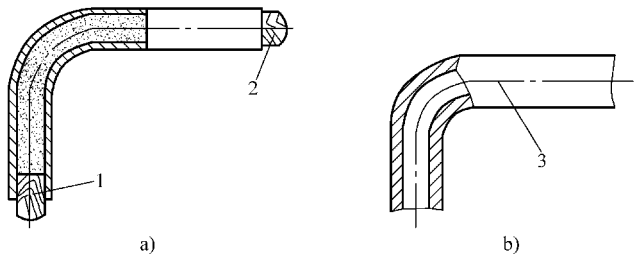


图 1-85 钢管弯曲的工艺要求
a) 较大直径薄壁管需灌沙弯曲 b) 有缝管应以缝作中间层
1、2—木塞 3—焊缝

二、锯削

锯削是用锯对材料进行分割的一种加工方法。

1. 锯削常用工具

锯削常用到的工具一般是手锯，它由锯弓和锯条组成。

锯弓分固定式和可调式两种。固定式锯弓只能装配 300mm 的锯条，而可调式锯弓可安装 200mm、250mm 及 300mm 三种规格的锯条，锯条的齿距有 0.8mm、1.0mm、1.2mm 和 1.8mm 四种。

对于软性材料和较大尺寸工件的锯削，应选用粗齿锯条；对于硬性材料、小尺寸工件和薄壁钢管的锯削，应选用细齿锯条。在锯削之前，应检查锯条的锯齿方向是否向前，锯削运

动有上下摆动和直线移动两种形式。前一种比较省力，应用较广；后一种适用于锯削平底直槽和薄形工件，在锯削过程中，以每分钟 20 ~ 60 次来回运锯为宜，锯削软性材料时运锯速度要快些，锯削硬性材料时运锯速度可慢些。

2. 锯削时应注意以下几点：

- 1) 被锯削：工件应用台虎钳夹紧。
- 2) 锯条的拉紧度应调节得当。太紧会因锯条缓冲小而易崩断；太松又影响锯缝的平直程度，因扭曲变形而折断。
- 3) 锯条的个别锯齿折断后，应立即停止锯削，否则邻近的锯齿会逐步折断，使用锉刀将断齿底部磨平，并将断齿附近的几个齿依次磨低。
- 4) 锯削时用力应均匀，不能太猛，否则会因锯条崩断而发生伤手事故。
- 5) 在工件快要锯断时应减小锯削力量，对沉重工件，在快要锯断时要用左手托住锯掉的一端或用支架支承，以防工件跌坏或砸伤脚面。

三、锉削

锉削是用锉刀对工件表面进行切削加工的一种方法。常用于对工件表面进行粗、精加工。

1. 锉削常用工具

锉刀的构造如图 1-86 所示。锉刀面是锉刀的工作面，上面的齿纹有双齿纹和单齿纹两种，单齿纹锉刀的锉削阻力大，适用于软材料的锉削；双齿纹锉刀的齿纹是从两个方向交叉排列的，适用于脆性材料的锉削。

根据齿纹间距，锉刀习惯上分为：粗齿锉（1 号）、中粗锉（2 号）、细齿锉（3 号）、双细锉（4 号）、油光锉（5 号）。

按其用途可分为钳工锉、特种锉和整形锉三大类。

钳工锉分平锉、方锉、三角锉、半圆锉和圆锉 5 种。

特种锉是加工特殊表面用的，其断面形状应与加工表面的形状相适应。整形锉用于修整工件上小而精细的部件，有 5 件一组合、6 件一组合等。

2. 锉削的方法

在对工件表面进行锉削加工前，应根据被加工工件的材料、尺寸、加工精度及表面粗糙度等要求正确选择锉刀。大锉刀的握法如图 1-87 所示。对于小尺寸锉刀及整形锉来说，用一只手握持就可以了。

在锉削加工中，平面锉削是最基本也是最常用的一种，平面锉削的方法有 3 种：顺向锉、

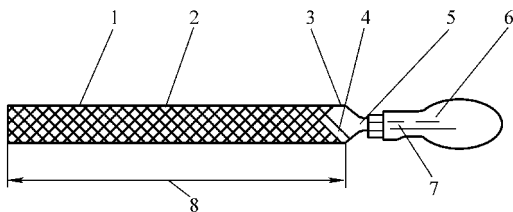


图 1-86 锉刀的构造示意图
1—锉刀面 2—锉刀边 3—底齿 4—面齿
5—锉刀尾 6—木柄 7—舌 8—长度

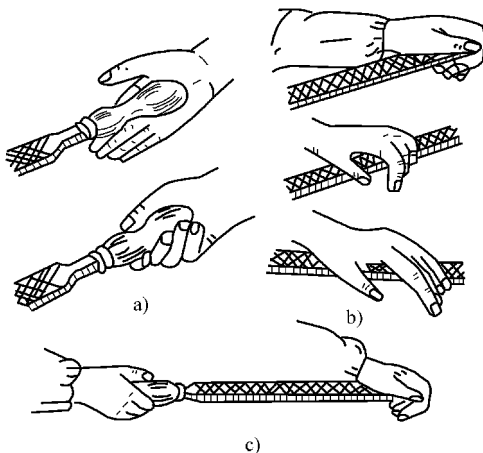


图 1-87 大锉刀的握法示意图
a) 右手的握持 b) 左手的握持 c) 锉削姿势

交叉锉、推锉。

1) 顺向锉。该方法用于平面的最后锉光和锉平,其锉痕整齐美观,如图1-88a所示。

2) 交叉锉。该方法沿某一方向顺向锉,再沿另一方向顺向锉,锉痕是交叉的(以正交最为美观),如图1-88b所示。

3) 推锉。该方法是对表面已锉平的工件进行尺寸修正和降低表面粗糙度,如图1-88c所示。

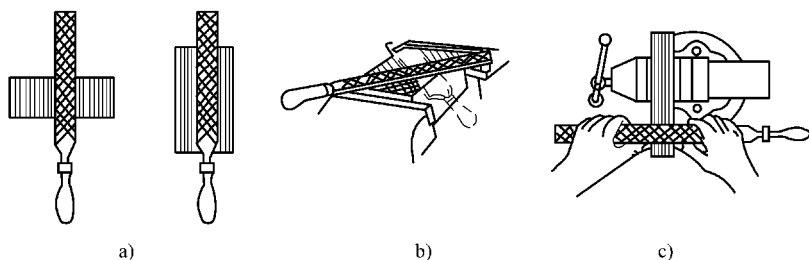


图1-88 3种基本平面锉削的方法

a) 顺向锉 b) 交叉锉 c) 推锉

工件表面是否锉平,一般用金属直尺或刀口直尺以透光法检查其锉削平整程度。

在进行锉前加工时,应注意两手加于锉刀上压力的变化。推力的大小主要用右手控制,而压力的大小由两手控制。在锉刀向前推进的过程中,右手逐渐增大压力,左手逐渐减小压力。如果推进时两手压力保持不变,则工件两端会出现塌边现象;当锉刀拉回时,应稍微抬起,脱离工件,以免磨钝锉齿和切屑划伤工件表面。锉削速度一般控制在每分钟20次为宜。

锉削时应注意以下几点:

1) 锉刀应尽量先用一面,用钝后再用另一面。

2) 每次用完后,用钢丝刷顺着锉纹将残留其中的切屑清除。

3) 粗锉时,因用力较大,锉刀往往会从工件表面突然滑开,造成伤手事故,所以使用锉刀时必须戴上防护手套。

4) 不使用无柄或柄已损坏的锉刀。

5) 禁止用嘴吹工件表面及台虎钳上的切屑,防止细切屑飞进眼睛里,也不能用手抹除切屑,既要防止金属刺扎手,又要防止因手指上的油污使锉刀打滑。

6) 锉刀很脆,不能用作撬、击工具。

四、钻孔

1. 钻孔工具

简称台钻,是一种在工作台上作用的小型钻床,其钻孔直径一般在13mm以下。台钻多用来钻12mm以下的孔(见图1-89)。

由于加工的孔径较小,所以台钻的主轴转速一般较高,最高转速可高达近万转/min,最低也在400r/min左右。主轴的转速可用改变V带在带轮上的位置来调节。Z512-1型台钻的构造如图1-90所示。台钻的主轴进给由转动进给手柄实现。在进行钻孔前,需根据



图1-89 台钻实物图

工件高低调整好工作台与主轴架间的距离，并锁紧固定（结合挂图与实物讲解示范）。台钻小巧灵活、使用方便、结构简单，主要用于加工小型工件上的各种小孔。它在仪表制造、钳工和装配中用得较多。

钻孔是用钻头在材料或工件上钻削孔眼的加工方法。常用的钻孔设备有钻床、手电钻等。其中钻床包括台式钻床（台钻）、立式钻床和摇臂钻床。手电钻分手提式和手枪式两种。钻头有麻花钻、扁钻、扩孔钻和中心钻等，其中最为常用的是麻花钻头。

2. 钻削时应注意以下几点

1) 当钻孔直径较大时，工件一定要装夹牢固。在通孔快要钻透时，应减小进给量。如果是在立式钻床或摇臂钻床上采用自动进刀方法，在通孔快钻透时，最好改用手动进刀，有利于控制切削力的大小。

2) 不准戴手套操作，以防钻头或切屑勾住手套发生事故。

3) 必须在停车后用铁勾或毛刷清除切屑，不得用手拉切屑。

4) 养成用钻钥匙来松紧钻夹头的习惯，不允许用锤子或其他物品敲击。

5) 由于钻头在切削过程中产生大量热量，因此在钻孔时用力不可太猛，必要时需加适当切削液（如乳化液）进行冷却。

6) 使用手电钻时应注意用电安全。

五、攻螺纹与套螺纹

用丝锥在孔壁上旋转切制出内螺纹称为攻螺纹；用板牙在圆杆或管子上旋转切制出外螺纹称为套螺纹。在进行攻螺纹和套螺纹时，应注意螺纹的旋向，较常用的螺纹是右旋螺纹，规定不必标出旋向；左旋螺纹用“左”字标注。

1. 攻螺纹

攻螺纹所用的基本工具是丝锥和铰杠。丝锥由工作部分和柄部组成，其结构如图 1-91 所示。工作部分由切削部分和校准部分组成。切削部分在最前端，由几个刀齿构成，其直径从左向右逐渐增大。校准部分具有完整的牙型，用来校正和修光已切出的螺纹，并引导丝锥沿轴向前进。丝锥的柄部套接铰杠。

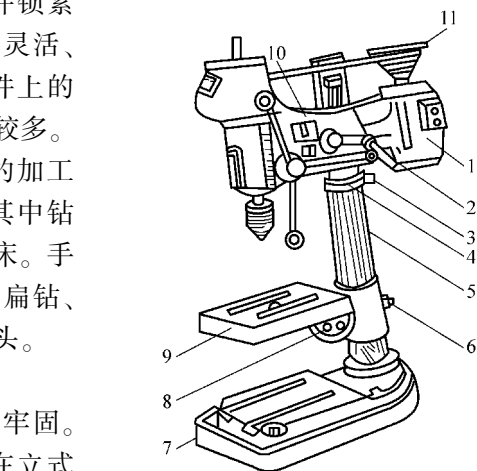


图 1-90 Z512-1 型台钻的构造示意图

- 1—电动机 2—锁紧手柄 3—锁紧螺栓
4—保险环 5—立柱 6—工作台锁紧手柄螺栓
7—底座 8—螺栓 9—工作台
10—头架 11—带轮

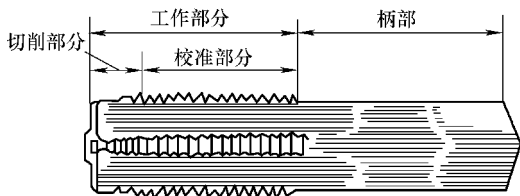


图 1-91 丝锥的结构示意图

铰杠是传递转矩和夹持丝锥的工具，分普通铰杠和丁字形铰杠两类，如图 1-92 所示。

攻螺纹时底孔的直径应比螺纹的小径稍大，否则，攻螺纹时丝锥有时会被咬住。普通螺纹的底孔直径 D (mm) 与螺纹公称直径 d (mm) 及螺距 t (mm) 三者的关系如下：

对于塑性较大的材料（如钢、纯铜），其关系为

$$D = d - t$$

对于塑性较小的材料（如铸铁、黄铜），其关系为

$$D = d - (1.05 \sim 1.1)t$$

2. 套螺纹

套螺纹所用的基本工具是板牙及铰杠。普通螺纹的圆板牙外形像圆螺母，如图 1-93 所示。其内部有切削刃、校准部分及排屑槽。切削刃是板牙两端的锥孔部分；校准部分是板牙的中间部分，用于校准和修光已切出的螺纹，并引导板牙沿轴向前进；圆板牙铰杠是传递转矩和固紧板牙的工具，如图 1-94 所示。

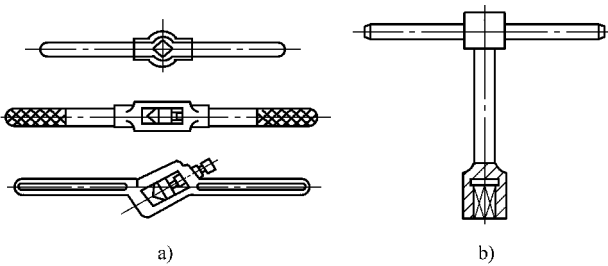


图 1-92 铰杠
a) 普通铰杠 b) 丁字形铰杠

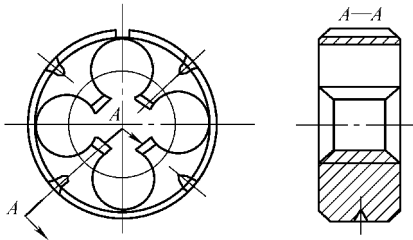


图 1-93 圆板牙

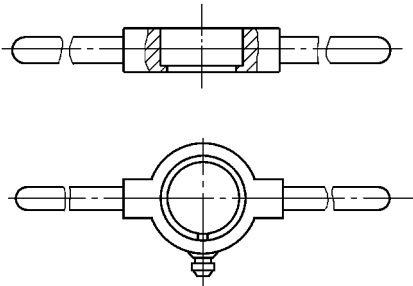


图 1-94 圆板牙铰杠

与攻螺纹相似，套螺纹时圆杆的直径应稍小于螺纹的大径。圆杆直径 D (mm) 与螺纹公称直径 d (mm) 及螺距 t (mm) 的关系如下：

$$D = d - 0.13t$$

在攻螺纹和套螺纹时应注意以下几点：

- 1) 攻螺纹的底孔孔口要倒角，套螺纹的圆杆端部也要倒角，这样比较容易起纹进量，也可保护刀刃。
- 2) 开始工作时，应尽量将丝锥或板牙放正，然后再加压（切不可敲击）并转动铰杠，当切入 1~2 圈时，应校正丝锥或板牙对工件的垂直度。
- 3) 操作中，铰杠每进半圈左右，就应倒转一些，使断碎切屑便于排除。
- 4) 对塑性大的材料攻螺纹和套螺纹时，要加切削液，以减少切削阻力，降低螺纹表面粗糙度值和延长刀具的使用寿命。

1.4.2 焊工基本操作技能

一、焊接的基本知识

焊接是将两个或两个以上的工件，通过加热或其他方法，使焊料与被加工金属之间产生吸引，并相互渗透，使之达到两个物件间的永久性连接的方法。维修电工在许多作业中都需要用到焊接，而常用到的焊接方法有烙铁钎焊和手工电弧焊两种，所以焊工的基本操作技能成为电工必不可少的基本技能。

焊接通常分为 3 种，它们是熔焊、钎焊和接触焊。在电子电气设备的安装与维修中，主

要采用的是钎焊。所谓钎焊，就是利用加热使焊料金属熔化成液体状，把被焊金属连接在一起，并在焊接部位发生化学变化的焊接方法。

通常，在钎焊中，起到连接作用的金属材料称之为钎料，也称为焊料。焊料的熔点一般会低于被焊接的金属材料的熔点。在电工和电子技术中，大量采用锡铅焊进行焊接，称为锡钎焊，简称锡焊。要使被焊接金属与焊锡实现良好焊接，应具备以下几个条件：

1. 被焊接的金属应具有良好的可焊性

所谓可焊性是指在适当温度和助焊剂的作用下，在焊接面上，焊料原子与被焊金属原子能互相渗透，牢固结合，生成良好的焊点。

2. 被焊金属表面和焊锡应保持清洁接触

在焊接前，必须清除焊接部件的氧化膜和污点、污物，否则容易阻碍焊接时合金的形成。

3. 应选用助焊性能适合的助焊剂

助焊剂在熔化时，能溶解被焊部件的氧化膜和污物，增强焊锡的流动性，并能保证焊锡与被焊金属的牢固结合。

4. 选择合适的焊锡

焊锡的选用应能使其在被焊金属表面产生良好的浸润，使焊锡与被焊金属熔为一体。

5. 保证足够的焊接温度

足够的焊接温度一是能够使焊料熔化，二是能够加热被焊金属，使两者生成金属合金。焊接温度不足将造成假焊或虚焊。

6. 要有适当的焊接时间

焊接时间过短将不能保证焊点的质量，过长会损坏部件和元器件，对印制电路板，焊接时间过长会使电路铜箔起泡。

在焊接技术中，除了对焊料有要求，相应地对焊点、工具也有要求，同时，在操作中的要领及工艺要求，都是实现良好焊接所必不可少的内容。

二、烙铁钎焊

1. 烙铁钎焊的焊接机理

烙铁钎焊的焊接机理可以概括为以下 3 个过程：

(1) 浸润

浸润是发生在固体和液体表面之间的一种物理现象，其过程可以这样来描述：焊接经过加热熔化后，靠毛细管作用沿焊件表面蔓延，焊料金属原子和焊件金属原子间接近到能够相互吸引而结合的距离。

浸润的程序用浸润角 θ 描述，如图 1-95 所示。 θ 越小，焊接质量越好，实际应用中通常以 45° 为标准衡量浸润状态的。

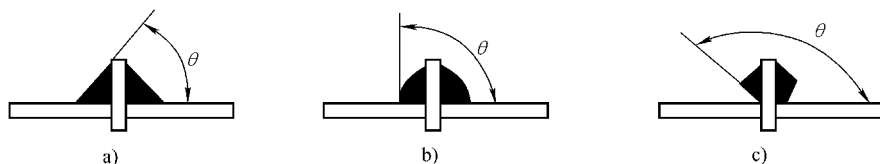


图 1-95 浸润角

a) $\theta = 45^\circ$ 浸润良好 b) $\theta = 90^\circ$ c) $\theta > 90^\circ$ 浸润不良

(2) 扩散

金属学上的扩散是指两块金属接近到一定距离时能互相“渗入”的现象。金属之间的扩散不是在任何情况下都能发生，而是需要条件。金属之间的扩散的基本条件是：

1) 距离。两块金属之间的距离必须小到一定的范围内，如果两块金属表面存在杂质或氧化层时，会使其不能达到这个距离从而导致扩散状态不够。

2) 温度。两块金属必须达到一定的温度，才能使分子具有足够的动能使扩散得以进行。由此可见，焊接表面的清洁和焊件的加热是实现扩散的基本条件。

(3) 合金层

焊件浸润后，焊料和焊接件之间的互相扩散，冷却后会在两者之间形成一种新的金属合金层，从而实现焊件与焊料之间的永久性连接。

焊件经过浸润、扩散后形成合金层，焊件得到了连接，这就是焊接的全部过程。

2. 焊接的基本工具

(1) 电烙铁

电烙铁是用于焊接的主要工具，电烙铁的外形如图 1-96 所示。电烙铁的常用规格与型号见表 1-37。



图 1-96 电烙铁实物图

表 1-37 电烙铁的型号和规格

型 式	规格/W	加热方式
内热式	20、35、50、70、100、150、200、300	电热元件插入铜头空腔内加热
外热式	30、50、75、100、150、200、300、500	铜头插入电热元件内腔加热
快热式	60、100	由变压器感应出低电压、大电流进行加热

(2) 喷灯

喷灯是一种利用喷射火焰对工件进行加热的工具，火焰温度可达 900℃ 以上，常用于锡焊时加热烙铁、电缆封端及导线局部的热处理等（见图 1-97）。



图 1-97 喷灯实物图

常用喷灯分为煤油喷灯和汽油喷灯两种，如图 1-98 所示。

使用时应注意以下几点：

1) 使用前应仔细检查油桶是否漏油，喷嘴是否堵塞、漏气等。

2) 根据喷灯所规定使用的燃料油的种类，加注相应的燃料油，其油量不得超过油桶容量的 3/4，加油后应拧紧加油处的旋塞。

3) 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料油，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。

4) 喷灯工作时应注意火焰与带电体之间的安全距离。

5) 喷灯的加油、放油、修理等操作，应在喷灯熄火冷却后方可进行。

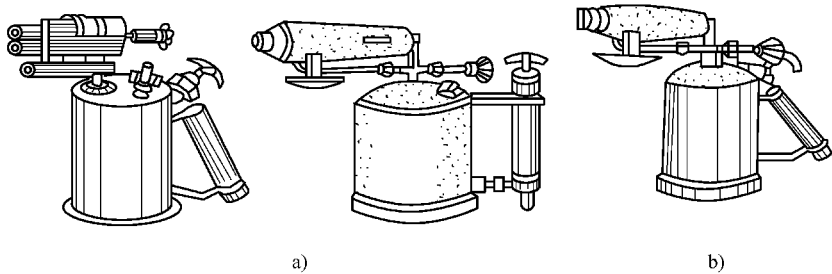


图 1-98 喷灯示意图
a) 汽油喷灯 b) 煤油喷灯

3. 焊料与焊剂

(1) 焊料

焊料是一种易熔金属，通常是用锡和铅再加入其他金属综合而成，因此被称为焊锡。常用的焊锡一般被分为 S、A、B 三个等级，见表 1-38。

表 1-38 焊锡的符号、等级与液相线温度

种类	等级	符号	液相线温度/℃	种类	等级	符号	液相线温度/℃
65Sn	S	H65S	186	50Sn	S	H50S	215
63Sn	S	H63S	184		A	H50A	
	B	H63B			B	H50B	
60Sn	S	H60S	190	45Sn	S	H45S	227
	A	H60A			A	H45A	
	B	H60B		B	H45B		
55Sn	S	H55S	203	40Sn	S	H40S	238
	A	H55A			A	H40A	
	B	H55B		B	H40B		

40Sn ~ 65Sn 的焊锡一般被用作焊接电子元器件使用。手工焊接中使用较广泛的是 50Sn 型焊锡，但是其液化温度较高，约为 215℃，因此为了防止焊接时导致元器件的温度过高，最好选用 60Sn 或 63Sn。另外，65Sn 常用于印制电路板的自动焊剂。

常用的焊锡有块状、棒状、丝状、粉末状等，块状及棒状的焊锡用于浸焊和波峰焊等自动焊接机使用；丝状焊锡主要用于手工焊接，俗称焊锡丝，如图 1-99 所示。其直径通常有 0.5、0.8、0.9、1.0、1.2、1.5、2.0、2.3、2.5、3.0、4.0、5.0（单位为 mm）等。

(2) 焊剂

焊剂根本其作用分为助焊剂和阻焊剂两种。

1) 助焊剂。助焊剂可分为树脂助焊剂、无机助焊剂、有机助焊剂等几种。

① 松香助焊剂是最常用树脂助焊剂，也是应用



图 1-99 焊锡丝

最多的一种助焊剂。它在加热下，能去除焊件表面氧化物，从而达到助焊的目的。另外，松香在焊接后形成的膜层具有覆盖焊点、保护焊点不被氧化腐蚀的作用。不仅如此，而且松香助焊剂容易清洗，没有污染，低成本，因此得到了广泛的使用。

② 无机助焊剂的化学作用强，腐蚀作用大，锡焊非常好。由于其腐蚀性能，使用这类助焊剂焊接后，一定要将其残留清除干净。因此，电子设备一般不使用此类助焊剂。

③ 有机助焊剂具有较好的助焊性能，被广泛使用。但因其有一定的腐蚀性，而且不易清除干净，在焊接过程中，分解物对操作者有固定，因而在电子工业中的使用受到限制。

2) 阻焊剂。阻焊剂将不需要焊接的部分保护起来，阻止焊锡流到此部位，对焊接的精确度有了准确的提高，在选择阻焊剂时，要考虑其良好的工艺性、耐热性、黏结性以及良好的绝缘耐溶剂化学药品性和机械性等几个方面。

三、手工焊接的操作技能

1. 工具与材料

手工焊接工具与材料见表 1-39。

表 1-39 手工焊接工具与材料

序号	1	2
工具	电烙铁	焊锡丝

2. 操作前的准备

(1) 电烙铁的握法

使用电烙铁时，不能烫伤、损坏导线或元器件，因此必须要掌握手持电烙铁的方法。电烙铁的扬尘因电烙铁的种类和焊接要求则不同，有笔握法、把握法、正握法三种：

1) 握笔法，如图 1-100c 所示，笔握法类似于写字时拿笔的姿势，易于掌握，但长时间操作易于疲劳，适用于小功率电烙铁对小型设备或印制电路板的焊接。

2) 反握法，如图 1-100a 所示，这种握法动作稳定，长时间操作不易疲劳，适用于功率大的电烙铁对热容量大的工作的焊接作业。

3) 正握法，如图 1-100b 所示，在操作台上焊接时多采用正握法，适用于中等功率电烙铁或带弯头的电烙铁的作业。

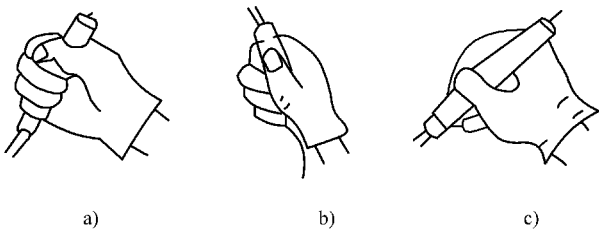


图 1-100 电烙铁的握法
a) 反握法 b) 正握法 c) 握笔法

(2) 焊锡丝的拿法

焊接中，一般一只手拿电烙铁，另一只手拿焊锡丝，拿焊锡丝的方法有两种，如图 1-101 所示。

1) 连续焊锡丝拿法，如图 1-101a 所示。拇指和食指握住焊锡丝，其余 3 个手指配合拇

指和食指把焊锡丝连续向前送出,适用于成卷焊锡丝的手工焊接。

2) 断续焊锡丝拿法,如图 1-101b 所示。用拇指、食指、中指夹住焊锡丝。这种拿法适合不需要连续送丝的小段焊锡丝的手工焊接。

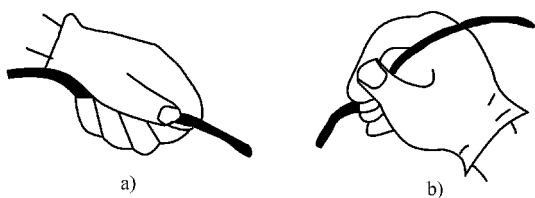


图 1-101 焊锡丝的拿法

a) 连续焊锡丝拿法 b) 断续焊锡丝拿法

3. 手工焊接的操作方法

手工焊接分为两种:三步操作法和五步操作法。五步操作法适合较大热容量的焊接作业,如图 1-102 所示;三步操作法适合焊接热容量较小的作业,如图 1-103 所示。

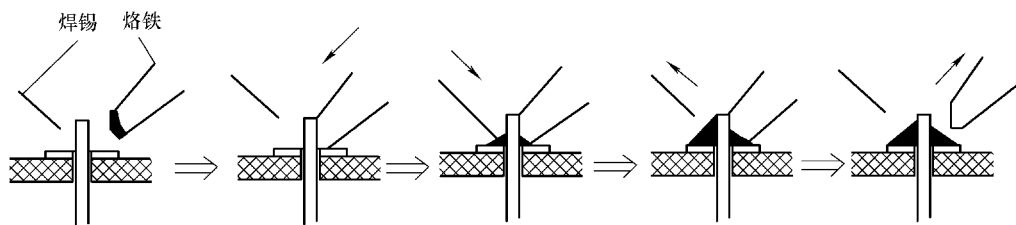


图 1-102 手工焊接五步操作法

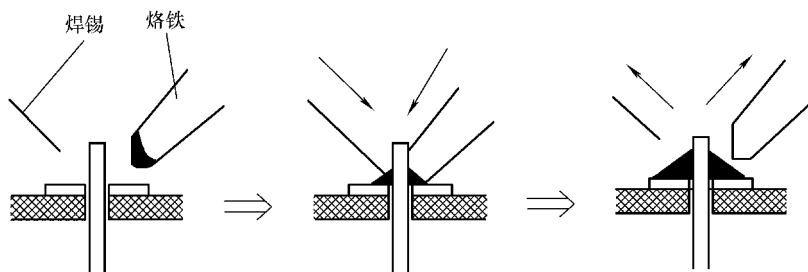


图 1-103 手工焊接三步操作法

(1) 手工焊接五步操作法操作步骤

1) 准备施焊。准备好焊锡丝和烙铁。此时特别强调的是烙铁头部要保持干净,即可以搪上焊锡。

2) 加热焊件。将烙铁接触焊接点,注意要保证烙铁加热各部分,例如,印制电路板上引线和焊盘都使之受热;其次要注意让烙铁头的扁平部分接触容量较大的焊件,烙铁头的侧面或边缘部分接触热容量较小的焊件,以保证焊件均匀受热。

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

4) 移开焊锡丝。当熔化一定量的焊锡后焊锡丝移开。

移开电烙铁。当焊锡完全润湿焊点后移开电烙铁,注意移开电烙铁的方向应该是大致 45° 角的方向。

(2) 手工焊接三步操作法操作步骤

1) 准备施焊。右手拿经过预热、清洁并搪上锡的电烙铁,左手拿焊锡丝,靠近烙铁头,作待焊姿势。

2) 加热被焊件和焊锡丝。将电烙铁和焊锡丝从被焊件两侧同时接触到焊接部位，并使适量焊锡熔化，浸满焊接部件。

3) 移动电烙铁和焊锡丝。焊点形成后，拿开烙铁头和焊锡丝。注意拿开焊锡丝的时候，不得忙于烙铁的撤离。

四、补焊与拆焊的工艺

1. 补焊

无论是手工还是自动化焊接生产，在大批量元器件安装结束后，都必须要对焊接质量进行仔细检查，主要检查是否存在漏焊、虚焊、多锡、少锡、搭锡等现象，并及时加以纠正，尤其是针对电路中的大功率器件、变压器、接线柱、开关、插座、散热片、引线焊点等位置进行补锡，提高牢固程序；对高频高压和高密度安装的电路部分，检查有无容易引起电磁干扰、高压放电的问题存在，对出现的问题要及时排除。

2. 拆焊

将已焊的焊点拆除的过程称为拆焊。测试和维修中常需要更换一些元器件，在实际操作中，拆焊比焊接难度更高，因此需要掌握一些拆焊的技巧，以免损坏元器件或印制电路板。

(1) 拆焊的基本准则

在拆焊前，一定要确认原来焊接点的特别，不能轻易动手。基本准则为：

- 1) 拆焊时不能损坏待拆除的元器件、导线及周围的元器件。
- 2) 如果确定待拆器件已经失效，可先将其引脚剪断再拆除。
- 3) 拆焊过程中应尽量避免拆动其他元件，如果无法避免，应做好复原工作。

(2) 拆焊的工具

拆焊的工具见表 1-40。

表 1-40 拆焊的工具

序号	1	2	3	4
名称	电烙铁	吸焊器	排锡管	吸锡绳

1) 电烙铁：此工具前文已有讲解，此处不再赘述。

2) 吸焊器：吸焊器是用来吸取焊点上存锡的一种工具，它的形式有许多种，常用的球形吸焊器，如图 1-104 所示。

球形吸焊器是将橡皮囊内部空气压出，形成低压区，再通过制作的吸锡嘴，将熔化的锡液吸入球体内空腹内。

3) 排锡管：排锡管是使印制电路板上元器件引线与焊接分享的工具。它实际上是一根空心不锈钢管，如图 1-105 所示。操作时，将针孔对准焊点上元器件引线，待电烙铁将焊锡熔化后迅速将针头插入印制电路板元器件孔内，同时左右转动，移开电烙铁，使元器件引线与焊盘分离。

4) 吸锡绳：吸锡绳用于吸取焊接点上的焊锡，使用时将焊锡熔化，使之吸附在吸锡绳上即可。

(3) 拆焊的方法

对于一般的焊接点，拆焊比较简单。只需要用电烙铁对焊点加热，熔化焊锡，然后用镊

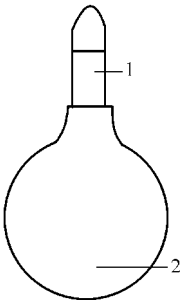


图 1-104 球形吸焊器
1—吸锡嘴 2—橡皮囊

子或尖嘴钳拆下元器件引线。具体的拆焊方法应根据实际情况灵活选择，常用的拆焊方法有以下几种：

- 1) 分点拆焊法。卧式安装的电容器、电阻器等元器件只有两个焊点，可用电烙铁分点加热，逐点拔出。如果引线是弯曲的，用烙铁头撬直后再拆除。
- 2) 集中拆焊法。晶体管及立式装置的元器件等的焊点距离很近，应先用电烙铁和吸锡工具逐个将焊接点上的焊锡吸去，再和排锡管将元器件引线逐个与焊盘分离，最后将元器件拔下。
- 3) 保留拆焊法。对需要保留元器件引线和导线端头的拆焊，要求比较严格。可用吸锡工具先吸出焊接点外面焊锡以露出元器件引线轮廓，再用镊子挑开焊盘与引线间的残留焊料，最后用烙铁头对引线未撑开的个别焊接点加热，待焊锡熔化时，趁热拔下元器件。

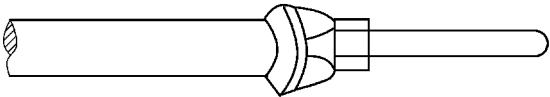


图 1-105 排锡管

五、几种实用的锡焊技巧

1. 印制电路板的焊接

(1) 工具与材料

焊接印制电路板的工具与材料见表 1-41。

表 1-41 焊接印制电路板的工具与材料

序号	1	2	3
名称	电烙铁（20 ~40W）	焊剂	焊料

(2) 单面板及双面板的焊接

单面板是指只有一面有印制导线和焊盘的印制电路板，元器件应装在无铜箔的一面，引线穿过连接孔与焊盘连接在一起。

双面板是指两面都有印制导线和焊盘的印制电路板，这种电路板的连接孔一般要进行金属化处理，在金属化孔上焊接时，要将焊件与焊孔内部充分浸透焊盘，并流向另一侧，因此金属化孔上的焊接加热时间应稍长一些。

2. 导线和接线端子的焊接

导线焊接在电子装配中占一定的比例，实践表明其焊点失效率高于印制电路板，针对常见的导线类型，如单股导线、多股导线、屏蔽线，导线连接采用绕焊、钩焊、搭焊、插焊等基本方法。

需要注意的是：导线剥线长度要合适，上锡要均匀；线端连接要牢固；长于外层屏蔽线，以免因芯线受外力断开；导线连接点可以用热缩套管进行绝缘处理，既美观又耐用。

六、手工电弧焊

1. 手工电弧焊工具

手工电弧焊工具见表 1-42。

表 1-42 手工电弧焊工具

序号	1	2	3	4	5
名称	电焊机	焊钳	焊条	焊条保温筒	面罩

- 1) 电焊机：电焊机的主体是一台变压器，又叫电焊变压器，如图 1-106 所示。

2) 焊钳: 焊钳是用来夹持焊条并传导电流进行焊接的工具, 常见的焊钳有 300A 和 500A 两种, 如图 1-107 所示。



图 1-106 电焊机实物图



图 1-107 焊钳 (300A)

3) 焊条: 焊条在焊缝金属中, 填充金属 50% ~ 70%, 因此焊条型号对焊缝金属的化学成分和力学性能起着重要作用。

在焊工作业时, 焊条直径的大小取决于以下几个因素。

焊件厚度: 焊件厚度越大, 选用的焊条直径也应越大, 反之, 越小。在一般情况下, 焊条直径与焊件厚度的关系可参考表 1-43 中的数据。

表 1-43 焊条直径与焊件厚度的关系

焊件厚度/mm	≤1.5	2	3	4~5	6~12	≥12
焊条直径/mm	1.5	2	3.2	3.2~4	4~5	4~6

焊缝位置: 在板厚相同的条件下, 焊接平焊缝的焊条直径应大些, 立焊焊条直径最大不超过 5mm, 仰焊、横焊焊条最大直径不超过 4mm, 这样可形成较小的熔池, 减少熔化金属下淌。

焊接层数: 在进行多层焊道焊接时, 第一层焊道应选用直径较小的焊条焊接, 一般为 $\phi 2.5\text{mm}$ 或 $\phi 3.2\text{mm}$ 的焊条。这是因为第一层若采用的焊条直径过大时, 焊条不能深入坡口根部而造成电弧过长, 产生未焊透缺陷。

4) 焊条保温筒: 焊条保温筒是在施工现场携带的可存储少量焊条的一种保温容器, 如图 1-108 所示。因为焊条保温筒使焊条从烘箱内取出后继续保温以保持焊条涂层在使用中的干燥度, 其内部工作温度为 150 ~ 200℃。

5) 面罩: 面罩是在施工作业时用来保护面部、颈部的一种遮蔽工具, 防止焊接时的飞溅、弧光及熔池及焊件高温对人体的灼伤保护的一种工具。如图 1-109 所示。一般按颜色的深浅分为 6 个型号, 即 7 ~ 12 号, 号数越大, 颜色越深, 对减弱弧光过滤红外线、紫外线等的作用越强。

2. 焊接方式

工件的焊接方式按工件的结构、形式、体积和所处位置的不同, 分为平焊、立焊、横焊和仰焊 (倒焊) 4 种, 如图 1-110 所示。



图 1-108 焊条保温筒



图 1-109 面罩

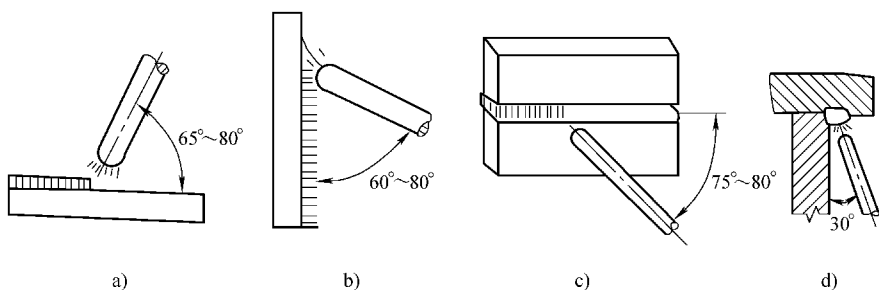


图 1-110 焊接方式

a) 平焊 b) 立焊 c) 横焊 d) 仰焊

1) 平焊。焊缝位于水平位置。用平焊时，要边焊边用尖头锤敲掉焊渣。运条时注意掌握运条方向与工件成 $65^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 夹角，如图 1-110a 所示。

2) 立焊和横焊。与平焊相对，这两种焊接方式难度要大一些。因为这种焊接位置很容易使熔融的液态金属因自重下流，造成焊不透或铁瘤成堆的现象，所以这两种焊接方式只能采用直径较小的焊条和较短的电弧施焊，焊接电流也应适当小些，运条角度如图 1-110b 和图 1-110c 所示。

3) 仰焊。与平焊相反，它是工件在上、焊条在下的一种倒立焊接，在电弧中技术难度最高。焊接时熔化的铁液很容易滴落，只能采用直径较小的焊条和较短的电弧施焊，运条角度如图 1-110d 所示。

3. 焊接方法

焊件定位后，将接通焊接电源的电焊条在焊件上引燃电弧，此过程简称引弧。引弧的方法有划擦法和接触法两种。

划擦法是将接通电源的焊条前端对准焊缝，握电焊钳的手腕轻微扭转，像划火柴一样使焊条在焊件表面划擦，使焊条前端落入焊缝范围，并将焊条向上提起 $3 \sim 4\text{mm}$ ，电弧即可引燃。接着将电弧长度（即焊条与焊缝间的距离）保持在与焊条直径相应的范围内，并运条焊接，如图 1-111 所示。

接触法是将接通焊接电源的焊条前端对准焊缝，使焊条前端倾斜一下焊件表面后，迅速向上提起 $3 \sim 4\text{mm}$ ，即可引弧。其电弧长度的控制与划擦法相同，如图 1-111b 所示。

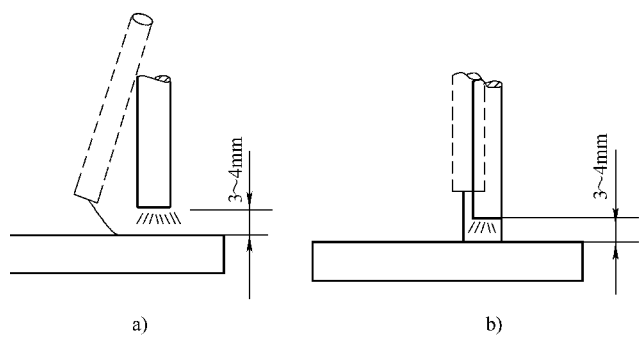


图 1-111 电弧的引燃方法

a) 划擦法 b) 接触法

如果引弧时，出现焊条与焊件粘边的情况，可用焊钳将焊条左右扳动，使其脱开工件，若不能奏效，只好使用电焊钳脱离焊条，待焊条冷却后，用手扳下。

电弧引燃后，将电弧稍微拉长，使焊件加热，然后缩短焊条与焊件间的距离，电弧长度适当后开始运条，运条时焊条前端按 3 个方向移动：第一，随着焊条的熔蚀，其长度渐短，应逐渐向焊缝方向送进，送进速度应与焊条熔化速度相适应；第二，焊条横向摆，以拓宽焊接面；第三，使焊条沿着焊缝，朝着未焊方向前进。在焊接过程中，这 3 个动作应有机配合，方能保证焊接质量，如图 1-112 所示。

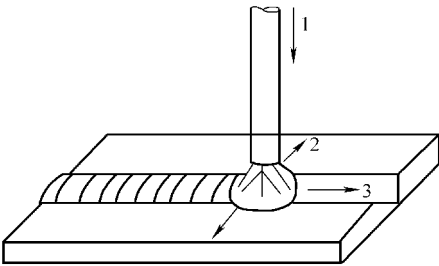


图 1-112 焊条的运动方向

当焊缝焊完时，焊条前端要在焊缝终点做小的圆周运动，待铁液填满弧坑后，提起焊条，终止焊接，最后用尖头锤敲去焊渣，检查焊点质量是否符合要求。

七、CO₂ 气体保护焊

CO₂ 气体保护焊是利用 CO₂ 作为保护气体的熔化极电弧焊的方法，称为 CO₂ 焊。由于 CO₂ 是具有氧化性的活性气体，因此除了具备一般气体保护电弧焊的特点外，CO₂ 焊在熔滴过渡、冶金反应等方面与一般气体保护电弧焊有所不同。

1. CO₂ 气体保护焊的工具与材料

CO₂ 气体保护焊的工具与材料见表 1-44。

表 1-44 CO₂ 气体保护焊的工具与材料

序号	1	2	3
名称	CO ₂ 气体	焊丝	焊枪

1) CO₂ 气体：CO₂ 气体保护焊可以采用由专业厂商提供的 CO₂ 气体，也可以采用仪器加工厂的副产品 CO₂ 气体，但均应满足焊接对气体纯度的要求。CO₂ 气体的纯度对焊缝金属的致密性和塑性有较大的影响，影响焊缝质量的主要有害杂质是水分的氮气。焊接时对焊缝质量要求越高，则对 CO₂ 气体纯度要求越高；气体纯度高，获得的焊缝金属塑性就越好。

2) 焊丝：CO₂ 焊的焊丝设计、制造和使用原则，除最基本的要求外，还对焊丝的化学成分有特殊要求，如焊丝必须含有足够数量的脱氧元素；焊丝的含碳量要低，一般要求小于

0.15%；应保证焊缝金属具有满意的力学性能和抗裂性能。

目前，H08Mn2SiA 焊丝是 CO_2 焊中应用最广泛的一种焊丝，如图 1-113 所示。它较好的工艺性能和力学性能以及抗热裂纹能力，适应于焊接低碳钢和 $\sigma_b \leq 500\text{MPa}$ 的低合金钢。

3) 焊枪： CO_2 焊枪包括半自动枪和自动焊枪两种。

半自动焊枪按冷却方式分为气阀和水准两种，按结构分为手枪式和鹅颈式。鹅颈式焊枪的结构如图 1-114 所示，其重心在手握部分，因而操作灵活，使用较文，特别适合于小直径焊丝。手枪式焊枪其重心不在手握部分，操作时不太灵活，常用于较大直径焊丝，采用内部循环水进行冷却。



图 1-113 H08Mn2SiA 焊丝

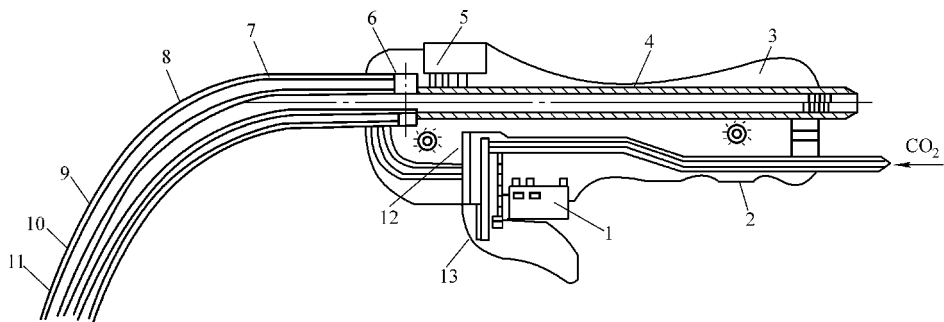


图 1-114 鹅颈式焊枪结构

1—开关 2—进气管 3—手把 4—导电杆 5—开关 6—绝缘套 7—导电管
8—外套 9—分流环 10—导电嘴 11—喷嘴 12—气阀 13—扳手

自动焊枪的主要作用与半自动焊枪相同。自动焊枪固定在机关或行走机构上，经常在大电流下使用，除要求其导电部分、导气部分和导丝部分性能良好外，为了适应大电流、长时间使用的需要，喷嘴部分要采用水准装置，这样既可以减少飞溅黏着，又可防止焊枪绝缘部分过热烧坏。

2. CO_2 气体保护焊的焊接方法

- 1) 操作时用身体的某个部分承担焊枪的重量，要求手腕能灵活带动焊枪平衡或转动，软管电缆不要有过大弯曲。
- 2) 根据焊件厚度、材质、焊丝直径和施焊位置选择合适的电流。
- 3) 焊接过程中，能维持喷嘴与焊件的距离 $6 \sim 12\text{mm}$ ，焊枪与工件焊缝成 80° 左右并保持不变，能清楚方便地观察熔池。
- 4) 整个焊接过程中，必须保持焊枪匀速前移，才能获得满意的焊缝。

1.4.3 导线连接的基本操作

导线的连接是电工作业人员必须掌握的技术，是线路安装及维修中经常要用到的技能。由于导线连接的质量对线路的可靠性和安全程序影响很大，而且在诸多故障中，导线连接的故障是电气故障的高发部位。所以，采用正确的导线连接方法可以降低故障的发生率，既加

强了线路运行的可靠性，又可以减轻工作强度。

一、操作准备

1. 工具

导线连接需要用的工具见表 1-45。

表 1-45 工具

编号	1	2	3	4	5	6
名称	钢丝钳	剥线钳	尖嘴钳	电工刀	压线钳	液压压接钳

2. 导线

需要的导线见表 1-46。

表 1-46 导线

编号	1	2	3	4	5	6	
名称	(1.5mm ²) 2m	塑料护 套线 1m	橡皮软线 1m	花线 1m	七股铜芯电线 (BV1.0mm ²) 2m	塑料硬线 (BV 1.5mm ²) 2m	塑料软线

3. 其他物品

需要准备多种冷压端头。

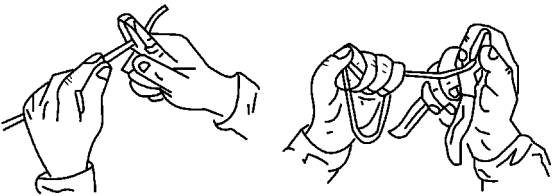
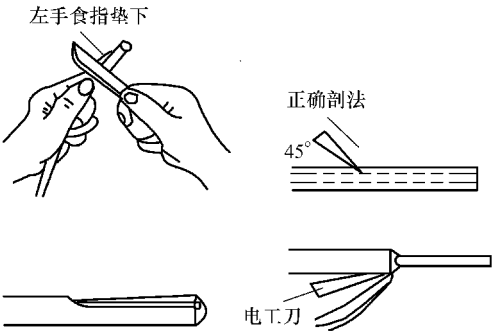
二、操作步骤

导线连接前，要根据具体的连接方法及导线线径将导线的绝缘层进行剥除。

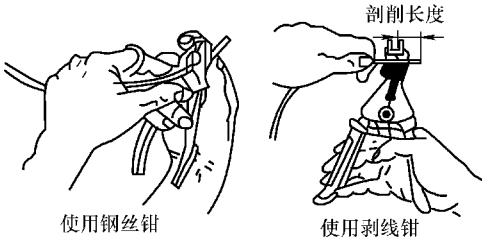
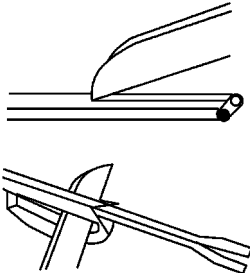
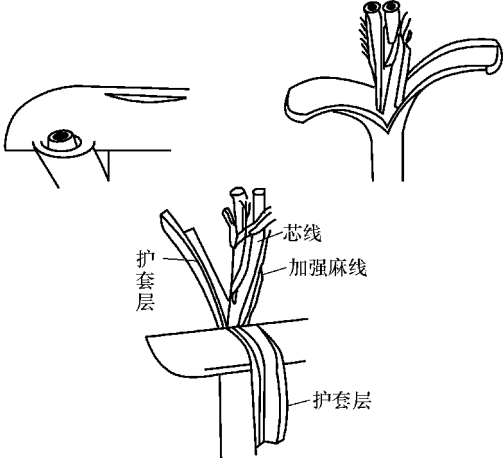
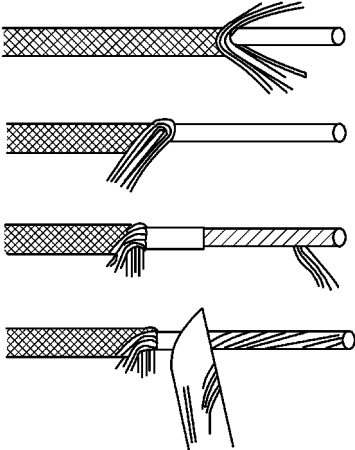
1. 导线的剖削

对于芯线截面积为 4mm² 及以下的导线，通常采用剥线钳进行剖削；芯线截面积为 4mm² 及以上的导线，则采用电工刀进行剖削。另外，电工也必须学会用钢丝钳来剖削常用导线的绝缘层的方法。具体剖削方法见表 1-47。

表 1-47 剖削常用导线的方法

名 称		剖削步骤	图 示
塑料硬线	芯线截面积 小于 4mm ² 使 用钢丝钳剖削	① 左手捏住电线，根据线头所需长度用钢丝钳刀口环绕轻切绝缘层 ② 右手握住钢丝钳头部用力向外勒去塑料绝缘层	
	芯线截面积 大于 4mm ² 使 用电工刀剖削	① 根据所需的长度用电工刀以 45° 倾斜切入塑料绝缘层 ② 刀面与芯线保持 15° ~ 25°，用力向前端推削，直到削完上面一层塑料绝缘 ③ 将下面塑料绝缘层向后扳翻，用电工刀环切一圈齐根切去	

(续)

名 称		剖削步骤	图 示
塑料软线	剥线钳或钢丝钳剖削	① 左手拇指、食指先捏住线头，按连接所需长度，用钳头刀口轻切绝缘层刀口 ② 左手食指缠绕一圈导线，右手握住钳头部，攥拳捏住导线，两手同时反向用力（右手用力要大于左手），即可把端部绝缘层剥离芯线	 使用钢丝钳 使用剥线钳
塑料护套线	电工刀剖削	① 根据所需的长度用电工刀刀尖对准护套线缝隙，划开护套层 ② 向后扳翻护套层，用刀齐根切去 ③ 在离护套层 5 ~ 10mm 处，用电工刀以 45° 倾斜切入绝缘层，剖削方法同塑料硬线	
橡皮软线	电工刀和钢丝钳剖削	① 从导线端头任意两芯线缝隙中割破部分橡皮护套层 ② 把已分开的护套层向外分拉，撕破护套层；当无法撕开护套层时，可用电工刀补割，直到所需长度为止 ③ 在根部切断扳翻的护套层 ④ 将麻线扣结加固 ⑤ 每根芯线的绝缘层按所需长度用塑料软线的剖削方法进行剖削	
花线	电工刀和钢丝钳剖削	① 从端头处松散编织的棉纱 15mm 以上 ② 把松散的棉纱分组并捻成线状，然后向后推缩至线头连接所需长度 ③ 将推缩的棉纱线进行扣结，紧扎住橡皮绝缘层 ④ 用钢丝钳刀口剖削橡胶绝缘层 ⑤ 把棉纱层按包缠方向散开，散到橡胶切口根部后，拉紧后切断即可	

2. 导线的连接

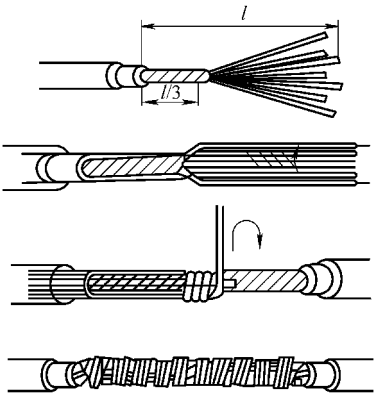
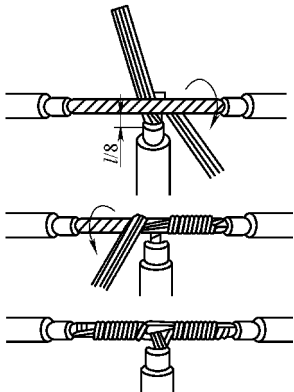
连接导线时应根据导线的材料、规格、种类等采用不同的连接方法。

常用的铜芯导线有单股、七股等多种线芯结构形式，其连接方法也有所不同，见表1-48。

表 1-48 铜芯导线的连接方法

名 称	连 接 步 骤	图 示
单股铜芯导线	直接连接 ① 将两个线头的芯线呈“×”形交叉后，互相绞绕2~3圈并扳直两线头 ② 将两个线头在芯线上紧绕6~8圈，钳去余下的芯线，并钳平芯线的末端	
	T字分支连接 ① 将支路芯线的线头与干线芯线“+”形相交后按顺时针方向缠绕支路芯线 ② 缠绕6~8圈后，钳去余下的芯线，并钳平芯线末端 ③ 对于较小截面积的芯线，应先环绕结扣，再把支路线头扳直，紧密缠绕8圈，随后剪去多余芯线，钳平切口处的毛刺	
单股铜导线与 多股铜导线	T字分支 连接 ① 在距多股导线的左端绝缘层切口3~5mm处的芯线上，用螺钉旋具把多股线芯均分两组 ② 勒直芯线，把单股芯线插入多股芯线的两组芯线中间，但不可到底，应使绝缘层切口离多股芯线约5mm ③ 用钢丝钳把多股芯线的插缝钳平钳紧 ④ 把单股芯线按顺时针方向紧绕在多股芯线上，缠绕10圈，钳断余端，并钳平切口处的毛刺	

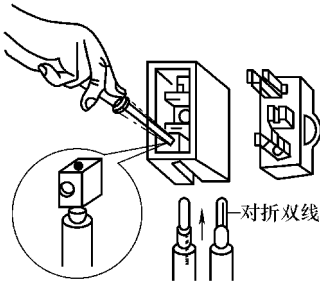
(续)

名 称	连 接 步 骤	图 示
七股铜芯导线	① 将两芯线头绝缘层剖削（长度为 l）后，散开并拉直，把靠近绝缘层根部 $l/3$ 线段的芯线绞紧 ② 将余下的 $2/3$ 芯线分散成伞状，并拉直每根芯线 ③ 把两组伞状芯线线头隔根对插，并捏平两端芯线，选择右侧 1 根芯线扳起，垂直于芯线，并按顺时针方向缠绕 3 圈 ④ 将余下的芯线向右扳直，再把第 2 根芯线扳起垂直于芯线，仍按顺时针方向紧紧压住前 1 根扳直的芯线缠绕 3 圈 ⑤ 将余下的芯线向右扳直，再把剩余的 5 根芯线依次按上述步骤操作后，切去多余的芯线，钳平线端 ⑥ 用同样的方法缠绕另一边芯线	
	① 将分支芯线散开钳直，接着把靠近绝缘层 $l/8$ 线段的芯线绞紧 ② 将其余线头 $7/8$ 的芯线分成 4、3 两组并排齐，用“一”字螺钉旋具把干线的芯线撬分两组，将支线中 4 根芯线的一组插入两组芯线干线中间，而把 3 根芯线的一组支线放在干线芯线的前面 ③ 把右边 3 根芯线的一组在干线一边按顺时针方向紧紧缠绕 3~4 圈，钳平线端，再把左边 4 根芯线的一组芯线按逆时针方向缠绕，缠绕 4~5 圈后，钳平线端	

3. 线头与接线桩的连接

电工工作中，许多电器与导线的连接是用接线柱或螺钉压接的，连接方法见表 1-49。

表 1-49 线头与接线桩的连接方法

连接方式	连 接 步 骤	图 示
线头与针孔式接线桩	① 若单股芯线与接线桩插线孔大小适宜，则将芯线插入针孔，旋紧螺钉即可，若单股芯线较细，则要把芯线折成双根，再插入针孔 ② 若是多股细丝的软线芯线，应先绞紧线芯，再插入针孔	

(续)

连接方式	连接步骤	图 示
线头与螺钉平压式桩	① 若较小截面积的单股芯线，则应把线头弯成接线圈（俗称羊眼圈），弯成的方向应与螺钉拧紧的方向一致 ② 较大截面积的单股芯线连接时，线头应装配套的接线耳，将接线耳与接线桩连接一起 ③ 采用多股软线压接前，应将导线线头弯成接线圈	
线头与瓦形接线桩	① 对于较小截面积的单股芯线，应把线头卡入瓦形接线桩内进行压接 ② 对于较大截面积的芯线，可直接将线芯塞入瓦形接线桩下压接，但压接后要拽拉接头，以检查接线紧固情况	

4. 铝芯导线的连接

铜芯导线通常可以直接连接，而铝芯导线由于常温下易氧化且氧化铝的电阻率较高，故一般采用压接的方式，见表 1-50。

铜芯导线与铝芯导线不能直接连接。原因有以下两点：

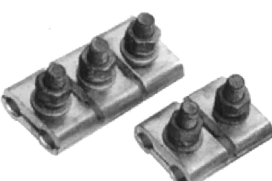
- 1) 铜、铝的热膨胀率不同，连接处容易产生松动。
- 2) 铜、铝直接连接会产生电化腐蚀现象。

通常铜、铝导线之间的连接要采用专用的铜、铝过渡接头连接方法见表 1-50。

表 1-50 铝芯导线的连接方法

名 称	连接步骤	图 示
铝芯导线 或与铜芯导线 的压接	① 将导线连接处表面清理干净，不应存在氧化层或杂质尘土 ② 清理表面后，将中性凡士林加热，溶成液体油脂，涂在铝筒内壁上，并保持清洁，然后使用压线钳和压接管连接	

(续)

名 称		连 接 步 骤	图 示
铝 芯 导 线 或 与 铜 芯 导 线 的 压 接	压 接 或 熔 焊 连 接	① 若是铝导线与电气设备连接，应采用铜铝过渡接线端子。铜铝接线端子适用配电装置中各种圆形、半圆扇形铝线、电力电缆与电气设备铜端的过渡连接	 铜铝接线端子
		② 铜铝接线夹适用于户内配电装置中电气设备与各种电线、电缆的过渡连接	 铜铝接线夹
		③ 若是铝导线与铜导线相连接，应采用铜铝过渡连接管，把铜导线插入连接管的铜端，把铝导线插入连接管的铝端，使用压线钳压接。连接管适用于配电装置中各种圆形、半圆扇形的电线、电缆之间的连接	 铜铝过渡接线管
		④ JB—TL 系列铜铝过渡并沟线夹适用于电力线路铝导线与铜导线的过流连接	 铜铝过渡并沟线夹

5. 铜芯导线端头的连接

对于导线端头与各种电器螺钉之间的连接，目前还广泛采用一种快捷而优质的连接方法，即用压线钳和冷压接线端头来完成。压接工作非常简单，只要遵从正确的工作顺序、配备适合的压接工具即可。使用压线钳不需要丰富的经验和现场条件，操作简便，接头工艺美观，因而广泛使用。

对于截面积较大的（6mm² 以上）导线，使用压线钳时应配备可互换的压接模套。

冷压接线端头（简称铜接头），也称配线器材和线鼻子、接线耳等，其材质多为优质红铜、青铜，以确保导电性能。

端头表面一般镀锡，防氧化，抗腐蚀，品种较多，以适应不同设备的装配需要。

新型冷压端头适用于工业（如机床、电器）、仪器、仪表、汽车、空调等家电行业。常用冷压接线端头见表 1-51。

表 1-51 常用冷压接线端头

名 称	外 形	名 称	外 形
叉形冷压端头		针形冷压端头	
圆形冷压端头		公预绝缘端头	

(续)

名 称	外 形	名 称	外 形
叉形预绝缘端头		针形、片形预绝缘端头	
圆形预绝缘端头		母预绝缘端头	

6. 截面积较大导线端头的连接

采用专用压接钳（见图 1-115）来完成，有手动、液压、电动等多种形式。

三、质量检验与验收

1. 剖削导线的检验

- 1) 无论采用哪种工具和剖削方法，都不能损伤导线的线芯。
- 2) 剖削出的芯线应完整无损，若损伤较大应重新刮削。



图 1-115 专用压接钳

2. 连接导线的检验

连接导线验收合格的基本要求是：

- 1) 电气接触好，即接触电阻要小。
- 2) 要有足够的机械强度。
- 3) 连接处的绝缘强度不低于导线本身的绝缘强度。
- 4) 压接多股细丝的软线芯线时，应先绞紧线芯，再插入针孔，决不应有细丝露在外面，以免发生短路。
- 5) 采用压线钳压接后的导线端头，应用手用力拉动接头检查接线情况，出现接头脱落和松动应重新连接。

1.4.4 绝缘恢复的基本操作

对于照明及日常电气工作中的许多导线，多采用黑胶布直接包缠来完成导线绝缘恢复的。除此之外，还有 PVC 绝缘胶带、黄蜡带、涤纶薄膜带等材料。

一、操作准备

1. 工具（见表 1-52）

表 1-52 工具

序号	1	2	3
名称	压线钳	电工刀	剥线钳

2. 其他材料（见表 1-53）

表 1-53 其他材料

序号	1	2	3	4
名称	导线接头	PVC 绝缘胶带	绝缘黑胶布	压线帽

二、操作步骤

1. 绝缘带的包缠方法

- 1) 包缠时，从导线左边完整的绝缘层上开始包缠，包缠两根带宽后方可进入无绝缘层的芯线部分，如图 1-116a 所示。
- 2) 包缠时，黄蜡带（黑胶布）与导线保持约 55° 的倾斜角，后面每圈依次压叠已缠绕带宽的 $1/2$ ，如图 1-116b 所示。其中 w 表示黄蜡带的宽度。
- 3) 包缠一层黄蜡带后，将黑胶布接在黄蜡带的尾端，按另一斜叠方向包缠一层黑胶布，也应每圈叠压前面带宽的 $1/2$ ，如图 1-116e 所示。新型 PVC 绝缘带如图 1-116d 所示。

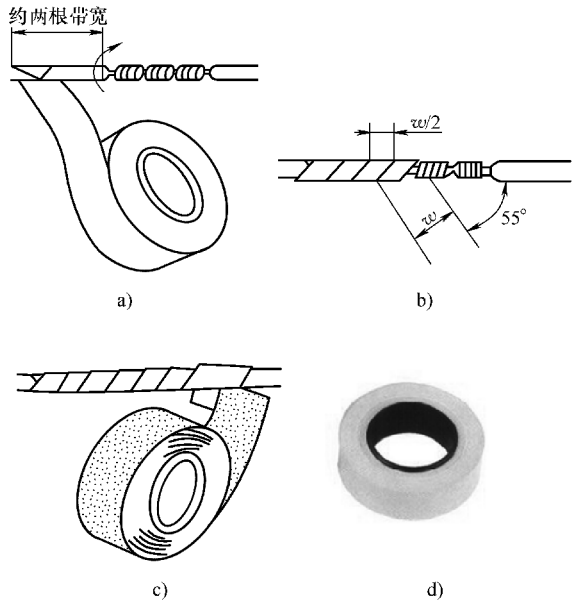


图 1-116 导线绝缘层的包缠

2. 压线帽的使用

在现代电气照明安装及电器接线工作中，使用专用压线帽来完成导线线头的绝缘恢复已成为快捷的工艺，通常是借助于压线钳来完成的，如图 1-117 所示。

三、质量检验与验收

1. 绝缘带包缠的检验

- 1) 使用绝缘带包缠导线时，缠绕应紧密，不能裸露导线的线芯。
- 2) 在 380V 线路上恢复导线绝缘时，先包缠 1~2 层黄蜡带，然后包缠 1 层黑胶布。而在 220V 线路上恢复导线绝缘时，先包缠 1 层黄蜡带，再包缠 1 层黑胶布或只包缠两层黑胶布；当导线采用缠绕连接时应采用锡焊并包扎绝缘胶布两层（一层高压绝缘、一层防水绝缘）。

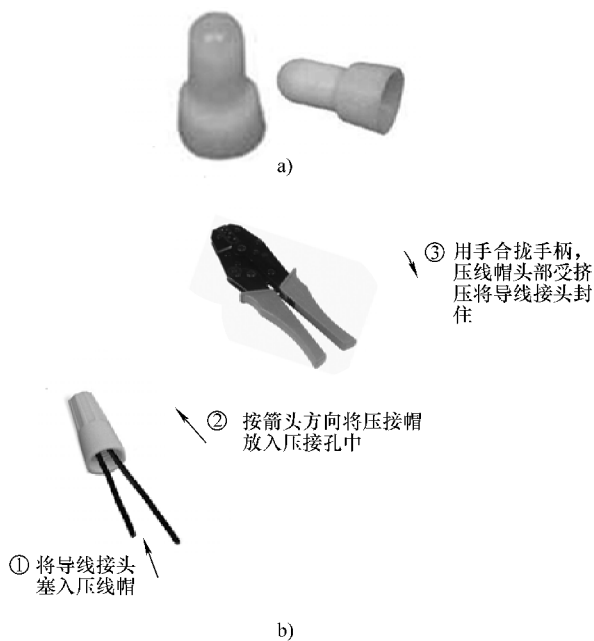


图 1-117 压线帽的使用方法

a) 压线帽的外形 b) 压线帽的使用

3) 绝缘带存放时要避免高温，也不可接触油类。

2. 使用压线帽恢复绝缘

1) 要有足够的机械强度。

2) 采用压线钳压接后，应用手拉动压线帽检查压接情况，出现压接脱落和松动应重新压接。

3) 当接线盒内导线的连接采用压线帽连接时，应根据不同的导线和根数采用相应的压线帽。压线帽的导线裸露部分出台应不大于 1mm。

1.4.5 登高工具与绳子结扣的使用

电工人员在登高作业时，要特别注意安全。未经现场训练，或患有心脏病等疾病患者，严禁擅自使用登高工具。

一、登高工具

1. 梯子

如图 1-118 所示，电工常用的有直梯和人字梯两种，前者通常用于户外登高作业，后者通常用于户内登高作业。直梯的两脚应当绑扎橡胶之类防滑材料；人字梯应当在中间绑扎两道自动滑开的安全绳。登在人字梯上操作时，切不可采用骑马方式站立，以防人字梯两脚自动滑开时造成严重的工伤事故。而且采用骑马站立的姿势，人在操作时也极不灵活。

2. 踏板

又叫踏板，如图 1-119 所示。

3. 脚扣

脚扣又叫做铁脚，如图 1-120 所示。脚扣的攀登速度较快，容易掌握登杆方法，但在杆

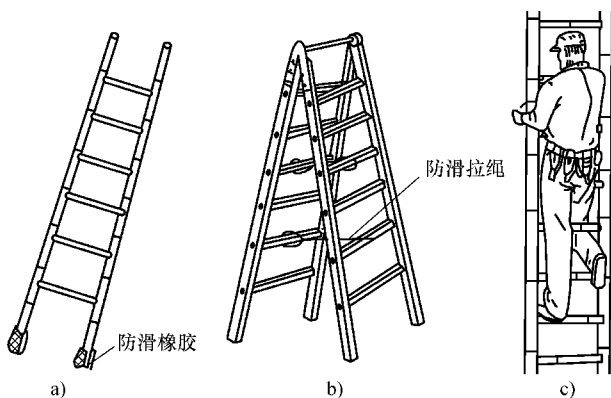


图 1-118 电工用梯

a) 直梯 b) 人字梯 c) 电工在梯子上作业的站立姿势

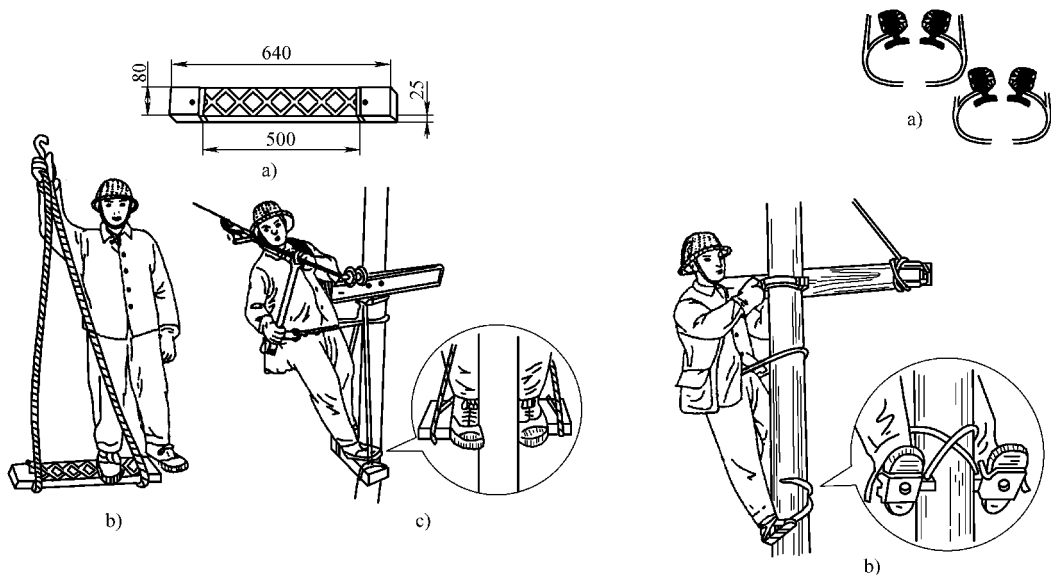


图 1-119 蹬板

a) 蹬板规格 b) 蹬板绳长度 c) 在蹬板上作业的站立姿势

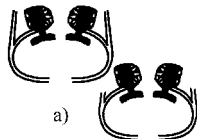


图 1-120 脚扣

上作业时没有蹬板灵活舒适，易于疲劳，所以适用于杆上短时间作业。

4. 腰带、保险绳和腰绳

腰带、保险绳和腰绳是电杆登高操作的必备品。如图 1-121 所示，腰带是用来系保险绳、腰绳和吊物绳的，使用时应系结在臀部上部，而不是系结在腰部，否则操作时既不灵活又容易扭伤腰部。

5. 工具夹

电工工具夹是户内外登高操作的必备品。它用来插装活扳手、钢丝钳、螺钉旋具和电工刀等电工常用工具，如图 1-122 所示。

6. 其他防护用品

电工常用的其他防护用品有电工登杆操作，必须戴防护帽、防护手套和电工绝缘鞋。另外还有吊绳、吊篮和背包。

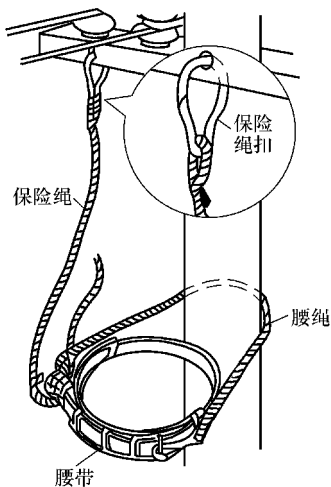


图 1-121 腰带、保险绳和腰绳的使用

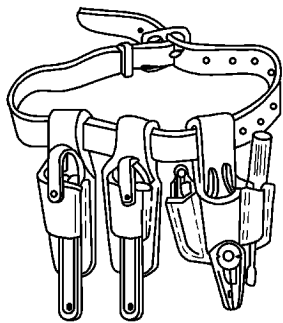


图 1-122 电工工具夹

二、绳子结扣

电工施工作业中，绳索是必须用品，而绳索结的扣结，必须满足操作的需要，还应考虑解结方便和安全可靠。以下是常见的几种电工绳结，如图 1-123 所示。

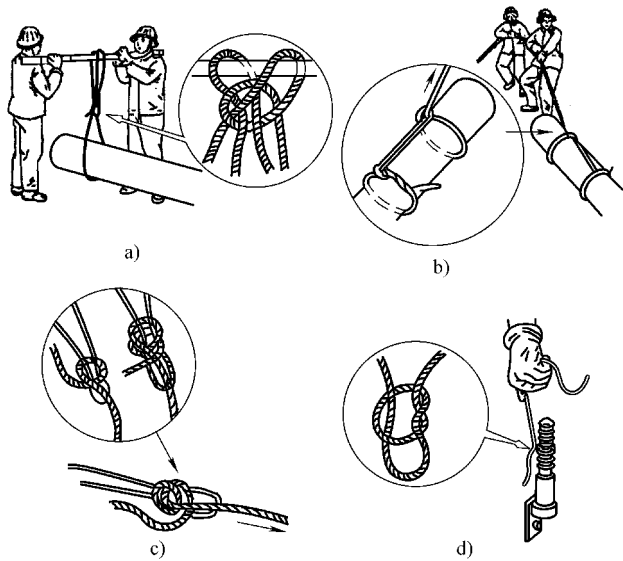


图 1-123 电工常用绳结
a) 扛物结 b) 拖物结 c) 拽物结 d) 吊物结

(1) 扛物结

用来扛抬工件。扣结方法如图 1-123a 所示。

(2) 拖物结

用来拖拉较重的工件。扣结方法如图 1-123b 所示。

(3) 拽物结用来拽拉各种导线，使导线展直。

扣结方法如图 1-123c 所示。

(4) 吊物结

用来吊取工件或工具。扣结方法如图 1-123d 所示。

1.4.6 单元自测题

- 1. 如何进行塑料硬线绝缘层的剖削?
- 2. 如何进行塑料软线绝缘层的剖削?
- 3. 如何进行塑料护套线绝缘层的剖削?
- 4. 如何进行橡皮线绝缘层的剖削?
- 5. 如何进行花线的绝缘层的剖削?
- 6. 铝导线线头的连接方法有几种?
- 7. 铜芯导线的连接方法有哪些?
- 8. 手工焊接时助焊剂的作用是什么?

1.5 电路、电器安全用电常识

1.5.1 触电保护与安全电压

在电工作业及生活中,人们已经采用了各种防范措施,以防止电流对人身的伤害,但总会有意外发生,因此,有必要了解触电保护以及相应的急救方法和措施。

一、触电事故的危害

1. 电击

电击是指电流通过人体时所造成的内伤。它可以使肌肉抽搐,内部组织损伤,造成发热发麻、神经麻痹等。严重时将引起昏迷、窒息,甚至心脏停止跳动而死亡。

2. 电伤

电伤是指电流的热效应、化学效应、机械效应以及电流本身作用下造成的人体外伤。

常见的有灼伤、烙伤和皮肤金属化等现象电击和电伤可能同时发生,绝大部分触电事故是由电击造成的。

二、安全电压

我国国家标准 GB/T3805-2008《特低电压(ELV)限值》规定了安全电压的系列,将安全电压额定值(工频有效值)的等级规定为 42V、36V、24V、12V 和 6V,见表 1-54。

表 1-54 安全电压分类

安全电压分类	应用场合
42V	特别危险环境中使用的手持电动工具应采用 42V
36V/24V	在有电击危险环境中使用的手持照明灯和局部照明灯应采用 36V 或 24V 安全电压
12V	金属容器内、特别潮湿处等特别危险环境中使用的手持照明灯应采用 12V 安全电压
6V	水下作业等场所应采用 6V 安全电压

当电气设备采用 24V 以上安全电压时,必须采取防护直接接触电击的措施。

三、安全距离

1. 设备带电部分到各种遮拦的安全距离（见表 1-55）

表 1-55 设备带电部分到各种遮拦的安全距离

设备额定电压/kV		1~3	6	10	35	60	110 ^①	220 ^①	330 ^①	500 ^①
带电部分到遮拦/mm	屋内	825	850	875	1050	1300	1600	—	—	—
	屋外	950	950	950	1150	1350	1650	2550	3350	4500
带电部分到网状遮拦/mm	屋内	175	200	225	400	650	950	—	—	—
	屋外	300	300	300	500	700	1000	1900	2700	5000
带电部分到板状遮拦/mm	屋内	105	130	155	330	580	880	—	—	—

注：①中性点直接接地系统。

2. 电气工作人员在设备维修时与设备带电部分间的安全距离（见表 1-56）

表 1-56 电气工作人员在设备维修时与设备带电部分间的安全距离

电压等级/kV		10 及以下	20~35	22	60~110	220	330
安全距离/m	无遮拦	0.70	1.00	1.20	1.50	3.00	4.00
	有遮拦	0.35	0.6	0.9	1.50	3.00	4.00

四、绝缘防护用具

绝缘防护用具是对可能发生的有关电气伤害起到防护作用。主要用于对泄漏电流、接触电压、跨步电压和其他接近电气设备存在的危险等进行防护。常用的绝缘防护用具具有绝缘手套、绝缘靴、绝缘隔板、绝缘垫、绝缘站台等，如图 1-124 所示。当绝缘防护用具的绝缘强度足以承受设备的运行电压时，才可以用来直接接触运行的电气设备，一般不宜直接接触带电设备。使用绝缘防护用具时，必须使用合格的绝缘用具，并掌握正确的使用方法。

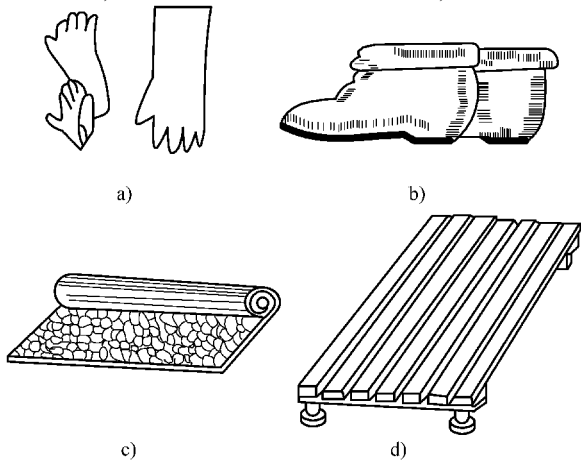


图 1-124 绝缘防护用具

a) 绝缘手套 b) 绝缘靴 c) 绝缘垫 d) 绝缘站台

1.5.2 电气安全工作规程

在全部停电或部分停电的电气设备上工作时，必须完成停电、验电、装设接地线、悬挂标示牌和装设遮拦等保证安全的技术措施。上述措施可由值班人员进行，对于无值班人员的电气设备，可由断开电源的工作人员执行，并应有监护人在场。

一、停电范围

1) 待检修的设备。

2) 工作人员在进行工作时，其正常活动范围与带电设备的距离应小于表 1-56 所规定的安全距离。

3) 带电设备在工作人员后面及两侧又无可靠安全措施的设备。将检修设备停电时，必须把各方面的电源完全断开（任何运行中的星形接线设备的中性线，应视为带电设备），必须切断刀开关，使各方面至少有一个明显的断点，禁止在只经断路器断开电源的设备下工作。与停电设备有关的变压器和电压互感器，必须从高、低压两侧断开，以防止由这些设备向停电检修设备反送电，切断开关和刀开关的操作电源，刀开关操作把手必须锁住，防止向停电检修设备误送电。

二、验电

待检修的电气设备和线路停电后，在悬挂接地线之前必须用验电器验明该电气设备确无电压。验电时，必须用电压等级合适且合格的验电器。在检修设备的进出线两侧的各相上分别验电。线路的验电应逐相进行。在对同杆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，且三相均验。

注意：表示设备断开和允许进入间隔的信号及经常接入的电压表的指示等，不能作为无电压的依据。但如果指示有电，则禁止在该设备上工作。

三、装设接地线

为了防止已停电的工作地点因误操作或误动作突然来电，应立即将已验明无电的检修设备装设三相短路接地线，以保证工作人员的人身安全。

对于可能送电至停电设备的各部位或停电设备可能产生感应电压的部分都要装设接地线，且保证所装接地线与带电部分应符合规定的安全距离。

若检修部分为几个在电气上不相连的部分，则各段均应分别验电并装设接地线，并要求接地线与检修部分之间不得串接开关或熔断器。对于全部停电的降压变电所，应将各个可能来电侧三相短路接地，其余部分不必每段都装设接地线。

注意：在室内配电装置上，接地线应装在该装置导电部分的规定地点，这些地点的表面油漆应刮去。

四、悬挂标示牌和装设遮拦

在工作地点、施工设备和一经合闸即可送电到工作地点或施工设备的开关和刀开关的操作把手上，均应悬挂“禁止合闸，有人工作”的标示牌。如果线路上有人工作，应在线路开关和刀开关的操作把手上悬挂“禁止合闸，线路有人工作！”的标示牌。标示牌的悬挂和拆除，应按调度员的命令执行。

部分停电的工作，当安全距离小于无遮拦所规定数值的未停电设备时，应装设临时遮拦，且临时遮拦与带电部分的距离，不得小于表 1-56 规定的有遮拦的安全距离。临时遮拦

应牢固，并悬挂“止步，高压危险！”的标示牌。

在室内高压设备上工作时，应在工作地点两旁间隔和对面间隔的遮拦上和禁止通行过道上悬挂“止步，高压危险！”的标示牌。

在室外地面高压设备上工作的，应在工作地点四周用绳子做好围栏，围栏上悬挂适当数量的“止步，高压危险！”的标示牌，且标示牌必须朝向围栏外面。在室外构架上工作时，则应在工作地点邻近带电部分的横梁上悬挂“止步，高压危险！”的标示牌，该标示牌在值班人员的监护下，由工作人员悬挂。工作人员在铁架或梯子上工作时，应悬挂“从此上下！”的标示牌；在其附近可能误登的构架上，应悬挂“禁止攀登，高压危险！”的标示牌。

注意：严禁工作人员在工作中移动或拆除遮拦、接地线和标示牌。

五、接地线装设时的注意事项

1) 装设时，应先将接地端可靠接地，当验明设备或线路确实无电后，立即将接地线的另一端接在设备或线路的导电部分上。

2) 检修母线时，若母线长度在10m以下，可以只装设一组接地线。在门形构架的线路侧进行停电检修，若工作地点与所装接地线的距离小于10m时，工作地点虽然在接地线的外侧，也可不另装接地线。

3) 同杆架设的多层电力线路装设接地线时，应先装低压，后装高压；先装下层，后装上层。

4) 装设接地线时，必须由两人进行。若为单人值班，只允许使用接地开关接地或用绝缘棒合上接地开关。

5) 装设接地线时，必须先装接地端，后装导体端，而且必须接触良好、可靠。拆接地线时，应先拆导体端，后拆接地端。

6) 装拆接地线时均应使用绝缘棒或戴绝缘手套，人体不得碰触接地线。

7) 接地线应采用多股软裸铜线，其截面积应满足短路电流热稳定的要求，且不得小于 25mm^2 。接地线必须使用专用线夹将其固定在导体上，严禁用缠绕的方法。

8) 若电杆或杆塔无接地引线时，可采用临时接地棒，接地棒打入地下的深度不得小于0.6m。

每组接地线均应编号，并存放在固定地点。存放位置也要编号，接地线号码与存放号码必须保持一致。

1.5.3 接地与接零

一、保护接地

1. 接地的基本概念

电工作业中，接地是保护用电安全非常重要的一个方面。接地是将电气设备或装置的某一点（接地端）与大地之间做符合技术要求的电气连接。目的是利用大地为正常运行、绝缘损坏或遭受雷击等情况下的电气设备等提供对地电流流通的回路，以保证电气设备和人身安全。

2. 接地装置

接地装置由接地体和接地线两部分组成。接地体是埋入大地中并和大地直接接触的导体组。电气设备或装置的接地端与接地体相连的金属导线称为接地线。

3. 接地体使用注意事项

接地体在做垂直埋设时，一般将接地体垂直夯入土壤中。若用钢管作接地体，应选用直径 50mm 以上、长 2.5m 的厚壁钢管；若用角钢作接地体，应选用 50mm × 50mm 的等边角钢，其长度为 2.5m。

在设置人工接地网时，用钢管或等边角钢作垂直接地体埋入地中，用扁钢作水平接地体来连接各垂直接地体，从而形成一个接地网，相邻两垂直接地体的间距应大于 2.5m，以免影响流散电阻，并且要求连接的扁钢应侧放，而不应平放。当接地体水平埋设时，其埋设深度不小于 0.6m，一般用圆钢及扁钢。接地体的表面不应涂任何涂料。

4. 接地线使用注意事项

接地体通常焊上镀锌扁钢作为引出线，引出线上焊上螺栓用以连接导线。引出线如高出地面，必须加塑料管做穿管保护，其高度不小于 2m。裸铝导线作接地线时，严禁埋入大地。接地线的最小截面积规定：绝缘铜线为 1.5mm^2 ，裸铜线为 4mm^2 ，绝缘铝线为 2.5mm^2 ，裸铝线为 6mm^2 。

二、电气设备接地的种类

按照接地性质，接地可分为正常接地和故障接地。正常接地又有工作接地和保护接地之分。

1. 工作接地

为了保证电气设备的正常工作，将电路中的某一点通过接地装置与大地可靠连接，称为工作接地。

2. 保护接地

保护接地是将电气设备正常情况下不带电的金属外壳通过接地装置与大地可靠连接。保护接地适用于中性点不接地或不直接接地的电网系统。

一般要求发电厂、变电所及工厂的下列设备采取保护接地：

- 1) 电动机、变压器、照明器具、携带式或移动式用电器具等的底座和外壳。
- 2) 电力设备的传动装置。
- 3) 电流互感器的二次绕组某一端。
- 4) 配电盘与控制台的框架。
- 5) 室内外配电装置的金属构架和钢筋混凝土构架，靠近带电部分的金属围栏和金属门。
- 6) 交直流电力电缆的外皮。
- 7) 非金属护套电缆的 1~2 根屏蔽芯线。

3. 保护接零

在中性点直接接地系统中，把电气设备金属外壳等与电网中的零线做可靠的电气连接，称为保护接零。保护接零可以起到保护人身和设备安全的作用。

对接零装置的具体要求：

- 1) 当采用保护接零时，电源中性点必须有良好的接地，且接地电阻应在 4Ω 以下，同时，必须对零线在规定地点采用重复接地。
- 2) 当电气设备在任一点发生接地短路时，零线的截面积在满足最小截面积的情况下应保证其短路电流大于熔断器的熔丝额定电流的 4 倍或断路器整定电流的 1.5 倍，以保证保护

装置迅速动作，切除短路故障。

3) 零线在短路电流作用下不应断线且零线上不得装设熔断器和开关设备。

4) 在使用三孔插座时，不准将插座上接电源中性线的孔与接保护（或地线）的孔串接在一起使用。这是因为一旦工作零线松脱断落，设备的金属外壳就会带电；而且，当工作零线与相线接反时，也会使设备的金属外壳带电，从而造成触电伤亡事故。

5) 在同一低压电网中（指由同一台变压器或同一台发电机供电的低压电网），不允许将一部分电气设备采用保护接地，而另一部分电气设备采用保护接零，否则，当接地设备发生碰破壳（即绝缘损坏）故障时，会使零线电位升高，从而使接零保护设备的金属外壳全部带电。

4. 重复接地

三相四线制的零线在多于一处经接地装置与大地再次连接的情况称为重复接地。对 1kV 以下的接零系统中，重复接地的接地电阻不应大于 10Ω 。重复接地的作用是：降低三相不平衡电路中零线上可能出现的危险电压，减轻单相接地或高压串入低压的危险。

(1) 重复接地的应用

1) 户外架空线路的零线应采用重复接地，要求架空线路的干线和分支线的终端及沿线每 1km 处，零线应实施重复接地。

2) 电缆及架空线路在引入车间或大型建筑物处，距接地点超过 50m 时，零线应实施重复接地，或在室内将零线与配电屏、控制屏的接地装置相连。

3) 零线的重复接地，应充分利用自然接地体（如建筑物地基的钢构架等），对于经交流整流的直流系统，由于存在电解腐蚀作用，因而零线的重复接地应采用人工接地体，并且不得与地下金属管道相连。

(2) 重复接地的要求

1) 电缆或架空线路在引入车间或大型建筑物处、配电线路的最远端及每 1km 处，以及高低压线路同杆架设时，共同敷设的两端应做重复接地。

2) 线路上的重复接地宜采用集中埋设的接地体，车间内宜采用环形重复接地或网络重复接地。零线与接地装置至少有两点连接，除进线处的一点外，其对角线最远点也应连接，而且车间周围过长，超过 400m 时，每 200m 应有一点连接。

3) 一个配电系统可敷设多处重复接地，并尽量均匀分布。每一重复接地的接地电阻不得超过 10Ω ；在变压器低压工作接地的接地电阻允许不超过 10 的场合，每一重复接地的接地电阻允许不超过 30Ω ，但不得少于 3 处。

5. 其他保护接地

1) 过电压保护接地。为了消除雷击或过电压的危险影响而设置的接地。

2) 防静电接地。为了消除生产过程中产生的静电而设置的接地。

3) 屏蔽接地。为了防止电磁感应而对电力设备的金属外壳、屏蔽罩、屏蔽线的外皮或建筑物金属屏蔽体等进行的接地。

三、电气设备安全运行措施

1) 必须严格遵守操作规程，合上电流时，应先合隔离开关，再合负荷开关；分断电流时，先断负荷开关，再断隔离开关。

2) 电气设备一般不能受潮，在潮湿场合使用时，要有防雨水和防潮措施。电气设备工

作时会发热，应有良好的通风散热条件和防火措施。

- 3) 所有电气设备的金属外壳应有可靠的保护接地。电气设备运行时可能会出现故障，所以应有短路保护、过载保护、欠电压和失电压保护等保护措施。
- 4) 凡有可能被雷击的电气设备，都要安装防雷措施。
- 5) 对电气设备要做好安全运行检查工作，对出现故障的电气设备和线路应及时检修。

1.5.4 触电急救的基本知识

电流通过人体，会令人有发麻、刺痛、压迫、打击等感觉，还会令人产生痉挛、血压升高、昏迷、心律不齐、窒息、心室颤动等症状，严重时导致死亡，而不同的触电方式导致的危害也不尽相同，详细见表 1-57。

表 1-57 人体触电方式及危害

单相触电	这是常见的触电方式。人体的某一部分接触带电体的同时，另一部分又与大地或中性线相接触，电流从带电体流经人体到大地（或中性线）形成回路
两相触电	人体的不同部分同时接触两相电源时造成的触电。对于这种情况，无论电网中性点是否接地，人体所承受的线电压将比单相触电时高，危险更大
跨步电压触电	这是指站立或行走的人体，受到出现于人体两脚之间的电压，即跨步电压作用所引起的电击
接触电压触电	电气设备由于绝缘损坏或其他原因造成接地故障时，如人体两部分（手和脚）同时接触设备外壳和地面时，人体两部分会处于不同的电位，其电位差即为接触电压。由接触电压造成的触电事故称为接触电压触电

触电急救的要点是动作迅速，救护得法，千万不可以因惊慌失措而束手无策。

1. 使触电者尽快脱离电源

这是救治触电者的第一步，也是最重要的一步。使触电者脱离电源的方法如下。

(1) 对于低压触电事故

- 1) 触电地点附近有电源开关或插头时，可立即断开开关或拔掉电源插头，切断电源。
- 2) 电源开关远离触电地点时，可用有绝缘柄的电工钳或干燥木柄的斧头分相切断电线，断开电源；或将干木板等绝缘物插入触电者身下，以隔断电流。
- 3) 电线搭落在触电者身上或被压在身下时，可用干燥的衣服、手套、绳索、木板、木棒等绝缘物作为工具，拉开触电者或挑开电线，使触电者脱离电源。

(2) 对于高压触电事故

- 1) 立即通知有关部门停电。
- 2) 戴上绝缘手套，穿上绝缘靴，用相应电压等级的绝缘工具断开开关。
- 3) 抛掷裸金属线使线路短路接地，迫使保护装置动作，断开电源。注意在抛掷金属线前，应将金属线的一端可靠地接地，然后抛掷另一端。

(3) 脱离电源的注意事项

- 1) 救护人员必须采用适当的绝缘工具且单手操作，不可直接用手或其他金属及潮湿的物件作为救护工具，防止自身触电。
- 2) 防止触电者脱离电源后，可能造成的摔伤。
- 3) 如果触电事故发生在夜间，应当迅速解决临时照明问题，以利于抢救，并避免扩大

事故。

2. 急救处理措施

当触电者脱离电源后，应当根据触电者的具体情况，迅速地对症进行救护。现场应用的主要救护方法是人工呼吸法和胸外心脏挤压法。

(1) 处理原则

触电者需要救治时，一般根据以下3种情况分别处理：

1) 如果触电者伤势不重，神志清醒，但是有些心慌、四肢发麻、全身无力；或者触电者在触电的过程中曾经一度昏迷，但已经恢复清醒，应当使触电者安静休息，严密观察，并请医生前来诊治或送往医院。

2) 如果触电者伤势比较严重，已经失去知觉，但仍有心跳和呼吸，这时应当使触电者舒适、安静地平卧，保持空气流通。同时揭开他的衣服，以利于呼吸，如果天气寒冷，要注意保暖，并要立即请医生诊治或送医院。

3) 如果触电者伤势严重，呼吸停止或心脏停止跳动或两者都已停止时，则应立即施行人工呼吸和胸外挤压心脏法。

(2) 口对口人工呼吸法

该方法的具体步骤如下：

1) 使触电者头偏向一侧，清除口腔中的异物，使其呼吸畅通，必要时可用金属匙柄由嘴角伸入，使口张开。

2) 救护者站在触电者的一边，一只手捏紧触电者的鼻子，一只手托在触电者颈后，使触电者颈部上抬，头部后仰，然后深吸一口气，用嘴紧贴触电者嘴，大口吹气，接着放松触电者的鼻子，让气体从触电者肺部排出。每5s一次，其中吹2s，停3s。对幼小儿童用此法时，鼻子不必捏紧，而且吹气不能过猛。

(3) 胸外挤压心脏挤压法

1) 与人工呼吸法的要求一样，使触电者仰卧，姿势与人工呼吸方式相同，但后背着地处必须结实，应为硬地或木板之类。

2) 抢救者位于触电者一侧，最好是弯腰跪在触电者的腰部，两手相叠（对幼小儿童只用一只手），手掌根部放在心窝稍高一点的地方（掌根置于触电者胸骨的1/3部位），掌根所在位置即是正确的挤压区。

3) 抢救者找到正确的挤压点后，自上而下垂直均衡地用力向下挤压，压出心脏里面的血液。对儿童用力时适当小一些。

4) 挤压后，掌根突然放松，但手掌不要离开胸膛。依靠胸部的弹性，自动恢复原状，心脏扩张，血液流回心脏。

挤压和放松动作要有节奏，每秒钟进行一次，每分钟宜挤压60次左右，不可中断，直至触电者苏醒为止。要求挤压定位要准确，用力要适当，防止用力过猛给触电者造成内伤和用力过小挤压无效。对儿童用力要适当小些。

(4) 同时采取两种方法

触电者呼吸和心跳都停止时，允许同时采用“口对口人工呼吸法”和“胸外心脏挤压法”。单人救护时，可先吹气2~3次，再挤压10~15次，交替进行。双人救护时，每5s吹气一次，每秒钟挤压一次，两人可同时进行操作。

在实行人工呼吸和心脏挤压时，抢救者应密切观察触电者的反应。一旦发现触电者有苏醒特征，如眼皮闪动或嘴唇微动，就应中止操作几秒钟，以让其自行呼吸和心跳。在现场，这种救护工作对抢救者来说，是非常疲劳的，往往长达数小时之久，对触电形成的假死，一定要坚持救护，直到触电者复苏或医务人员前来救治为止。只有医生才有权宣布触电者真正死亡。

1.5.5 单元自测题

1. 进入跨步电压危险区时，人体应该采取什么方式逃离危险区域？
2. 为什么不允许约时送电？
3. 为什么对触电者不能打肾上腺素等强心针、不能浇泼冷水？

第 2 章 照明线路与低压电器的安装检修

2.1 照明装置和电路的安装与维修

2.1.1 照明器具的安装和维修

照明电源线取自三相四线制低压线路上的一根中性线。我国照明电路统一的电压标准为 220V。

电气照明的方式分为常用照明和事故照明两种。常用照明又分为一般照明、局部照明和混合照明。一般照明是指在整个房间或假定工作面上产生满足照度要求的均匀照明；局部照明是为了满足室内某一局部地点（或特定的工作面）的照度要求而设置灯具的照明方式；事故照明是指在正常照明突然停电的情况，提供短时继续工作或人员迅速疏散用的照明。

一、操作准备

1. 工具

常用工具见表 2-1。

表 2-1 工具

序号	1	2	3	4	5	6
工具	尖嘴钳	剥线钳	一字形螺钉旋具	十字形螺钉旋具	电工刀	验电器

2. 其他材料

需要用到的其他材料见表 2-2。

表 2-2 其他材料

序号	1	2	3	4	5	6
工具	多种照明灯具	电器开关	灯座	电源插座	平行电线	绝缘黑胶布

二、操作步骤

无论是在工业生产和民用生活中使用的电光源，按发光原理大致可分为两大类：一类是热辐射光源，如白炽灯（普通灯泡）、碘钨灯；另一类是气体放电型光源，如荧光灯、高压水银荧光灯、高压钠灯等。

1. 白炽灯线路的安装和维修

白炽灯具结构简单、成本低廉。一般用于对光色要求不高的场合，如走廊、楼梯等场所，另外，在移动灯具及信号指示中，白炽灯也得到广泛应用。但由于其直接由钨丝发光，发光效率较低，只有近 2% ~ 3% 的电能转换为可见光，且光色较差。近几年来，世界各国将逐步用节能荧光灯取代能耗高的白炽灯，以减少温室气体排放。

灯泡的灯头有螺口式和插（卡）口式两种。普遍应用的螺口灯头在电接触和散热方面，都比插口式灯头好得多，其结构如图 2-1a 所示。插口式灯头具有振动时不易松脱的特点，其外形如图 2-1b 所示，在移动灯具中（如车辆照明）应用较广。

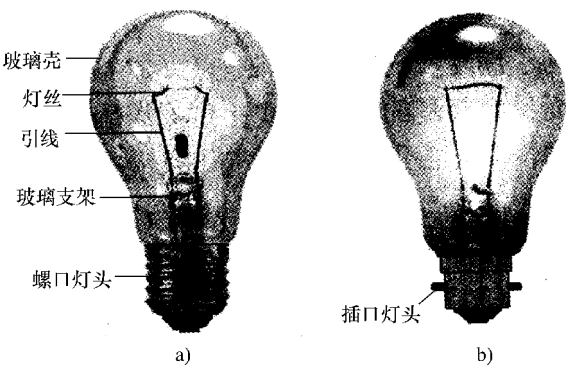


图 2-1 白炽灯的构造

a) 螺口灯泡 b) 插口灯泡

白炽灯不耐振动，功率 40W 以上的灯泡，将其玻璃壳内抽成真空后充入氩气或氮气等惰性气体，使钨丝不易挥发。白炽灯照明线路主要由灯泡、灯座、开关、导线等组成。

(1) 灯座

灯座又称灯口，使用种类繁多，常用的灯座见表 2-3。常用灯座的耐压为 250V，E27 型负载功率为 300W，E40 型负载功率为 1000W，可按使用场所进行选择。

表 2-3 常用的灯座

名 称	外 形	名 称	外 形
螺口吊灯座		管接式瓷制螺口灯座	
带开关螺口吊灯座		插口斜灯座	
螺口平灯座		防水螺口吊灯座	

(续)

名 称	外 形	名 称	外 形
带拉链开关螺口吊灯座		悬吊式铝壳瓷螺口灯座	
瓷制螺口平灯座		插口平灯座	

1) 平灯座的安装。平灯座上有两个接线柱，一个与电源的零线连接；另一个与来自开关的一根线（相线）连接。

为了使用安全，应把电源零线连接在连接螺纹圈的接线桩上，把来自开关的连接线头压在中心弹性舌片对应的接线柱上，如图 2-2 所示。

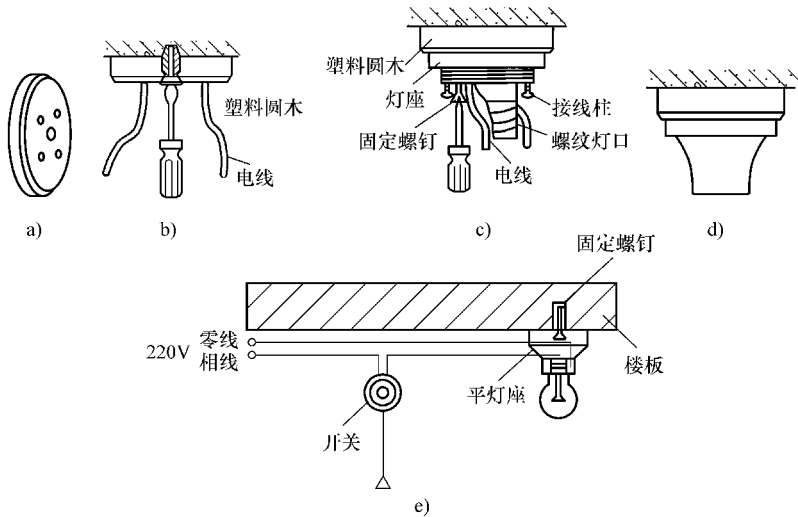


图 2-2 螺口平灯座的安装

a) 塑料圆木 b) 穿线并安装塑料圆木 c) 安装平灯座 d) 接线后拧紧外壳 e) 连接开关并通电试验

2) 吊灯座的安装。吊灯灯座必须用两根绞合的塑料软线或花线作为与挂线盒（又称吊线盒）的连接线。当塑料软线穿入挂线盒盖孔内时，为使其能承受吊灯的重量，应打个结扣。然后分别接到两个接线桩上，罩上挂线盒盖。接着将下端塑料软线穿入吊灯座盖孔内，也打个结扣，再把两个接线头接到吊灯座上的两个接线桩上，罩上灯座盖即可。安装方法如图 2-3 所示。

(2) 开关

开关的种类很多，常用的开关见表 2-4，可按使用场所进行选择。安装在同一室内的开

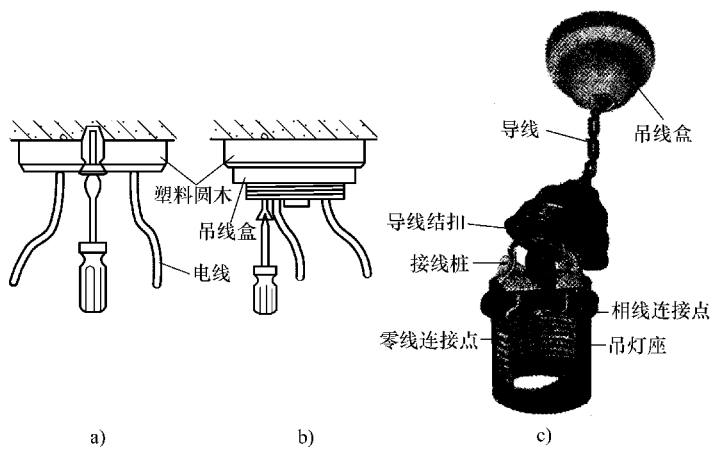


图 2-3 吊灯座的安装

a) 穿线并安装塑料圆木 b) 安装吊线盒底座 c) 接线后连接吊灯座

关，宜采用同一系列的产品，开关的通断位置应一致，且操作灵活、接触可靠。

表 2-4 常用的开关

名 称	外 形	名 称	外 形
拉线开关		防水式拉线开关	
双联平开关		电铃按钮	
暗装单联单控开关		暗装三联单控开关	
调光开关		声光控开关	

为了用电的安全，照明灯具接线时应将相线接进开关。

1) 单控开关的安装。拉线开关和平开关安装时都要注意方向，拉线开关的拉线应自然

下垂，平开关应让色点在上方。单控开关控制灯的接线图如图 2-4 所示。图中有两盏灯，每一盏灯由一只开关单独控制。

2) 双控开关的安装。双控开关一般用于两处控制一只灯的线路，这种线路通常应用在楼梯或走廊。其接线图如图 2-5 所示。

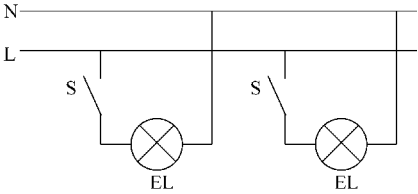


图 2-4 单控开关的接线图

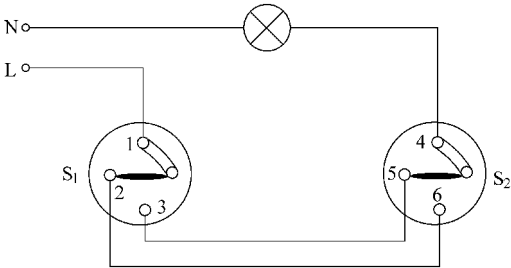


图 2-5 双控开关的接线图

在楼道中安装电路，要求在楼梯的上下两端都能控制它，当上楼梯时，能用下面的开关 S_1 开灯；上了楼梯以后，能用上面的开关 S_2 关灯。当下楼梯时，又能用 S_2 开灯，用 S_1 关灯。图 2-5 电路中的两只双控开关，每只双控开关具有 3 个接线桩头，其中桩头 1（或 4）为连片（也称为公共端），它就像一个活动的桥梁一样，无论怎样按动开关，连片 1 总要跟桩头 2（或 5）、3（或 6）中的一个保持接触，从而达到控制电路通或断的目的。

在安装扳把开关时，无论是明装开关还是暗装开关，安装好后都应该是往上扳接通电路、往下扳切断电路。

白炽灯照明线路的常见故障分析见表 2-5。

表 2-5 白炽灯照明线路的常见故障分析

故障现象	产生原因	检修方法
灯泡不亮	① 灯泡钨丝烧断 ② 电源熔断器的熔丝烧断 ③ 灯座或开关接线松动或接触不良 ④ 线路中有断路故障	① 调换新灯泡 ② 检查熔丝烧断的原因并更换熔丝 ③ 检查灯座和开关的接线并修复 ④ 用测电笔检查线路的断路处并修复
开关合上后熔断器熔丝烧断	① 灯座内两线头短路 ② 螺口灯座内中心铜片与螺旋铜圈相碰 ③ 线路中发生短路 ④ 用电器发生短路 ⑤ 用电量超过熔丝容量	① 检查灯座内两线头并修复 ② 检查灯座并板中心铜片 ③ 检查导线绝缘是否老化或损坏并修复 ④ 检查用电器并修复 ⑤ 减小负载或更换熔断器
灯泡忽亮忽暗或忽亮忽熄	① 灯丝烧断，但受振动后忽接忽离 ② 灯座或开关接线松动 ③ 熔断器熔丝接头接触不良 ④ 电源电压不稳定	① 更换灯泡 ② 检查灯座和开关并修复 ③ 检查熔断器并修复 ④ 检查电源电压
灯泡发强烈的白光，并瞬时或短时烧坏	① 灯泡额定电压低于电源电压 ② 灯泡钨丝有搭丝，从而使电阻减小，电流增大	① 更换与电源电压相符合的灯泡 ② 更换新灯泡

(续)

故障现象	产生原因	检修方法
灯光暗淡	① 灯泡内钨丝挥发后积聚在玻璃壳内，表面透光度降低，同时由于钨丝挥发后变细，电阻增大，电流减小，光通量减小 ② 电源电压过低 ③ 线路因年久老化或绝缘损坏有漏电现象	① 正常现象不必修理 ② 提高电源电压 ③ 检查线路，更换导线

2. 荧光灯线路的安装和维修

荧光灯是普遍应用的一种室内照明光源，多用于商场、超市、教室、图书馆、地铁等对显色性要求较高的场合。

1) 结构。荧光灯由灯管、镇流器、辉光启动器（简称启动器）、灯架和灯座等组成。灯管由玻璃管、灯丝和灯丝引出脚等组成，其结构如图 2-6 所示。灯管内部的灯丝上涂有电子粉，玻璃管内抽成真空后充入水银和氙气，管壁涂有荧光粉。



图 2-6 荧光灯管和灯座

辉光启动器由氖泡（玻璃泡）、纸介电容、出线脚和外壳等组成，如图 2-7 所示。纸介电容可以消除当辉光启动器断开时产生的无线电波对周围无线电设备的干扰。镇流器是带有铁心的电感线圈。

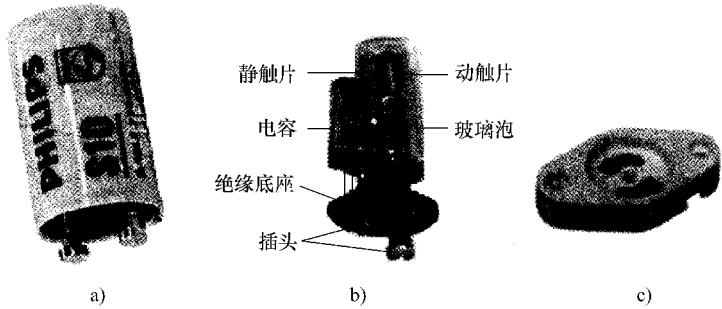


图 2-7 辉光启动器和辉光启动器座

a) 辉光启动器外形 b) 内部结构 c) 辉光启动器座

2) 荧光灯的工作原理。荧光灯的电路图如图 2-8 所示。

当荧光灯通电后，电源电压经镇流器、灯丝，在辉光启动器的“ $\cap$ ”形双金属片（动、静触片）间产生电压，引起辉光放电。放电时产生的热量使动触片膨胀，与静触片相接，从而接通电路，使灯丝预热并发射电子。

此时，由于动、静触片的接触，使两片间电压为零而停止辉光放电，动触片冷却并复位脱离静触片。断开瞬间，镇流器两端由于自感应而产生反电动势，此电动势加在灯管两端，使灯管内惰性气体被电离而引起两极间弧光放电，激发产生紫外线，紫外线激发灯管内壁的荧光粉，发出近似日光的灯光。

目前，电子镇流器已经基本取代了电感式镇流器，它具有节电、启动电压较宽、启动时间短（0.5s）、无噪声、无频闪现象等特点，可以在 15 ~ 60℃ 范围内正常工作，使用更加方便，故障率低。其接线形式如图 2-9 所示。

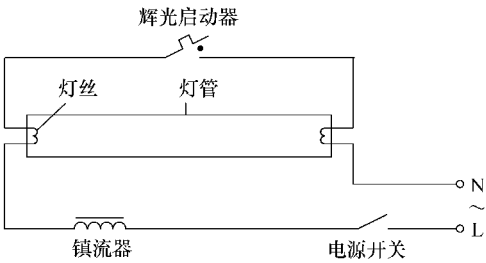


图 2-8 荧光灯的电路图

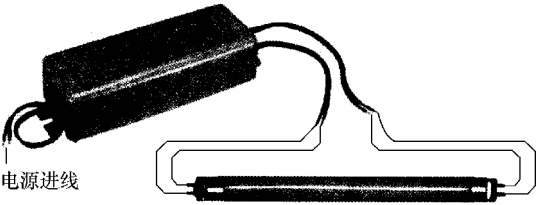


图 2-9 荧光灯电子镇流器外形及接线

节能型荧光灯全称为三基色节能荧光灯，其基本结构和工作原理都与荧光灯相同。但是，由于其采用了发光效率更高的三原色荧光粉，故其更加节能。一只 7W 的三原色节能荧光灯发出的光通量与一只 40W 白炽灯发出的光通量相当。与普通荧光灯比较具有发光效率高、体积小、形式多样、使用方便等优点。许多新型的荧光灯也已得到广泛应用，从灯管形状来分，有 U 形、H 形、O 形等多种，用作装饰的彩色荧光灯由于改变了荧光粉的化学成分，所以发光颜色有多种，如图 2-10 所示。

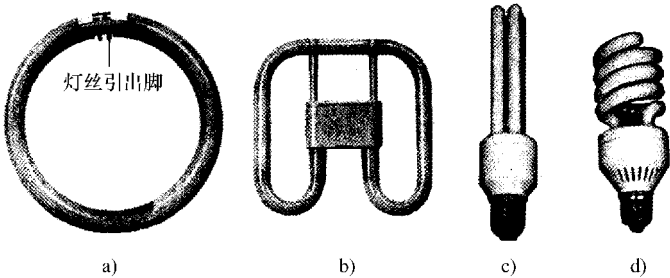


图 2-10 节能型荧光灯

a) O 形 b) 2D 形 c) 2U 形 d) 螺旋形

节能型荧光灯比用钨丝作为发光体的白炽灯消耗电能少，虽然价格比白炽灯贵，但是从长期来看，它的使用寿命更长，因此反而相对便宜。由于节能灯的电力能耗低，如果白炽灯被替代，将会节省大量电能，减少燃料使用量，从而减少二氧化碳等温室气体的排放。

荧光灯照明线路的常见故障分析，见表 2-6。

表 2-6 荧光灯照明线路常见故障的分析

故障现象	产生原因	检修方法
不能发光或发光困难，灯管两头发亮或灯光闪烁	① 电源电压太低 ② 接线错误或灯座与灯角接触不良 ③ 灯管衰老 ④ 镇流器配用不当或内部接线松脱 ⑤ 气温过低 ⑥ 辉光启动器配用不当；接线断开、电容器短路或触点熔焊	① 不必修理 ② 检查线路和接触点 ③ 更换新灯管 ④ 修理或调换镇流器 ⑤ 加热或加罩 ⑥ 检查后更换

(续)

故障现象	产生原因	检修方法
灯管两头发黑或生黑斑	① 灯管陈旧, 寿命将终 ② 电源电压太高 ③ 镇流器配用不合适 ④ 如系新灯管, 可能因辉光启动器损坏而使灯丝发光物质加速挥发 ⑤ 灯管内水银凝结, 属正常现象	① 调换灯管 ② 测量电压并适当调整 ③ 更换适当镇流器 ④ 更换辉光启动器 ⑤ 将灯管旋转 180° 安装
灯管寿命短	① 镇流器配合不当或质量差, 使电压失常 ② 受到剧振, 致使灯丝振断 ③ 接线错误致使灯管烧坏 ④ 电源电压太高 ⑤ 开关次数太多或灯光长时间闪烁	① 选用合适的镇流器 ② 换新灯管, 改善安装条件 ③ 检修线路后使用新管 ④ 调整电源电压 ⑤ 减少开关次数, 及时检修闪烁故障
镇流器有杂声或电磁声	① 镇流器质量差, 铁心未夹紧或沥青未封紧 ② 镇流器过载或其内部短路 ③ 辉光启动器不良, 启动时有杂声 ④ 镇流器有微弱声响 ⑤ 电压过高	① 调换镇流器 ② 检查过载原因, 调换镇流器, 配用适当灯管 ③ 调换辉光启动器 ④ 属于正常现象 ⑤ 设法调整电压
镇流器过热	① 灯架内温度太高 ② 电压太高 ③ 线圈匝间短路 ④ 过载, 与灯管配合不当 ⑤ 灯光长时间闪烁	① 改进装接方式 ② 适当调整 ③ 处理或更换 ④ 检查调换 ⑤ 检查闪烁原因并修复

3. 碘钨灯线路的安装

碘钨灯多应用于照度要求和悬挂高度要求均较高的室内、外照明场所, 它具有结构简单、体积小等优点, 但也有使用寿命不长和工作温度高的缺点。

碘钨灯的外壳为耐高温的圆柱状石英管, 两端灯脚为电源触点, 管内中心是螺旋状灯丝 (即钨丝), 放置在灯丝支持架上, 灯管内抽成真空后, 充入微量的碘, 如图 2-11 所示。

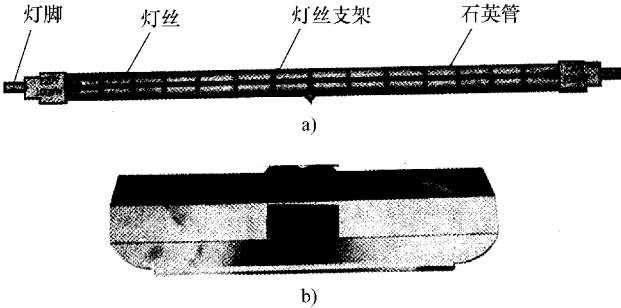


图 2-11 碘钨灯
a) 灯管 b) 灯架

碘钨灯的接线图如图 2-12 所示。通电后, 当灯管内温度升高到 250 ~ 1200℃ 后, 碘和灯丝

蒸发出来的钨化合成成为挥发性的碘化钨。碘化钨在靠近灯丝的高温（1400℃）处，又分解为碘和钨，钨留在灯丝上，而碘又回到温度较低的位置，依次循环，从而提高发光效率和延长灯丝寿命。

安装碘钨灯时，必须保持水平位置，水平线倾角应小于4°，否则会破坏碘钨循环，缩短灯管寿命。因灯管发光时周围的温度很高，必须装在专用的有隔热装置的金属灯架上。接线时，靠近灯架处的导线要加套耐高温管。

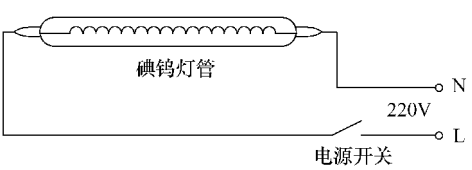


图 2-12 碘钨灯接线图

4. 高压汞灯线路的安装

高压汞灯又称为高压水银荧光灯，是一种气体放电光源。与白炽灯相比，高压汞灯的光色好、发光效率高，而且比普通荧光灯结构简单、使用和维护方便。多用于生产车间、街道、货场、车站和建筑工地等场所。常用的高压汞灯按结构分类有荧光高压汞灯（GGY 系列）和自镇流式高压汞灯（GLY 和 GFLY 系列）两种类型。

(1) 荧光高压汞灯的结构。

荧光高压汞灯主要由石英放电管、玻璃外壳和灯头等组成，内壁涂有荧光粉。放电管内有辅助电极和引燃极，管内还充有汞和氩气，其结构如图 2-13a 所示。

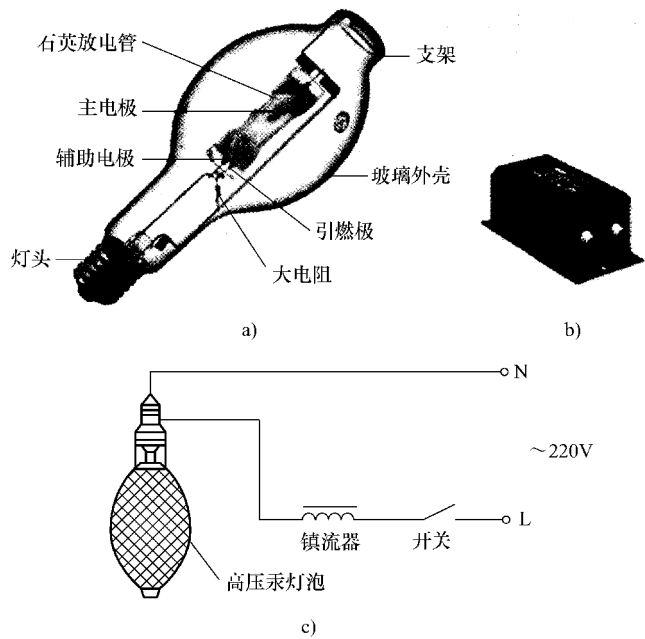


图 2-13 荧光高压汞灯

a) 照明荧光高压汞灯 b) 镇流器 c) 高压汞灯接线图

当电源接通后，引燃极和辅助电极间首先辉光放电，使放电管温度上升，汞逐渐蒸发，当达到一定程度时，主、辅两电极间产生弧光放电，使放电管内汞汽化而产生紫外线，从而激发玻璃外壳内壁的荧光粉，发出较强的荧光，灯管稳定工作。由于灯泡工作时放电管内汞蒸气的压力较高，故称这种灯为高压汞灯。

于引燃极上串联一个较大的电阻（15 ~ 100kΩ），当主、辅两极间放电导通后，辅助电

极和引燃极之间停止放电。自镇流式高压汞灯内部串联灯丝，无需外接镇流器，旋入配套灯座即可使用。其外形如图 2-14a 所示。

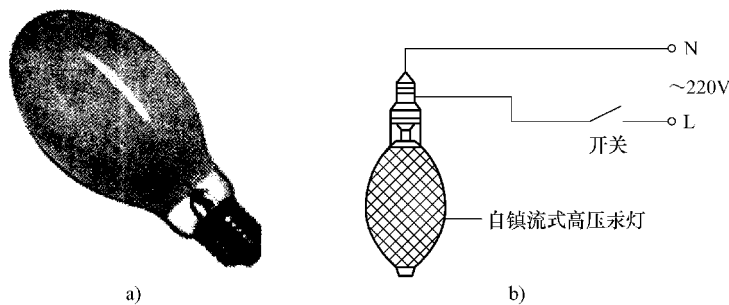


图 2-14 自镇流式高压汞灯

a) 自镇流式高压汞灯外形 b) 自镇流式高压汞灯接线图

通电后，高压汞灯的引燃极与辅助电极之间放电，促使汞蒸发，同时使灯丝发热，帮助主、辅两极间引起弧光放电。灯丝具有帮助点燃的作用，还起到降压、限流和改善光色的作用。

高压汞灯启动时间长，需要点燃 8 ~ 10min 才能正常发光。当电压突然降落 5% 时会熄灯，再次点燃时间 5 ~ 10min。高压汞灯的接线如图 2-14b 所示。

(2) 荧光高压汞灯的安装要求

1) 荧光高压汞灯功率在 125W 及其以下的，应配用 E27 型瓷质灯座；功率在 175W 及以上的，应配用 E40 型瓷质灯座。

2) 外镇流式高压汞灯镇流器的规格必须与高压汞灯的功率一致，镇流器宜安装在灯具附近，并安装在人体触及不到的位置，在镇流器接线桩上应覆盖保护物。镇流器装在室外应有防雨措施。

5. 高压钠灯

高压钠灯是一种发光效率高、透雾能力强的新型电光源，广泛应用于广场、车站、道路等大面积的照明场所，其结构如图 2-15a 所示。

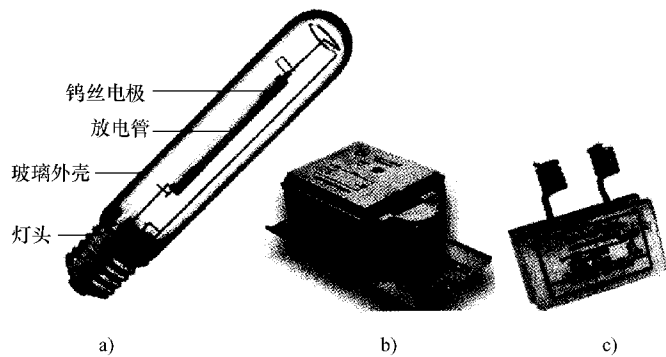


图 2-15 高压钠灯结构及附件

a) 高压钠灯结构 b) 镇流器 c) 电子触发器

高压钠灯主要由灯丝、放电管、玻璃外壳、双金属热继电器等组成。灯丝由钨丝绕成螺旋形或编织成能存储一定数量的碱土金属氧化物的形状,当灯丝发热时碱土金属氧化物就成为电子发射材料。放电管是用与钠不起反应的高温半透明氧化铝陶瓷或全透明刚玉做成,放电管内充有氙气、汞滴和钠。把放电管和玻璃外壳之间抽成真空,以减少环境气候的影响。双金属热继电器是用两种不同热膨胀系数的金属压接做成的。现在普遍使用的高压钠灯采用电子触发器(见图2-15c)替代了双金属热继电器的功能。

高压钠灯的电路图如图2-16所示。通电后,电流经过镇流器(见图2-15b)、热电阻、双金属片常闭触点形成通路,此时放电管内无电流。随后热电阻发热,使热继电器常闭触点断开,在断开瞬间镇流器线圈产生3kV的脉冲电压,与电源电压一起加到放电管两端,使管内氙气电离放电,从而使汞变成蒸气而放电。随着管内温度进一步升高,钠也变为蒸气状态,5min左右开始放电而放射出较强的金黄色光。

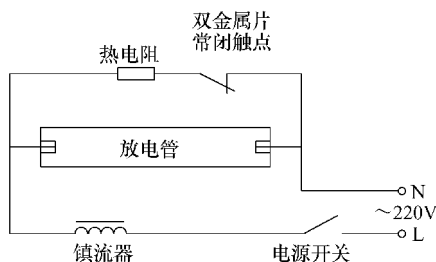


图 2-16 钠灯电路图

高压钠灯属于节能型电光源。因紫外线少,不招飞虫。灯泡熄灭后,必须冷却一段时间,待管内汞蒸气气压降低后,方可再启动使用,所以该灯不能用于有迅速点亮要求的场所。

高压钠灯的管压、功率及光通量随电源电压的变化而变化,且比其他气体放电灯变化大,当电源电压上升或下降5%以上时,由于管压的变化,容易引起灯自灭。灯泡破碎后要及时妥善处理,以防止汞害。

6. 金属卤化物灯

金属卤化物灯是气体放电灯中的一种,主要用在要求高照度的场所、繁华街道及要求显色性好的大面积照明地方。金属卤化物灯的结构和高压汞灯相似,是在高压汞灯的基础上发展起来的,所不同的是石英内管中除了充有汞、氙之外,还充有能发光的金属卤化物(以碘化物为主),放电时,利用金属卤化物的循环作用,不断向电弧提供金属蒸气,向电弧中心扩散,因为有金属原子参加,被激发的原子数目大大增加,而且金属原子在电弧中受激发而辐射该金属特征的光谱线,以弥补高压汞蒸气放电辐射光谱中的不足。所以其光效率显著提高。由于金属激发电位比汞低,放电以金属光谱为主。如果选择几种不同的金属,按一定的配比,就可以获得不同颜色。常用的金属卤化物灯有钠铊铟灯、管形镝灯等,其常见外形如图2-17所示。

金属卤化物灯的特点是:

1) 发光效率高,平均可达70~100lm/W。光色接近自然光。

2) 显色性好,即能让人真实地看到被照物体的本色。

3) 紫外线向外辐射少,但无外壳的金属卤化物灯紫外线辐射较强,应增加玻璃外罩,或悬挂高度不低于14m。

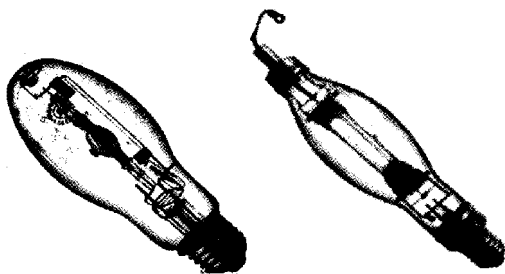


图 2-17 金属卤化物灯

4) 电压变化影响光效和光色的变化,电压突降会自灭,所以电压变化不宜超过额定值的 $\pm 5\%$ 。

5) 在应用中除了要配专用变压器外,1kW 的钠铊铟灯还应配专用的触发器才能点燃。

7. 事故照明的应用

事故照明主要用于大型商场、宾馆、影院等室内公众聚集场所。当这些场所一旦发生用电事故(断电)时,应急灯具会自动照明,引导被困人员尽快疏散。应急灯具按用途可分为应急照明灯(见图 2-18a)和应急标志灯(见图 2-18b)两大类。

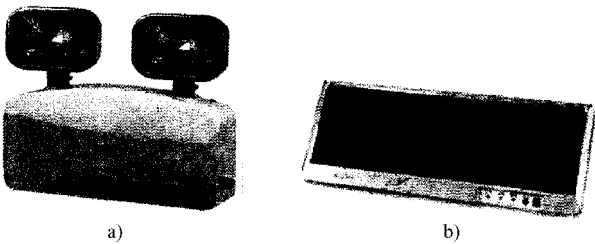


图 2-18 应急灯具
a) 应急照明灯 b) 应急标志灯

8. 插座的安装和接线

插座的种类也很多,常用的插座和插头见表 2-7。使用时应根据安装方式(明装或暗装)、安装场所、负载功率大小等参数合理选择型号。

表 2-7 常用的插座和插头

名 称	外 形	名 称	外 形
单相圆形 两极插座		带开关单相 三极插座 (118 型)	
单相圆形 三极扁插座		单相二极 扁插头	
单相矩形 两极多面插座		单相三极 扁插头	
暗装通用 两极插座		暗式五孔 插座 (86 型)	

(续)

名 称	外 形	名 称	外 形
暗式三极插座		弹起式地面插座	

(1) 单相插座的接线

单相三极插头的接线如图 2-19 所示，插座的接线如图 2-20 所示。图中单相三孔插座的接线规定为：左孔接工作零线，右孔接相线（俗称“左零右相”），中间孔接保护线 PE。

(2) 三相插座的接线

工程中采用 TN - S 系统（即三相五线制）供电时，有专用保护线 PE，常用的三相插座接线方法如图 2-20 所示。三相四线插座的上中孔接保护线 PE，下面三个孔分别为 L1、L2、L3 三根相线。

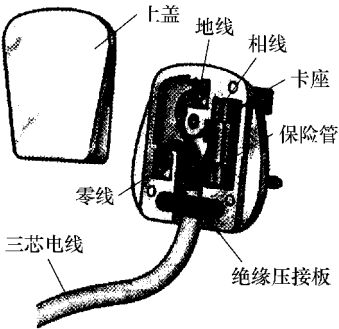


图 2-19 单相三极插头的接线

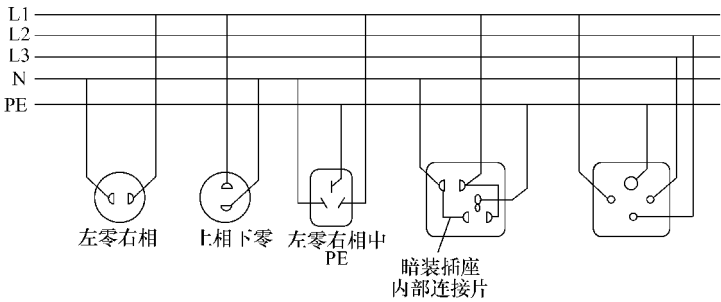


图 2-20 在 TN - S 系统中插座的接线图

(3) 暗装插座的安装方法

安装时，先将插座盒按图样要求的位置预埋在墙内，埋设时可用水泥砂浆填充，但要填平整、不能偏斜。插座暗盒口面应与墙的粉刷层平面一致。待穿完导线后，即可将插座用螺钉固定在暗盒内，接好导线，装上插座面板，如图 2-21 所示。

(4) 明装插座的安装

明装插座的安装方法是先将塑料圆木固定在墙上，然后在塑料圆木上安装插座（带有插座安装盒的可直接固定在墙上），如图 2-22 所示。

9. 工矿灯具

常用的工矿灯具见表 2-8。使用时应根据安装场所、安装方式、灯泡形状及功率等参数合理选择型号。

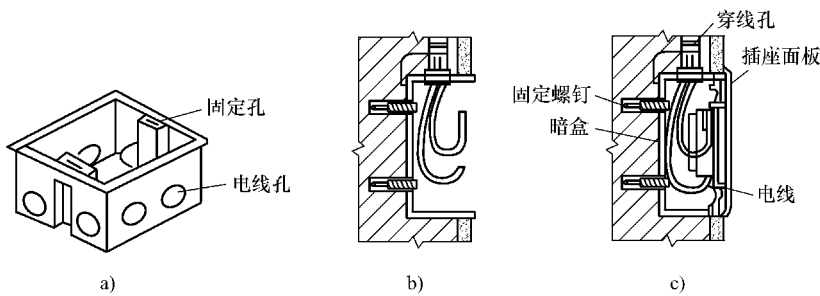


图 2-21 暗装插座的安装

a) 暗盒 b) 穿线并安装暗盒 c) 接线并安装插座面板

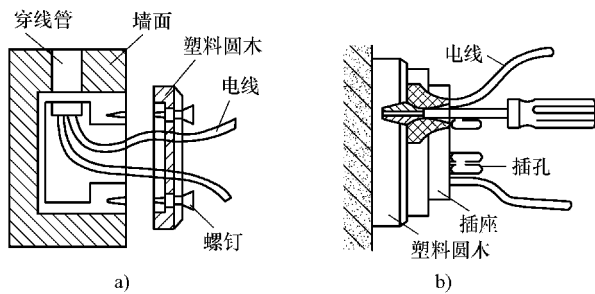


图 2-22 明装插座的安装

a) 穿线并安装塑料圆木 b) 穿线、接线并安装插座

表 2-8 常用的工矿灯具

名 称	外 形	名 称	外 形
广照型		配照型	
斜照型		深照型	
防爆型		立面投光型	

三、质量检验与验收

1. 安装照明灯具应遵循的规程

1) 220V 照明灯头离地高度应满足下列要求:

① 在潮湿、危险场所及户外应不低于 2.5m。

② 在不属于潮湿、危险场所的生产车间、办公室、商店及住房等处应不低于 2m。

③ 如因需要,必须将电灯适当放低时,灯头离地的最低垂直高度不应低于 1 m,并应采用安全灯头。若是荧光灯,则荧光灯架上应加装盖板。

④ 灯头高度低于上述规定而又无安全措施的车间、行灯和机床局部照明,应采用 36V 及以下的电压。

2) 安装灯具的预埋螺栓、吊杆和吊顶上嵌入式灯具安装专用骨架等完成,按设计要求做承载试验合格,才能安装灯具。

3) 拆除影响灯具安装的模板、脚手架;顶棚和墙面喷浆、油漆或壁纸等及地面清理工作基本完成后,才能安装灯具。

4) 导线绝缘测试合格,才能对灯具接线。

5) 高空安装的灯具,地面通断电试验合格,才能安装。

6) 外观检查:灯具涂层完整,无损伤,附件齐全。防爆灯具铭牌上有防爆标志和防爆合格证号,普通灯具具有安全认证标志。

7) 灯具的绝缘电阻值不应小于 $2M\Omega$,内部接线为铜芯绝缘电线,芯线截面积不小于 $0.5mm^2$,橡胶或聚氯乙烯(PVC)绝缘电线的绝缘层厚度不小于 0.6mm。

2. 安装开关、插座、接线盒等应遵循的规程

1) 照明开关应装在相线上。开关应用拉线开关或平开关,不得采用床头开关或灯头开关(采用安全电压的行灯和装置可靠的台灯除外)。开关距地面的安装高度应符合下列要求:

① 拉线开关不低于 1.8m。

② 墙壁开关(平开关)不低于 1.3m。

2) 明装插座的离地高度一般不低于 1.3m;暗装插座的底边距地高度一般为 300mm(或离地高度不低于 150mm);居民住宅和儿童活动场所的插座均不得低于 1.3m;壁挂式空调器插座的高度为 1.9m。

3) 同一室内的电源、电话、电视等插座面板应在同一水平高度上,高差应小于 5mm。

4) 为保证安装平稳、绝缘良好,拉线开关和吊线盒等均应用塑料圆台或方木台固定。圆台若固定在砖墙或混凝土结构上,则要安装木榫(或胀管),用自攻螺钉加以固定。

5) 普通吊线灯、灯具的质量不超过 1kg 时,可用灯引线自身作灯的吊线;灯具质量超过 1kg 时,应采用吊链或钢管吊装,且导线不应承受拉力。

6) 灯架或吊灯管内的导线不许有接头。

7) 用灯引线作吊灯线时,灯头和吊灯盒与吊灯线的连接处,均应打一结扣,以免接头受力而导致接触不良、断路或坠落。

3. 灯具安装的质量检验

(1) 安装不符合要求的现象

1) 灯位安装偏位,不在中心点上。

- 2) 成排灯具的水平度、直线度偏差较大。
- 3) 吊链荧光灯链条不平行，引下的导线未编叉。
- 4) 天花吊顶的筒灯开孔太大，不整齐。

(2) 预防措施

- 1) 安装灯具前，应认真找准中心点，及时纠正偏差。
- 2) 成排灯具安装的偏差不应大于 5mm，因此，在施工中需要拉线定位，使灯具在纵向、横向、斜向以及高低水平均为一直线。
- 3) 荧光灯的吊链应相互平直，不得出现八字形，导线引下应与吊链编叉在一起。
- 4) 天花吊顶的筒灯开孔要先定好坐标，除要求平直、整齐和均等外，开孔的大小要符合筒灯的规格，不得太大，以保证筒灯安装时外圈牢固地紧贴吊顶，不露缝隙。

2.1.2 电能计量装置的安装

电能计量装置又称电能表，是用来计量电路和电气设备所消耗电能的仪表，是家庭照明电路中不可缺少的组成元件。在实际应用中，应该选用合适的电能表，如果选用的电能表过大则会导致计量不准确；如果选用的电能表过小，则有可能会使电能表过载，严重时甚至会烧坏电能表。

一、操作准备

1. 工具

常用工具见表 2-9。

表 2-9 工具

序号	1	2	3	4
名称	钢丝钳	剥线钳	尖嘴钳	螺钉旋具

2. 导线

需要用的导线见表 2-10。

表 2-10 导线

序号	1	2
名称	塑料硬线（BV2.5mm ² ）5m	塑料软线（BVR1.5mm ² ）10m

3. 其他物料

除上述物品外需要用的电工辅料见表 2-11。

表 2-11 其他物料

序号	1	2	3	4	5	6	7
名称	单相电能表	三相电能表	电流互感器	配电板	刀开关	低压断路器	自攻螺钉

二、操作步骤

(1) 单相电能表的安装和接线

1) 先将表板用螺钉固定，螺钉的位置应选在能被表盖没的区域，以形成拆板先拆表的操作程序。

2) 将电能表上端的一只螺钉拧入表板, 然后挂上电能表。

3) 调整电能表位置使其符合安装要求, 与墙面和地面相垂直, 后将电能表下端的两个螺钉拧上, 在调整电能表后完全拧紧。

4) 单相电能表安装后, 必须按图接线, 各种电能表的接线端子均按由左至右的顺序排列编号。单相电能表有两种接线方式: 一种是 1、3 接进线 (电源线), 2、4 接出线 (负载线); 另一种是 1、2 接进线, 3、4 接出线。国产单相电能表统一规定采用 1、3 进线, 2、4 出线, 如图 2-23 所示。

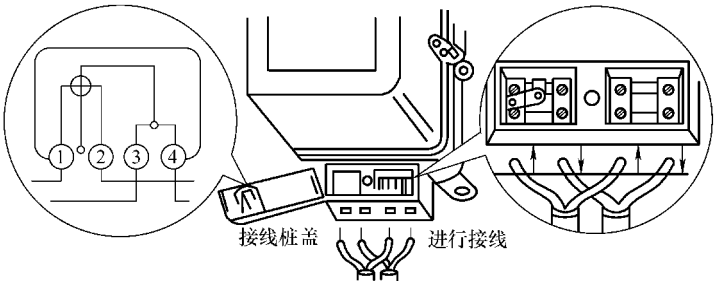


图 2-23 单相电能表接线示意图

电能表接线完毕, 在接电前, 应由供电部门把接线端子盒加铅封, 用户不可擅自打开。

(2) 三相四线制电能表的安装接线

对于较大容量的照明用户, 一般采用三相四线制供电, 三相四线制进户的照明电路规定采用三相四线制电能表进行量电。三相四线制电能表的接线柱由左向右编号, 其中 1、4、7 接线柱是电源相线进线的接线柱, 2、5、8 是电能表的相线出线的接线柱。10 为电源中性线 (N) 的进线接线柱, 11 为电能表的中性线出线的接线柱, 如图 2-24 所示。测量用的仪用电流互感器, 在系统正常工作时测量电流和电能, 其最大二次电流要有一定的限制。电流互感器一次绕组 (匝数少) 串联在被测电路中, 利用一、二次绕组匝数不等, 将一次绕组中的大电流变换为二次绕组 (匝数多) 的小电流, 以供使用。

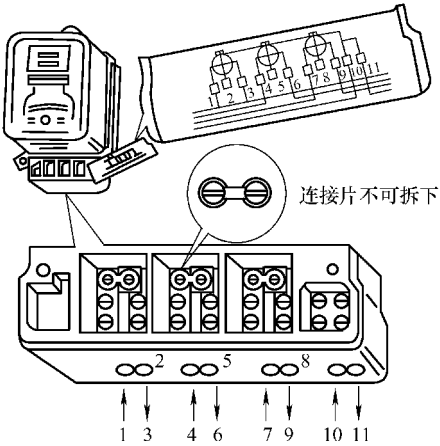


图 2-24 三相四线制电能表的接线图

(3) 电子式预付费电能表

电子式预付费电能表又称为 IC 卡表或磁卡表, 采用最新微电子技术研制, 是我国改革用电体制、实现电能商品化、有效控制和调节电网负荷的理想产品。

三、质量检验与验收

1. 电能表的安装要求

1) 电能表外若使用木板盒时应采用实木板, 必须坚实干燥, 不应有裂缝, 拼接处要紧密平滑。木板可以和配电板共用一块, 正面及四周边缘必须涂漆防潮。

2) 电能表要安装在干燥、无振动和无腐蚀气体的场所。表板的下沿离地一般不低于

1.3m，但大容量表板的下沿离地允许放低到1~1.2m，但不可低于1 m。

3) 电能表安装时应垂直于地面，不可出现横向或纵向的歪斜。否则影响转盘转动得准确性。

2. 电能表的总线安装要求

电能表的总线是指从进户总熔断器盒至电能表的这一段线。电能表总线的安装要求如下：

1) 电能表总线截面积的选用方法与进户线相同，但最小截面积不得小于1.5mm²，并规定应采用铜芯电线，不得采用铝芯电线，也不准采用软线。

2) 电能表总线中间不准有接头，但三相四线制电能表或3个组合使用的单相电能表，其中性线允许采用“T”字形连接。

3) 电能表总线必须明线敷设，如系塑料绝缘线则应采用线夹支持，如系护套线则应采用线卡支持，不准把导线穿入表板背后，也不准采用任何暗设的安装形式。

4) 电能表总线应敷设在电能表左侧；电能表出现的要求与上述总线各点要求相同，并敷设在右侧，不可装反。

5) 电能表总线的沿线敷设长度一般不应超过10m。

2.1.3 室内照明电路的安装

室内线路常用的配线方式有塑料护套线配线、线管配线、线槽配线和桥架配线等。选择配线方式时应根据室内环境的特征和安全要求等因素决定。

一、操作准备

1. 工具

常用工具见表2-12。

表 2-12 工具

序号	1	2	3	4	5	6	7
名称	钢丝钳	剥线钳	尖嘴钳	电工刀	压线钳	锤子	弯管机

2. 导线

需要用的导线见表2-13。

表 2-13 导线

序号	1	2	3
名称	塑料硬线（BV2.5mm ² ） 30m	塑料软线（BVR1.5mm ² ） 30m	塑料护套线 10m

3. 其他材料

除上述工具与导线外，还需要准备的物品见表2-14。

表 2-14 其他材料

序号	1	2	3	4	5
名称	塑料线卡	电线管及附件	线槽	自攻螺钉	塑料胀管

二、操作步骤

1. 塑料护套线配线

塑料护套线是一种具有塑料保护层的双芯或多芯绝缘导线，具有防潮、线路造价低和安装方便等优点，可以直接敷设在墙壁、空心板及其他建筑物表面，此种方式广泛用于室内电气照明线路及小容量生活、生产等配电线路的明线安装。塑料护套线的外形如图 2-25 所示。

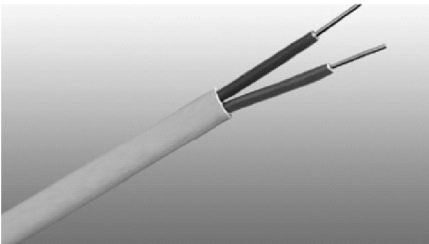


图 2-25 两芯护套线

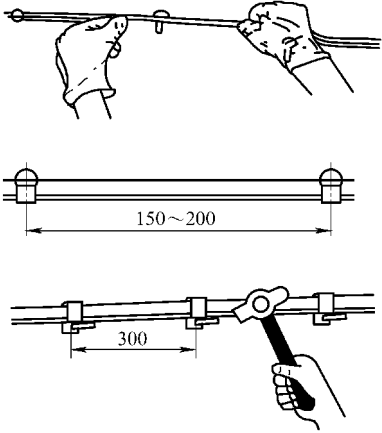
使用铝片线卡或塑料线卡作为导线的支持物，铝片线卡的规格有 0、1、2、3 和 4 号等，号码越大，长度越长，在照明线路中通常用 0 和 1 号铝片线卡。塑料线卡的常用规格有 6mm、8mm、10mm 等，常用槽口形状有方形、圆形等。按固定的方式划分，线卡的形状有铁钉（或水泥钉）固定式和粘结剂固定式两种。

(1) 配线方法（见表 2-15）。

表 2-15 塑料护套线的配线方法

配线方法	配线步骤	图 示
定位并划线	①确定各用电器具的安装位置和线路方向 ②用弹线袋划线，采用铝片线卡支持护套线时，每隔 150 ~ 200mm 划出固定线卡的位置 ③在距开关、插座和灯具圆木 50 ~ 100mm 处都需设置线卡的固定点	
钻孔并安装木榫	在铁钉不可直接钉入的墙壁上配线时，必须先钻孔（使用冲击钻或小型电锤）安装木榫（或成形胀块），以确保线路安装紧固	
固定线卡	①在木结构上可用铁钉固定铝片线卡；在抹灰浆的墙上每隔 4 ~ 5 挡，或在进入圆木和转角处需用铁钉在木榫上固定铝片线卡，其余的可用铁钉直接将铝片线卡钉在灰浆中 ②在砖墙和混凝土墙上可用带水泥钉的塑料线卡直接固定，也可用木榫和环氧树脂粘接剂固定铝片线卡	

(续)

配线方法	配线步骤	图 示
敷设导线	①把护套线一端固定，然后按住固定端，勒直并收紧护套线，依次把护套线夹入铝片线卡中 ②将铝片线卡依次收紧，夹持护套线 ③使用塑料线卡支持导线时，每隔 200 ~ 300mm 依次用锤子敲击固定各个塑料线卡	

(2) 注意事项

- 1) 使用塑料护套线配线时，铜芯截面积大于 0.5mm^2 ，铝芯截面积大于 1.5mm^2 。
- 2) 护套线不可在线路上直接连接，可通过瓷接头、接线盒或借用其他电器的接线柱连接。
- 3) 护套线转弯时，转弯圆度要大，以免损伤导线，转弯前后应各用一个线卡支持。
- 4) 护套线路离地距离不得短于 0.15m ，穿越楼板即离地低于 0.15m 处，应加钢管或硬塑料管保护，以免导线受到损伤。
- 5) 为了安全及防止电气火灾，应选用具有“长城”标志的国标塑料或橡胶绝缘保护层的铜芯电线，家庭配线电线截面积一般规定为：照明、插座用线选用 2.5mm^2 ，空调用线不得小于 4mm^2 。

2. 线管配线

线管配线有耐潮、耐腐、导线不易受机械损伤等优点，适用于室内外照明和动力线路的配线。所用管材有钢管和塑料管两种，安装形式有明装和暗装。其中，暗装需要在土建时预埋好线管和接线盒。

阻燃 PVC 电线管的外形如图 2-26 所示，广泛应用于建筑工程混凝土内、楼板间或墙内作为电线导管，亦可作为一般配线导管及邮电通信用管等。它具有耐腐蚀、阻燃、绝缘等优异性能，施工过程中还具有质量轻、易弯曲、安装实施方便、施工快捷等优点。

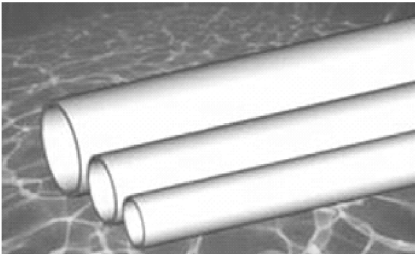


图 2-26 PVC 电线管

(1) 钢管配线的方法

线管的明装要求横平竖直，管路短，弯头少。暗装时，首先要确定好线管进入设备器具盒（箱）的位置，计算好管路敷设长度，再进行配管施工。在配合土建施工中将管与盒（箱）按已确定的安装位置连接起来，并在管与管、

盒（箱）的连接处，焊上接地跨接线，使金属外壳连成一体，如图 2-27 所示。

1) 线管的连接。

① 钢管与钢管间的连接。

钢管与钢管之间的连接，无论是明装管还是暗装管，最好采用管箍连接，管箍如图 2-28 所示。有使用时，管箍的管口毛刺容易划伤导线必须清除。

② 钢管与接线盒间的连接。

钢管的端部与各种接线盒连接时，应在接线盒内各加一个薄形螺母（或锁紧螺母），薄形螺母如图 2-29 所示。

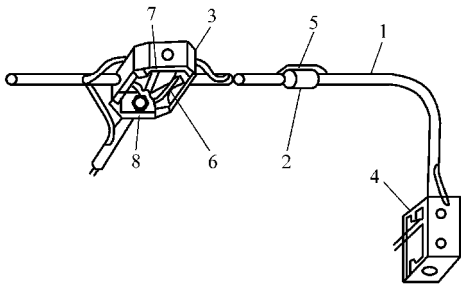


图 2-27 线管暗装的示意图

1—线管 2—管箍 3—灯位盒 4—开关盒
5—跨接地线 6—导线
7—接地导线 8—锁紧螺母

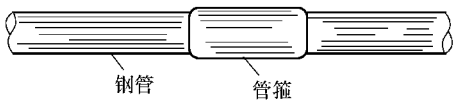


图 2-28 管箍连接钢管

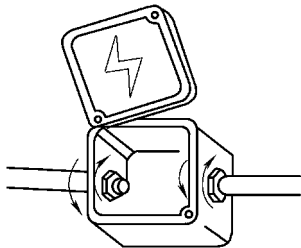


图 2-29 钢管与接线盒的连接

2) 弯管：钢管的弯曲通常用专用的弯管器。常用弯管器有简易弯管器及液压弯管器。其中液压弯管器根据不同管径配有成形模具，使用非常方便，如图 2-30 所示，左图为不同开头的模具，右图为手动液压弯管机。

3) 线管的固定。

① 线管明线敷设。

线管明线敷时应采用管卡支持，在线管进入开关、灯座、插座和接线盒孔前 300mm 处和线管弯头两边，都需要管卡固定，如图 2-31 所示。



图 2-30 手动液压弯管机和弯管模具

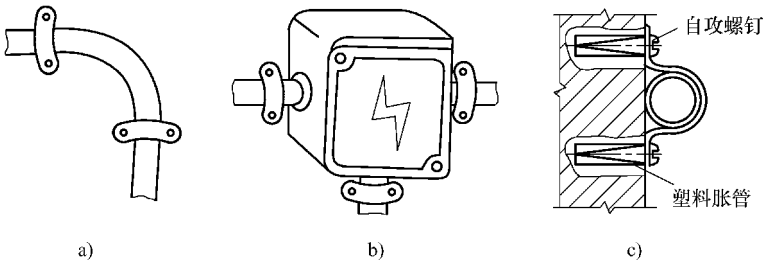


图 2-31 使用管卡固定钢管

② 线管在墙内暗线敷设。

线管在砖墙内暗线敷设时，一般在土建砌砖时预埋，否则应先在砖墙上留槽或开槽，然后在砖缝里打入木樁并用铁钉固定。厂房地面采用线管暗敷的方式，如图 2-32 所示。

4) 扫管穿线。

① 穿线前先清扫线管，用压缩空气或在钢丝上绑以擦布，将管内杂质和水分清除。

② 导线穿入线管前，应在线管口套上护圈，截取导线并剖削两端导线绝缘层，做好导线的标记，之后将所有导线按图 2-33 所示方法与钢丝引线缠绕，一个人将导线送入，另一个人在另一端慢慢牵拉，直到穿入完毕，如图 2-34 所示。

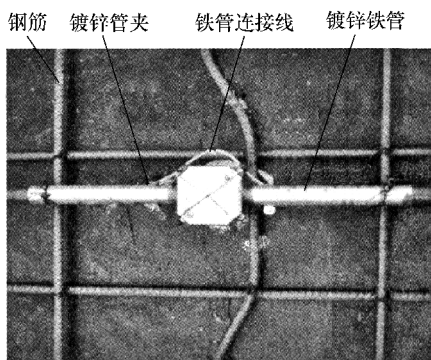


图 2-32 厂房地面采用线管暗敷

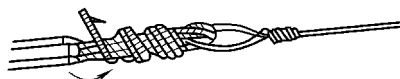


图 2-33 导线与引线的缠绕

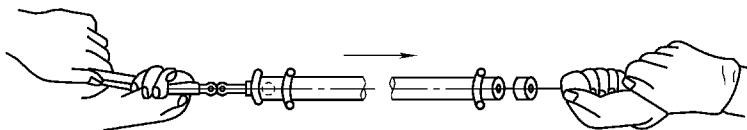


图 2-34 导线穿入管内的方法

(2) 钢管配线的要求

- 1) 潮湿场所和直埋于地下的电线保护管，应采用厚壁钢管。
- 2) 干燥场所的电线保护管，钢管的内壁、外壁均应做防腐处理。
- 3) 直埋于土层内的钢管外壁均应做防腐处理，直埋于土层内的钢管外壁均应做沥青防腐。设计有特殊要求时，应按设计规定进行防腐处理。
- 4) 钢管不应有折扁、裂缝管内应无铁屑和毛刺，切断口应平整管口光滑。

(3) 硬塑料管的连接

1) 加热连接法。

① 直接加热连接法。

使用直径为 50mm 及以下的塑料管可用直接加热连接法。连接前先将管口倒角，如图 2-35a 所示。然后用喷灯、电炉等热源对插接段加热软化后，趁热插入外管并调到两管的轴心一致时，迅速浸湿使冷却硬化，如图 2-35b 所示。

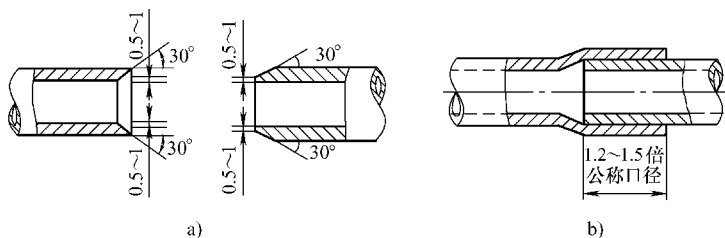


图 2-35 塑料管的直接加热连接

a) 管口倒角 b) 塑料管直接对插

② 模具胀管法。

使用直径为 65mm 及以上的塑料管的连接, 可用模具胀管法。如图 2-36a 所示, 待塑料管加热软化后, 将加热的金属模具趁热插入外管头部, 然后用冷水冷却到 50℃ 左右, 退出模具。在接触面上涂粘结剂, 再次稍微加热后两管对插, 插接到位后用水冷却硬化, 连接完成。完成上述工序后, 可用相应的塑料焊条在接口处圆周焊接一圈, 以提高机械强度和防潮性能, 如图 2-36b 所示。

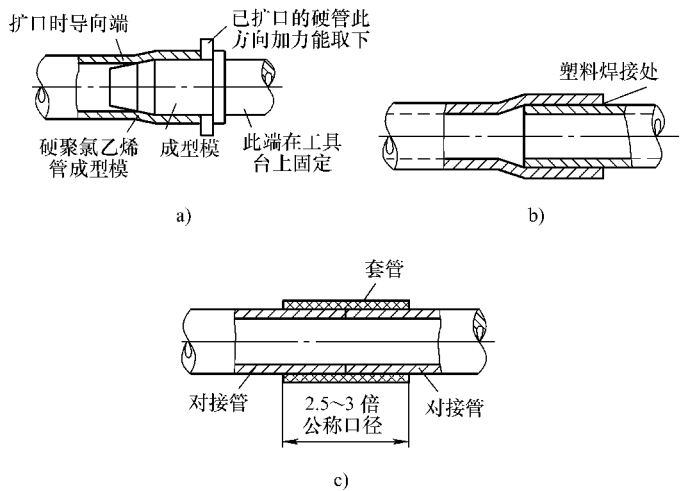


图 2-36 塑料管的连接
a) 胀管插接 b) 接口焊接 c) 套管连接

2) 套管连接法。

将两根塑料管在接头处加专用套管完成, 如图 2-36c 所示。

3) PVC 电线管的弯曲。

使用 PVC 管时, 它的弯曲必须符合图样要求的位置, 使用工具弹簧深入 PVC 管后, 两手直接缓慢用力弯曲。采用 PVC 胶及接头明配时, 弯曲半径不宜小于管外径的 6 倍。当两个接线盒中间只有一个弯曲时, 其弯曲半径不宜小于外径的 4 倍; 暗配时, 弯曲半径不应小于管外径的 10 倍。

3. 线槽配线

线槽配线的方式广泛适用于电气工程安装、机床和电气设备的配电板或配电柜等的明装配线, 也适用于电气工程改造时更换线路以及各种弱电、信号线路在吊顶内的敷设。常用的塑料线槽材料为聚氯乙烯, 由槽底和槽盖组合而成, 电气板配线常用线槽的外形如图 2-37 所示。线槽具有安装维修方便、阻燃等特点。

塑料线槽的选用, 可根据敷设线路的情况选用合适的线槽规格。线槽配线的方法见表 2-16。

室内照明线路采用线槽明敷的方式如图 2-38 所示。

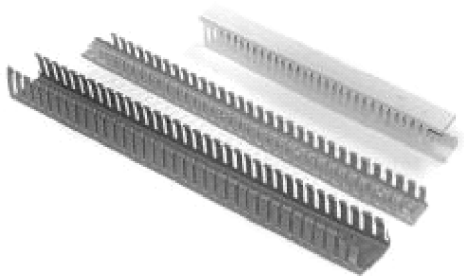


图 2-37 塑料线槽实物图

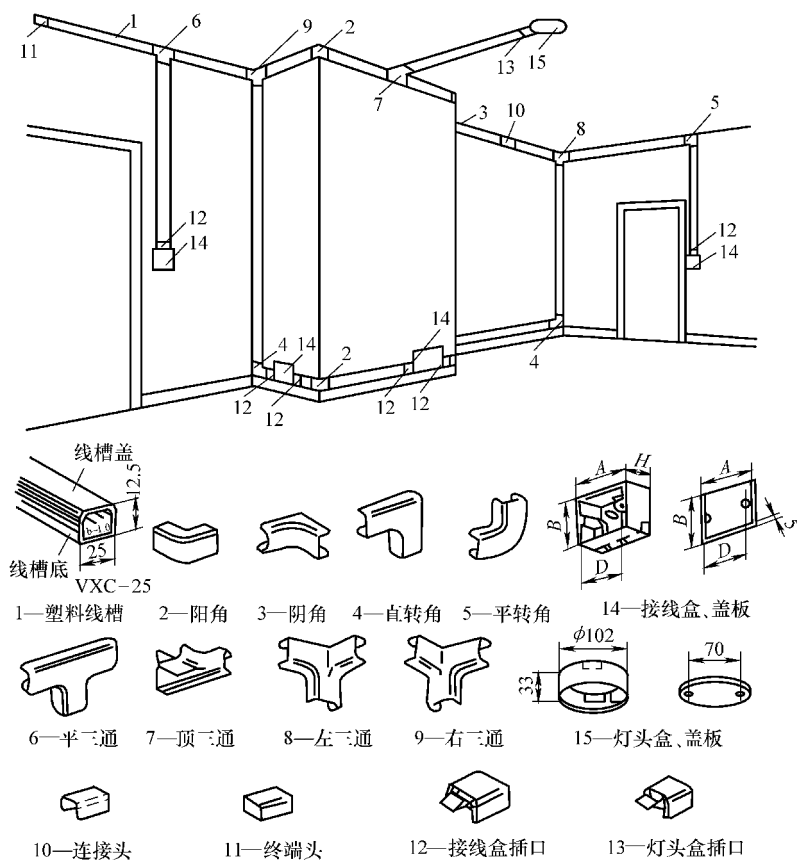


图 2-38 室内照明线路槽明敷方式

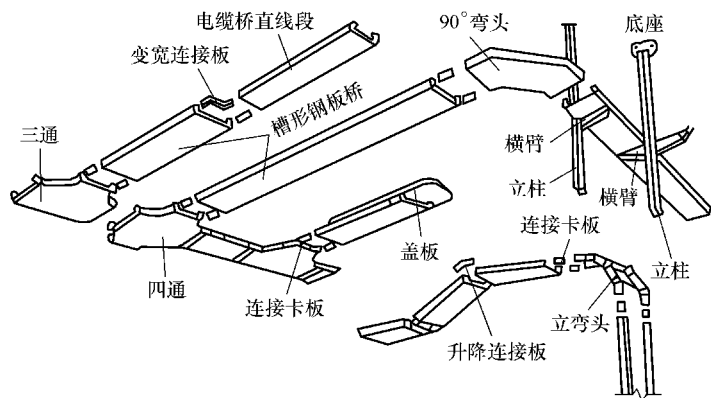


图 2-39 槽式电缆桥架配线的示意图

三、质量检验与验收

1. PVC 电线管配线应遵循的规程

1) 配线时要遵循强电走上、弱电在下、横平竖直、避免交叉、美观实用的原则。电线与暖气、热水、煤气管之间的平行距离不应小于 300mm，交叉距离不应小于 100mm。电线

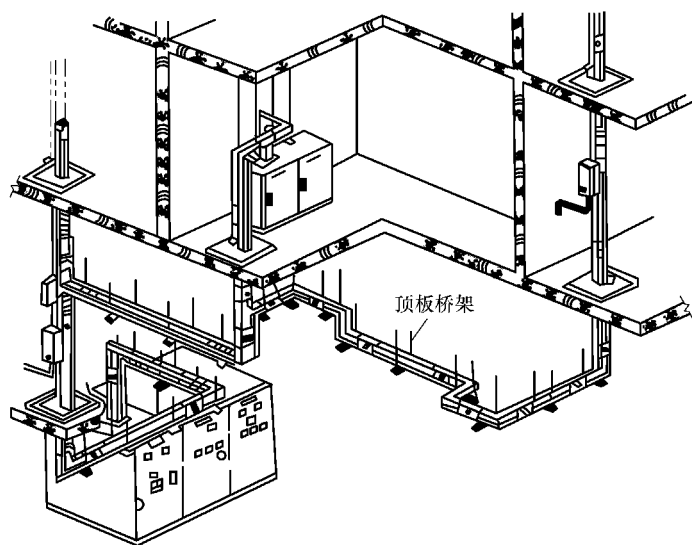
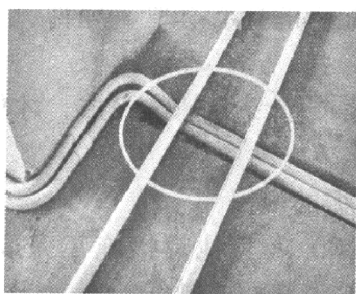
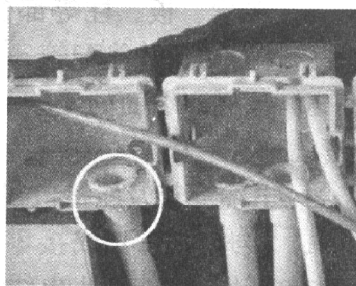


图 2-40 桥架配线的组合安装示意图

管与水管交叉处尽量做到电线管在水管之上，如图 2-41a 所示。



a)

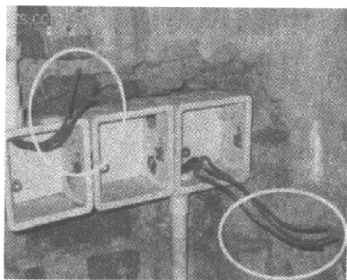


b)

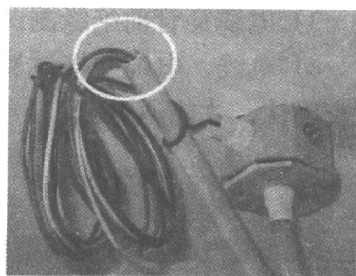
图 2-41 电线管安装规程图

2) 暗盒与线管必须通过锁母连接室内布线穿管敷设时，不应该有电线外露（除现浇混凝土楼板顶面可采用护套线外）。正确的安装工艺如图 2-41b 所示。

3) 接线盒外预留导线长度应适宜穿入配管，导线的接头应设在接线盒内，线头要留有余地，距离在 150mm，接头搭接应牢固，绝缘带包缠应均匀紧密，如图 2-42a 所示。



a)



b)

图 2-42 电线管配线规程图

4) 在 PVC 管安装好后, 统一穿电线, 同一回路电线应穿入同一根管内, 但管内总根数不应超过 8 根, 管内电线总截面积 (包括绝缘外皮) 不应超过管内径截面积的 40%, 如图 2-41b 所示。

2. 电线管、电缆导管和线槽敷设应遵循的规程

1) 除了埋入混凝土中的非镀锌钢管外壁不做防腐处理外, 其他场所的非镀锌钢管内外壁均需做防腐处理, 经检查确认, 才能配管。

2) 室外直埋管的路径、沟槽深度、宽度及垫层处理经检查确认, 才能埋设导管。

3) 现浇混凝土板内配管在底层钢筋绑扎完成, 上层钢筋未绑扎前敷设, 且检查确认, 才能绑扎上层钢筋和浇捣混凝土。

4) 在梁、板、柱等部位明配管的导管套管、埋件、支架等检查合格, 才能配管。

5) 顶棚和墙面的喷浆、油漆或壁纸等基本完成, 才能敷设线槽、槽板。

3. 电缆穿管及线槽敷线应遵循的规程

1) 接地 (PE) 或接零 (PEN) 及其他焊接施工完成, 经检查确认, 才能穿入电线或电缆及线槽内敷线。

2) 与导管连接的柜、屏、台、箱、盘安装完成, 管内积水及杂物清理干净, 经检查确认, 才能穿入电线、电缆。

3) 电缆穿管前绝缘测试合格, 才能穿入导管。

4) 电线、电缆交接试验合格, 且对接线去向和相位等检查确认, 才能通电。

2.1.4 部分电路的增设和拆除

一、部分电路的增设

需要增设电路所需要的新支线时, 一般不允许在原有线路末端延长或在原有线路上任意分支, 而应在配电总开关出线端 (或总熔断器出线端) 引线, 也可从干线熔丝盒的出线端引接, 成为新的分路。

如果增设的分路, 其负荷已超过用电申请的裕量, 应重新申请增加用电量, 不可随意增设分支扩大容量。

如果增设的用电设备台数较少, 而容量也较小, 原有线路能承受所增负荷, 则允许在原线路上分接支线。

二、部分电路的拆除

拆除个别用电设备, 不能只拆除设备, 而在原处留下电源线, 应把这段电源线全部拆除至干线引接处, 并恢复好干线的绝缘。如拆除整段支线, 应拆至上一级支干线的熔断器处, 不可只在分支处与干线脱离, 在原处留下支线, 而应把所拆支线全部卸除。

在照明电路上, 拆除个别灯头或插座时, 应把灯座的电源引线从接线盒上拆除, 将开关线头或插座线头恢复绝缘层后埋入木台内, 切不可让线头露在木台之外。

2.1.5 线路的检修和保养

线路的维护和保养可分为日常保养和定期保养这两种。

一、日常保养

日常的维护和保养专职电工必须经常关注以下各项内容:

- 1) 在整个线路内是否盲目增加用电装置,或擅自拆卸用电设备、开关和保护装置等。
- 2) 是否擅自更换熔体,是否经常烧断熔体或保护装置不断动作。
- 3) 各种电气设备、用电器具和开关保护装置结构是否完整,外壳是否破损,运行是否正常,控制是否失灵,以及是否存在过热现象等。
- 4) 各处接地点是否完整,连接点是否松动或脱落,接地线是否发热、断裂或脱落。
- 5) 整个线路内的所有电气装置和设备,是否存在受潮和受热现象。
- 6) 在正常用电情况下,是否存在耗电量明显增加,建筑物和设备外壳等是否存在带电现象。
- 7) 经常用钳形电流表测量导线的载流量,通过检查用电设备每相的耗电情况,从而判断运行是否正常。

二、定期的维护和保养

其中应包括定期检查项目,如每隔半年或一年测量一次线路和设备的绝缘电阻;每隔一年测量一次接地电阻等。

2.1.6 一般线路常见故障的排除方法

一般线路的常见故障有以下几方面:

一、短路

回路中发生短路时,电路电阻急剧下降,电流骤然增大。若此时保护装置失去作用,将会烧毁线路中的导线和设备。短路可分为相间短路和相对地短路两类,相对地短路又可分为相线与中性线间短路和相线与大地间短路两种,如图 2-43 所示。

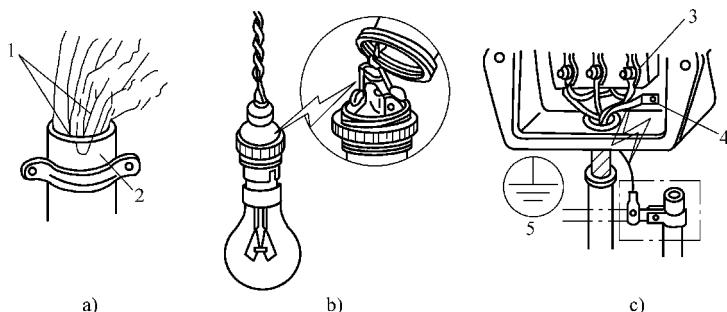


图 2-43 线路短路情况

a) 相线与相线间 b) 相线与中性线间 c) 相线与大地间
1—相线 2—钢管 3—相线头 4—接地线头 5—接地

对于采用绝缘导线的线路,线路本身发生短路的可能性较少。而往往是由于用电设备、开关装置和保护装置内部发生相间碰线或绝缘损坏而发生短路。因此;检查和排除短路故障时,应先把故障区域内的用电设备脱离电源线路,试看故障是否能够解除,如果故障依然存在,再逐个检查开关和保护装置。

管线线路和护套线线路往往因为线路上存在严重过载和短路等故障,使导线长期过热,破坏了导线的绝缘性能,或因受外界机械损伤而破坏了导线绝缘层,都会引起线路的短路。所以要定期检查导线的绝缘电阻和绝缘层的结构状况,发现绝缘电阻下降,或绝缘层出现破裂,则应予以更换。

二、开路

电路存在开路, 电流就不能形成回路, 电路不能正常运行。造成开路故障的原因通常有以下几方面:

- 1) 导线线头连接点松散或脱落。
- 2) 较小截面积的导线被老鼠咬断。
- 3) 导线因受外物撞击或拉勾等机械损伤而断裂。
- 4) 较小截面积导线因严重过载或短路而烧断。
- 5) 单股小截面积的导线因质量不佳或因安装时受到损伤, 在绝缘层内部的芯线断裂。
- 6) 活动部分的连接线因机械疲劳而断裂。

三、漏电

若电路中部分绝缘体有较轻程度的损坏就会形成程度较轻的漏电短路。漏电也可分为相间和相地间两类。存在漏电故障时, 在不同程度上会反映出耗电量的增加。随着漏电程度的加深, 会出现类似过载和短路故障现象。如熔体经常烧断、保护装置容易动作及导线和设备过热等。

引起漏电的主要原因有:

- 1) 线路和设备的绝缘老化或损坏。
- 2) 线路装置安装不符合技术要求。
- 3) 线路和设备因受潮, 受热或遭受化学腐蚀而降低了绝缘性能。
- 4) 恢复的绝缘层不符合要求, 或恢复层绝缘带松散。

四、发热

线路导线的发热或连接点发热的故障原因通常有以下几个方面:

- 1) 导线选用不符合技术要求, 若截面积过小会出现导线过载发热。
- 2) 用电设备的容量增大而线路导线没有相应地增大截面积。
- 3) 线路、设备和各种装置存在漏电现象。
- 4) 单根载流导线穿过具有环状的磁性金属, 如钢管之类。
- 5) 导线连接点松散, 因接触电阻增加而发热。

上述故障现象比较明显, 造成故障的原因也较简单, 针对故障原因予以排除。

2.1.7 单元自测题

1. 荧光灯的工作原理是怎样的?
2. 缩短卤钨灯寿命的原因有哪些?
3. 线路的安装应该注意哪些问题?
4. 照明线路有哪些常见故障, 如何排除?

2.2 常用低压电器的使用与故障检修

2.2.1 常用的低压电器

在电工工具中, 能根据外界信号自动或手动接通和断开电路, 从而断续或连续地改变电

路参数或状态，实现对电路或非电对象的切换、控制、保护检测和调节用的电气元器件或设备，统称为电器。根据工作电压的高低，交流额定电压 1200V 及以下、直流额定电压 1500V 及以下的电器统称为低压电器。

一、低压电器的分类

低压电器的种类繁多，用途很广，其分类方法见表 2-17。

表 2-17 低压电器的分类方法

分类方法	分类名称	主 要 产 品
按用途	低压配电电器	刀开关、负荷开关、转换开关、熔断器和断路器等
	低压控制电器	接触器、控制继电器、起动器、控制器、主令电器和电磁铁等
按动作方式	自动切换电器	接触器、继电器等
	非自动切换电器	按钮、刀开关等
按作用	执行电器	电磁铁、电磁离合器等
	控制电器	接触器、继电器等
	主令电器	按钮、行程开关等
	保护电器	熔断器、热继电器等

二、开关电器

1. 开启式负荷开关

常用的低压刀开关有开启式负荷开关、封闭式负荷开关等。适用于额定电压交流 380V、直流 440V，额定电流 1500A 以下的配电设备中。

开启式负荷开关适用于照明、电热负载及小功率电动机控制电路中，供手动不频繁地接通和分断电路，并起短路保护。其外形如图 2-44 所示。

(1) 结构

HK 系列开启式负荷开关是由刀开关和熔断器组合而成。它的瓷底座上装有进线座、静触头、熔体、出线座和带瓷质手柄的动触头，并有上、下胶盖用来灭弧。HK 系列开启式负荷开关的结构如图 2-45 所示。

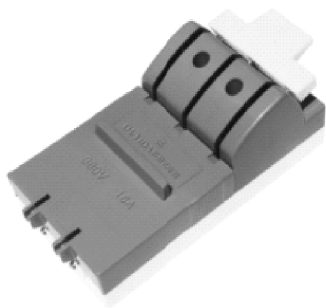


图 2-44 HK 系列开启式负荷开关

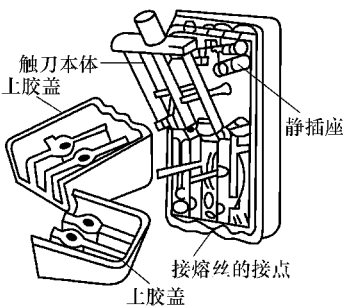


图 2-45 HK 系列开启式负荷开关的结构

(2) 选用

1) 照明和电热负载：选用开关的额定电流应不小于所有负载的额定电流之和，额定电压为 220V 或 250V 的两极开关。

2) 电力负载: 电动机功率不超过 3kW 时可选用, 并使开关的额定电流应不小于电动机额定电流 3 倍, 额定电压为 380V 或 500V 的三极开关。

(3) 安装与使用

1) 开启式负荷开关必须垂直安装, 且合闸状态时手柄应朝上, 不允许倒装或平装。

2) 接线时, 电源进线应接在开关上面的进线座上, 用电设备应接在开关下面熔体的出线座上, 在开关断开后, 使触刀和熔体上不带电。

3) 更换熔体时, 必须在触刀断开的情况下按原规格更换。

4) 在分、合闸操作时, 应动作迅速, 使电弧尽快熄灭。

2. 封闭式负荷开关

封闭式负荷开关其灭弧性能、操作性能、通断能力和安全防护性能都优于开启式负荷开关。它适用于不频繁地接通和分断负载电路, 并能作为电路末端的短路保护, 也可用来控制 15kW 以下交流电动机的不频繁直接起停及停止。HH3 型封闭式负荷开关的实物如图 2-46 所示。

(1) 结构

它主要由刀开关、熔断器、操作机构和外壳构成。封闭式负荷开关具有以下特点: 一是采用了储能分合闸方式, 提高了开关的通断能力, 延长了使用寿命; 二是设置了联锁装置, 确保操作安全。HH 系列封闭式负荷开关的结构如图 2-47 所示。



图 2-46 HH3 型封闭式负荷开关实物图

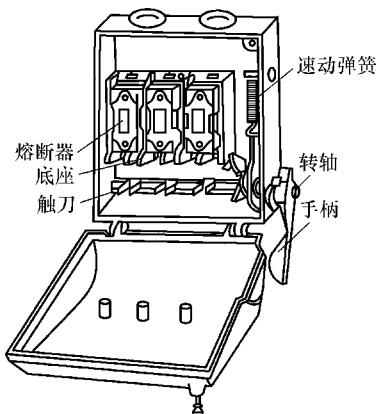


图 2-47 HH 系列封闭式负荷开关的结构

(2) 选用

1) 封闭式负荷开关的额定电压应不小于电路的工作电压。

2) 封闭式负荷开关用于控制照明、电热负载时, 开关的额定电流应不小于所有负载额定电流之和; 用于控制电动机时, 开关的额定电流应不小于电动机额定电流的 3 倍。

(3) 安装与使用

1) 开关必须垂直安装, 离地面高度不低于 1.3 ~ 1.5m, 并以操作方便和安全为原则。

2) 接线时, 应将电源进线接在刀开关底座一边的接线端子上, 负载引线应接在熔断器一边的接线端子上。

3. 组合开关

组合开关适用于工频交流电压 380V 以下及直流 220V 以下的电器线路中, 供手动不频

繁地接通和断开电路、换接电源和负载以及作为控制 5kW 以下三相异步电动机的直接起动、停止和换向。组合开关如图 2-48 所示。

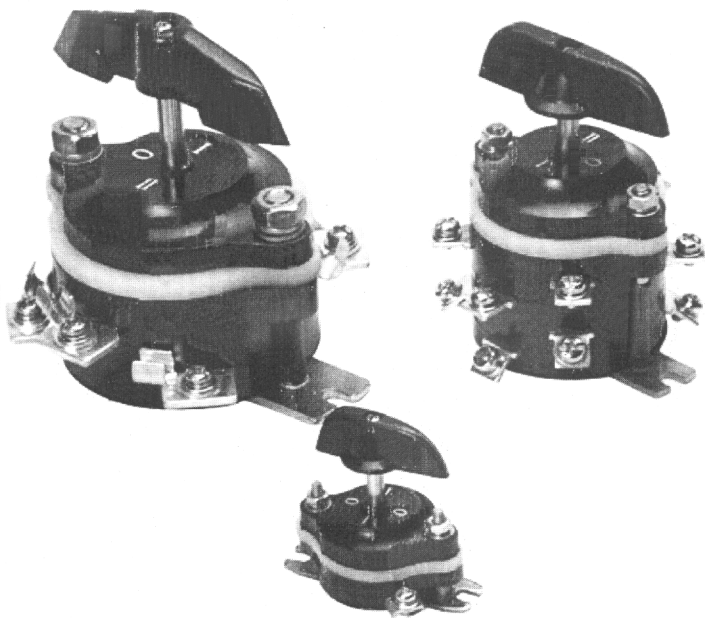


图 2-48 HZ10 系列组合开关实物图

(1) 结构

组合开关由分别安装在数层绝缘体内的动、静触头组合而成。开关的顶盖部分是由滑板、凸轮、扭簧和手柄等构成的操作机构。由于采用了扭簧储能，可使触头快速闭合或分断，从而提高了开关的通断能力。

HZ10 - 10/3 型组合开关的结构如图 2-49 所示。

(2) 选用

应根据极数、电源种类、电压等级及负载的容量选用。用于直接控制异步电动机的开关额定电流一般取电动机额定电流的 1.5 ~ 2.5 倍。

(3) 安装与使用

1) 组合开关应安装在控制箱内，其操作手柄最好在控制箱的前面或侧面，其水平旋转位置为断开状态。

2) 若需在箱内操作，开关最好装在箱内右上方，它的上方最好不要安装其他电器，否则要采取隔离或绝缘措施。

3) 组合开关的通断能力较低，当用手控制电动机作可逆运转时，必须在电动机完全停止转动后，才能反向接通。

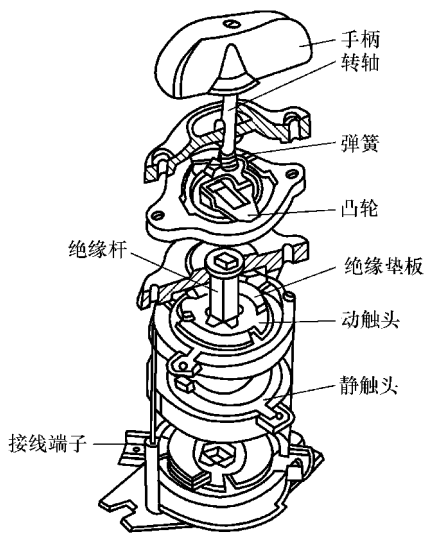


图 2-49 HZ10 - 10/3 型组合开关的结构

4) 当操作频率过高或负载的功率因数较低时, 转换开关要降低容量使用, 否则会影响开关寿命。

三、低压断路器

低压断路器通常用作电源开关, 有时也可用来作为电动机不频繁地启动、停止控制和保护。当电路中出现短路、过载和欠电压等故障时, 能自动切断故障电路, 保护电路和电气设备。其外形如图 2-50 所示。

1. 结构

它由触头系统、灭弧装置、操作机构和保护装置等组成。低压断路器按结构形式可分为塑壳式、框架式、限流式、直流快速式、灭磁式和漏电保护式 6 类。常用 DZ 系列低压断路器的结构如图 2-51 所示。



图 2-50 DZ 系列低压断路器

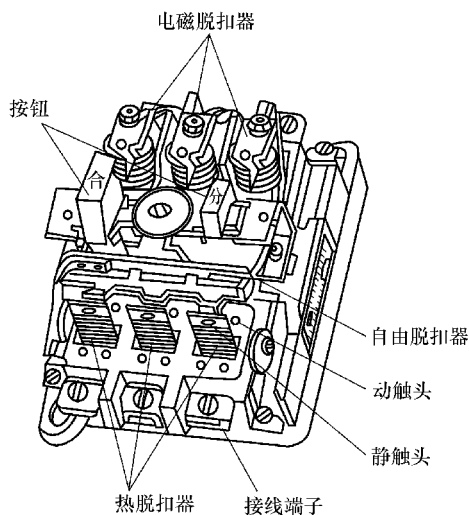


图 2-51 常用 DZ 系列低压断路器的结构

2. 选用

1) 低压断路器的额定电压和额定电流应不小于电路的正常工作电压和电路的实际工作电流。

2) 热脱扣器的额定电流应与所控制负载的额定电流一致。

3) 断路器的极限通断能力应不小于电路最大的短路电流。

4) 欠电压脱扣器的额定电压应等于电路的额定电压。

5) 电磁脱扣器的瞬时脱扣整定电流应大于负载的正常工作可能出现的峰值电流。用于控制电动机的断路器, 其瞬时脱扣整定电流可按式选取:

$$I_Z \geq K I_{st} \quad (2-1)$$

式中 K ——安全系数, 可取 1.5 ~ 1.7;

I_{st} ——电动机的启动电流。

3. 安装与使用

1) 低压断路器一般要垂直于配电板安装, 电源引线应接到上端, 负载引线接到下端。

2) 当断路器与熔断器配合使用时, 熔断器应装于断路器之前, 以保证使用安全。

3) 电磁脱扣器的整定值不允许随意更动, 使用一段时间后应检查其动作的准确性。

4) 断路器在分断短路电流后, 应在切除前级电源的情况下及时检查触头。如有电灼烧痕, 应及时修理或更换。

5) 当低压断路器用作电源总开关或电动机的控制开关时, 在电源进线侧必须加装刀开关或熔断器等, 以形成明显的断开点。

四、熔断器

熔断器是在低压配电网和电力拖动系统中用作短路保护的电器。当电路发生短路故障时, 使熔体发热而瞬间熔断, 从而自动分断电路, 起到保护作用。其外形如图 2-52 所示。

1. 结构

熔断器主要由熔体、安装熔体的熔管和熔座 3 部分组成。熔体的材料通常有两种: 一种是由铅、铅锡合金或锌等低熔点材料制成, 用于小电流电路; 另一种是由银、铜等较高熔点的金属制成, 多用于大电流电路。其结构如图 2-53 所示。

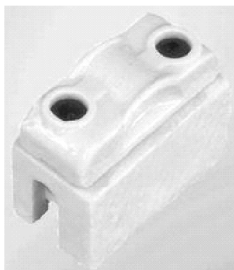


图 2-52 RC1A 型熔断器实物图

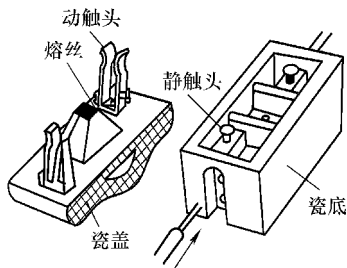


图 2-53 RC1A 型熔断器结构

2. 熔断器的选用

1) 根据使用环境和负载性质选择适当类型的熔断器。电网配电一般用管式熔断器; 电动机保护一般用螺旋式熔断器; 照明电路一般用瓷插式熔断器; 保护元器件则应选择快速熔断器。

2) 选择熔断器时必须满足熔断器的额定电压应不小于电路的工作电压和熔断器的额定电流应不小于所装熔体的额定电流。

3. 熔体额定电流的选择

1) 对于照明和电热负载电路, 熔体的额定电流应等于或稍大于所有负载的额定电流之和。

2) 对于单台电动机电路, 熔体的额定电流应大于或等于 1.5 ~ 2.5 倍电动机的额定电流。

3) 对于多台电动机电路, 熔体的额定电流应大于或等于其中最大功率电动机的额定电流的 1.5 ~ 2.5 倍加上其余电动机额定电流的总和。

4. 安装与使用

1) 应正确选用熔断器和熔体。对不同性质的负载, 如照明电路、电动机电路的主电路和控制电路等, 应分别保护, 并装设单独的熔断器。

2) 安装螺旋式熔断器时, 必须注意将电源线接到瓷底座的下接线端 (即低进高出的原则), 以保证安全。

3) 瓷插式熔断器安装熔丝时, 熔丝应顺着螺钉旋紧方向绕过去, 同时应注意不要划伤熔丝, 也不要使熔丝绷紧, 以免减小熔丝截面尺寸或插断熔丝。

4) 更换熔体时应切断电源, 并应换上相同规格的熔体。

五、接触器

接触器是一种用于远距离频繁地接通或断开交直流主电路及大容量控制电路的电器。它主要控制对象是电动机, 它不仅能实现远距离自动操作和欠电压释放保护功能, 而且具有控制容量大、工作可靠、操作频率高、使用寿命长等优点, 在电力拖动系统中得到广泛应用。

按主触头通过的电流种类, 可分为交流接触器和直流接触器。常见交流接触器的外形如图 2-54 所示。

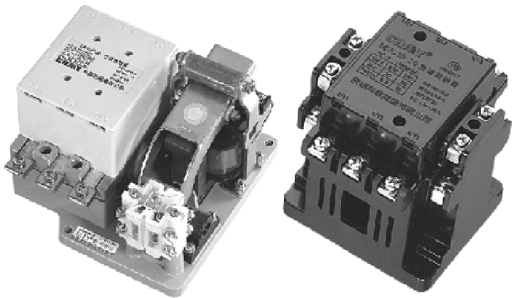


图 2-54 交流接触器的实物图

1. 结构

接触器主要由电磁系统、触头系统、灭弧装置及辅助部件等组成。CJ10 - 20 型交流接触器的结构如图 2-55 所示。

1) 交流接触器的电磁系统主要由线圈、铁心和衔铁三部分组成。其作用是利用电磁线圈的通电或断电, 使衔铁和铁心吸合或释放, 从而带动动触头和静触头闭合或分断, 实现接通或断开电路的目的。

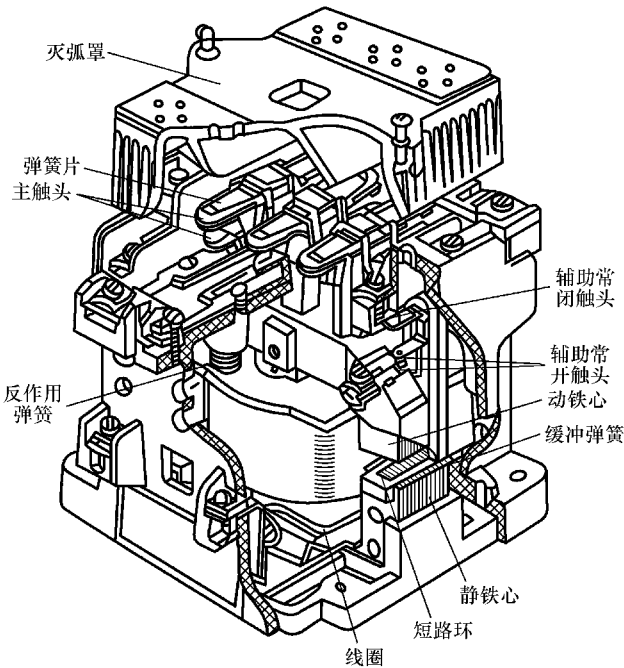


图 2-55 CJ10 - 20 型交流接触器的结构示意图

2) 交流接触器的触头系统按触头情况可分为点接触式、线接触式和面接触式 3 种。按触头的结构形式划分, 有桥式触头和指形触头两种。

3) 交流接触器在断开大电流或高电压电路时,在动、静触头之间会产生很强的电弧。电弧是触头间气体在强电场作用下产生的放电现象。电弧的产生,一方面会灼伤触头,减少触头的使用寿命;另一方面会使电路切断时间延长,甚至造成弧光短路或引起火灾事故。因此希望触头间的电弧能尽快熄灭。低压电器中通常采用拉长电弧、冷却电弧或将电弧分成多段等措施;促使电弧尽快熄灭。

4) 交流接触器的辅助部件有反作用弹簧、缓冲弹簧、触头压力弹簧、传动机构及底座、接线柱等。

2. 工作原理

交流接触器的工作原理如图 2-56 所示。当接触器的线圈通电后,线圈中流过的电流产生磁场,使铁心产生足够大的吸力,克服反作用弹簧的反作用力,将衔铁吸合,通过传动机构带动 3 对主触头和辅助常开触头闭合,辅助常闭触头断开。当接触器线圈断电或电压显著下降时,由于电磁吸力消失或过小,衔铁在反作用弹簧的作用下复位,带动各触头恢复到原始状态。

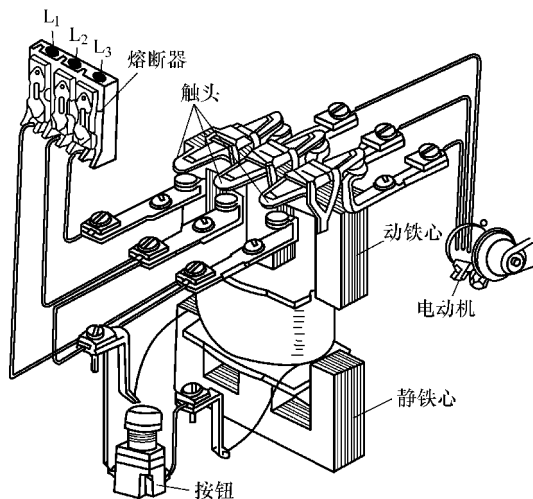


图 2-56 交流接触器的原理图

3. 选用

(1) 选择额定电压

接触器主触头的额定电压应大于或等于控制电路的额定电压。

(2) 选择额定电流

接触器控制电阻性负载时,主触头的额定电流应等于负载的额定电流。控制电动机时,主触头的额定电流应大于或稍大于电动机的额定电流。或按式(2-2)计算(仅适用于 CJ0、CJ10 系列):

$$I_C = \frac{P_N \times 10^3}{K U_N} \quad (2-2)$$

式中 K ——经验系数,一般取 1~1.4;

P_N ——被控制电动机的额定功率(kW);

U_N ——被控制电动机的额定电压(V);

I_C ——接触器主触头电流(A)。

若接触器控制的电动机起动或正反转频繁,一般将接触器主触头的额定电流降一级使用。

(3) 选择吸引线圈的电压

当控制电路简单,使用电器较少时,为节省变压器,可直接选用 380V 或 220V 的电压。当电路复杂,使用电器超过 5 个时,从人身和设备安全的角度考虑,吸引线圈电压要选低一些,可用 36V 或 110V、127V 电压的线圈。

(4) 选择触头数量及类型接触器触头的数量、类型应满足控制电路的要求。

常用交流接触器的技术参数见表 2-18。

表 2-18 CJ0 和 CJ10 交流接触器的技术数据

型号	主触头			辅助触头			线圈		可控制三相异步电动机的最大功率/kW		额定操作频率/(次/h)
	对数	额定电流/A	额定电压/V	对数	额定电流/A	额定电压/V	电压/V	功率/(V·A)	220V	380V	
CJ0—10	3	10	380	均为 2 常开、2 常闭	5	380	可为 36 110 (127) 220 380	14	2.5	4	≤1200
CJ0—20	3	20						33	5.5	10	
CJ0—40	3	40						33	11	20	
CJ0—75	3	75						55	22	40	
CJ0—10	3	10						11	2.2	4	≤600
CJ0—20	3	20						22	5.5	10	
CJ0—40	3	40						32	11	20	
CJ0—60	3	60						70	17	30	

4. 安装与使用

- 1) 接触器安装前应先检查线圈的额定电压是否与实际需要相符。
- 2) 接触器的安装多为垂直安装，其倾斜角不得超过 5°，否则会影响接触器的动作特性；安装有散热孔的接触器时，应将散热孔放在上下位置，以降低线圈的温升。
- 3) 接触器安装与接线时应将螺钉拧紧，以防振动松脱。
- 4) 接触器的触头应定期清理，若触头表面有电弧灼伤时，应及时修复。

六、继电器

继电器是一种根据输入信号的变化，接通或断开小电流电路，以实现自动控制和保护功能的电器。继电器的分类方法很多，按输入信号的性质可分为：电压继电器、电流继电器、速度继电器、压力继电器等；按工作原理可分为：电磁式继电器、电动式继电器、感应式继电器、晶体管式继电器和热继电器等；按输出方式可分为：有触点式和无触点式。

继电器主要由感测机构、中间机构和执行机构 3 部分组成。

1. 中间继电器

中间继电器是用来增加控制电路中的信号数量或将信号放大的继电器。其输入信号是线圈的通电和断电，输出信号是触头的动作，由于触头的数量较多，所以可以用来控制多个元件或回路。JZ 系列中间继电器的外形如图2-57 所示。

(1) 结构

中间继电器由线圈、静铁心、动铁心、触头系统、反作用弹簧及复位弹簧等组成。JZ7 型中间继电器的结构如图 2-58 所示。

(2) 选用

中间继电器主要根据被控制电路的电压等级、所需

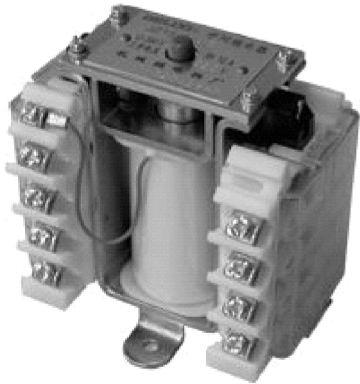


图 2-57 JZ 系列中间继电器的实物图

触头的数量、种类、容量等要求来选择。

(3) 安装与使用

中间继电器的使用与接触器相似，但中间继电器的触头容量较少，一般不能在主电路中应用。中间继电器一般根据负载电流的类型、电压等级和触头数量来选择。

2. 热继电器

热继电器一般作为交流电动机的过载保护用，热继电器有两相结构、三相结构和三相带断相保护装置等 3 种类型。JR 系列热继电器的外形如图 2-59 所示。

(1) 结构

它是由热元件、触头系统、动作机构、复位机构和整流电流装置组成。其结构如图 2-60 所示。

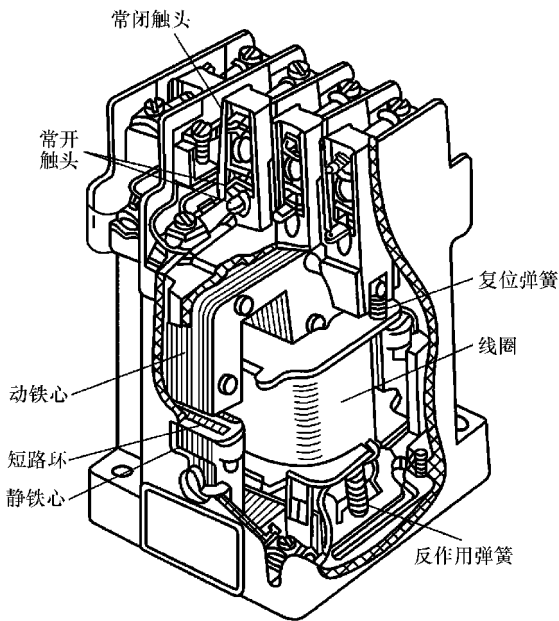


图 2-58 JZ7 型中间继电器的结构示意图



图 2-59 JR 系列热继电器实物图

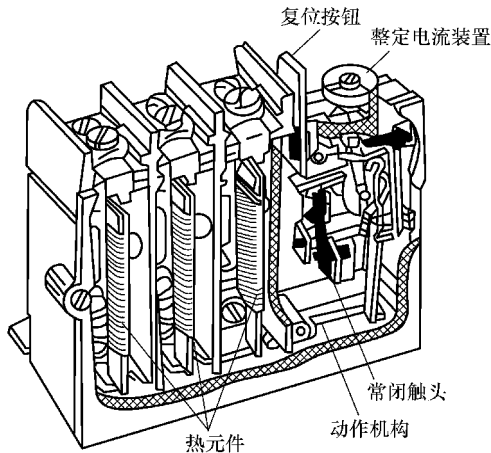


图 2-60 热继电器的结构

(2) 工作原理

使用时，将热继电器的三相热元件分别串接在电动机的三相主电路中，常闭触头串接在控制电路的接触器线圈回路中。当电动机过载时，流过电阻丝电流超过热继电器的整定电流，电阻丝发热，主双金属片向右弯曲，推动导板向右移动，通过温度补偿双金属片推动推杆绕轴转动，从而推动触头系统动作，动触头与常闭静触头分开，使接触器线圈断电，接触器触头断开，将电源切除起保护作用。电源切除后，主双金属片逐渐冷却恢复原位，于是动触头在失去作用力的情况下，靠弹簧的弹性自动复位。这种热继电器也可采用手动复位。

热继电器整定电流的大小可通过旋转电流整定旋钮来调节；旋钮上刻有整定电流值标尺。所谓热继电器的整定电流，是指热继电器连续工作而不动作的最大电流，超过整定电

流，热继电器将在负载未达到其允许的过载极限之前动作。

(3) 选用

1) 热继电器的类型选择：一般轻载起动、短时工作，可选择二相结构的热继电器；当电源电压的均衡性和工作环境较差或多台电动机的功率差别较显著时，可选择三相结构的热继电器；对于三角形联结的电动机，应选用带断相保护装置的热继电器。

2) 热继电器的额定电流及型号选择：热继电器的额定电流应大于电动机的额定电流。

3) 热元件的整定电流选择：一般将热元件的整定电流调整为电动机额定电流的 0.95 ~ 1.105 倍；对过载能力差的电动机，可将热元件整定值调整到电动机额定电流的 0.6 ~ 0.8 倍；对起动时间较长，拖动冲击性负载或不允许停车的场合，热元件的整定电流应调节到电动机额定电流的 1.1 ~ 1.5 倍。

(4) 安装与使用

1) 当电动机起动时间过长或操作次数过于频繁时，会使热继电器误动作或烧坏电器，故这种情况一般不用热继电器作过载保护。

2) 当热继电器与其他电器安装在一起时，应将它安装在其他电器的下方，以免其动作特性受到其他电器发热的影响。

3) 热继电器出线端的连接导线应选择合适。若导线过细，则热继电器可能提前动作；若导线太粗，则热继电器可能滞后动作。

3. 时间继电器

时间继电器是一种利用电磁原理或机械动作原理来延迟触头闭合或分断的自动控制电器。它的种类很多，有电磁式、电动式、空气阻尼式及晶体管式等。在生产机械的控制中被广泛应用的是空气阻尼式，这种继电器结构简单，延时范围宽，JS7 - A 系列时间继电器的延时范围有 0.4 ~ 60s 和 0.4 ~ 180s 两种。下面介绍一下空气阻尼式时间继电器。其外形如图 2-61 所示。



图 2-61 时间继电器实物图

(1) 结构

空气阻尼式时间继电器由电磁系统、工作触头、气室及传动机构 4 部分组成，其结构如图 2-62 所示。

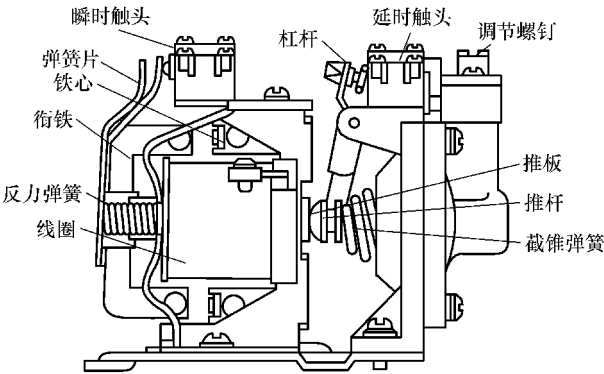


图 2-62 时间继电器的结构示意图

(2) 选用

1) 类型选择：凡是对延时要求不高的场合，一般采用价格较低的 JS7 - A 系列空气阻尼式时间继电器；对于延时要求较高的场合，可采用晶体管式时间继电器。

2) 延时方式的选择：时间继电器有通电延时和断电延时两种，应根据控制电路的要求选用。

3) 线圈电压的选择：根据控制电路电压来选择时间继电器吸引线圈的电压。

(3) 安装与使用

1) JS7 - A 系列时间继电器只要将线圈转动 180°即可将通电延时改为断电延时结构。

2) JS7 - A 系列时间继电器由于无刻度，故不能准确地调整延时时间。

3) 对于时间继电器的整定值，应预先在不通电时整定好，并在试车时校正。

4) 安装前先检查额定电流及整定值是否与实际要求相符。

5) 安装后应在主触头不带电的情况下，使吸引线圈带电操作几次，试试继电器动作是否可靠。

6) 定期检查各部件有否松动及损坏现象，并保持触头的清洁和可靠。



图 2-63 JY 系列速度继电器

4. 速度继电器

速度继电器是一种可以按照被控电动机转速的大小使控制电路接通或断开的电器。速度继电器通常与接触器配合，实现对电动机的反接制动。JY 系列速度继电器的外形如图 2-63 所示。

(1) 结构

速度继电器主要由定子、转子、可动支架、触头系统及端盖等部分组成。JY1 型速度继电器的结构和工作原理如图 2-64 所示。

(2) 选用

速度继电器主要根据电动机的额定转速来选择。

(3) 安装与使用

1) 速度继电器的转轴应与电动机同轴连接。

2) 速度继电器安装接线时，正反向的触头不能接错，否则不能实现反接制动控制。

3) 速度继电器的金属外壳应可靠接地。

七、主令电器

主令电器主要用于闭合、断开控制电路，以发出信号或命令，达到对电力拖动系统进行控制的目的。

常用的主令电器有按钮、位置开关、万能转换开关和主令控制器等。

1. 按钮

按钮是一种以短时接通或分断小电流电路的电器，它不直接去控制主电路的通断，而是在控制电路中发出“指令”去控制接触器、继电器等电器，再由它们去控制主电路。LA 系列按钮的外形如图 2-65 所示。

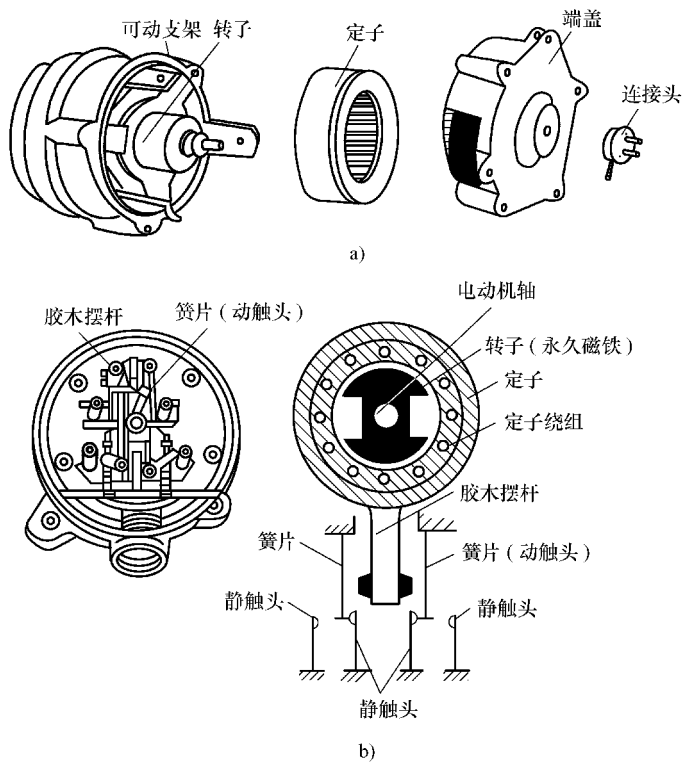


图 2-64 JY1 型速度继电器的结构和工作原理
a) 结构 b) 工作原理

(1) 结构

按按钮时，桥式动触头先和上面的静触头分离，然后和下面的静触头接触，手松开后，靠弹簧复位。主要用于操纵接触器、继电器或电气联锁电路。LA 系列按钮的结构如图 2-66 所示。

(2) 选用

1) 根据使用场合和具体用途选择按钮的种类，在灰尘较多时不宜选用 LA18 和 LA19 型按钮。

2) 按工作状态指示和工作情况的要求，选择按钮和指示灯的颜色。

3) 按控制电路的需要，确定按钮的数量，如单联钮、双联钮和三联钮等。

(3) 安装与使用

1) 按钮用于高温场合时，易使塑料变形老化而导致松动，引起接线螺钉间相碰短路，可在接线螺钉处加套绝缘塑料管来防止短路。

2) 带指示灯的按钮因灯泡发热，长期使用易使塑料灯罩变形，应降低灯泡电压，延长

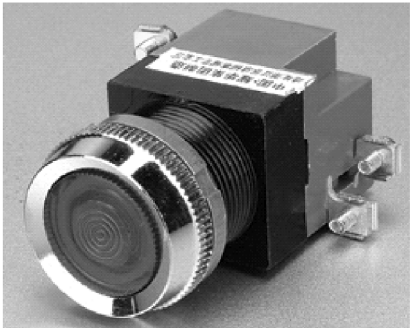


图 2-65 LA 系列按钮实物

使用寿命。按钮一般都安装在面板上，布置要整齐、合理、牢固，应保持触头间的清洁。

3) 同一机床运动部件有几种不同工作状态时，应使每一对相反状态的按钮安装在一组。

2. 位置开关

位置开关又称行程开关或限位开关，它的作用与按钮相同，只是其触头的动作不是靠手动操作，而是利用生产机械某些运动部件上的挡铁碰撞其滚轮使触头动作来实现接通或分断某些电路，使之达到一定的控制要求。LX 系列位置开关的外形如图 2-67 所示。

(1) 结构

位置开关的结构是由触头系统、操作机构和外壳组成。JLXK 型单轮旋转式位置开关的结构如图 2-68 所示。

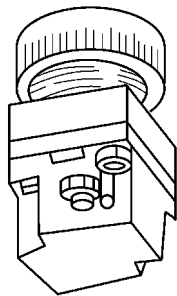


图 2-66 LA 系列按钮结构

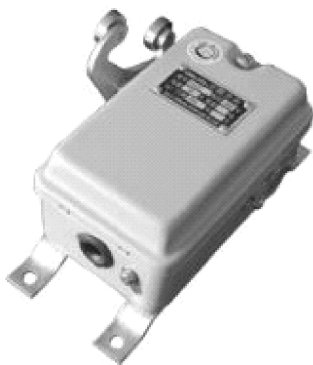


图 2-67 LX 系列位置开关

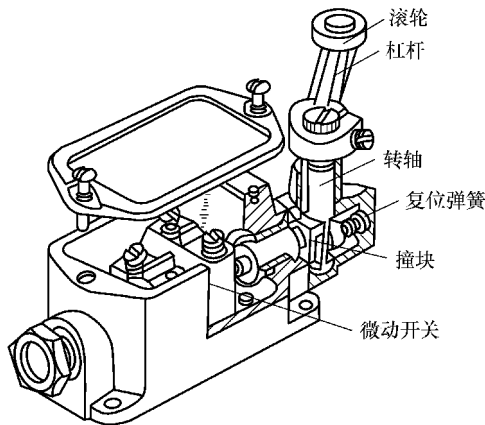


图 2-68 JLXK 型单轮旋转式位置开关的结构

(2) 选用

- 1) 根据安装环境选择防护形式，是开启式还是防护式。
 - 2) 根据控制电路的电压和电流选择采用哪种系统的行程开关。
 - 3) 根据机械与行程开关的传力与位移关系选择合适的头部结构形式。
- ### (3) 安装与使用
- 1) 安装位置开关时位置要准确，否则不能达到位置控制和限位的目的。
 - 2) 应定期检查位置开关，以免触头接触不良而达不到行程和限位控制的目的。

2.2.2 低压电器常见故障与维修

一、低压开关的拆装和检修

1. 操作准备

(1) 工具

工具见表 2-19。

表 2-19 工具

序号	1	2	3	4
名称	尖嘴钳	螺钉旋具	活扳手	镊子

(2) 仪表

仪表见表 2-20。

表 2-20 仪表

序号	1	2
名称	MF47 型万用表	ZC25 型绝缘电阻表

(3) 器材

器材见表 2-21。

表 2-21 器材

序号	1	2	3	4
名称	开启式负荷开关一只 (HK1)	封闭式负荷开关一只 (HH4)	组合开关	低压断路器 (Dz5 ~ 20、DW10 各一只)

2. 操作步骤

HZ10 25/3 型组合开关的改装、维修及校验。

- 1) 卸下手柄紧固螺钉，取下手柄。
- 2) 卸下支架上的紧固螺母，取下顶盖、转轴弹簧和凸轮等操作机构。
- 3) 抽出绝缘杆，取下绝缘板上盖。
- 4) 拆卸 3 对动、静触头。
- 5) 检查触头有无损坏。
- 6) 检查转轴弹簧是否松脱，如有损坏可调换。
- 7) 将任一相的动触头旋转 90°，然后按逆序进行安装。

3. 注意事项

- 1) 拆卸时，应备有盛放零件的容器，防止丢失零件。
- 2) 拆卸过程中，不允许硬撬，以防止损坏电器。

4. 质量检验与验收

仪表使用正确，不丢失或漏装零件，拆装方法、步骤正确，装配后手柄转动灵活。达到以上要求为合格。

5. 低压开关常见的故障与维修

- 1) 刀开关常见的故障与维修方法见表 2-22。

表 2-22 刀开关常见的故障与维修方法

故障现象	产生原因	维修方法
合闸后一相或两相没电	①底座弹性消失或开口过大 ②熔丝熔断或接触不良 ③底座、动触头氧化或有污垢 ④电源进线或出线头氧化	①更换底座 ②更换熔丝 ③清洁底座或动触头 ④检查进出线头

(续)

故障现象	产生原因	维修方法
动触头或底座过热或烧坏	①开关容量太小 ②分、合闸时动作太慢造成电弧过大，烧坏触头 ③底座表面烧毛 ④动触头与底座压力不足 ⑤负载过大	①更换较大容量的开关 ②改进操作方法 ③用细锉刀修整 ④调整底座压力 ⑤减轻负载或调换较大容量的开关
封闭式负荷开关的操作手柄带电	①外壳接地线接触不良 ②电源线绝缘损坏碰壳	①检查接地线 ②更换导线

2) 组合开关的常见故障及维修方法见表 2-23。

表 2-23 组合开关的常见故障与维修方法

故障现象	产生原因	维修方法
手柄转动后，内部触头未动作	①手柄的转动连接部件磨损 ②操作机构损坏 ③绝缘杆变形 ④轴与绝缘杆装配不紧	①调换手柄 ②修理操作机构 ③更换绝缘杆 ④紧固轴与绝缘杆
手柄转动后，三对触头不能同时接通或断开	①开关型号不对 ②修理开关时触头装配的不正确 ③触头失去弹性或有尘污	①更换开关 ②重新装配 ③更换触头或清除污垢
开关接线柱相间短路	因铁屑或油污附在接线柱间形成导电将胶木烧焦或绝缘破坏形成短路	清扫开关或调换开关

二、低压断路器的常见故障与维修

低压断路器的常见故障与维修方法见表 2-24。

表 2-24 低压断路器的常见故障与维修方法

故障现象	产生原因	维修方法
手动操作断路器不能闭合	①电源电压太低 ②热脱扣的双金属片尚未冷却复原 ③欠电压脱扣器无电压或线圈损坏 ④储能弹簧变形，导致闭合力减小 ⑤反作用弹簧力过大	①检查线路并调高电源电压 ②待双金属片冷却后再合闸 ③检查线路，施加电压或调换线圈 ④调换储能弹簧 ⑤重新调整弹簧反力
电动操作断路器不能闭合	①电源电压不符 ②电源容量不够 ③电磁铁拉杆行程不够 ④电动机操作定位开关变位	①调换电源 ②增大操作电源容量 ③调整或调换拉杆 ④调整定位开关
电动机启动时断路器立即分断	①过电流脱扣器瞬时整定值太小 ②脱扣器某些零件损坏 ③脱扣器反力弹簧断裂或落下	①调整瞬间整定值 ②调换脱扣器或损坏的零部件 ③调换弹簧或重新装好弹簧

(续)

故障现象	产生原因	维修方法
分励脱扣器不能使断路器分断	①线圈短路 ②电源电压太低	①调换线圈 ②检修线路调整电源电压
欠电压脱扣器噪声大	①反作用弹簧力太大 ②铁心工作面有油污 ③短路环断裂	①调整反作用弹簧 ②清除铁心油污 ③调换铁心
欠电压脱扣器不能使断路器分断	①反力弹簧弹力变小 ②储能弹簧断裂或弹力变小 ③机构生锈卡死	①调整弹簧 ②调换或调整储能弹簧 ③清除锈污

三、熔断器的常见故障与维修

熔断器的常见故障与维修方法见表 2-25。

表 2-25 熔断器的常见故障与维修方法

故障现象	产生原因	维修方法
电动机启动瞬间熔体即熔断	①熔体规格选择太小 ②负载侧短路或接地 ③熔体安装时损伤	①调换适当的熔体 ②检查短路或接地故障 ③调换熔体
熔丝未熔断但电路不通	①熔体两端或接线端接触不良 ②熔断器的螺母未拧紧	①清扫并旋紧接线端 ②旋紧螺母

四、接触器的常见故障与维修

接触器的常见故障与维修方法见表 2-26。

表 2-26 接触器的常见故障与维修方法

故障现象	产生原因	维修方法
接触器不吸合或吸不牢	①电源电压过低 ②线圈断路 ③线圈技术参数与使用条件不符 ④铁心机械卡阻	①调高电源电压 ②调换线圈 ③调换线圈 ④排除卡阻物
线圈断电，接触器不释放或释放缓慢	①触头熔焊 ②铁心表面有油污 ③触头弹簧压力过小或反作用弹簧损坏 ④机械卡阻	①排除熔焊故障，修理或更换触头 ②清理铁心极面 ③调整触头弹簧力或更换反作用弹簧 ④排除卡阻物
触头熔焊	①操作频率过高或过负载使用 ②负载侧短路 ③触头弹簧压力过小 ④触头表面有电弧灼伤 ⑤机械卡阻	①调换合适的接触器或减小负载 ②排除短路故障更换触头 ③调整触头弹簧压力 ④清理触头表面 ⑤排除卡阻物

(表)

故障现象	产生原因	维修方法
铁心噪声过大	①电源电压过低 ②短路环断裂 ③铁心机械卡阻 ④铁心极面有油垢或磨损不平 ⑤触头弹簧压力过大	①检查线路并提高电源电压 ②调换铁心或短路环 ③排除卡阻物 ④用汽油清洗极面或更换铁心 ⑤调整触头弹簧压力
线圈过热或烧毁	①线圈匝间短路 ②操作频率过高 ③线圈参数与实际使用条件不符 ④铁心机械卡阻	①更换线圈并找出故障原因 ②调换合适的接触器 ③调换线圈或接触器 ④排除卡阻物

五、继电器常见的故障与维修

1. 热继电器的常见故障及维修方法（见表 2-27）。

表 2-27 热继电器的常见故障及维修方法

故障现象	产生原因	维修方法
热继电器误动作或动作太快	①整定电流偏小 ②操作频率过高 ③连接导线太细	①调大整定电流 ②调整热继电器或限定操作频率 ③选用标准导线
热继电器不动作	①整定电流偏大 ②热元件烧断或脱焊 ③导板脱出	①调小整定电流 ②更换热元件或热继电器 ③重新放置导板，并试验动作是否灵活
热元件烧断	①负载侧短路或电流过大 ②反复短时工作，操作频率过高	①排除故障调换热继电器 ②限定操作频率或调换合适热继电器
主电路不通	①热元件烧毁 ②接线螺钉未压紧	①更换热元件或热继电器 ②旋紧接线螺钉
控制电路不通	①热继电器常闭触头接触不良或弹性消失 ②手动复位的热继电器动作后，未手动复位	①检修常闭触头 ②手动复位

2. 时间继电器常见的故障与维修（见表 2-28）

表 2-28 时间继电器的常见故障及维修方法

故障现象	产生原因	维修方法
延时触头不动作	①电磁线圈断线 ②电源电压低于线圈额定电压很多 ③电动式时间继电器的同步电动机线圈断线 ④电动式时间继电器的棘爪无弹性，不能刹住棘齿 ⑤电动式时间继电器游丝断裂	①更换线圈 ②更换线圈或调高电源电压 ③调换同步电动机 ④调换棘爪 ⑤调换游丝

(续)

故障现象	产生原因	维修方法
延时时间缩短	①空气阻尼式时间继电器的气室装配不严,漏气 ②空气阻尼式时间继电器的气室内橡皮薄膜损坏	①修理或调换气室 ②调换橡皮薄膜
延时时间变长	①空气阻尼式时间继电器的气室内有灰尘,使气道阻塞 ②电动式时间继电器的传动机构缺润滑油	①清除气室内灰尘,使气道畅通 ②加入适量的润滑油

六、主令电器的常见故障与维修

1. 按钮

按钮的常见故障及维修方法见表 2-29。

表 2-29 按钮的常见故障及维修方法

故障现象	产生原因	维修方法
按下起动按钮时有触电感觉	①按钮的防护金属外壳与连接导线接触 ②按钮帽的缝隙间充满铁屑,使其与导电部分形成通路	①检查按钮内连接导线 ②清理按钮及触头
按下起动按钮,不能接通电路,控制失灵	①接线头脱落 ②触头磨损松动,接触不良 ③动触头弹簧失效,使触头接触不良	①检查起动按钮连接线 ②检修触头或调换按钮 ③重绕弹簧或调换按钮
按下停止按钮,不能断开电路	①接线错误 ②尘埃或机油、乳化液等流入按钮形成短路 ③绝缘击穿短路	①更改接线 ②清扫按钮并相应采取密封措施 ③调换按钮

2. 位置开关

位置开关的常见故障及维修见表 2-30。

表 2-30 位置开关的常见故障及维修方法

故障现象	产生原因	维修方法
挡铁碰撞开关,触头不动作	①开关位置安装不当 ②触头接触不良 ③触头连接线脱落	①调整开关的位置 ②清洗触头 ③紧固连接线
位置开关复位后,常闭触头不能闭合	①触杆被杂物卡住 ②动触头脱落 ③弹簧弹力减退或被卡住 ④触头偏斜	①清扫开关 ②重新调整动触头 ③调换弹簧 ④调换触头
杠杆偏转后触头未动	①行程开关位置太低 ②机械卡阻	①将开关向上调到合适位置 ②打开后盖清扫开关

2.2.3 单元自测题

1. 组合开关的主要用途是什么？它的常见故障有哪些？
2. 接触器的主要用途是什么？接触器的工作原理是怎样的？
3. 热继电器的主要用途是什么？它的常见故障有哪些？
4. 如何选用熔断器？
5. 低压断路器具有哪些保护功能？
6. 按钮的故障主要是哪些？如何处理？

第3章 三相异步电动机的检修与日常保养

3.1 电动机的基本知识

3.1.1 常用电动机的用途与分类

在常用的交流电机中主要有同步电机与异步电机两种。其分类依据为：根据电机转子的转速 n 与定子电流的频率 f_1 是否满足 $n = 60f_1/p$ ，其中 p 是极对数。如果满足则这种电机叫同步电机。如果不满足这种关系，就叫做异步电机。

一、电动机的不同用途

在使用中，人们把同步电机主要用作发电机。现代各国的电力系统的电能基本上都是由同步发电机产生的。当然，同步电机也可作为电动机运行，或作为调相机使用。

异步电机主要用作电动机，去带动各种生产机械。而异步电动机又有三相和单相两种。异步电动机结构简单，工作可靠，维修方便，使用年限长而成本低，因此是目前应用最广泛的一种电动机。但异步电动机也有一些缺点，主要是不能经济地实现范围较广的平滑调速，必须从电网吸取滞后的励磁电流，使电网的功率因数变坏。异步电动机通常做成三相的，当然如果功率在 1kW 以下也有做成单相的，我们这里主要讲述的是三相异步电动机。根据异步电动机的不同冷却方式和保护方式分为开启式、防护式、封闭式和防爆式等几种。

二、异步电动机的分类

防护式异步电动机能够防止外界的杂物落入电动机内部，并能在与垂直线呈 45° 的任何方向防止水滴、碎屑等掉入电动机内部，这种电动机的冷却方式是在电动机的转轴上装有风扇，冷空气从端盖的两端进入电动机，冷却了定子、转子以后再从机座旁边流出。

封闭式异步电动机是指电动机内部的空气和机壳外面的空气彼此相互隔开，电动机内部的热量通过机壳的外表面散发出去，为了提高散热效果，在电动机外面的转轴上装有风扇和风罩，并在机座的外表面铸出许多冷却片，这种电动机用在灰尘较多的场所。

防爆式异步电动机是一种全封闭的电动机，它把电动机内部和外界的易燃、易爆气体隔开，多用于有汽油、酒精、天然气、煤气等易爆性气体的场所。

3.1.2 三相异步电动机的结构

三相异步电动机由定子（固定部分）和转子（旋转部分）两大主要部分和其他附件构成，如图 3-1 所示。

一、定子

定子是电动机中固定不动的部分。由定子铁心和定子绕组组成。为了减少磁滞和涡流损耗，环形定子铁心由冲了槽的硅钢片叠压而成，铁心槽内嵌放三相定子绕组，三相绕组的 6

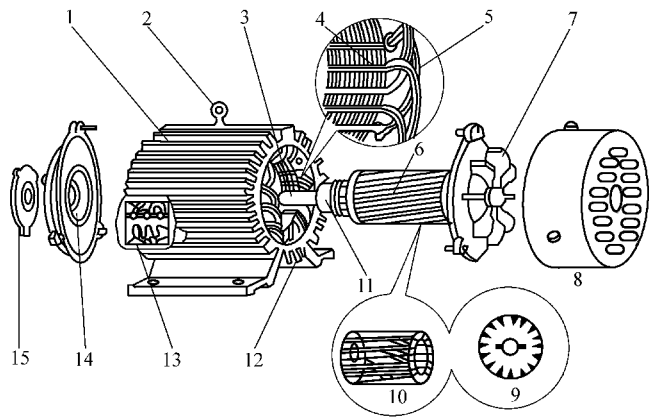


图 3-1 三相异步电动机的结构

- 1—散热肋 2—吊环 3—转轴 4—定子铁心 5—定子绕组 6—转子 7—风扇
 8—罩壳 9—转子铁心 10—笼型绕组 11—轴承 12—机座 13—接线盒
 14—端盖 15—轴承盖

个出线头固定在机座外壳的接线盒内，线头旁标有各相绕组的始末端符号，见表 3-1。三相定子绕组可接成星形联结或三角形联结，如图 3-2 所示。

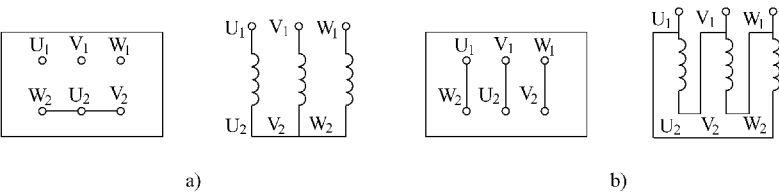


图 3-2 三相异步电动机的定子绕组

a) 星形联结 b) 三角形联结

表 3-1 三相绕组的始末端符号

电机名称	绕组名称		出线端	
			始端	末端
三相异步电动机	定子绕组 (各相不连接)	第一相	U ₁	U ₂
		第二相	V ₁	V ₂
		第三相	W ₁	W ₂
	定子绕组	第一相	U ₁	
		第二相	V ₁	
		第三相	W ₁	
		中性点	N	
	异步电动机 绕线转子的绕组	第一相	Z ₁	
		第二相	Z ₂	
		第三相	Z ₃	

二、转子

转子是电动机中可以转动的部分，它由转子铁心和转子绕组构成。

转子铁心由硅钢片叠成圆筒形并压装在转轴上，硅钢片上冲有均匀分布的槽，槽内嵌放转子绕组，转子按其绕组的构造可分成笼型及绕线（绕组转子异步电动机）两种。

1. 笼型转子

额定功率在 100kW 以上的笼型异步电动机，转子铁心槽内嵌放的是铜条，随着近年来生产的中小型电动机的革新，转子冲片间不涂绝缘漆，转子槽内导体和两端短路环连同风扇叶片一起用铝铸成整体，如图 3-3 所示，改善了起动特性，笼型转子一般都采用斜槽结构，此外，也有用双笼型和深槽结构的。双笼型转子上有内外两个笼型结构，外笼导体采用电阻率较大的黄铜条，内笼导体采用电阻率较小的纯铜条。深槽转子绕组是利用狭长的导体产生集肤效应，来改善起动性能。

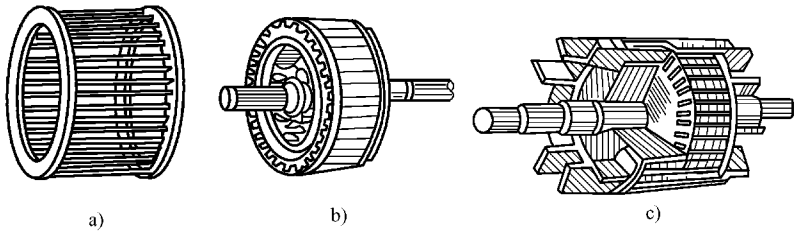


图 3-3 异步电动机的转子

a) 笼型转子绕组 b) 铜导条笼型转子 c) 铸铝笼型转子

2. 绕线转子

绕线转子与定子绕组相似，采用绝缘导线绕制的三相绕组。转子绕组的相数、极对数和定子绕组相同。三相转子绕组一般都接成星形（Y），3 根引出线连接到固定在转轴上的三个集电环上，由一组支持在端盖上的电刷将集电环与外电路（如起动或调速用电阻）接通，所以绕线式转子又叫集电环式转子，结构如图 3-4 所示。

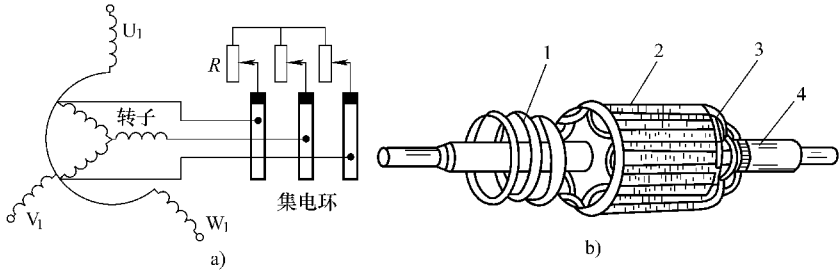


图 3-4 绕线转子

a) 绕线转子异步电动机的接线 b) 绕线转子的外形

1—集电环 2—转子铁心 3—转子绕组 4—轴

三、空气隙

为了减少励磁电流，提高功率因数，异步电动机定子与转子间的空气隙尽可能做得小些，但是允许的最小气隙是受转子安装的偏心值所限制，还要考虑轴承的磨损，单边磁拉力以及附加损耗等因素。异步电动机的气隙值，见表 3-2。

表 3-2 电动机的气隙值

机座号 极数	3	4	5	6	7	8	9
2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	1.1	1.6
4	0.28	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9
6		0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.65
8		0.3	0.4	0.45	0.5	0.6	0.65

四、其他附件

其他附件包括机座、端盖、风扇等。机座是由铸铁或钢板制成的，为支撑定子和作保护外壳用。端盖是由铸铁制成的，在其中心孔内装有轴承以便支持转子。电动机的通风冷却由风扇及外风罩组成。

3.1.3 三相异步电动机的工作原理

三相异步电动机是如何转动起来的呢？为了说明这个问题，请见如图 3-5 所示为异步电动机的工作原理。

在一个可旋转的马蹄形磁铁中，放置一只可自由旋转的笼型短路绕组。当转动马蹄形磁铁时，笼型绕组就会跟着向相同的方向旋转。这是因为磁铁转动后，它的磁力线切割笼型导体，在导体中产生感应电动势，根据右手定则可确定电动势的方向（笼型上半部导体的电动势的方向朝里，用符号 $\otimes$ 表示，下半部导体的电动势方向朝外，用符号 $\odot$ 表示），如图 3-5b 所示。由于笼型导体是被短路的，因此在电动势作用下导体中就有电流流通，电流方向与电动势方向相同。带电导体中的电流在磁场中要受到力的作用，作用力 F 的方向由左手定则决定，笼型电动机的上半部与下半部所受作用力的方向相反、大小相等，因此形成转矩。这个转矩将使笼型绕组顺着磁场的转向转动起来，这就是异步电动机简单的运转原理。

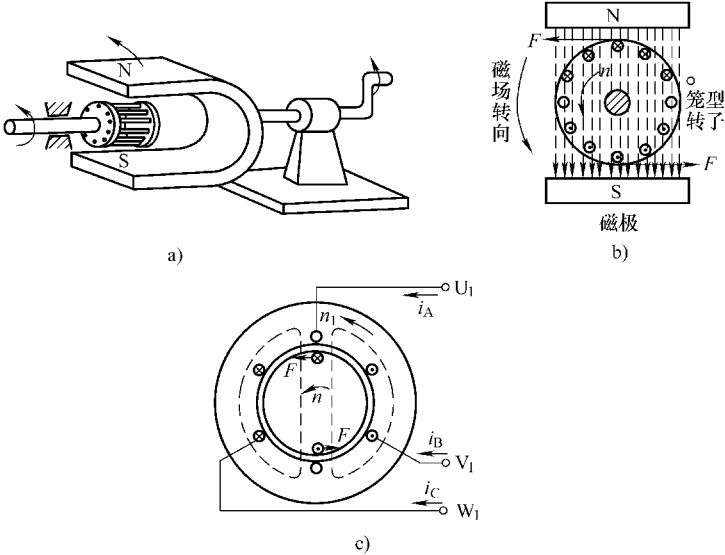


图 3-5 异步电动机的工作原理

a) 手摇旋转磁场模型 b) 电磁关系 c) 三相旋转磁场异步电动机

实际的三相异步电动机是利用定子三相绕组通入三相平衡电流，在电动机空气隙中产生了一个旋转磁场，如图 3-5c 所示。这个磁场的转速 n_1 称为同步转速，它由电源频率 f 以及定子绕组的极对数 p 来决定， $n_1 = 60f/p$ 。

必须要注意的是，笼型转子的转速 n 总是低于旋转磁场的同步转速 n_1 。因为只有当转子与旋转磁场之间存在相对运动时，转子导体才能切割磁力线，产生感应电流，并产生转矩。所以电动机的转速与旋转磁场转速的差异是保证电动机运转的因素，这就是异步电动机“异步”二字的由来。由于异步电动机的运转是以电磁感应为作用原理的，因此也称为“感应电动机”。

3.1.4 单元自测题

- 1. 什么叫异步电动机？
- 2. 同步和异步电动机的区别与应用是如何规定的？
- 3. 三相异步电动的结构是怎样的？

3.2 三相异步电动机的使用与检修

3.2.1 三相异步电动机的使用与日常保养

一、电动机起动前的准备和检查

全新或长期不用的电动机，使用前都应做相应检查才能够起动使用。

1) 检查电动机绕组间和绕组对地的绝缘电阻。

对绕线转子电动机，除检查定子绝缘外，还应检查转子绕组及集电环对地和集电环之间绝缘。绝缘电阻 1kV 工作电压不得小于 $1M\Omega$ 。通常对 500V 以下电动机用 500V 绝缘电阻表测量，对 500 ~ 3000V 电动机用 1000V 绝缘电阻表测量，对 3000V 以上电动机用 2500V 绝缘电阻表测量，一般电源为三相交流 380V 电动机的绝缘电阻应大于 $0.5M\Omega$ 方可使用。

2) 检查铭牌所示电压、频率、接法与电路电压等是否相符，接法是否正确。三相异步电动机的铭牌数据见表 3-3。

表 3-3 三相异步电动机的铭牌数据

接法： Z—X—Y U V W ↑ ↑ ↑			编号 6044	3PHASE	4POLES
	电压 380V	频率 50Hz	防护等级 IP44	绝缘 B 级	35kG
	电流 29.4A	转速 2930r/min	功率 15kW	工作制 SI	
	标准编号 JB/T9610—1999		2003 年 12 月		

Y 系列为小型笼型全封闭自冷式三相异步电动机。用于金属切削机床、通用机械、矿山机械等；也可用于拖动静止或惯性较大的机械，如压缩机、传送带、粉碎机、小型起重机、运输机械等。

JQ₂ 和 JQO₂ 系列是高起动转矩异步电动机，用在起动静止或惯性较大的机械上。JQ₂ 是防护式，JQO₂ 是封闭式的。

JS 系列是中型防护式三相笼型异步电动机。

JR 系列是防护式三相绕线转子异步电动机。用在电源容量小，不能用同功率笼型异步

电动机起动的生产机械上。

JSL₂ 和 JRL₂ 系列是中型立式水泵用的三相异步电动机,其中 JSL₂ 是笼型电动机, JRL₂ 是绕线转子电动机。

JZ 和 JZR 系列是起重和冶金用的三相异步电动机, JZ 是笼型电动机, JZR 是绕线转子电动机。

BJO 系列是防爆式笼型异步电动机。

JPZ 系列是旁磁式制动异步电动机。

JZT 系列是电磁调速异步电动机。

3) 检查电动机内部有无杂物。用干燥的压缩空气(不大于 2 个大气压)吹净内部,也可使用吹风机等来吹,但不能碰坏绕组。

4) 检查电动机的转轴是否能自由旋转,对于滑动轴承,转子的轴向油量每边为 2~3mm。

5) 检查轴承是否有油,一般高速电动机应采用高速机油,低速电动机应采用机械油,将其注入轴承内,并达到规定的油位。

6) 检查电动机接地装置是否可靠。

7) 对于绕线转子电动机,还应检查集电环上的电刷表面是否全部贴紧集电环,导线是否相碰,电刷提升机构是否灵活,电刷的压力是否正常(一般电动机工作表面上的压力为 150~250gf/cm²)。

8) 对于不可逆转的电动机,应检查运转方向是否与该电动机运转指示箭头方向相同。

9) 对新安装的电动机,还需检查接地螺栓及底脚和轴承螺母是否拧紧,以及机械方面是否牢固。同时,还要检查电动机机座的接地情况。

经过上述准备工作及检查后方可起动电动机。电动机起动后应空转一段时间,在这段时间内应注意轴承温升,不得超过规定温升,而且注意是否有不正常噪声、振动、局部发热等现象,如有不正常现象需消除后才能运行。

二、电动机在运行中的维护与保养

1) 应经常保持清洁。不允许有水滴、油污或飞尘落入电动机内部。

2) 注意负载电流不能超过额定值。

3) 经常检查轴承发热、漏油等情况。

4) 检查电动机各部分最高允许温度和允许温升,根据电动机绝缘等级和类型而定。

5) 电动机在运转中不应有摩擦声、尖叫声或其他杂声,如有不正常声音,应及时停机检查,消除故障后方可继续运行。

3.2.2 三相异步电动机的拆装

修理或维护保养电动机时,需要把电动机拆开,如果拆得不好,会把电动机拆坏,或使修理的质量得不到保证。因此必须要掌握正确拆卸和装配电动机的技术,以保证后面的修理过程得已正常的实施。

一、拆卸前的准备

1. 工具

拆卸工具见表 3-4。

表 3-4 拆卸工具

序号	1	2	3	5	6	7	8
名称	轴承拉具	扳手	锤子	螺钉旋具	纯铜棒	钢铜套	毛刷

2. 仪表

常用仪表见表 3-5。

表 3-5 常用仪表

序号	1	2	3	4
名称	万用表	绝缘电阻表	钳形电流表	转速表

二、拆卸方法和步骤

拆除电动机的所有引线（对于绕线转子电动机来说，还应抬起或提出电刷）。

1. 拆卸带轮或联轴器

- 1) 用粉笔标好带轮的正反面，以免安装时装反；
- 2) 在带轮（或联轴器）的轴伸端做好标记；
- 3) 松下带轮上的压紧螺钉或销子；
- 4) 装好拉具，转动拉具的丝杆，把带轮或联轴器慢慢拉出（见图 3-6）。

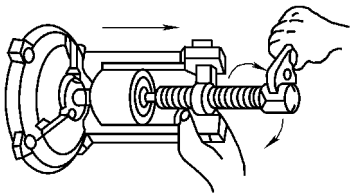


图 3-6 拆卸带轮的示意图

2. 拆卸风扇或风罩

松开风罩的固定螺钉，取下风罩，再将风扇的定位销或定位螺钉拆下或松开。用锤子在风扇叶四周轻轻敲打，慢慢将扇叶拉下，小型电动机的风扇在后轴承不需要加油，更换时可随转子一起抽出。若风扇是塑料制成，可用热水或热风加热使塑料风扇膨胀后再旋下。

3. 拆卸轴承盖和端盖

- 1) 在端盖与机座间做好标记，便于装配时复位；
- 2) 逐个拧松端盖上的紧固螺栓，用螺钉旋具将端盖按对角线一先一后的向外扳撬，把端盖取下。较大的电动机因端盖较重，应先把端盖用起重设备吊住，以免拆卸时端盖跌碎或碰伤绕组。

4. 抽出或吊出转子

以上部件按顺序拆卸完毕后，就可以抽出转子了。对于小型电动机来说，可用手将转子、端盖等一并抽出，但若电动机的功率较大，转子质量也较大时，可用起重机械将转子吊出，抽出或调出转子时要注意小心且缓慢，特别要注意不能歪斜，以免碰伤定子绕组，必要时，可在线圈端部垫纸板用于保护线圈，如图 3-7 所示。

5. 拆卸前后轴承和轴承内盖

如果仅是清洗轴承，不一定要将轴承从轴上拆下。若要修理、更换轴承时，则要卸下旧轴承。同时还要用专用“爪子”。

三、修后装配

1. 装配前的准备

电动机修完装配之前，应做好各部件的清洁工作。附着在定子铁心内径上的油膜脏物以

及高出定子铁心的槽契、绝缘纸等应刮平剔净，机座、端盖、轴承盖的止口以及转子表面要擦拭干净。端盖轴承室要用煤油清洗擦净。另外，为了装配方便，可在止口和轴承室上涂抹少许润滑脂。轴承要在煤油中清洗干净，并加入适量（约为油腔容积的 2/3）的润滑脂。最后，用皮老虎或气筒把定子绕组和机壳内部吹干净。

2. 装配

电动机装配基本上是电动机拆卸的逆过程。电动机装配是从转子装配开始的，小型电动机一般把轴承内盖、滚动轴承、集电环（绕线转子式）、风扇先装配到转子上，经平衡试验后装入定子，再将端盖装上。应注意拆卸时的记号，使机壳上所有螺孔都相吻合。装端盖时，可用木槌（若用铁锤，则应加垫木板）均匀敲击端盖周围，按对角线均匀对称地拧紧螺钉，不要一次拧到底。

端盖固定后，用手转动电动机转子，转子转动应均匀、灵活、无停滞或偏重现象。确实装配正确后，再装轴承外盖及带轮或联轴器。安装带轮前，先用砂纸将机轴和带轮轴孔打光滑，然后将带轮套在轴上并对准键槽位置，用锤垫着硬木块把键轻轻打入槽内。较大的电动机，可以利用长铜管或起重设备装上转子。

四、装配后的检验与验收

- 1) 检查电动机的转子转动是否轻便灵活，若转子转动不灵活，应调整端盖紧固螺栓的松紧程度，使之灵活转动。
- 2) 检查电动机的绝缘电阻值，用绝缘电阻表测量电动机定子绕组相与相之间、各相对壳之间的绝缘电阻。对于绕线转子异步电动机，还应检查转子绕组及绕组对壳之间的绝缘电阻。所测阻值应在 0.5MΩ 以上，说明绝缘良好。
- 3) 根据电动机的铭牌与电源电压正确接线，并在电动机外壳上安装好接地线，通电后，用钳形电流表分别检测三相电流是否平衡。三相空载电流的偏差值应小于 10%；三相空载电流与额定电流的百分比可参照表 3-6 进行比较。

表 3-6 三相空载电流与额定电流的百分比

功率/kW 极数	<0.55	<2.2	<10	<55	<125
2	50% ~ 70%	40% ~ 55%	30% ~ 45%	23% ~ 25%	18% ~ 30%
4	65% ~ 85%	45% ~ 60%	35% ~ 55%	25% ~ 40%	20% ~ 30%
6	70% ~ 90%	50% ~ 65%	35% ~ 65%	30% ~ 45%	22% ~ 33%
8	70% ~ 90%	55% ~ 70%	37% ~ 70%	35% ~ 50%	25% ~ 35%

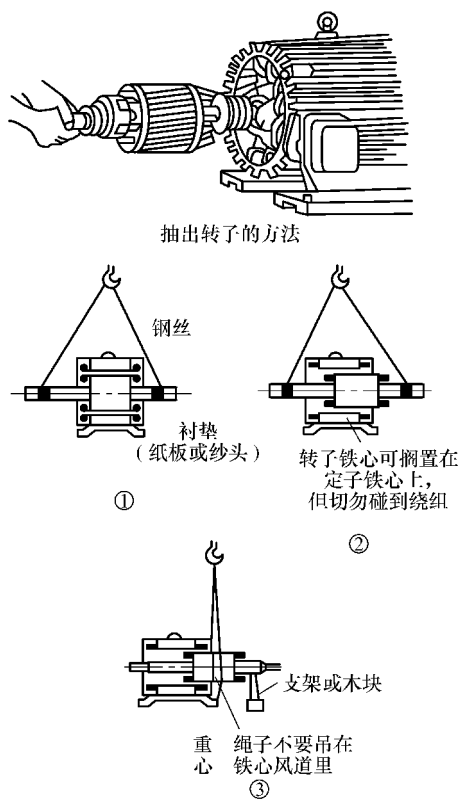


图 3-7 拆卸转子

4) 电动机通电空转半小时后, 检测机壳和轴承处的温度, 检查振动和噪声。绕线转子异步电动机在空载时, 还应检查电刷有无火花及过热现象。

如果经以上检核都没有问题, 这样电动机就可以正常使用了, 这才完成一次电动机的拆装过程。

3.2.3 三相异步电动机绕组故障的检修

绕组是电动机的重要组成部分。由于电动机绝缘材料的老化并受到法座蚀性气体的浸入, 以及机械力和电磁力的冲击等都会造成对绕组的伤害, 此外不正常的运动, 比如像长期过载、欠电压或两相运行等也会引起绕组故障。绕组的故障形式多种多样, 其原因也各不相同。

1. 定子绕组断路故障的检修

(1) 定子绕组断路故障:

- 1) 绕组引接线、极相组连接线等断开或接头脱落、虚焊。
- 2) 一相绕组断路。
- 3) 并联支路断路。
- 4) 线圈导线断开, 并绕导线中有一根或几根断路。

(2) 造成断路故障的原因:

- 1) 制造或修理时操作疏忽, 接线头焊接不良而松脱。
- 2) 绕组受外界机械应力而断裂。
- 3) 绕组匝间断路或接地故障而引起线圈导线烧断。
- 4) 多路并联绕组中, 因一路或几路断开引起另外支路中电流密度增大而烧断。
- 5) 并联导线中有几根或 1 根导线断路, 引起另外几根导线的电流密度增加而烧断。

(3) 断路故障检查方法

1) 绝缘电阻表、校验灯测试法。对于星形联结的电动机, 检查时需每相分别测试, 如图 3-8 所示, 表不通或灯不亮的那一相绕组为断路。

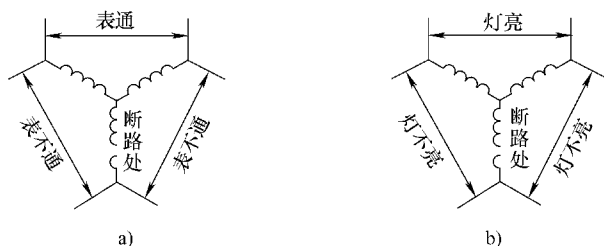


图 3-8 检查绕组断路 (Y联结)

对于三角形联结的电动机, 检查时必须把三相绕组的接线头拆开后, 再每相分别测试, 如图 3-9 所示。

2) 三相电流平衡法。星形联结的电动机三相绕组并联后, 通入低电压大电流 (一般可用单相交流弧焊机), 如果三相电流值相差大于 5% 时, 电流小的一相为断路相, 如图 3-10 所示。

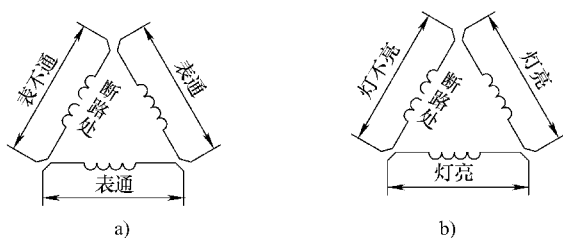
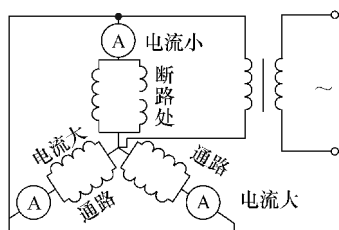
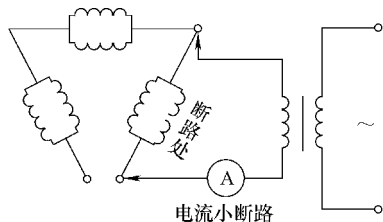


图 3-9 检查绕组断路 (Δ 联结)

3) 电阻法。用电桥测量三相绕组的电阻, 如三相电阻值相差大于 5% 时, 电阻较大的一相即为断路相。

对于三角形联结的电动机, 先要把三角形的接头拆开一个, 然后再把电流表接在每相绕组的两端, 其中电流小的一相为断路相, 如图 3-11 所示。

图 3-10 用电流平衡法检查多
支路并联星形联结绕组断路图 3-11 用电流平衡法检查多支
路并联三角形联结绕组断路

(4) 断路故障的修理

1) 绕组接线头脱落或接触不良造成的断路, 可先套上绝缘管, 再将接线头焊好, 并把绝缘套管放于焊接处。

2) 绕组引接线或过桥线脱焊, 可将脱焊处清理干净, 在待焊处附近线圈上垫上一层绝缘纸后再进行补焊。

3) 绕组断路在槽内的修理。需加热线圈到 120℃ 左右, 软化绝缘, 然后抽出槽楔, 从槽内拆除烧断的线圈, 将烧断的线匝两端由端部剪断, 使焊接点移在端部, 用相同规格的导线焊接好, 并在焊接处包好绝缘, 处理好线匝后再嵌入槽内, 垫好绝缘纸, 插入槽楔, 涂上绝缘漆。如果断路严重, 则需要更换绕组。

4) 端部线圈烧断的修理。需将线圈加热、软化绝缘, 然后将烧断的线匝撬起, 分清每根导线的端头, 用相同规格的导线连接在烧断的导线端点上, 焊接好后包扎绝缘并涂漆处理。

2. 绕组接地故障的维修

电动机绕组接地俗称“碰壳”。绕组容易受潮、绝缘材料老化等多种原因都会造成接地故障。

(1) 绕组接地故障的原因

- 1) 嵌线操作不当, 将槽口底部绝缘压破, 槽口绝缘损坏, 造成隐患。
- 2) 绕组绝缘受潮或绝缘老化, 失去绝缘作用。

- 3) 绕组引出线绝缘损坏, 和机壳相碰。
- 4) 电动机长期过载运行或起动次数过多, 使绝缘长时间过热造成绝缘老化。
- 5) 铁心硅钢片松动或有毛刺, 损坏绕组绝缘。

(2) 接地故障的检查方法

1) 观察法。电动机运行时发出“嗡嗡”声, 振动和发热加剧; 观察绕组端部接近槽口处是否有绝缘破裂和烧焦的痕迹。

2) 试灯法或万用表(低阻挡)法。先将电动机接线盒内的三相绕组之间的连接片拆除, 使之互不联通。按图 3-12 用校验灯或万用表(低阻挡)逐项检查, 如果校验灯发亮或万用表显示电阻读数为零, 则该相绕组接地; 如果校验灯暗红或万用表显示电阻读数很小, 则表明该相绕组严重受潮。判断出接地故障后, 再用观察法检查接地点, 接地点常有绝缘破裂、烧焦痕迹, 接地点易发生在铁心槽口处。若仍找不到, 接地点可能发生在槽内, 这时, 需将该相定子绕组的极相组间连接线剪断, 再用试灯法进行分组检查。

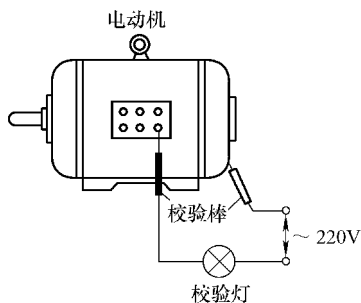


图 3-12 用校验灯检查绕组通地

(3) 接地故障的修理

1) 若接地点发生在槽口处, 只有少数导线或个别地方绝缘没垫好, 则可先将绕组加热, 待绝缘软化后, 可在导线与铁心之间插入相同规格的绝缘材料, 将导线局部包扎, 然后涂上绝缘漆。

2) 若接地点发生在槽内, 则应拆除该绕组重嵌, 所用导线型号、规格和匝数应相同。

3) 若接地是因硅钢片凸出划破绝缘造成的, 则应敲去凸出的钢片, 并把划破绝缘的地方重新包好绝缘、刷漆。

4) 若绕组受潮, 应进行烘干处理。烘干后其绕组对地的绝缘电阻应大于 $0.5\text{ M}\Omega$ 。

3. 定子绕组断路故障的检修

绕组断路常见故障有线圈匝间短路、极相组间短路和相间短路。

(1) 绕组短路故障的原因

- 1) 相间绝缘不符合规定, 绝缘垫本身有缺陷, 层间垫条垫偏或嵌线不当使绝缘损坏。
- 2) 电动机长期过载运行, 连续起动次数过多或过电压运行, 或单相运行, 造成绕组绝缘过热而烧坏。
- 3) 极相组之间的连接线或引接线的绝缘不良或被击穿。
- 4) 绕组绝缘受潮严重, 未经烘干处理就投入运行, 造成绝缘击穿。
- 5) 一般用途电动机用在特殊使用环境下(如化工腐蚀环境、高温冶金环境), 造成电动机绝缘损坏。

(2) 短路故障的检查方法

1) 利用绝缘电阻表或万用表检查相间绝缘。检查任何二相绕组间绝缘电阻, 如绝缘电阻很低, 就说明该二相短路。

2) 电流平衡法。用图 3-10 及图 3-11 所示的方法分别测量三相绕组电流, 电流大的相为短路相。

3) 用短路侦查器检查绕组匝间短路。短路侦查器是利用变压器原理来检查绕组匝间短

路的。短路侦查器具有 1 个不闭合的铁心磁路，上面绕有励磁绕组，相当于变压器一次侧绕组。将已接通交流电源的短路侦查器放在定子铁心槽口构成闭合磁路，沿着各个槽口逐槽移动。当它经过 1 个短路绕组时，这短路绕组就相当于变压器的二次侧绕组。如果短路侦查器绕组中串联 1 只电流表，此时电流表指示出较大电流。不用电流表，也可用一片厚 0.5mm 钢片或旧锯条安放在被测绕组的另 1 个绕组边所在槽口上面。如被测绕组短路，则此钢片就会产生振动。

必须指出，对于多路绕组的电动机，必须把各支路拆开，才能用短路侦查器测试，否则绕组支路上有环流，无法分清哪个槽的绕组是短路的。

4) 电阻法。用电桥测量三相绕组电阻，电阻较小的一组为短路组。

(3) 绕组短路故障的修理

1) 若线圈端部的极相组间短路，则先将线圈加热，软化绝缘，再将绝缘管套好或重新垫上绝缘垫。

2) 若绕组端部连接线或过桥线绝缘损伤而引起的短路，则先将线圈加热软化，再在过桥线处增垫绝缘垫。

3) 若绕组端部线匝间短路，短路的线匝较少，则先将绕组加热软化，撬开并从两侧端部截断短路的线匝，并小心抽出槽外，接好余下线匝的断头，并进行绝缘处理。

4) 双层绕组短路线圈在下层时，可先将绕组加热软化，把上层线圈轻轻拉出槽外，然后按上述方法修理。

4. 定子绕组接错和嵌反时的检修

在绕组接错或嵌反后，当电动机起动时，由于绕组中流过电流方向变反，使电动机的磁动势和电抗不平衡，因此引起电动机振动、噪声、三相电流严重不平衡、电动机过热、转速降低，甚至造成电动机不转，将熔断丝烧断。

绕组接错与嵌反有两种情况：一种是绕组外部接线错误，另一种是内部个别绕组或极相组接错或嵌反。

绕组接错故障的检修方法：

(1) 三相绕组的头尾接反的检修方法

1) 绕组串联法。图 3-13 是一相绕组接通 36V 低电压交流电（对小容量的电动机可直接用 220V 电源，大中型电动机不宜用 220V 电源），另外二相绕组串联起来接上灯泡，如果灯泡发亮，说明三相绕组头尾连接是正确的，作用在灯泡上的电压是两相绕组感应电动势的矢量和；如果灯泡不亮，说明两相绕组头尾接反，作用在灯泡上的电压是两相绕组感应电动势的矢量差，正好抵消。应该对调后重试。

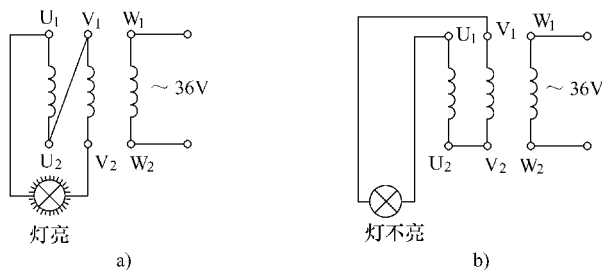


图 3-13 绕组串联法检查三相绕组头尾

2) 用万用表检查。如图 3-14 所示的接法, 用万用表 (毫安挡) 进行测试, 此时转动电动机转子, 如万用表指针不动, 则说明绕组头尾连接是正确的; 如万用表指针动了, 说明绕组头尾连接是错误的, 应该对调后重试。这一方法是利用转子中剩磁在定子三相绕组内感应出电动势的方向来判断绕组头尾。

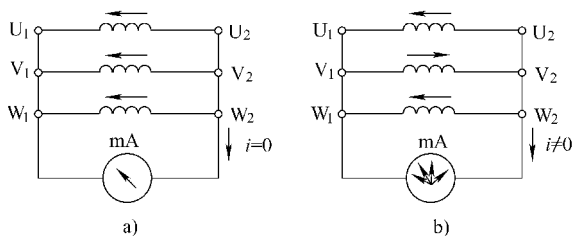


图 3-14 用万用表检查绕组头尾接反方法之一

如图 3-15 所示接法, 当接通开关瞬间, 如万用表 (毫安挡) 指针摆向大于零的一边, 则电池正极所接线头与万用表负端所接线头同为头或尾, 如指针反向摆动, 则电池正极所接线头与万用表正端所接线头同为头或尾。再将电池接到另一组的两个线头试验, 就可确定各相的头与尾。

(2) 内部个别绕组或极相组接错或嵌反的检修方法

将低压直流电源 (一般用蓄电池) 通入某相绕组, 用指南针沿着定子铁心槽上逐槽检查, 如指南针在每极相组的方向交替变化, 表示接线正确; 如果邻近的极相组指南针的指向相同, 表示极相组接错; 如果极相组中个别绕组嵌反, 在本极相组中指南针的指向是交替变化的。这时把绕组故障部分的连接线或过桥线加以纠正。如指南针方向都指不清楚, 应加大电源电压, 再行检查。

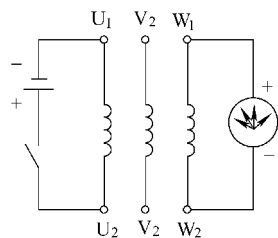


图 3-15 用万用表检查绕组头尾接反方法之二

5. 笼型转子绕组故障的检修

(1) 常见笼型转子绕组故障

- 1) 铸铝转子笼条开裂。
- 2) 铜条笼型转子绕组铜端环焊接处松脱。
- 3) 伸出铁心部分的笼条拱起。
- 4) 端部笼条沿转子旋转方向弯曲等。

(2) 笼型转子绕组故障的原因

- 1) 铸铝转子制造过程中使用材料有杂质和制造工艺不当, 使铸铝导条内有缩孔和气孔, 这些缺陷处易开裂。
- 2) 铜条与端环焊接处松脱, 这是由于焊接工艺不当, 或铜条与端环配合间隙不正确。
- 3) 电动机频繁地起动、正反转运行, 使转子笼条产生较大的电流和机械应力。

(3) 笼型转子绕组故障的检查方法

1) 观察法。抽出电动机转子, 观察转子铁心表面, 铝条烧断时, 可发现在槽口缝附近有暗灰色或黑色氧化物现象, 而铜条断裂处的铁心有蓝色氧化物痕迹。用手锤轻敲焊缝判别故障点。

2) 短路侦查器法。将短路侦查器开口部分紧贴在转子表面相邻齿上, 逐槽测量, 如图 3-16 所示, 若发现电流表读数突然变小, 则说明被测的该处有断条故障。

若铸铝转子个别笼条断裂, 查出开裂部位, 可在断裂处用 1 只与槽宽相近的钻头钻孔并攻螺纹, 然后拧上 1 只螺钉, 再将螺钉多余部分除去, 或在钻孔处用氩弧焊补焊。

若铸铝转子断条严重, 则采用铸铝笼改为铜笼的修复工艺, 首先清除旧铝笼, 测量和记录转子端环尺寸和风叶尺寸, 将转子两端循环车去, 压出转轴, 用夹具将转子铁心夹紧(夹具不能堵住槽 1:3), 然后将转子浸没于 30% 左右浓度的烧碱溶液中, 溶液加热至 80 ~ 90℃, 经 3 ~ 5h, 使铝条熔化。吊出转子用清水冲洗后再放入含有 0.25% 浓度的工业用冰醋酸溶液中煮沸 15min 左右, 再放入开水中煮沸 1 ~ 2h 后取出, 冲洗干净并烘干。最后插铜条及焊接, 改为铜笼。铜条面积按槽截面积的 70% 左右, 端环面积取原铝端环面积 70% ~ 80%。为保证铜条紧固在槽内, 其上下边应顶在槽顶和槽底。

铜条与端环焊接方法有两种: 对小电动机转子的端环可先在笼条伸出铁心 20 ~ 30mm 处向一边打弯, 使各槽的笼条互相搭接, 整形后用氧乙炔焊接成整体, 最后将转子端环车削成所需尺寸; 对于中小型电动机, 可采用如图 3-17 所示的焊接方法, 采用纯铜板弯成端环, 并将其焊接在伸出铁心两端铜条的内圆上, 铜条伸出的部分起到风扇作用。

经修复后的转子, 应进行平衡校验。然后对转子表面进行喷漆处理, 用 6010 清漆均匀喷涂在转子表面和风叶表面, 晾置 5h, 漆膜为 0.01 ~ 0.015mm。

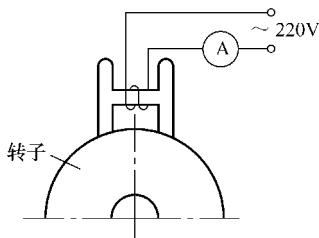


图 3-16 用短路侦查器检查转子断条

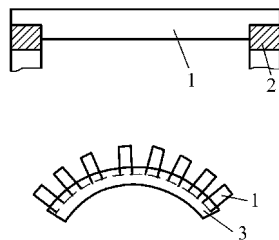


图 3-17 端环与铜条的焊接结构

1—导条 2—端环断面 3—端环

3.2.4 三相异步电动机的常见故障及修理

三相异步电动机的故障一般可分为电气和机械两部分。电气方面故障包括各种类型的开关、按钮、熔断器、电刷、定子绕组、转子绕组及起动设备等, 机械方面故障包括轴承、风叶、机壳、联轴器、端盖、轴承盖、转轴等。当电动机发生故障时, 应仔细观察所发生的现象, 如转速快慢程度、温度变化, 以及是否有不正常响声和剧烈振动。另外, 还要检查开关和电动机绕组内是否有火花、冒烟及焦糊味等, 根据故障现象分析原因和做出判断, 以至找出和排除故障, 见表 3-7。

表 3-7 三相异步电动机常见故障及检修方法

故障现象	可能原因	检修方法
不能启动且没有任何声响	1) 电源未接通 2) 熔丝熔断两相以上 3) 电源线有两相或三相断线或接触不良 4) 开关或启动设备有两相以上接触不良 5) 绕线转子电动机启动误动作 6) 过电流继电器整定值调得太小 7) 负载过大或转动部分被卡住 8) 控制接线错误	1) 开关、熔丝、各对触点及电动机引出线头故障，将故障处查出修理 2) 查出熔断原因，排除故障，然后按电动机规格配上新熔丝 3) 找出故障处，重新刮净并接好 4) 检查出接触不良处，予以修复 5) 检查集电环短路装置及启动变阻器的位置。启动时应分开短路装置，串接变阻器 6) 适当调高 7) 选择较大功率的电动机或减轻负载；如转动机器被卡住，应检查机器，消除故障 8) 校正接线
电动机带负载运行时转速低于额定值	1) 电源电压过低 2) 笼型转子断条 3) 绕线转子一相断路 4) 绕线转子电动机启动变阻器接触不良 5) 电刷与集电环接触不良 6) 负载过大	1) 用万用表检查电动机输入端电源电压 2) 重新铸铝或更换转子 3) 用校验灯或万用表等检查断路处，排除故障 4) 修理变阻器接触点 5) 调整电刷压力及改善电刷与集电环接触面 6) 选择较大功率电动机或减轻负载
电动机空载或负载时电流表指针来回摆动	1) 绕线转子电动机一相电刷接触不良 2) 绕线转子电动机的集电环短路装置接触不良 3) 笼型转子断条 4) 绕线转子一相断路	1) 调整电刷压力及改善电刷与集电环接触面 2) 修理或更换短路装置 3) 重新铸铝或更换转子 4) 用校验灯或万用表等检查短路处，排除故障
接地失灵，电动机外壳带电	1) 电源线与接地线接错 2) 电动机绕组受潮、绝缘老化或引出线与接地盒碰壳	1) 校正接线 2) 电动机绕组干燥处理，绝缘老化者要更换绕组，整理接地线
电动机运转时声音不正常	1) 定子与转子相擦 2) 电动机两相运转有嗡嗡声 3) 转子风叶碰壳 4) 转子摩擦绝缘纸 5) 轴承严重缺油 6) 轴承损坏	1) 锉去定转子硅钢片突出部分；轴承如有走内圆或外圆，可采取镶套办法，或更换端盖，或更换转轴 2) 检查熔丝及开关接触点，排除故障 3) 校正风叶，旋紧螺钉 4) 修剪绝缘纸 5) 清洗轴承加新油，润滑油的容量不宜超过轴承内容积的 70% 6) 更换轴承

(续)

故障现象	可能原因	检修方法
电动机振动	1) 转子不平衡 2) 传动带盘不平衡 3) 传动带盘轴孔偏心 4) 轴头弯曲	1) 校动平衡 2) 校静平衡 3) 车正或镶套 4) 校直或更换转轴。弯曲不严重时，可车去 1 ~ 2mm，然后配上套筒（热套）
轴承过热	1) 轴承损坏 2) 轴承与轴配合过松或过紧 3) 轴承与端盖配合过松或过紧 4) 润滑油过多，过少或油质不好 5) 传动带过紧或联轴器装得不好 6) 电动机两侧端盖或轴承盖未装平	1) 更换轴承 2) 过松时转轴镶套；过紧时重新加工到标准尺寸 3) 过松时端盖镶套；过紧时重新加工到标准尺寸 4) 加油或换油，润滑油的容量不宜超过轴承内容积的 70% 5) 调整传动带张力，校正联轴器转动装置 6) 将端盖或轴承盖止口装进装平，旋紧螺钉
电动机温升过高或冒烟	1) 负载过大 2) 两相运转 3) 电动机风道阻塞 4) 环境温度增高 5) 定子绕组匝间或相间短路 6) 定子绕组通地 7) 电源电压过低或过高	1) 选择较大功率的电动机或减轻负载 2) 检查熔丝、开关接触点，排除故障 3) 清除风道油垢及灰尘 4) 采取降温措施 5) 查找匝间或相间短路处，并予修复 6) 设法调整电压或等线路电压正常时再使用 7) 用万用表检查电动机输入端电源电压
绕线转子集电环火花过大	1) 电刷牌号及尺寸不合适 2) 表面有污垢杂物 3) 电刷压力太小 4) 电刷在刷握内卡住	1) 更换合适电刷 2) 用 0 号砂纸磨光集电环并擦净污垢，痕重时应车一刀 3) 调整电刷压力 4) 磨小电刷

当电动机修复或安装后，应该对三相异步电动机逐个检查，检查方法按照本章第一节内容依次进行。

3.2.5 单元自测题

- 1. 如何选择三相异步电动机的安装地点？
- 2. 如何拆卸三相异步电动机的转子？
- 3. 如何拆卸三相异步电动机的轴承？
- 4. 电动机过热冒烟有可能是哪些原因导致的？如何检修？

第 4 章 常用变压器的检修与日常保养

4.1 变压器的基本知识

4.1.1 变压器的工作原理

变压器是利用电磁感应原理从一个电路向另一个电路传递电能或传输信号的一种装置，它所传输的电能或信号具有相同频率但有不同的电压和电流。于是变压器成为电力系统中使用较多的设备，它对电能的经济传输、灵活分配和安全使用起着举足轻重的作用。为了能更好地使用变压器，首先要了解变压器的工作原理。

变压器由一个铁心和套在铁心上的两个绕组构成。为了减少涡流及磁滞损耗，铁心一般用涂有绝缘漆，厚度为 0.33 ~ 0.5mm 的硅钢片叠成。与电源相连的绕组称为一次绕组；与负载相连的绕组称为二次绕组，一、二次绕组都是用绝缘的导线绕成。若为信号变压器，则相应称为输入绕组和输出绕组。

接下来，以电力变压器为例，阐明变压器的工作原理（见图 4-1）。

根据电磁感应定律可知：

一、二次绕组感应电动势为

$$E_1 = 4.44fW_1B_mS \times 10^{-10}$$

$$E_2 = 4.44fW_2B_mS \times 10^{-10}$$

式中 E_1 ——一次绕组感应电动势（V）；

E_2 ——二次绕组感应电动势（V）；

B_m ——铁心中最大的磁通密度（T）；

S ——铁心截面积（ m^2 ）；

f ——电源频率（Hz）；

W_1 ——一次绕组匝数；

W_2 ——二次绕组匝数。

将两式相除可得

$$E_1/E_2 = W_1/W_2$$

由此可见，一、二次电动势之比等于一、二次绕组匝数之比。由于绕组本身有阻抗压降，实际上一、二次电压 U_1 略大于 E_1 ，二次电压 U_2 略小于 E_2 ，如果忽略此压降，则可认为 $E_1 \approx U_1$ ， $E_2 \approx U_2$ ，于是有

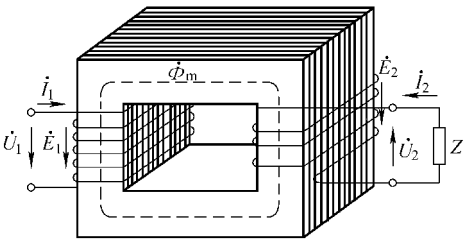


图 4-1 变压器的工作原理

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

这种关系说明了一、二次电压之比近似等于一、二次绕组匝数之比。这个比值称为变压器的电压比。

由能量守恒定律可知，变压器的输出功率应等于输入功率，即

$$U_2 I_2 = U_1 I_1$$

或

$$U_1 / U_2 = I_2 / I_1$$

于是，有

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{W_2}{W_1}$$

即变压器的一、二次电流之比等于一、二次绕组匝数的反比。

总之，如果一台变压器工作电压设计得越高，绕组匝数就要绕得越多，而通过的电流却越小，导线的截面积可选用得越小。反之，工作电压设计得越低，绕组匝数就越少，通过绕组的电流则越大，导线截面积就要选得越大。

4.1.2 变压器的结构和种类

一、变压器的分类和用途

为了适应不同的使用目的和工作条件，变压器的种类很多，而且分类的方法也有多种，其常用的变压器与主要用途见表 4-1。

表 4-1 变压器的分类方法与主要用途

分 类	名 称	主 要 用 途
按用途分类	电力变压器	输配电系统中用于变换电压、传输电能
	仪用互感器	电工测量与自动保护装置中使用
	电焊变压器	用于焊接各类钢铁材料的交流电焊机上
	电炉变压器	冶炼、加热及热处理用的变压器
	调压器	实验室或工业上用于调节电压
	整流变压器	用于电力机车电源、直流调速等
	矿用变压器	用于有爆炸危险的矿井，以供动力和照明等
按工作特性分类	变压器	改变电压（有升压、降压和配电变压器等）
	变流器	改变电流
	感应式移相器	改变相位用于可控整流电路等
	变换阻抗	改变阻抗（如收音机上的输出变压器）
	饱和电抗器	用于稳压、恒流、电动机调速磁放大器等
按铁心结构形式分类	壳式铁心	小型变压器
	心式铁心	大中型电力变压器
	C 形铁心	电子技术中的变压器

(续)

分 类	名 称	主 要 用 途
按冷却方式分类	油浸式变压器	油冷、外部加风冷或水冷，用于大、中型变压器
	风冷式变压器	强迫油循环风冷，用于大型变压器
	自冷式变压器	空气冷却，用于中、小型变压器
	干式变压器	用于安全防火要求较高的场合，如地铁、机场及高层建筑等
按相数分类	单相变压器	小型变压器用
	三相变压器	中、大型变压器用
按绕组数量分类	单绕组变压器	自耦变压器高、低压共用1个绕组
	双绕组变压器	每相有高、低压两个绕组
	三绕组变压器	每相有高、中、低压3个绕组
	多绕组变压器	如整流用六相变压器

二、变压器的结构

根据变压器类别的不同，其结构亦不相同。一般干式变压器和小型变压器的外形结构比较简单，主要部件是铁心、绕组、引线和外壳等。大功率电力变压器和其他用途变压器的结构相对复杂一些。如图4-2所示为油浸式电力变压器的结构。包括器身（铁心、绕组、绝缘、引线及分接开关等）、油箱及其附件（油箱本体、放油阀门、活门、小车、油样活门、接地螺栓及铭牌等）、冷却装置（散热器或冷却器）、保护装置（储油柜、油位计、安全气道、吸湿器、测温元件、净油器和气体继电器等）和出线装置（高压套管及低压套管）等。

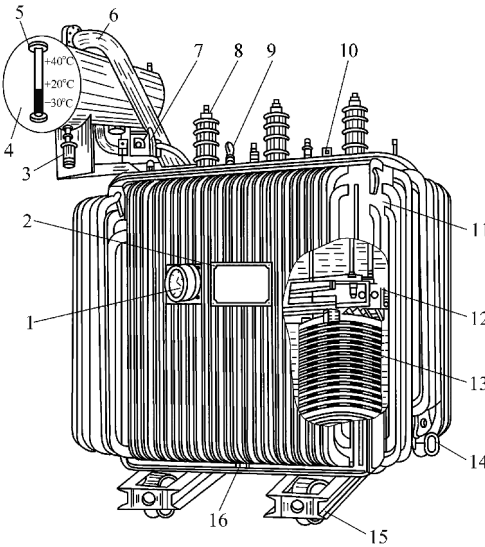


图 4-2 油浸式电力变压器结构

- 1—温度计 2—铭牌 3—吸湿器 4—储油柜 5—油位计 6—安全气道
- 7—气体继电器 8—高压套管 9—低压套管 10—分接开关 11—油箱 12—铁心
- 13—绕组 14—放油阀门 15—小车 16—引线接地螺栓

1. 变压器铁心

变压器各种铁心的结构如图4-3所示。变压器铁心有壳式和心式两种。绕组包着铁心的

变压器叫心式变压器，铁心包着绕组的叫壳式变压器，如图 4-4 所示。

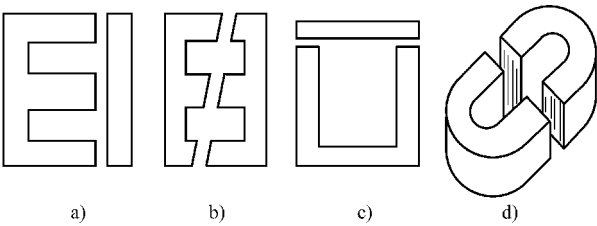


图 4-3 各种铁心的结构
a) 山字形 b) 双 F 形 c) 口字形 d) C 形

壳式铁心多用于小型变压器，如电力变压器大多用三相心式铁心。铁心制造主要过程有硅钢片剪裁、冲孔、去毛刺、退火、涂漆、叠装及铁心性能试验等工序组成。

2. 变压器绕组

绕组有同心式和交叠式两种，如图 4-5 所示。由绝缘铜线或铝线绕制而成。同心绕组是将一、二次绕组绕在同一铁心柱上。为了便于绝缘，一般将低压绕组放在里面。交叠式绕组的高、低压绕组是互相交错放置的，大多数电力变压器都采用同心绕组。

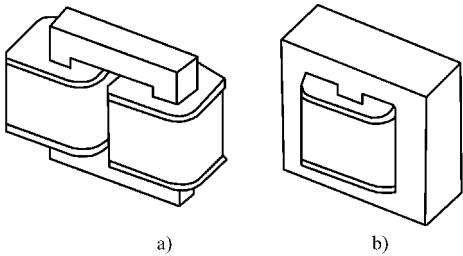


图 4-4 心式铁心和壳式铁心
a) 心式 b) 壳式

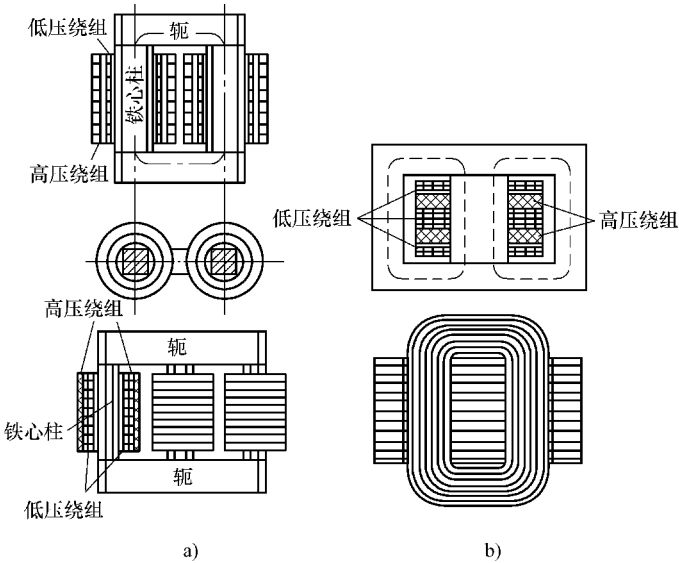


图 4-5 变压器线圈结构
a) 同心式 b) 交叠式

线圈的绕制是在专用绕线机上进行的。根据绕线工作特点,对绕线机的要求为:起动平稳,以保证逐渐地拉紧导线和等速地绕制;具有可靠的不倒转的制动装置,以防止绕好的部分因倒转而松开。线圈绕制完,从线绕机上取下线圈,在线圈的四周沿轴向用斜纹布带扎好,进行匝数检查,然后送去干燥浸漆。

4.1.3 单元自测题

1. 变压器主要由哪几部件组成?
2. 常用的电力变压器有哪几种?

4.2 变压器的维护与检修

4.2.1 变压器的维护与保养

一、运行中的检查

1. 监视仪表

变压器控制盘上的仪表,如电压表、电流表、功率表等指示变压器的运行情况和电压质量等。因此,必须经常监察,并应每小时抄表一次;在过负载下运行时则应每隔半小时抄表一次。除此之外,还应测量变压器的三相负载是否平衡;检查电压是否经常超过允许范围;对变压器的温度和油温都应记录。

2. 现场检查

电力变压器应定时进行外部检查,每天应至少检查一次。如无固定值班人员时,应至少每个月检查两次。特殊情况下可增加检查的次数。

3. 定期检查的项目

- 1) 检查电力变压器的高、低压套管是否清洁,有无裂纹、放电痕迹及其他异常现象。
- 2) 检查油箱各部是否渗油,漏油现象。
- 3) 检查油位是否正常,一般不应低于油面线,油色是否正常。
- 4) 检查油温是否正常,上层油温是否超过 85°C 。
- 5) 检查外壳接地是否良好,接地线有无断股和接触不良现象。
- 6) 检查变压器有无异常响声或响声较前增大。
- 7) 检查防爆管的玻璃是否完好,有无渗油、冒油等现象。
- 8) 检查气体继电器油面高度是否符合规定。
- 9) 检查干燥剂是否失效。
- 10) 检查室内设备是否完整良好。

二、电力变压器的维护

电力变压器的正常运行对系统供电的可靠性具有严重的影响。因此,电力变压器应有专人维护,并需要定期进行保养和检修工作。

1. 电力变压器的维护和保养的日常工作主要有以下几个方面

- 1) 监视变压器是否额定运行,超差值是否在允许的范围之内。
- 2) 注意变压器的运行声音是否正常。

- 3) 观察储油柜的油位, 其油面高度不能低于油位线。
- 4) 观察油温是否超标, 其油色是否有变化。
- 5) 检查油箱有无渗油、漏油等现象。
- 6) 检查绝缘套管有无裂痕和放电迹象及其他的异常现象。
- 7) 观察接地线及其他附属设备的状况是否正常。

2. 变压器的保护装置

- 1) 气体保护。作为变压器油箱内部故障的主保护及油位降低保护。
- 2) 过电流保护。作为变压器外部短路的过电流保护, 也作为变压器内部短路的后备保护。
- 3) 零序电流保护。当变压器中性点接地时, 作为单相接地保护。
- 4) 过负载保护。当变压器过负载时发出信号。在无人值守的变电所内, 也用于跳闸或自动切除部分负载。
- 5) 纵差保护。作为变压器内部绕组、绝缘套管及引出线相间短路的主保护。

4.2.2 变压器工作异常与故障处理

一、变压器异常及轻瓦斯报警

1. 变压器异常运行

变压器异常运行是指变压器仍保持运行, 断路器未动作跳闸, 但变压器出现异常情况, 这是将要发生事故的先兆。

2. 变压器异常运行的现象

(1) 变压器运行声音

正常运行的变压器发生持续均匀的“嗡嗡”声; 如果声音不均或有其他异常声音出现, 均属不正常运行声。声音的变化可以在一定程度上反映变压器内部或外部的异常情况。

1) 变压器发生均匀持续较沉重的“嗡嗡”声, 可能是变压器负载增加、铁心振动增大引起, 应结合变压器负载变化加以判定。

2) 变压器发出的“哇哇”声, 时间短、很快恢复, 可能是变压器受短路电流冲击, 如系统故障、大动力设备起动、负载突变引起, 应结合系统参数变化(如电压表、电流表数据)来判定。

3) 变压器发出持续尖细的“哼哼”声, 声音可能忽强忽弱, 则可能是系统中铁磁谐振造成, 可结合系统有无故障、电压表有无谐振变化加以判定。

4) 变压器发出“吱吱”尖锐声或“叭叭”声, 可能内部有拉弧放电, 如主变分接头接触不良、绝缘对地放电等, 应注意声音变化的发展及变化。

5) 变压器发出金属碰撞的“叮当”声或钢片振动的“嚶嚶”声, 表明变压器内部机械异常, 有可能发展为严重的内部故障。

6) 变压器发出不均匀且响声很大的放电爆炸声或拉弧声, 表明内部严重故障, 处理不及时可能导致变压器的损坏。

(2) 变压器油温、油位异常

主要包括以下现象:

- 1) 变压器油温异常升高。

- 2) 外壳出现漏油现象。
- 3) 油色、油位异常。
- 4) 套管有闪络放电现象。
- 5) 储油器、吸湿器、防爆安全门喷油。
- 6) 变压器着火。
- 7) 发出轻瓦斯报警信号。

3. 变压器轻瓦斯报警的原因

- 1) 变压器异常运行时导致内部油位变化或有轻微气体产生。
- 2) 空气进入变压器内部，在变压器新安装或大修时空气排放不净或密封不严时易发生。
- 3) 穿越性短路故障而产生少量气体。
- 4) 油位降低导致轻瓦斯动作。
- 5) 由直流两点接地、二次回路短路等造成。
- 6) 强烈振动或轻气体继电器损坏误发。

4. 变压器异常运行的处理

1) 变压器运行声音异常，应结合系统参数、变压器负载变化进行判断，区分出异常是由变压器内部异常还是外部冲击导致。若是外部冲击，短时应恢复正常，若不能恢复，则有可能是变压器内部有异常情况，应严密监视，必要时汇报调度，将变压器减负载运行，观察其声音的变化。

2) 变压器凡有较严重的拉弧、放电，严重漏油、喷油，着火现象，运行人员应立即投入备用或转移负载，将故障变压器停电，以防止变压器受到损坏。

3) 若仅有轻瓦斯动作信号，运行人员应记录信号、保护动作情况、复归信号并汇报调度。同时检查现场主变压器的气体继电器有无气体，如有气体要检查气体量的多少及气体颜色，分析故障原因。

若因空气进入造成气体继电器动作，则变压器可以继续运行，但要放掉气体并严密监视主变压器的运行情况。若因主变压器内部轻微故障引起气体继电器动作，应申请调度马上将变压器停运检查，未经试验合格不得投入运行。若查明二次回路故障，则应检查排除故障，若故障点在气体继电器内部，则先申请将重瓦斯出口压板改投信号运行后再处理。

4) 发出“释压器动作”信号时，应首先对主变压器及释压器外观进行检查，查看是否有喷油现象，若释压器完好且主变压器无异常，则可能是误发信号，应对二次回路进行检查；若释压器喷油，则可能为主变压器内部故障，应及时汇报调度，进行处理。

5) 运行人员无法判明故障性质和程度的，应记录好异常现象，及时汇报调度和上级有关部门，由检修人员处理。

5. 变压器轻瓦斯报警的处理流程

变压器轻瓦斯报警处理流程图如图 4-6 所示。

二、变压器冷却器异常

1. 变压器冷却方式

变压器冷却方式有油浸风冷、油浸自冷、强迫油循环风冷却、强迫循环水冷却等多种形

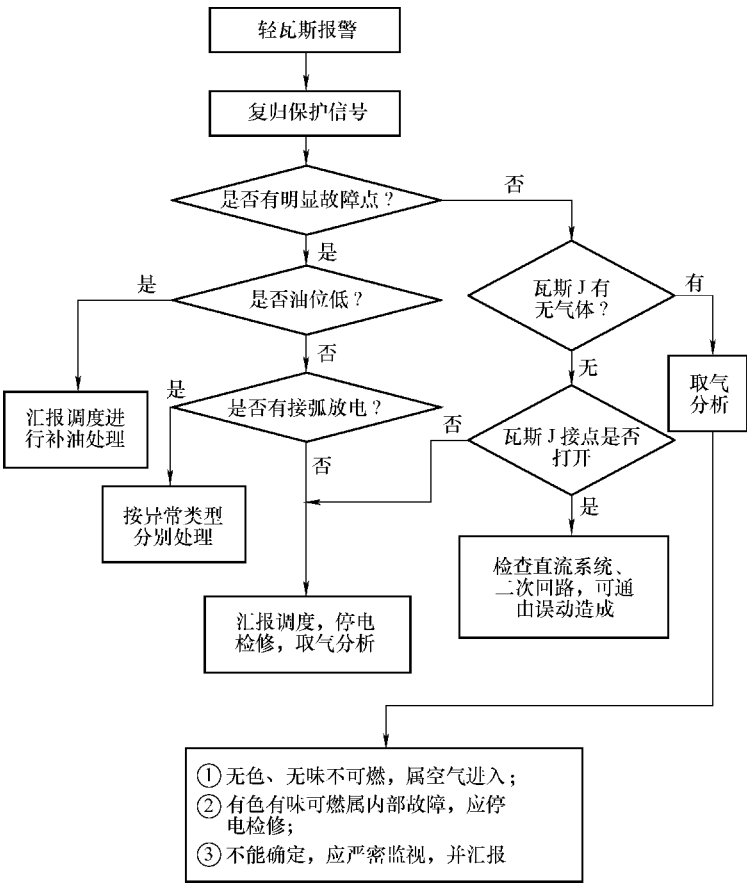


图 4-6 变压器轻瓦斯报警处理流程

式，较常见的有油浸风冷和强迫油循环风冷却。

油浸风冷靠热油自循环，通过散热器散热；而强迫油循环风冷却则是采用潜油泵使油循环，再通过散热器散热进行冷却。

2. 变压器强迫油循环风冷却系统的主要故障形式

- 1) 风冷交流电源故障。
- 2) 风扇电动机热耦烧坏。
- 3) 风扇电动机烧损、轴承破损、风扇刮叶。
- 4) 油泵故障。

3. 冷却器异常的现象及处理

(1) 冷却器动力电源消失

1) 异常现象：警铃响，主控盘发出“主变冷却器电源故障”等信号。由于故障时的具体原因不同，所发的信号有所不同。

2) 处理方法：

- ① 主变压器两组动力电源消失将造成冷却器全停，变压器温度将逐步升高。

② 如果站用变压器故障引起冷却器全停,应先恢复站用变压器的供电,再逐步进行处理。

③ 如果站用电屏电源熔断器熔断引起冷却器全停,应先检查冷却器控制箱内电源进线部分是否存在故障,及时排除故障。故障排除后,将各冷却器选择开关置于“停止”位置,再强送动力电源,若成功后再逐路恢复各组冷却器的运行;若不成功,应仔细检查所用电源是否正常及所用冷却器控制箱的电缆是否完好。

④ 如果由于冷却器控制箱电源自动切换回路造成全停,应及时手动投入备用电源,尽快恢复冷却器的运行。

⑤ 若工作、备用电源均故障,短时难以处理,应立即汇报调度,申请调度转移负载或做其他处理。

⑥ 故障发生后运行人员应加强对变压器油温的监视,防止油温过高烧损变压器或缩短使用寿命。

(2) 分组冷却器故障

1) 异常现象:警铃响,主控盘发出“冷却器故障”或“备用冷却器投入”等信号,现场检查冷却器有热耦动作,主冷却器异常运行、声音异常等情况。

2) 处理方法:

① 首先检查有备用冷却器投入的现象,然后将故障冷却器控制开关置于“停止”位置,再根据负载、温度等情况调整各组冷却器的运行。

② 如现场未发现有“工作”位置的冷却器停运,则检查各组冷却器的油流继电器的动作情况,如果发现有未动作的,则将该组冷却器控制开关置于“停止”位置,备用冷却器返回停运,然后将该组冷却器停运,汇报有关部门进行处理。

③ 如备用冷却器启动后,现场检查未发现其他异常现象,可采取逐台停运“工作”冷却器的方法来检查,当某台冷却器停运时,备用冷却器返回,即可判断为该组冷却器故障,然后将该组冷却器停运,汇报有关部门进行处理。

三、变压器油流故障

1. 变压器油流故障的现象

警铃响,主控盘发出“冷却器故障”或“备用冷却器投入”等信号,现场检查油流指示器处于停止位置。

2. 变压器油流故障的可能原因

- 1) 油流管道阻塞。
- 2) 油闸门未开。
- 3) 油泵故障或未运转。
- 4) 油流指示器故障。

3. 变压器油流故障的处理

- 1) 到现场检查油路阀门位置是否在正常位置。
- 2) 检查冷却器回路是否正常、油泵是否运转正常。
- 3) 检查油流指示器是否完好、无异常。
- 4) 加强对变压器监视。
- 5) 将异常情况汇报,通知专业人员检查处理。

四、变压器油温升高

1. 变压器油温

由于变电站主变压器一般采用 A 级绝缘,其不耐老化的最高运行温度为 105℃,因此,一般主变压器运行时规定的上层油温允许超过 95℃,而采用强迫油循环风冷却装置的主变压器上层油温一般规定不超过 85℃。

运行中变压器油温不正常升高,上层油温达 75℃ 及以上时,应及时处理,以防止温度过高,损坏变压器。

2. 变压器油温升高的可能原因

- 1) 变压器过负载。
- 2) 冷却设备运行不正常。
- 3) 油位过低。
- 4) 变压器内部故障。

3. 变压器油温升高的处理

当发现主变压器油温异常升高时,运行人员应立即判明原因并设法降低油温,具体内容如下。

- 1) 检查各个温度计的工作情况,判明温度是否确实升高。
- 2) 检查各组冷却器工作是否正常。
- 3) 检查变压器的负载情况和环境温度,并与以往同等温度情况相比较。
- 4) 检查冷却器各部位阀门开、闭是否正确。
- 5) 当判明温度升高的原因后,应立即采取措施降低温度或申请减负载运行,如果未查出原因则怀疑是内部故障,应马上汇报调度,申请将变压器退出运行,进行检查。

五、变压器有载调压装置故障

1. 变压器有载调压装置的组成

大型变压器有载调压装置一般采用 Z 型或 M 型有载分接开关,它均由切换开关快速机构、选择器、电动操作机构几部分组成。有载调压装置可通过电动机构进行操作,也可通过手摇机构进行操作。

2. 有载调压装置故障的常见形式

- 1) 有载调压切换开关拒动。
- 2) 电动操作机构失灵,造成电动机构上调或下调失控。
- 3) 分接开关油室泄漏。
- 4) 滑挡。

3. 有载调压装置故障的处理

- 1) 调压过程中发现下列情况时,应立即停止调压操作并断开动力电源。
 - ① 挡位级进一次,中低压侧电压电流不变化、指示盘未进入绿色区或挡位显示不正确。
 - ② 连续滑挡。
 - ③ 断路器跳闸,强送一次不成功。
 - ④ 调压过程中主变压器轻瓦斯保护动作。
 - ⑤ 装置的切换或选择开关部位有异常音响。
- 2) 切换开关拒动,运行人员应检查动力电源是否正常,有载调压控制电源、控制回路有

无异常，操作回路机构装置有无故障等。在处理好拒动问题后，才能开始进行调压操作。如果在切换中拒动，将造成调压选择器与切换开关不对应，从而造成动触头未经过渡电阻限流而离开动触头，产生电弧，严重时可能将触头烧毁，使变压器瞬时断电，引发零序保护和调压气体保护动作。出现这种情况，应立即切断变压器电源，汇报调度及上级部门申请检修。

3) 电动操作机构失灵，造成连续滑挡，可能造成电动机构从一个分接头到上调或下调极限位置，此时若两台变压器并列运行，两台变压器变化相差大，致使两台变压器负载分配严重不平衡，环流增大，变压器发热增加，温度快速上升，影响变压器的安全运行。此时运行人员应立即按下紧急停止按钮，切断动力电源，用手摇机构将分接头调压至适当位置，进一步检查电动操作机构、接触器等有无异常，若无法处理，通知检修处理。

4) 分接开关油泄漏，将使分接开关绝缘性降低，同时分接开关的油进入变压器本体油箱，会影响变压器本体的油质和绝缘强度，出现这种故障，运行人员应汇报调度、联系检修处理，在未做处理前不得进行有载调压操作。

六、充油设备油位异常

变电站中常见的充油设备较多，如油断路器、变压电缆等，它们有一些共同的特点，本节所述的内容适于所有充油设备。

1. 绝缘油的作用

- 1) 隔离作用。将设备与空气隔离，防止空气中水分或其他气体侵蚀设备绝缘部分。
- 2) 绝缘作用。作为设备的绝缘介质。
- 3) 散热作用。作为热传导的媒介，起到散热作用。
- 4) 在油断路器中作为灭弧介质使用。

2. 油位变化对设备运行的影响

1) 设备的油位过高或过低都会对设备产生影响，不利于设备安全运行。若油位过低，设备暴露在空气中，会造成绝缘受潮和老化，设备不能散热或不能快速灭弧而烧毁；油位过高则可能造成设备运行中绝缘油外溢或因内部缓冲空间过小，油体发热时内压过大，甚至在故障时造成喷油、爆炸。

2) 为了防止油位过高或过低造成对设备的损坏，在电气设备上，如变压器、油断路器、消弧线圈及互感器上均设有油标，便于运行人员监视。

3. 油位异常的处理

1) 巡视中发现充油设备油位异常时应及时处理。油位过高的要放油，油位过低的则要进行补油。

2) 补油时应使用合格的同号绝缘油。变压器、油断路器、消弧线圈的补油应从上部进行，防止将底部杂质冲起来影响整个设备的绝缘强度；油断路器在底部油门防水测试后可在底部带电补油。

3) 运行中由于油的热胀冷缩会造成油位的变化，其变化应与油温变化一致。若油位过低，看不到油位，运行人员应检查有无漏油情况。同时根据油温、漏油等情况判断油位的可能位置。

4) 若油位低且未发现漏油现象，运行人员应汇报调度及上级有关部门，尽快安排补油。若油位低且有漏油现象，应立即处理。变压器设备发现漏油情况，应汇报调度，申请转移负载，将变压器停电退出运行并进行检修；消弧线圈漏油时，可先将其停运，再汇报调

度；互感器漏油时，应汇报调度，转移负载后停电补油；油断路器漏油时，则应立即取下操作保险，汇报调度，申请停电后进行处理。

5) 当发现变压器油位比当时温度所对应的油位显著降低时，应立即汇报调度。如果大量漏油而使油位迅速下降时，禁止将重瓦斯保护改投信号运行，必须采取制止漏油的措施。

4.2.3 单元自测题

1. 运行中的变压器应该检查和监视哪几个方面？
2. 变压器内有不正常的响动和噪声、振动，可能是哪几个方面原因导致的？如何检修？
3. 变压器漏洞是由哪种原因导致的？如何检修？

第 5 章 电器控制电路的安装与检修

5.1 电动机控制电路

5.1.1 电动机控制电路的基本知识

由于各种生产机械的工作性质与加工工艺不同，使得它们对电动机控制电路的要求亦不尽相同，但由于电路一旦发生故障或事故对操作人员的伤害较大，所以在操作时，有如下安全操作规定：

1) 所有的操作人员凡高血压、心脏病、气喘者不准参加电工工作。参加人员应穿戴工作服和安全鞋，女职工应加戴工作帽。

2) 操作低压刀开关时，操作者应站在开关手柄的右侧，面对电动机和拖动机械，双目注视合闸后电动机的起动、传动装置的传动和被拖动机械的传动情况，发现异常应立即拉闸停机，切勿推上闸后离开操作位置。

3) 电动机运行时，机身上不可搁置异物，风道内不准有任何杂物以防堵塞，周围环境应保持清洁，不可浇水或油进行冷却。

4) 电动机及其起动装置等应与可燃物保持一定距离，使起动装置和电动机散发的热量及偶然发生的火花、电弧不致引起火灾。

5) 电源控制开关应有明显表示分开、闭合的标志以使检修人员和操作者看到停送电的状态。

6) 电动机、控制板（盘）操作按钮以及其他控制开关的金属外壳均应可靠接零（地）保护。

7) 新安装的电动机在通电使用前，应进行相间及对地的绝缘电阻测试，电压在 1kV 以下、功率在 1000kW 以下的绝缘电阻值不低于 $1\text{M}\Omega$ 。

8) 电动机通电使用前，应认真检查电源电压与电动机铭牌上的额定电压是否相符，以及电动机绕组接线是否正确，各接线螺钉是否紧固。

9) 电动机使用前应认真检查电动机转动是否灵活，有无较劲和卡住现象，转动有无噪声，各紧固螺钉是否松动，风扇是否完好，轴承是否正常。

10) 电动机投入运行后，三相电源电压的波动不得超过额定值的 $-10\% \sim +5\%$ ，即三相电压不平衡不得超过 5% ，三相电流不平衡不得超过 10% ，不符合上述条件时，应当立即停车进行检查。

11) 带灭弧罩的控制设备或元器件未装好灭弧罩，严禁通电试机，否则将会造成严重弧光短路事故。

12) 一般全压起动的电动机功率不得超过电源变压器容量的 $15\% \sim 20\%$ ；一般超过 10kW 的电动机应装设减压起动设备，使其起动电流不超过额定电流的 2.5 倍。

- 13) 电动机使用低压断路器保护时，开关的脱扣器瞬时动作电流规定为：DW 型断路器可选用 1.35 倍，DZ 型断路器可选用为 1.7 倍。延时动作电流数值，应能在正常起动时不动作，过载时能可靠地动作，断路器额定电流一般为额定电流的 1.2 倍。
- 14) 中小型电动机的短路保护和过载保护不可互相代替。
- 15) 电动机离控制点较远时，应在电动机工作点附近装设事故紧急停机装置，以保证设备及操作者的安全。
- 16) 操作人员不能判断控制装置的分合状态或远方操作时应装设信号灯，以指示电动机的运行状态和停止状态。
- 17) 电动机可能与人接触的旋转部分和转动部分，都应装设防护罩，或保持不小于 1m 的安全距离。
- 18) 刀开关手柄向上应为合，以免因自重垂下发生误合闸事故。各种开关控制设备、元器件保护电器都应垂直安装或竖直放置使用。
- 19) 功率在 7kW 以下的电动机可以使用刀开关控制。一般刀开关切断感性电流以不超过 15A 为宜，最多不超过 20A。
- 20) 表箱、表板、配电箱、开关板、控制柜等，应牢固安装在干燥、明亮、无振动以及便于抄表、操作和使用维护之处。
- 21) 安装于墙上的配电箱中心距地面高度应为 1.6 ~ 1.8m，明装在墙上的配电板中心距地面高度为 1.8 ~ 2m。
- 22) 由于直流电弧的熄灭比较困难，其控制开关应留有较大的裕度，而且要加强维修。
- 23) 直流设备在维修之前，应进行放电。
- 24) 电源引线及电动机引线如穿金属护线管时，两端应接零（地）或加穿一根不小于相线截面积 1/2 的导线作为零（地）线且管内穿线中间不得有接头。

5.1.2 电气控制的一般规律

对于由继电器和接触器所组成的电气控制电路，其基本控制规律有点动与连续运转控制、自锁与互锁控制、多地联锁控制、顺序控制与自动往复循环控制等。

一、点动与连续运转控制

如图 5-1 所示，图 5-1a 为点动控制电路，图 5-1b 为用开关 SA 选择点动与连续运转控

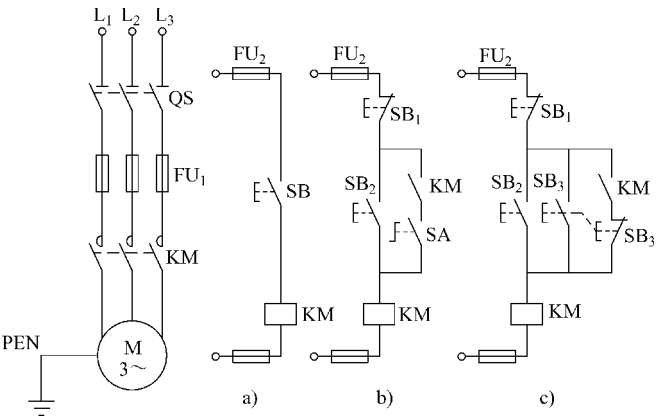


图 5-1 电动机点动与连续运转控制电路

a) 点动控制电路 b)、c) 点动与连续运转控制电路

制电路，SA 打开时电动机点动运行，SA 闭合时电动机连续运转，图 5-1c 用两个按钮实现点动与连续运转的控制电路，按下 SB₂ 电动机连续运转，按下 SB₃ 电动机点动运动。

二、自锁与互锁控制

自锁与互锁的控制统称为电气联锁控制，在电气控制电路中应用十分广泛，是最基本的控制。

如图 5-2 所示，图中 KM 常开辅助触头为自锁触头，当按下按钮 SB₂ 时它因为 KM 线圈得电而闭合，这时即使放开按钮 SB₂，KM 线圈仍因它的闭合而继续得电，形成自锁。

对于电动机 M 来，其工作原理如下：

- 1) 起动。按下 SB₂→KM 得电（自锁）→M 起动。
- 2) 停车。按下 SB₁→KM 失电（解除自锁）→M 停止。

当电动机在运行中过载时，热继电器 FR 的发热元件受热变形，使它的常闭触头断开，使接触器线圈：KM 断电而自动跳闸，保证电动机不致烧毁。再次起动时，需按一下 FR 的复位按钮，使动作机构回到原来的位置。由于热继电器的发热元件串联在电源线上，而避免了电动机单相运行引起的严重故障。

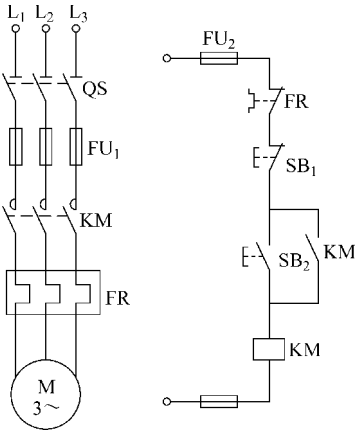


图 5-2 三相异步电动机全压
起动控制电路

互锁常用在电动机正反转控制电路中，如图 5-3 所示，在图 5-3b 中，可以实现正反转，没有互锁保护，必须保证正转时不能反转，反转时也不能正转，即正反转要互相锁定，从而防止相间短路。在图 5-3c 中，KM₁ 和 KM₂ 的常闭触头分别串接在 KM₂ 和 KM₁ 的线圈电路中形成互相锁定，常被称为电气互锁。在图 5-3d 中，按钮 SB₁、SB₂ 的常闭触头分别和 SB₂、SB₁ 的常开触头串接形成互相锁定，常被称为机械互锁。

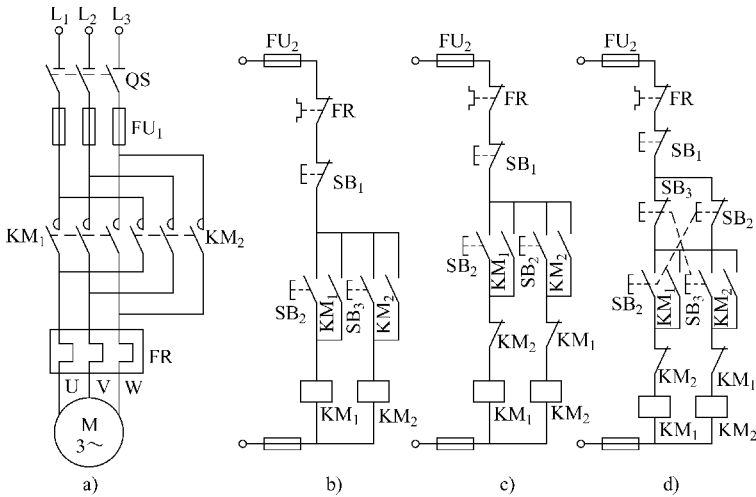


图 5-3 电动机正反转互锁电路

a) 主电路 b) 无互锁电路 c) 电气互锁电路 d) 双重互锁电路

图 5-3d 的工作过程如下：

- 1) 合上刀开关。
- 2) 按下 $SB_1 \rightarrow KM_1$ 得电（常闭触头同时断开 KM_2 电路即互锁） $\rightarrow M$ 正转。
- 3) 按下 $SB_2 \rightarrow KM_1$ 失电 $\rightarrow M$ 停止正转 $\rightarrow KM_2$ 得电 $\rightarrow M$ 反转。

三、多地联锁控制

如图 5-4 所示，图中 SB_3 、 SB_4 和 SB_5 、 SB_6 分别装在两个地方，就可以实现在两地都可以控制电动机的起动和停止运行。

四、顺序控制

- 1) 按顺序起动与停止的控制电路如图 5-5 所示。

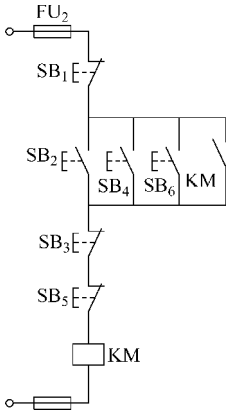


图 5-4 多地联锁控制电路

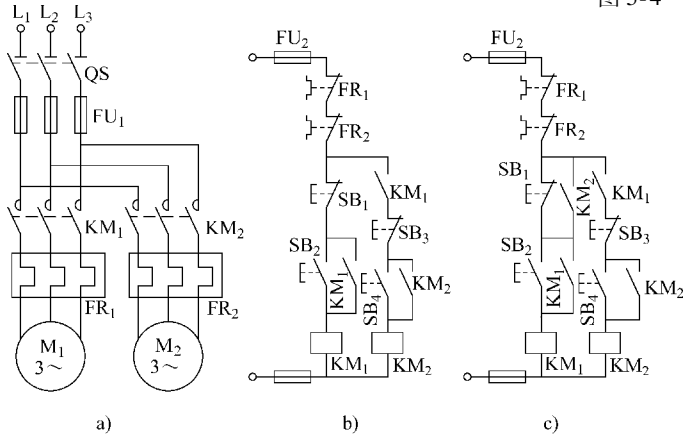


图 5-5 两台电动机顺序控制电路

a) 主电路 b) 按顺序起动电路 c) 按顺序起动、停止的控制电路

- 2) 用时间继电器控制的顺序起动电路如图 5-6 所示。

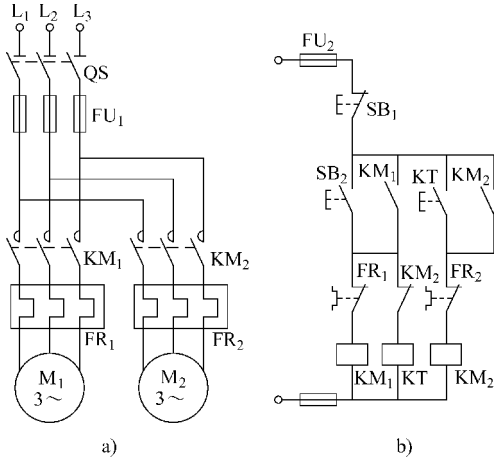


图 5-6 时间继电器控制的顺序起动电路

a) 主电路 b) 控制电路

五、自动往复循环控制

自动往复循环控制电路如图 5-7 所示，SQ₁、SQ₂ 控制电动机自动正反转，SQ₃、SQ₄ 作极限位置保护用。

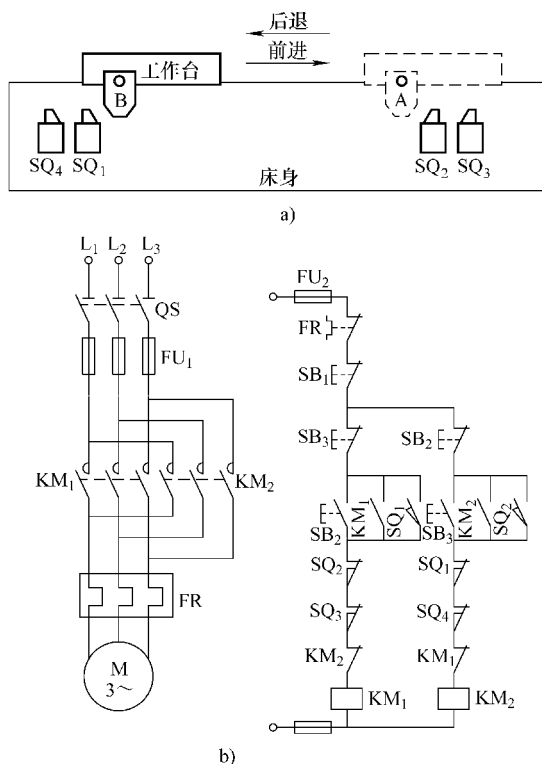


图 5-7 自动往复循环控制

a) 机床工作台自动往复运动示意图 b) 自动往复循环控制电路

5.1.3 电动机基本控制电路的安装步骤

电动机基本控制电路在安装前应了解的各项工艺须知：

一、板前布线安装工艺

1) 在电气电路上编号，可遵循以下规则：

① 主电路三相电源相序依次编写为 L₁、L₂、L₃，电源控制开关的出线柱按三相电相序依次编号为 L₁₁、L₂₁、L₃₁。电动机 3 根引线按相序依次编号为 U、V、W，从下至上每经过一个电器元件的接线柱后，编号要递增，如 U₁、V₁、W₁、U₂、V₂、W₂，…，没有经过接线柱的编号不变。

② 控制电路与照明、指示电路，从左至右（或从上至下）只以数字编号，以一个串联回路内电压最大的元件线圈为中心，左侧用单号，右侧用双号（或上侧用单号，下侧用双号），号码自小排起，每经过一个接线柱编号要递增，6 号和 9 号应尽量不同时用在一个控制电路中，以免造成混乱不便判断。

2) 布线前根据电气控制原理图绘出电气设备及电器元件布置与电气接线图。

3) 根据电气控制原理图中电动机功率，选择出所用电气设备、电器元件、安装附件、

导线等进行检查。

4) 在控制板上应依据布置图安装元器件,并按电气控制原理图上的符号,在各电器元件的醒目处,贴上符号标志。

5) 所有的控制开关、安装的控制设备和各种保护电器元件,都应垂直安装或竖直放置,断路器和电磁开关以及插入式熔断器等应装在振动不大的地方。

6) 板前布线工艺应注意:

① 布线通道尽可能少,同路并列的导线按主、控制电路分类集中,单层密排,紧贴安装面布线。

② 同一平面导线不能交叉,非交叉不可时只能在另一导线因进入接点而抬高时,从其下空隙穿越。

③ 布线要横平竖直,弯成直角,分布均匀和便于检修。

④ 布线次序一般是以接触器为中心,由里向外,由低至高。先控制电路,后主电路,主电路和控制电路上下层次分明,以不妨碍后续布线为原则。

7) 接头、接点处理应做到:

① 给剥去绝缘层的线头两端套上标有与原理图编号相符的号码套管。

② 不论是单股芯线还是多股芯线的线头,插入连接端的针孔时,必须插入到底。多股导线要绞紧,同时导线绝缘层不得插入接线板的针孔,而且针孔外侧导线裸露不能超过心线外径。螺钉要拧紧不可松脱。

8) 线头与平压式接线桩的连接应注意:

① 单股芯线的线头连接时,将线头按顺时针方向弯成平压圈,导线裸露不超过导线心线外径。

② 软线头绞紧后以顺时针方向,圈绕螺钉一周后,回绕一圈,端头压入螺钉。外露裸导线,不超过所使用导线的芯线外径。

③ 每个电器元件上的每个接点不能超过两个线头。

9) 控制板与外部连接应注意:

① 控制板与外部按钮、行程开关、电源负载的连接应穿护线管,且连接线用多股软铜线。电源负载也可用橡皮电缆连接。

② 控制板或配电箱内的电器元件布局要合理,这样既便于接线和维修,又保证安全和整齐好看。

二、塑料槽板布线工艺规定

1) 较复杂的电气控制设备还可采用塑料槽板布线,槽板应安装在控制电路板上,要横平竖直。

2) 槽板拐弯的接合处应呈直角,要结合严密。

3) 将主电路和控制电路导线自由布放到槽内,将接线端的线头从槽板侧孔穿出至电气控制设备、电器元件的接线柱,布线完毕后将槽盖板扣上,槽板外的引线也要力求完美、整齐。

4) 导线选用应根据设备容量和设计要求,采用单股芯线或多股软芯线均可。

5) 接头、接点工艺处理均按板前布线安装要求进行。

三、线束布线工艺规定

- 1) 较复杂的电力拖动控制设备,按主电路和控制路线走向分别排成线束。
- 2) 线束中每根导线两端分别套上与原理图相同的导线编号。
- 3) 从线束中到各接线柱,均应横平竖直、弯成直角,接头、接点工艺处理按板前布线安装的要求进行。

四、电动机基本控制电路的安装步骤

安装电动机的基本控制电路,一般应按以下步骤进行:

- 1) 识读电路图,明确电路所用电器元件及其作用,熟悉电路的工作原理。
- 2) 根据电路图和元器件明细表配齐电器元件,并进行质量检验。
- 3) 根据电器元件选配安装工具和控制板。
- 4) 根据电路图绘制布置图和接线图,然后按要求在控制板上固装电器元件(电动机除外),并贴上醒目的文字符号。
- 5) 根据电动机的功率大小选配主电路导线的截面积。
- 6) 根据接线图布线,同时将剥去绝缘层的两端线头套上标有与电路图相一致编号的编码套管。
- 7) 安装电动机。
- 8) 连接电动机和所有电器元件金属外壳保护接地线。

5.1.4 三相异步电动机的起动控制电路

一、星—三角减压起动控制电路

星—三角减压起动控制电路如图 5-8 所示,控制过程如下:

按下 SB_2 → 线圈 KM_1 、 KM_3 、 KT 得电 → 电动机 M 星形起动(延时一段时间) → 线圈 KM_3 失电(解除互锁) → 线圈 KM_2 得电、线圈 KT 失电 → 电动机 M 三角形运行。

二、自耦变压器减压起动控制电路

自耦变压器减压起动控制电路如图 5-9 所示。

工作过程是:合上电源开关,按下起动按钮 SB_2 ,接触器 KM_1 线圈和时间继电器 KT 线圈通电, KT 瞬时动作的常开触头闭合自锁,接触器 KM_1 主触头闭合将电动机定子绕组经自耦变压器接至电源,开始减压起动。时间继电器经过一定时间延时后,其延时常开触头闭合,其延时常闭触头打开,使接触器: KM_1 线圈断电, KM_1 主触头断开,从而将自耦变压器从电网上切除,而延时常开触头闭合,使接触器 KM_2 线圈通电,于是电动机接到电网运行,完成了整个起动过程。

即按下 SB_2 → KM_1 和 KT 线圈得电(自锁) → M 减压起动 → 延时一定时间 → KA 线圈得电, KM_1 线圈失电 → KM_2 线圈得电 → M 全压起动。

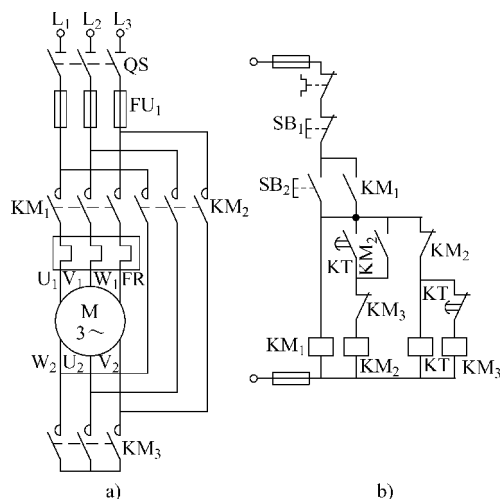


图 5-8 星—三角减压起动控制电路

a) 主电路 b) 控制电路

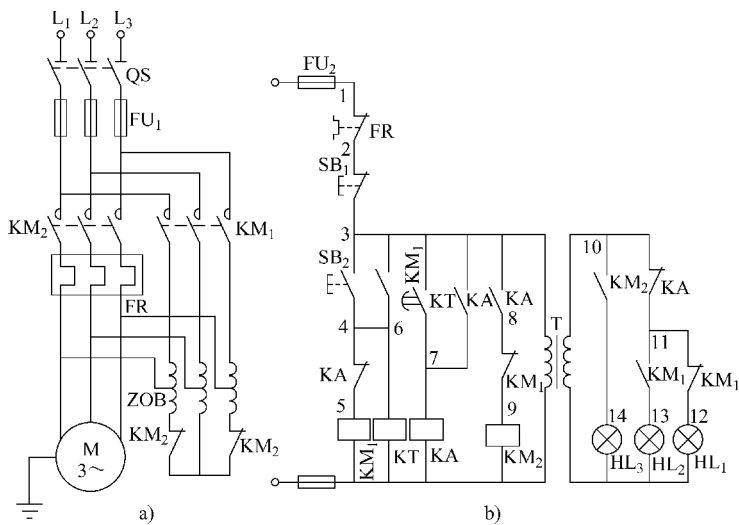


图 5-9 自耦变压器减压起动控制电路
a) 主电路 b) 控制电路

5.1.5 三相异步电动机的制动控制电路

三相异步电动机的电气制动方法有能耗制动、反接制动等，这些制动方法各有特点，适用不同的场合。

一、电动机单向反接制动控制电路

如图 5-10 所示，图中 KM_1 是正向运行接触器， KM_2 是反接制动接触器， KS 是速度继电器。

电路的控制过程如下：

1) 按下 SB_2 ， KM_1 线圈得电且自保持，电动机正转。当电动机正转时，速度继电器 KS 常开触头闭合，为制动做好准备，同时 KM_2 因与 KM_1 互锁，不能得电。

2) 按下 SB_1 ，线圈 KM_1 失电， KM_1 主触头打开，电动机失电；松开 SB_1 ，电动机依靠惯性仍然在正转，通过 SB_1 、 KS 闭合的常开触头、 KM_1 常闭触头，使线圈 KM_2 得电，电动机定子电源反相序，反接制动，转速下降，当转速接近零速时， KS 闭合的常开触头断开 KM_2 断电释放，反接制动结束。

即按 $SB_1 \rightarrow KM_1$ 线圈失电（解除互锁） $\rightarrow KM_2$ 线圈得电（ KS 接通） $\rightarrow M$ 反接制动—转速逐渐降至零（ KS 断开） $\rightarrow KM_2$ 线圈失电 $\rightarrow M$ 停车。

二、电动机单向运行制动控制电路

如图 5-11 所示，图中 KM_1 是正向运行接触器， KM_2 是能耗制动接触器，变压器和整流

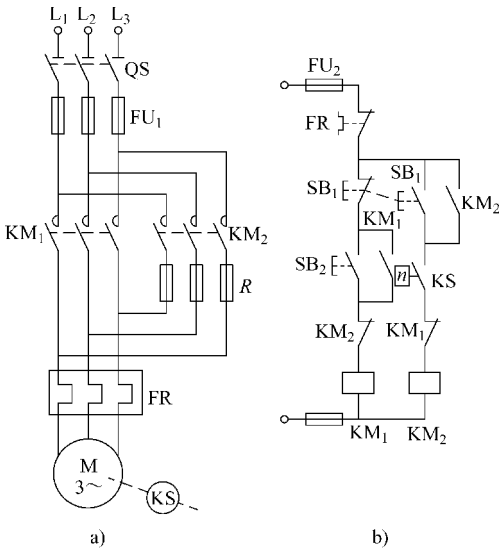


图 5-10 电动机单向反接制动控制电路
a) 主电路 b) 控制电路

桥提供能耗制动的直流电源。

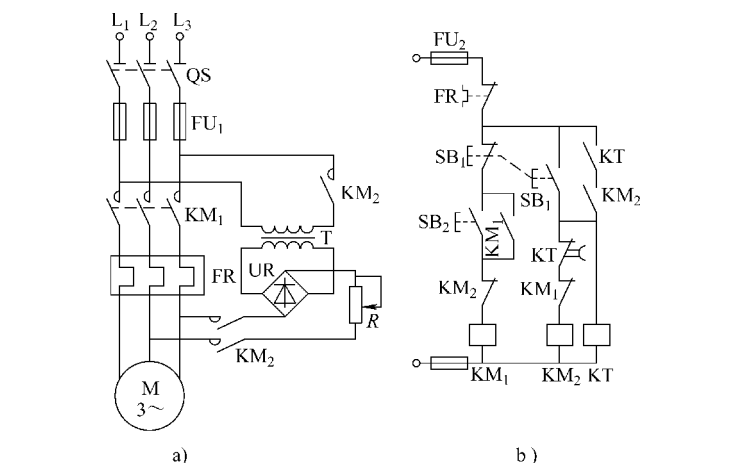


图 5-11 电动机单向运行能耗制动控制电路

a) 主电路 b) 控制电路

1) 按动 SB_2 , KM_1 线圈得电且自保持, 电动机运转。

2) 欲使电动机停止, 可以按下 SB_1 , KM_1 线圈失电, 同时 KM_2 线圈得电, 然后 KT 线圈得电, KM_2 的主触头闭合, 经整流后的直流电压通过限流电阻 R 加到电动机两相绕组上, 使电动机制动。制动结束, 时间继电器 KT 延时触头动作, 使 KM_2 与 KT 线圈相继失电, 整个电路停止工作, 电动机停车。

即按 $SB_1 \rightarrow KM_1$ 线圈得电 $\rightarrow KM_2$ 、 KT 线圈得电 $\rightarrow M$ 能耗制动 (延时一定时间) $\rightarrow KM_2$ 、 KT 线圈失电 $\rightarrow M$ 停车。

三、电动机可逆运行能耗制动控制电路

如图 5-12 所示, 图中 KM_1 是正向运行接触器, KM_2 是反向运行接触器, KM_3 是能耗制动接触器, 变压器和整流桥提供能耗制动的直流电源。

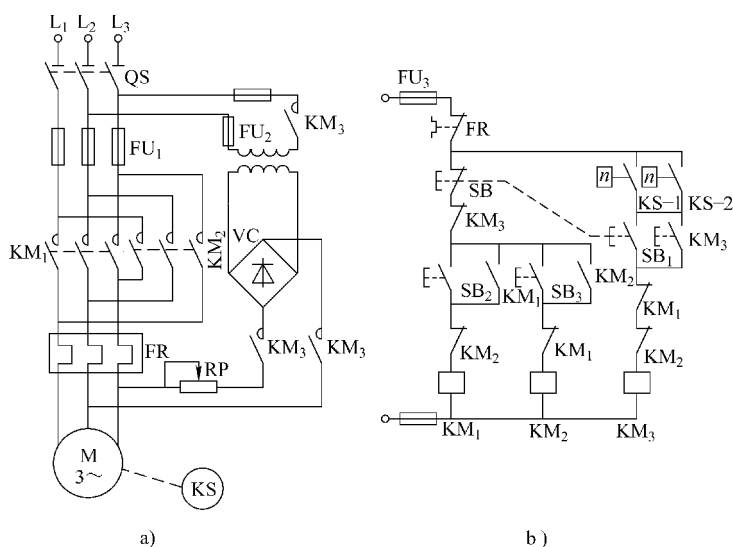


图 5-12 速度原则控制电动机可逆运行能耗制动电路

其控制过程如下:

1) 按下 SB_2 , KM_1 线圈得电且自保持, 电动机正转。当电动机正转时, 速度继电器 KS 的正向常开触头 $KS-1$ 闭合, 反向常开触头 $KS-2$ 打开, 为制动做好准备, 同时 KM_2 因与 KM_1 互锁, 不能得电。

2) 按下 SB_1 , KM_1 线圈失电, KM_1 主触头打开, 电动机失电; 松开 SB_1 , 电动机依靠惯性仍然在正转, 通过 SB_1 、 $KS-1$ 常开触头、 KM_1 常闭触头、 KM_2 常闭触头、使 KM_3 得电, 电动机定子接直流电源, 能耗制动, 转速下降, 当转速接近零速时, $KS-1$ 闭合的常开触头断开, KM_3 断电释放, 能耗制动结束。同理, 可分析反转时的制动。

即按 $SB_1 \rightarrow KM_1$ 线圈失电 (解除互锁) $\rightarrow KM_3$ 线圈得电 ($KS-1$ 接通) $\rightarrow M$ 能耗制动 $\rightarrow$ 转速逐渐降至零 ($KS-1$ 断开) $\rightarrow KM_3$ 线圈失电 $\rightarrow M$ 停车。

5.1.6 常用电动机控制电路的检修

电动机控制电路发生故障时, 应参考电气设备的电气原理图, 再按如下步骤, 层层故障发现, 直到排除:

1. 问

机床发生故障后, 首先应向操作者了解故障发生的前后情况, 有利于根据电气设备的工作原理来分析发生故障的原因。一般询问的内容有: 故障发生在开车前、开车后, 还是发生在运行中自行停车, 或者是发现异常情况由操作者停下来的; 发生故障时, 机床工作在什么工作顺序, 按动了哪个按钮, 扳动了哪个开关; 故障发生前后, 设备有无异常现象 (如响声、气味、冒烟或冒火等); 以前是否发生过类似的故障, 是怎样处理的等。

2. 看

熔断器内熔丝是否熔断, 其他元器件有无烧坏、发热、断线, 导线连接螺钉有否松动, 电动机的转速是否正常。

3. 听

电动机、变压器和有些元器件在运行中声音是否正常, 可以帮助寻找故障的部位。

4. 摸

电动机、变压器和元器件的线圈发生故障时, 温度显著上升, 可切断电源后用手去触摸。

5.1.7 单元自测题

1. 电动机基本控制电路是如何安装的?
2. 三相异步电动机的起动、制动控制电路的一般过程是怎样的?
3. 在电动机控制电路检修时, 应遵循怎样的过程?

5.2 典型生产设备电气控制及常见故障分析

5.2.1 C6140 型车床控制电路与检修

在金属切削机床工作中, 车床所占的比例最大、应用最广泛。它能完成车削内圆、外

圆、端面、螺纹、钻孔、镗孔、倒角、割槽及切断等加工工序。车床加工的基本运动是主轴通过卡盘或顶尖带动工件旋转，溜板带动刀架做直线运动。

CA6140 型车床是我国自行设计制造的新型车床。它性能优越，结构先进，操作方便，外形美观，已得到广泛的应用。CA6140 型车床的电气控制电路可分为主电路、控制电路及照明电路 3 部分，如图 5-13 所示。

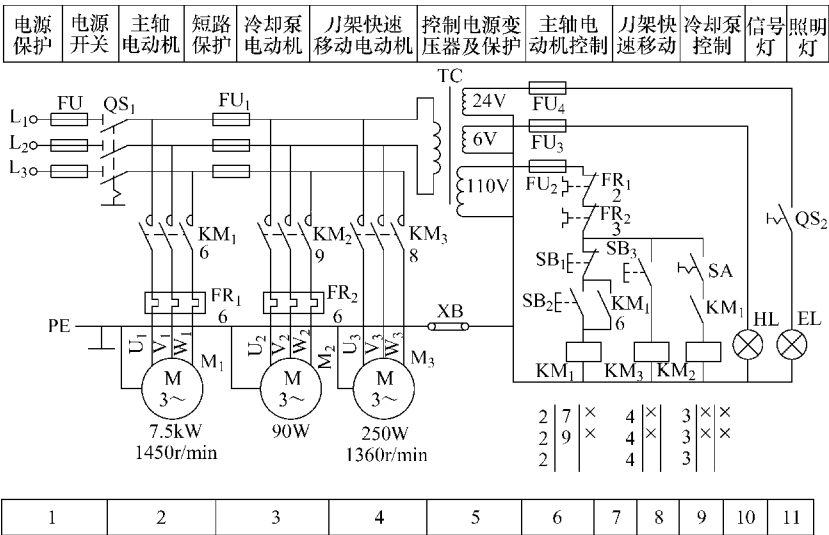


图 5-13 CA6140 型车床的电气控制电路图

1. 主电路分析

主电路有 3 台电动机， M_1 为主轴电动机， M_2 为冷却泵电动机， M_3 为刀架快速移动电动机，这 3 台电动机的功率都小于 10kW，全部采用全压直接起动、停止控制，主轴的正反转也是由摩擦离合器实现的。 M_2 、 M_3 两台电动机的功率小于 5.5kW。 M_1 、 M_2 为长期运转的电动机，分别采用热继电器实现过载保护。 M_3 为短期工作电动机，故未设过载保护。 FU_1 熔断器作为 M_2 、 M_3 的短路保护，主轴电动机 M_1 靠车间配电箱内熔断器 FU 作为总的短路保护。 FR_1 和 FR_2 的发热元件分别串接在 M_1 和 M_2 的主电路中。

2. 控制电路分析

控制电路的电源由控制变压器 TC 二次侧输出 110V 电压提供。主轴电动机的控制采用了具有过载保护全压起动控制的典型环节。冷却泵电动机的控制采用的是两台电动机联锁（顺序控制）的典型控制环节。

它满足了生产的要求使主轴电动机起动后，冷却泵电动机才能起动。当 M_1 停止运行时， M_2 也自动停止。刀架的快速移动电动机采用的是点动控制环节，其刀架运动的方向由操作手柄控制。控制电路的短路保护由 FU_2 完成。

3. 照明、信号灯电路分析

控制变压器 TC 的二次侧分别输出 24V 和 6V 电压，作为机床照明灯和信号灯的电源。EL 为机床的低压照明灯，由开关 QS_2 控制；HL 为电源的信号灯。它们分别采用 FU_4 和 FU_3 作为短路保护。

4. 操作过程

合上电源开关 QS_1 ，电源指示灯 HL 亮，合上开关 QS_2 ，照明灯 EL 亮。这时已为车床工作做好了准备，只需按动 SB_2 起动按钮，线圈 KM_1 得电，其所有常开触头闭合，其中主触头闭合，主轴电动机 M_1 起动运转； KM_1 自锁触头闭合自锁； KM_1 联锁触头闭合，为冷却泵电动机起动做好准备。这时若需要冷却液冷却，只需按开关 SA， KM_2 继电器线圈得电，其主触头闭合， M_2 起动运转。若要使刀架快速移动，只要按 SB_3 按钮，就可点动控制刀架的移动。工作结束时只要断开 QS_1 电源开关，即可关停所有电动机。

电气设备的故障检修包含检测和修理。检测的目的是判断故障的部位，修理是对故障部位进行修复。为了能尽快地完成检修任务，检修人员必须具有敏锐的观察力、正确的逻辑思维和综合判断能力。此外，对工作原理的熟悉和丰富的工作经验对快速准确地判断故障起着关键的作用。下面就 CA6140 型车床出现的几种故障进行分析。

(1) 主轴电动机 M_1 不能起动

造成这种故障的可能原因有：电源故障、主电路故障和控制电路故障。

1) 检查电源。在合上 QS_1 后看 HL 是否点亮。若亮，则再按 SB_3 按钮点动控制 M_3 电动机看是否正常。若正常，则说明电源没问题；反之，应详细检查电源电路。

2) 主接触器 KM_1 吸合情况检查。在电源正常情况下，点按 SB_2 看 KM_1 吸合是否正常。如果吸合，就有响亮而清脆的“咔嚓”声，如果这时电动机不起动，就应立即按 SB_1 停止按钮，以免造成电动机的损坏。这时可基本断定造成 M_1 不能起动的原因为主电路中，或是断相或是 KM_1 主触头接触不良。这时，可先拆除 M_1 的接线，分别用万用表测量 KM_1 主触头进、出线上的三相电压及电动机 M_1 的三相绕组的电阻来确定故障部位。若接触器 KM_1 不吸合，则故障检查重点应放在控制电路中各触头的接触情况及电磁线圈是否断线。

(2) 主轴电动机 M_1 只能点动

按下 SB_2 ， M_1 能起动，但放开 SB_2 ， M_1 又停转，则问题多在 KM_1 的自锁触头或其连接线路接触不良。

(3) 主轴电动机在运行过程中自动停转

先检查热继电器 FR_1 、 FR_2 的状况。电动机在运行过程中自动停止的故障通常是热继电器动作所致。这时，可在电动机运行时，用钳形电流表测量电动机 M_1 及 M_2 的定子电流，而后判断发生故障的原因，并进行排除。

1) 若电动机电流达到或超过额定值的 120%，则电动机为过载运行，应减小负载。

2) 若电动机定子电流接近或稍大于额定值，使热继电器动作，这是因为电动机运行时间过长、环境温度过高或机床有振动的缘故，从而使热继电器产生误动作。

3) 若电动机定子电流小于额定值，则可能是热继电器的整定值过小。这时可拆下热继电器，送有关部门进行校验。

(4) 一按起动按钮熔丝即熔断

这种故障往往是电路短路或电动机短路所致。可切断总电源，拆去电动机 M_1 、 M_2 接线盒中的连接导线（注意：自始至终要确保设备无电），进行检查。

1) 对地短路故障点的检查。用绝缘电阻表测量电路对地和线间的绝缘电阻，发现短路点后修复。要求所检查的线段到接触器 KM_1 及熔断器 FU_2 的进线处为止。

2) 电动机转子是否堵转的检查。电动机转子堵转也能造成电源熔丝在电动机起动瞬间

立即熔断。检查时先切断电源，再用人工转动电动机转轴。电动机应能转动。若纹丝不动，则为电动机转子卡死或传动机构卡死。若传动机构卡死。则应由钳工修理。电动机转子本身卡死（卧式车床用的电动机都用滚动轴承，所以卡死可能性不大，但对于采用滑动轴承的其他设备，则有可能使电动机转轴卡死），其原因大多是因为轴承磨损或滚珠碎裂后造成的，可拆开电动机，更换轴承。

3) 电动机定子绕组是否短路的检查。电动机短路故障的检测及修理方法可参考电动机一章的有关内容。

(5) 主轴电动机不能停转

车床需要停车时，按下停止按钮。主轴电动机不能停转，故障原因一般是接触器的 3 对主触头熔焊造成。这时只有切断电源开关，电动机才能停转。这种故障只有更换触头或接触器才能修复。

其他电路的故障检查方法与上述大同小异。只要熟练掌握和领会上述的检修过程，其他故障一般都可解决。

5.2.2 Z3040 型摇臂钻床控制电路

钻床是一种用途广泛的通用机床，有立式钻床、卧床钻床、深孔钻床、多钻头钻床及专用钻床等。钻床用于钻孔、扩孔、铰孔及攻螺纹等基本加工。增加某些辅助设备，还可以镗孔。Z3040 型摇臂钻床是最常用的立式钻床，适用于成批生产加工多种孔径的大型零件。如图 5-14 所示为 Z3040 型摇臂钻床的电气控制电路。图中 M_1 为主轴电动机， M_2 为摇臂升降电动机， M_3 为液压泵电动机， M_4 为冷却泵电动机。

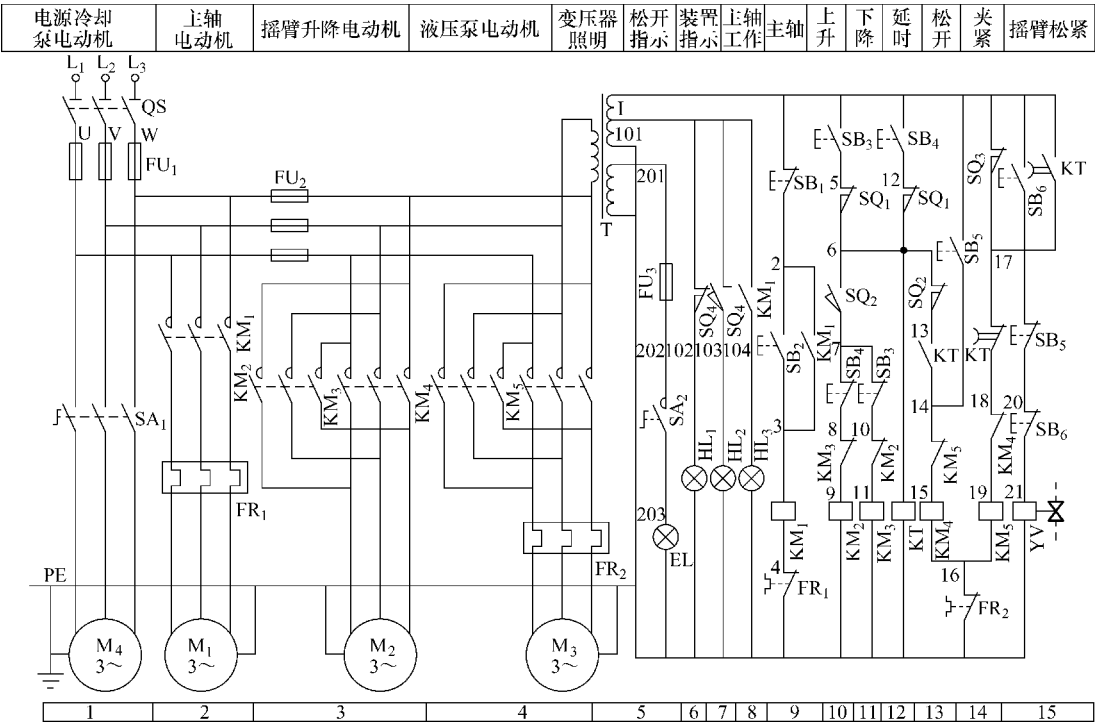


图 5-14 Z3040 型摇臂钻床电气控制电路

主轴箱上装有4个按钮SB₂、SB₁、SB₃与SB₄，它们分别是主电动机起动、停止按钮，摇臂上升、下降按钮。主轴箱转盘上的两个按钮SB₅、SB₆分别为主轴箱及立柱松开按钮和夹紧按钮。转盘为主轴箱左右移动手柄，操纵杆则操纵主轴的垂直移动，两者均为手动。主轴也可进给。

1. 主电路分析

三相电源由低压隔离开关QS控制。

M₁为单向旋转，由接触器KM₁控制。主轴的正反转是由另一套主轴电动机拖动齿轮泵送出液压油的液压系统，经“主轴变速、正反转及空档”操作手柄来获得的。M₁由热继电器FR₁作过载保护。M₂由正反转接触器KM₂、KM₃控制实现正反转，因摇臂移动是短时的，不用设过载保护，但其与摇臂的放松与夹紧之间有一定的配合关系，这由控制电路去保证。

M₃由接触器KM₄、KM₅控制实现正反转，设有热继电器FR₂作过载保护。

M₄的功率较小，由开关SA₁控制其起动和停止。

2. 控制电路分析

(1) 主轴电动机控制

由按钮SB₂、SB₁与接触器KM₁构成主轴电动机起动—停止控制电路，M₁起动后，指示灯HL₃亮，表示主轴电动机在旋转。

(2) 摇臂升降及夹紧、放松控制

摇臂钻床工作时摇臂应夹紧在外立柱上，发出摇臂移动信号后必须先松开夹紧装置，当摇臂移动到位后，夹紧装置再将摇臂夹紧。该电路能自动完成这一过程。

由摇臂上升按钮SB₃、下降按钮SB₄及正反转接触器KM₂、KM₃组成具有双重联锁的电动机正反转点动控制电路。由于摇臂的升降控制必须与夹紧机构液压系统密切配合，所以与液压泵电动机的控制密切相关。液压泵电动机正反转由正反转接触器KM₄、KM₅控制，拖动双向液压泵，送出液压油，经二位六通阀送至摇臂夹紧机构实现夹紧与放松。下面以摇臂上升为例分析摇臂升降及夹紧、放松的控制。

按下摇臂上升点动按钮SB₃，时间继电器KT通电吸合，瞬动常开触头KT(13—14)、KT(1—17)闭合，前者使KM₄线圈通电吸合，后者使电磁阀YV线圈通电。于是液压泵电动机M₃正转起动，拖动液压泵送出液压油，经二位六通阀进入摇臂松开油腔，推动活塞和菱形块，使摇臂松开。同时，活塞杆通过弹簧片压动行程开关SQ₂，其常闭触头SQ₂(6—13)断开，接触器KM₄断电释放，液压泵电动机停止旋转，摇臂维持在松开状态；SQ₂常开触头SQ₂(6—7)闭合，使KM₂线圈通电吸合，摇臂升降电动机M₂起动旋转，拖动摇臂上升。当摇臂上升到预定位置，松开上升按钮，KM₂、KT线圈断电，M₂依惯性旋转至停止，摇臂停止上升。经延时一定时间后，KT(17—18)闭合，KM₅线圈通电，使液压泵电动机M₃反转，触头KT(1—17)断开，电磁阀YV断电。送出的液压油经另一条油路流入二位六通阀，再进入摇臂夹紧油腔，反向推动活塞与菱形块，使摇臂夹紧。值得注意的是，在KT断电延时的1~3s时间内，KM₅线圈仍处于断电状态，而YV仍处于通电状态，这段延时就确保了横梁升降电动机在断开电源后依惯性旋转经1~3s完全停止旋转后，才开始摇臂的夹紧动作，所以KT延时长短依M₂电动机切断电源到完全停止的惯性大小来调整。

当摇臂夹紧后, 活塞杆通过弹簧片压动行程开关 SQ_3 , 使 SQ_3 (1—17) 断开, KM_5 线圈断电, M_3 停止旋转, 摇臂夹紧完成。摇臂夹紧的行程开关 SQ_3 应调整到摇臂夹紧后能够动作, 若调整不当, 摇臂夹紧后仍不能动作, 会使液压泵电动机 M_3 长期工作而超载。为防止由于长期超载而损坏液压泵电动机, 电动机 M_3 虽短时运行, 也仍采用热继电器作过载保护。

摇臂升降的极限保护由组合开关 SQ_1 实现。 SQ_1 有两对常闭触头, 当摇臂上升或下降到极限位置时相应常闭触头断开, 切断对应的上升或下降接触器 (KM_2 或 KM_3) 线圈电路, 使 M_2 停止, 摇臂停止移动, 实现极限位置保护。此时可按下反方向移动起动按钮, 使 M_2 反向旋转, 拖动摇臂反向移动。

(3) 主轴箱与立柱的夹紧、放松控制

立柱与主轴箱均采用液压操纵夹紧与放松, 两者是同时进行的, 工作时要求二位六通阀 YV 不通电。松开与夹紧分别由松开按钮 SB_5 和夹紧按钮 SB_6 控制, 指示灯 HL_1 、 HL_2 指示其动作。

按下松开按钮 SB_5 时, KM_4 线圈通电吸合, 电动机 M_3 正转, 拖动液压泵送出液压油, 此时电磁阀线圈 YV 不通电, 其提供的高压油经二位六通电磁阀到另一条油路, 进入立柱与主轴箱松开油腔, 推动活塞和菱形块使立柱和主轴箱同时松开。当立柱与主轴箱松开后, 行程开关 SQ_4 不受压而复位, 触头 SQ_4 (101—102) 闭合, 指示灯 HL_1 亮, 表明立柱与主轴箱已松开。于是可以手动操作主轴箱在摇臂的水平导轨上移动。当移动到位。按下夹紧按钮 SB_6 时, KM_5 线圈通电吸合, M_3 电动机反转, 拖动液压泵送出液压油至夹紧油腔, 使立柱与主轴箱同时夹紧。当确已夹紧, 压下 SQ_4 , 触头 SQ_4 (101—102) 断开, HL_1 灯灭, 触头 SQ_4 (101—103) 闭合, HL_2 灯亮, 指示立柱与主轴箱均已夹紧, 可以进行钻削加工。

(4) 冷却泵电动机 M_4 的控制

M_4 电动机由开关 SA_1 手动控制, 进行单向旋转。

(5) 联锁与保护环节

SQ_1 行程开关实现摇臂上升与下降的限位保护。 SQ_2 行程开关实现摇臂松开到位, 开始升降的联锁。 SQ_3 行程开关实现摇臂完全夹紧, 液压泵电动机 M_3 停止运转的联锁。 KT 时间继电器实现升降电动机 M_2 断开电源、待 M_2 停止后再进行夹紧的联锁。 M_2 电动机正反转具有双重联锁, M_3 电动机正反转具有电气联锁。

SB_5 、 SB_6 立柱与主轴箱松开、夹紧按钮的常闭触头串接在电磁阀 YV 线圈电路中, 实现立柱与主轴箱松开、夹紧操作时, 液压油只进入立柱与主轴箱夹紧油腔而不进入摇臂夹紧油腔的联锁。

熔断器 $FU_1 \sim FU_5$ 实现电路的短路保护。热继电器 FR_1 、 FR_2 为电动机 M_1 、 M_3 的过载保护。

3. 照明与信号指示电路分析

HL_1 为主轴箱与立柱松开指示灯, 灯亮表示已松开, 可以手动操作主轴箱沿摇臂移动或推动摇臂回转。

HL_2 为主轴箱与立柱夹紧指示灯, 灯亮表示已夹紧, 可以进行钻削加工。

HL_3 为主轴旋转工作指示灯口 EL 机床局部照明灯, 出控制变压器 TC 供给 24V 安全电压, 由手动开关 SA_2 控制。

5.2.3 M7120 型平面磨床电气控制电路

在工业生产与设备加工中，M7120 型平面磨床也是使用较为广泛的设备。接下来我们将讲述 M7120 的电路分析，如图 5-15 所示。

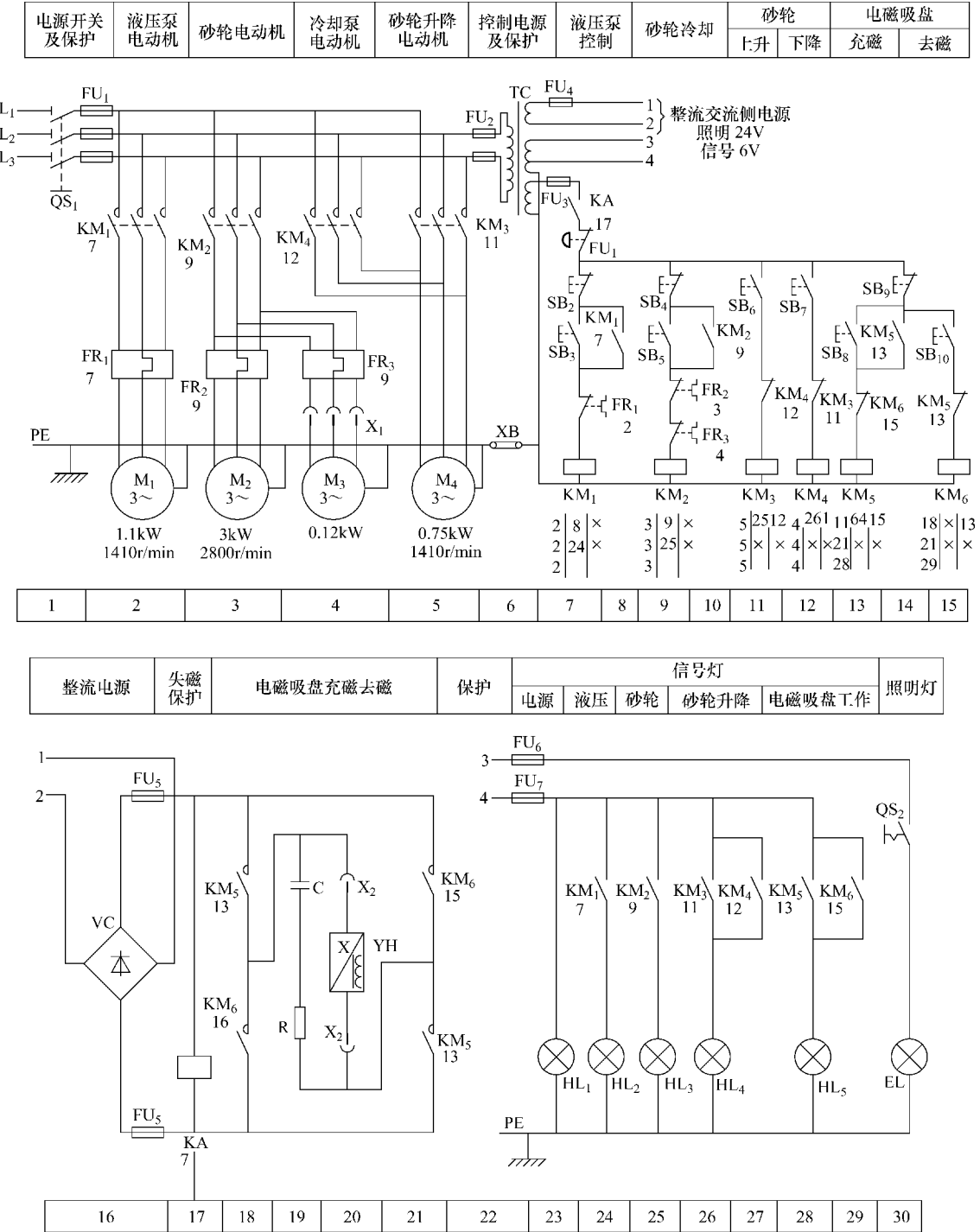


图 5-15 M7120 型平面磨床电气控制电路

1) 液压泵电动机 M_1 的控制。合上开关 QS_1 ，欠电压继电器 KA 加正常电压吸合， KA 的常开触头闭合，按下起动按钮 SB_3 ，接触器 KM_1 线圈通电吸合， KM_1 主触头闭合，电动机 M_1 转动。按下停止按钮 SB_2 ， KM_1 断电释放，电动机 M_1 停止转动。

2) 砂轮电动机 M_2 及冷却泵电动机 M_3 的控制。按下起动按钮 SB_5 ，接触器 KM_2 线圈通电吸合， KM_2 主触头闭合，电动机 M_2 和 M_3 同时通电转动。按下 SB_4 ，电动机 M_2 和 M_3 断电停转。

3) 砂轮升降电动机 M_4 的控制。电动机 M_4 的控制为正、反向点动控制。按下起动按钮 SB_6 ，接触器 KM_3 线圈通电吸合， KM_3 主触头闭合，电动机 M_4 正向转动，砂轮上升。按下起动按钮 SB_7 ，接触器 KM_4 线圈通电吸合，控制电动机 M_4 反向转动，砂轮下降。

4) 电磁吸盘控制。按下 SB_8 ，接触器 KM_5 线圈通电吸合， KM_5 常开触头闭合，电磁吸盘通电充磁，吸住工件，按下 SB_9 ，断开充磁电路， KM_5 断电释放，按下 SB_{10} ，接触器 KM_6 、线圈通电吸合， KM_6 常开触头闭合，电磁吸盘通反向电流去磁，因为去磁时间较短，所以采用点动控制。

5) 照明和指示灯控制。照明灯 EL ，电压为 24V，由隔离开关 QS 控制。

HL_1 是电源指示灯； HL_2 是电动机 M_1 工作指示灯； HL_3 是电动机 M_2 工作指示灯； HL_4 是电动机 M_4 工作指示灯； HL_5 是电磁吸盘工作指示灯。

5.2.4 常用机床电气控制电路的故障检修

一、C6140 型车床控制电路故障检修（见表 5-1）

表 5-1 C6140 型车床控制电路故障检修表

故障现象	可能原因	检修对象
电动机 M_1 、 M_2 、 M_3 全部不能起动	FU 断路， QS_1 接触不良，变压器 TC 损坏； FU_1 断路； FU_1 断路； FR_1 、 FR_2 接触不良；0 号线断路	TC ； FU_2 ； FU_1 ； FR_1 、 FR_2
主轴电动机 M_1 不能起动	KM_1 主触头接触不好； FR_1 主触头断路；主轴电动机 M_1 烧毁，控制电路中 SB_1 接触不良； SB_2 接触不好； KM_1 线圈损坏	SB_1 ； SB_2 ； KM_1 主触头；主轴电动机 M_1
主轴电动机 M_1 起动后，冷却泵电动机 M_2 不起动	主电路中 KA_1 触头接触不好； FR_2 主触头断路；冷却泵电动机 M_2 烧毁， QS_2 接触不良；8 号线、9 号线间的 KM_1 接触不良； KA_1 线圈损坏	主电路中 KA_1 触头；冷却泵电动机 M_2 ；8 号线、9 号线间 KM_1 触头
工作台不能快速移动（ M_3 不能起动运转）	主电路中 KA_2 触头接触不良；工作台快速移动电动机 M_3 烧毁； SB_3 接触不良， KA_2 线圈损坏	主电路中 KA_2 触头； SB_3
机床无工作照明	FU_4 断； SA 接触不良； EL 损坏； TC 损坏	FU_4 ； EL ； SA

二、Z0304 型摇臂钻床电气控制电路的检修（见表 5-2）

表 5-2 Z3040 型摇臂钻床电气控制电路故障检修表

故障现象	故障出现的范围或故障点	重点检测对象或检测点
所有电动机都不能起动	无电源电压；电源总开关 QF ₁ 损坏；断路器 QF ₂ 损坏；控制变压器 TC 损坏；断路器 QF ₃ 损坏；15 区停止按钮 SB ₇ 常闭触头接触不良；起动按钮 SB ₁ 常开触头压合接触不良；欠电压继电器 KV 线圈损坏；16 区 KV 常开触头不能自锁	电源开关 QF ₁ ；自动空气开关 QF ₂ ；15 区停止按钮 SB ₇ 常闭触头
主轴电动机 M ₁ 不能起动	接触器 KM ₁ 主触头闭合接触不良；热继电器 FR ₁ 主通路有断点；主轴电动机 M ₁ 绕组有问题；主轴电动机 M ₁ 起动按钮 SB ₂ 常开触头压合接触不良；停止按钮 SB ₈ 常闭触头接触不良；接触器 KM ₁ 线圈损坏，热继电器 FR ₁ 辅助触头接触不良	主轴电动机 M ₁ 绕组；接触器 KM ₁ 主触头；停止按钮 SB ₈ 常闭触头，热继电器 FR ₁ 辅助触头
摇臂不能上升	接触器 KM ₂ 触头闭合不好；摇臂升降电动机 M ₂ 绕组有问题（此时摇臂不能下降）；20 区按钮 SB ₂ 常开触头压合接触不良；行程开关 SQ ₁₋₁ 常闭触头接触不良；行程开关 SQ ₂ 常开触头压合接触不良（此时摇臂不能下降）；20 区按钮 SB ₄ 常闭触头接触不良；接触器 KM ₃ 常闭触头接触不良，接触器 KM ₃ 线圈损坏（其他原因同液压泵电动机 M ₃ 不能正转起动）	接触器 KM ₂ 主触头，摇臂升降电动机 M ₂ 绕组，行程开关 SQ ₁₋₁ 常闭触头；按钮 SB ₄ 常闭触头；20 区接触器 KM ₃ 常闭触头；行程开关 SQ ₂ 常开触头
摇臂不能下降	接触器 KM ₃ 主触头闭合接触不良；摇臂下降起动按钮 SB ₃ 压合接触不良，行程开关 SQ ₁₋₂ 接触不良，按钮 SB ₃ 常闭触头接触不良；接触器 KM ₂ 常闭触头接触不良，接触器 KM ₃ 线圈损坏（其他见液压泵电动机 M ₃ 不能定转起动）	接触器 KM ₃ 主触头，行程开关 SQ ₁₋₂ 常闭触头；按钮 SB ₃ 常闭触头；接触器 KM ₂ 常闭触头
液压泵电动机 M ₃ 不能正转起动（或摇臂不能放松）	热继电器 FR ₂ 主通路有断点；接触器 KM ₄ 主触头闭合接触不良；液压泵电动机 M ₃ 绕组有故障，22 区位置开关 SQ ₂ 常闭触头接触不良；时间继电器 KT ₁ 瞬时常开触头闭合接触不良；时间继电器 KT ₂ 瞬间常闭触头接触不良；接触器 KM ₄ 线圈损坏，热继电器 FR ₂ 辅助常闭触头接触不良	接触器 KM ₁ 主触头，液压泵电动机 M ₃ 绕组；22 区位置开关 SQ ₂ 常闭触头；时间继电器 KT ₁ 瞬时常开触头；时间继电器 KT ₂ 瞬时常闭触头；热继电器 FR ₂ 辅助常闭触头
液压泵电动机 M ₃ 不能反转（或摇臂不能夹紧）	接触器 KM ₅ 主触头接触不良；25 区位置开关 SQ ₃ 闭合接触不良；24 区时间继电器 KT ₁ 瞬时断开延时闭合常闭触头接触不良；接触器 KM ₄ 常闭触头接触不良；接触器 KM ₅ 线圈损坏	接触器 KM ₅ 主触头；25 区位置开关 SQ ₃ 常闭触头；24 区时间继电器 KT ₁ 瞬时断开延时闭合常闭触头，接触器 KM ₄ 常闭触头
主轴箱不能松开或夹紧	转换开关 SA ₂ 接触不良，电磁铁 YA ₁ 线圈损坏；26 区时间继电器 KT ₁ 瞬时常闭触头接触不良；起动按钮 SB ₅ 、SB ₆ 压合接触不良；时间继电器 KT ₂ 、KT ₃ 线圈损坏	电磁铁 YA ₁ 线圈；转换开关 SA ₂
冷却泵电动机 M ₄ 不能起动	转换开关 SA ₁ 闭合接触不良；冷却泵电动机 M 绕组有问题	冷却泵电动机 M ₄ 绕组

三、M7120 型平面磨床电气控制电路的检修（见表 5-3）

表 5-3 M7120 型平面磨床电气控制线路故障检修表

故障现象	可 能 原 因	检修对象
电动机 M ₁ 、M ₂ 、M ₃ 、M ₄ 全部不能起动	无电源电压；电源总开关 QS ₁ 接触不良，熔断器 FU ₁ 断路；熔断器 FU ₂ 断路；熔断器 FU ₄ 断路，整流器 VC 某一臂断路，熔断器 FU ₈ 断路；电压继电器 KV 线圈断路，熔断器 FU ₃ 断路；2 号线至 3 号线 KV 触头接触不良；总停止按钮 SB ₁ 接触不好；4 号线和 0 号线有断点	TC；FU ₂ ；FU ₁ ；FR ₁ 、FR ₂
液压泵电动机 M ₁ 不能起动或只有点动	停止按钮 SB ₂ 接触不好；起动按钮 SB ₃ 接触不良；热继电器 FR ₁ 有断点，KM ₁ 线圈断路，4 号线接至停止按钮 SB ₂ 导线断路，0 号线接至接触器 KM ₁ 线圈导线断路，KM ₁ 主触头接触不良，热继电器 FR ₁ 主电路断路，液压泵电动机 M ₁ 有问题；接触器 KM ₁ 自锁触点有问题	停止按钮 SB ₂ ；接触器 KM ₁ 主触头；液压泵电动机 M ₁ ；接触器 KN ₁ 自然触头
砂轮电动机 M ₂ 、冷却泵电动机 M ₃ 不能起动	停止按钮 SB ₄ 接触器不好；起动按钮 SB ₅ 接触不好；热继电器 FR ₂ 、FR ₃ 常用触头断路，接触器 KM ₂ 线圈断路，4 号线至 SB ₄ 导线断路；0 号线至接触器 KM ₂ 线圈的导线断路；KM ₂ 主触头接触不良	接触器 KM ₂ 主触头；SB ₄ 常闭触头；热继电器 FR ₂ 、FR ₃
M ₂ 、M ₃ 只能点动	8 号线至 9 号线接触器 KM ₂ 自锁触头接触不良	接触器 KM ₂ 自锁触头
砂轮不能上升	砂轮上升按钮 SB ₆ 接触不良；12 号线至 13 号线 KM ₄ 常闭触头接触不良，接触器 KM ₃ 线圈断路；4 号线至 SB ₆ 导线断路；0 号线至接触器 KM ₃ 线圈导线断路；KM ₃ 主触头接触不良	砂轮上升按钮 SB ₆ ；12 号线至 13 号线 KM ₄ 常闭触头
砂轮不能下降	砂轮下降按钮 SB ₇ 接触不良；14 号线至 15 号线 KM ₃ 常闭触头接触不良；接触器 KM ₄ 线圈断路；4 号线至 SB ₇ 导线断路；0 号线至接触器 KM ₄ 线圈导线断路；KM ₄ 主触头接触不良	砂轮下降按钮 SB ₇ ；14 号线至 15 号线 KM ₃ 常闭触头
电磁吸盘无吸力	无电源电压，变压器 TC 损坏；熔断器 FU ₄ 断路；整流器 VC 损坏；熔断器 FU ₅ 断路；FU ₈ 断路；25 号线至 26 号线及 28 号线至 29 号线 KM ₅ 常开触头闭合不良；接插件 X ₂ 接触不良；电磁吸盘 YH 线圈断路	变压器 TC；熔断器 FU ₄ 、FU ₅ 、FU ₈ ；电磁吸盘 YH
电磁吸盘吸力不足	电源电压低，整流器 VC 某一臂二极管断路；电磁吸盘 YH 线圈有短路故障	整流器 VC；电磁吸盘 YH 线圈
电磁吸盘线圈容易造成对地击穿	电阻 R 损坏，电容器 C 损坏	电阻 R；电容器 C
整流二极管容易击穿损坏	电阻 R 损坏，电容器 C 损坏	电阻 R；电容器 C

5.2.5 单元自测题

1. C6140 型车床控制电路常出现哪些故障，如何检修？
2. Z3040 型摇臂钻床控制电路中电动机不能起动，原因有哪几种，如何检修？
3. M7120 型平面磨床控制电路中，导致砂轮不能上升的可能有哪几种？如何检修？



上架指导：工业技术 / 电工技术

◎ 封面设计 / 电脑制作：陈沛

地址：北京市百万庄大街22号

电话服务

社服务中心：(010)88361066

销售一部：(010)68326294

销售二部：(010)88379649

读者购书热线：(010)88379203

邮政编码：100037

网络服务

门户网：<http://www.cmpbook.com>

教材网：<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

ISBN 978-7-111-36861-8

定价：29.80元

ISBN 978-7-111-36861-8



9 787111 368618 >