

工程基础训练系列教材

机电基础实践

张文锦 主编



机械工业出版社

本书是教育部《面向 21 世纪高等工程教育实验和工程实践教学体系改革与实践》的研究成果，是工程基础训练系列教材之一。

从 21 世纪人才培养的要求出发，结合多年来的教学改革探索和研究，建立了本书的内容和体系。本书体现了注重实践、加强应用、拓宽知识面和建立工程背景的综合需求。

本书主要内容包括传统的非电专业电工电子实习和机电一体化技术在机械制造业中的应用概况。全书内容丰富、涉及面广。

该书可以满足高等院校非电专业进行电工电子实习和了解机电一体化技术在机械制造业中应用的要求，也可供其他专业选用。

图书在版编目 (CIP) 数据

机电基础实践/张文锦主编. —北京：机械工业出版社，2002.8
工程基础训练系列教材
ISBN 7-111-10758-6

I. 机... II. 张... III. 机电工程 - 教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 055860 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：韩雪清 王玉鑫 版式设计：冉晓华 责任校对：李秋荣

封面设计：陈沛 责任印制：路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·13.5 印张·334 千字

0 001—6 500 册

定价：20.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

封面无防伪标均为盗版

前 言

为了培养适应 21 世纪国民经济和社会发展需要的高级工程人才，高等工程教育必须同时建立两个优化的教学体系，一是优化的课程教学体系，二是优化的实验和工程实践教学体系。而保证优化的实验和工程实践教学体系的运作和实施，必须有一系列功能全、水平先进的实验和实践教学基地，工程训练中心便是其一。它的主要功能是为学生建立工程意识、掌握操作技能、增强工程素质、提高综合素质，并激发他们的创新思维和培养他们的创新能力。

工程基础训练的系列教材共有 6 册，《机电基础实践》是其中一门，它原名为《电工实践》，自 1993 年开始试用，根据《面向 21 世纪高等工程教育实验和工程实践教学体系改革与实践》的研究成果和多年的教学实践，按照工程基础训练的教学要求，新编此教材，定名为《机电基础实践》。建立这门课程是要突破并改变传统的工学门类中的机、电、计算机等相互分离的教学实习思想、模式和运行机制，实现机、电、计算机和控制等学科在基础实践方面的综合应用。它目前由两部分组成，一部分为电学课程的先导性的实践内容，另一部分内容则是对了解机电一体化技术在机械制造业中的应用起到承前启后的作用。

学习该课程，可以通过课堂教学、实践操作和综合训练，使学生掌握电工电子技术在生产实践方面的基本知识、工艺和基本技能，初步了解机电一体化技术在机械制造业中的应用，建立相应的工程背景知识，培养提高学生的动手能力、分析解决问题的能力 and 创新能力，为学习其他后继课程及工程技术，并进行设计研究打下一定的实践基础。在实习和实验内容的设置上确保向专业靠拢、为专业服务的教改思想，在教学中可根据不同专业对电学知识涉猎的侧重点不同而有针对性地选择。近年来，由于电工与电子技术发展较快，并加速向其他专业领域渗透，及时增加该实践课程的新技术含量，确保非电专业，尤其是机电一体化专业学生能尽快地了解到与本专业有关的新知识和新技术，使该课程成为非电专业学生了解电类学科最新技术和产品的窗口，增加学生对后继课程的兴趣。

该课程在内容组织上，注意把握“宽、浅、用、新”的原则。

1. 宽是指以非电专业有关电工、电路、电子电器的通用基础知识和技能为平台，作为本课程的基本要求。

2. 浅是指处理好基础理论知识和基本技能的关系，即基础理论知识为基本技能的掌握打基础的原则。

3. 用是指处理好系统性和实用性的关系，即以非电专业，尤其是机电一体化专业所需电学基础中最基本、最核心的知识和技能为重点的原则。

4. 新是指处理好传统知识、技能与现代科技发展的关系，注意适当吸收新知识、新科技成果的原则。

《机电基础实践》课程为 64 学时，课内时间和课外时间比为 1:0.4。课内时间中的 1/5 为讲课，4/5 为实践；课外时间可进行自学、预习和复习。该教材由以下几部分组成：

1) 安全用电常识及常用电工工具与电工材料。

- 2) 常用电子元器件及焊接与组装。
- 3) 三相交流电、常用低压电器、读图方法、异步电动机及其基本控制电路。
- 4) 万用表的工作原理、设计、安装、检验和调试。
- 5) 动力配电与居室供电。
- 6) 印制电路板的设计与制作。
- 7) 机电一体化技术在机械制造业中的应用概况。
- 8) 综合训练部分为实用电子小产品制作。为拓宽知识面、激发学习兴趣和创造性，本书选择了若干实用电子制作实例，供同学们选做。

本书共有十二章，第一~第四、第十一和第十二章由张文锦编写，第五~第七章由周芝庭编写，第八、九章由任卫祥编写，第十章和第十二章中的实例由顾伊璐编写。此外，张文锦负责起草全书编写大纲、统稿、修改定稿以及书稿打印等工作。在本书的编写过程中，东南大学教务处长陈怡教授、机械系汤崇熙教授、电工电子实验中心王尧教授自始至终给予了热情的指导和关心，并对全书进行了仔细审阅，提出了许多宝贵意见。本书的立项和出版得到了东南大学教务处、东南大学工业发展与培训中心的大力支持，在此谨致以诚挚的谢意。

限于编者的学识水平，本书难免有缺点和错误之处，恳请读者批评指正。

2002年8月

目 录

| | |
|-----------------------|-----|
| 前言 | |
| 第一章 安全用电常识 | 1 |
| 第一节 有关人体触电的知识 | 1 |
| 第二节 安全电压 | 4 |
| 第三节 触电原因及保护措施 | 5 |
| 第四节 触电急救 | 10 |
| 第五节 防雷常识 | 13 |
| 本章小结 | 16 |
| 第二章 电工工具与电工材料 | 17 |
| 第一节 常用电工工具 | 17 |
| 第二节 常用设备 | 24 |
| 第三节 常用线材 | 28 |
| 第四节 绝缘材料与磁性材料 | 30 |
| 第五节 塑料 | 32 |
| 第六节 印制电路板 | 34 |
| 第七节 辅助材料 | 36 |
| 本章小结 | 40 |
| 第三章 常用电子元器件 | 41 |
| 第一节 电阻器、电位器 | 41 |
| 第二节 电容器 | 50 |
| 第三节 电感器 | 56 |
| 第四节 电声器件、磁头 | 60 |
| 第五节 半导体二极管 | 64 |
| 第六节 半导体三极管 | 66 |
| 第七节 集成电路 | 69 |
| 第八节 其他元器件 | 72 |
| 第九节 开关、接插件和散热器 | 74 |
| 第十节 片式元器件 | 77 |
| 本章小结 | 80 |
| 第四章 焊接与组装 | 81 |
| 第一节 焊接基础知识 | 81 |
| 第二节 焊接质量的鉴别 | 82 |
| 第三节 手工焊接操作技能 | 83 |
| 第四节 四种手工焊接方法 | 86 |
| 第五节 表面组装技术(SMT)* | 89 |
| 本章小结 | 97 |
| 第五章 异步电动机与常用低压电器 | 98 |
| 第一节 三相异步电动机 | 98 |
| 第二节 常用低压电器 | 102 |
| 第三节 常用低压电器介绍 | 104 |
| 本章小结 | 114 |
| 第六章 异步电动机的基本控制电路及读图方法 | 115 |
| 第一节 概述 | 115 |
| 第二节 基本电气图的绘制原则 | 117 |
| 第三节 电气图的读图方法 | 119 |
| 第四节 三相异步电动机的基本控制线路 | 121 |
| 本章小结 | 128 |
| 第七章 万用表的安装、检验和调试 | 129 |
| 第一节 概述 | 129 |
| 第二节 万用表的工作原理 | 132 |
| 第三节 万用表的安装与调试 | 136 |
| 本章小结 | 137 |
| 第八章 常用低压电器的分类、用途及选用原则 | 138 |
| 第一节 电力系统简介 | 138 |
| 第二节 常见电力设备和检测设备 | 141 |
| 第三节 合理供电与用电管理 | 146 |
| 本章小结 | 150 |
| 第九章 居室电气 | 151 |
| 第一节 配电箱和电能表 | 151 |

| | | | | | |
|------|-------------------------------|-----|----------|--------------------|-----|
| 第二节 | 居室供电线路 | 155 | 概念 | 185 | |
| 第三节 | 室内照明 | 158 | 第二节 | 机械设备中的电气自动控制 | 186 |
| 第四节 | 室内弱电系统 | 163 | 第三节 | 数控技术的应用和发展 | 188 |
| 本章小结 | | 167 | 第四节 | 步进电动机开环伺服系统 | 190 |
| 第十章 | 印制电路 | 168 | 第五节 | 交流电动机伺服驱动系统 | 194 |
| 第一节 | 电路设计与制版——Protel99 | 168 | 本章小结 | | 198 |
| 第二节 | 原理图设计系统 | 171 | 第十二章 | 可编程序控制器 | 200 |
| 第三节 | 生成网络表文件 | 174 | 第一节 | PC的特点与基本结构 | 200 |
| 第四节 | 印制电路板 (PCB) 布线的基础 知识 | 175 | 第二节 | 可编程序控制器的工作原理 | 203 |
| 本章小结 | | 184 | 第三节 | PC的编程语言 | 204 |
| 第十一章 | 机械设备电气自动控制 概况 | 185 | 第四节 | 可编程序控制器的应用举例 | 206 |
| 第一节 | 机械设备电气自动控制的基本 概念 | 185 | 本章小结 | | 209 |
| | | | 参考文献 | | 210 |

第一章 安全用电常识

随着科学技术的发展,无论是工农业生产,还是人民生活,对电能的应用越来越广泛。从事电类工作的人员,必须懂得安全用电常识,树立安全责任重于泰山的观念,避免发生触电事故,以保护人身和设备的安全。

通过本章学习,使读者了解有关人体触电的知识,懂得引起触电的原因及常用预防措施,会进行人体触电后的及时抢救,并了解日常用电和生活中的一些防雷常识。

第一节 有关人体触电的知识

人体是导体,当发生“触电”导致电流通过人体时,会使人体受到不同程度的伤害。由于触电的种类、方式及条件不同,受伤害的后果也不一样。

一、触电的种类和方式

1. 人体触电的种类

人体触电分电击和电伤两类。

(1)电击 是指电流通过人体时所造成的内伤。它可使肌肉抽搐、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、血液循环中止而死亡。通常说的触电,多是指电击。触电死亡中绝大部分系电击造成。

(2)电伤 是在电流的热效应、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。

灼伤由电流的热效应引起,主要是指电弧灼伤,造成皮肤红肿、烧焦或皮下组织损伤;烙伤亦是由电流的热效应引起,是指皮肤被电气发热部分烫伤或由于人体与带电体紧密接触而留下肿块、硬块,使皮肤变色等;皮肤金属化则是指由电流热效应和化学效应导致熔化的金属微粒渗入皮肤表层,使受伤部位皮肤带金属颜色且留下硬块。

2. 人体触电的方式

(1)单相触电 这是常见的触电方式。人体的一部分接触带电体的同时,另一部分又与大地或零线(中性线)相接,电流从带电体流经人体到大地(或零线)形成回路,这种触电称为单相触电,如图 1-1 所示。在接触电气线路(或设备)时,若不采用防护措施,一旦电气线路或设备绝缘损坏漏电,将引起间接的单相触电。若站在地上,误接触带电体的裸露金属部分,将造成直接的单相触电。

(2)两相触电 人体的不同部位同时接触两相电源带电体而引起的触电称为两相触电,如图 1-1 所示。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,危险性更大。

(3)跨步电压触电 雷电流入地时,或载流电力线(特别是高压线)断落触地时,会在导线接地点及周围形成强电场。其电位分布以接地点为圆心向周围扩散,逐步降低而在不同位置形成电位差(电压),人、畜跨进这个区域,两脚之间将存在电压,该电压称为跨步电

压。在这种电压作用下，电流从接触高电位的脚流进，从接触低电位的脚流出，这就是跨步电压触电，如图 1-2 所示。图中坐标原点表示带电体接地点，横坐标表示位置，纵坐标负方向表示电位分布 U_{k1} 为人两脚间的跨步电压， U_{k2} 为马两脚之间的跨步电压。

(4) 悬浮电路上的触电 220V 工频电压通过变压器相互隔离的一次侧、二次侧绕组后，从二次侧输出的电压零线不接地，变压器绕组间不漏电时，即相对于大地处于悬浮状态。若人站在地上接触其中一根带电导线，不会构成电流回路，没有触电感觉。如果人体一部分接触二次侧绕组的一根导线，另一部分接触该绕组的另一根导线，则会造成触电。例如电子管收音机、电子管扩音机，部分彩色电视机，它们的金属底板是悬浮电路的公共接地点，在接触或检修这类电器的电路时，如果一只手接触电路的高电位点，另一只手接触低电位点，即用人将电路连通造成触电，这就是悬浮电路触电。在检修这类电器时，一般要求单手操作，特别是电位比较高时更应如此。

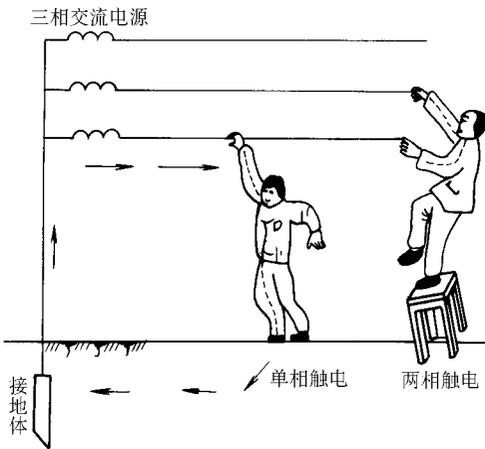


图 1-1 单相触电和两相触电

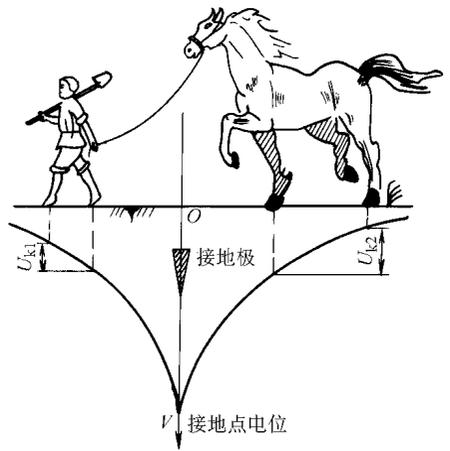


图 1-2 跨步电压触电

二、影响电流伤害人体的因素

人体对电流的反应非常敏感，触电时电流对人体的伤害程度与以下几个因素有关。

1. 电流的大小

触电时，流过人体的电流是造成损伤的直接因素。人们通过大量实验，证明流过人体的电流越大，对人体的损伤越严重。

2. 电压的高低

人体接触的电压越高，流过人体的电流就越大，对人体的伤害也就越严重。但在触电事例的分析统计中，70% 以上的死亡者是在对地电压为 250V 低压下触电的。如以触电者人体电阻为 $1k\Omega$ 计，在 220V 电压作用下，通过人体的电流是 220mA，能迅速使人致死。对地 250V 以上的高压，危险性更大，但由于人们接触少，且对它警惕性较高，所以触高压电死亡事例约在 30% 以下。

3. 频率的高低

实践证明，40 ~ 60Hz 的交流电对人最危险，随着频率的增高，触电危险程度将下降。

高频电流不仅不会伤害人体，还能用于治疗疾病，表 1-1 表明了这种关系。

表 1-1 不同频率的电流对人体的伤害

| 电流频率/Hz | 对人体的伤害 |
|----------|------------|
| 50 ~ 100 | 有 45% 的死亡率 |
| 125 | 有 25% 的死亡率 |
| 200 以上 | 基本上消除了触电危险 |

4. 时间的长短

技术上，常用触电电流与触电持续时间的乘积（叫电击能量）来衡量电流对人体的伤害程度。触电电流越大，触电时间越长，则电击能量越大，对人体的伤害越严重。若电击能量超过 $150\text{mA}\cdot\text{s}$ ，触电者就有生命危险。

5. 电流通过的路径

电流通过头部可使人昏迷；通过脊髓可能导致肢体瘫痪；通过心脏可造成心跳停止，血液循环中断；通过呼吸系统会造成窒息。可见，电流通过心脏时，最容易导致死亡。表 1-2 表明了电流在人体中流经不同路径时，通过心脏的电流占通过人体总电流的百分比。

表 1-2 电流通过不同的路径对人体的伤害

| 电流通过人体的路径 | 通过心脏的电流占通过人体总电流的百分数（%） |
|-----------|------------------------|
| 从一只手到另一只手 | 3.3 |
| 从右手到右脚 | 3.7 |
| 从右手到左脚 | 6.7 |
| 从一只脚到另一只脚 | 0.4 |

从表中可以看出，电流从右手到左脚危险性最大，同时可参见图 1-3。

6. 人体状况

人的性别、健康状况、精神状态等与触电伤害程度有着密切关系。女性比男性触电伤害程度约严重 30%，小孩与成人相比，触电伤害程度也要严重得多。体弱多病者比健康人容易受电流伤害。另外，人的精神状况，对接触电器有无思想准备，对电流反应的灵敏程度，都影响触电的伤害程度。醉酒、过度疲劳等都可能增加触电事故的发生次数并加重受电流伤害的程度。

7. 人体电阻的大小

人体电阻越大，受电流伤害越轻。通常人体电阻可按 $1\sim 2\text{k}\Omega$ 考虑，这个数值主要由皮肤表面的电阻值决定。如果皮肤表面角质层损伤、皮肤潮湿、流汗、带着导电粉尘等，将会大幅度降低人体电阻，增加触电伤害程度。

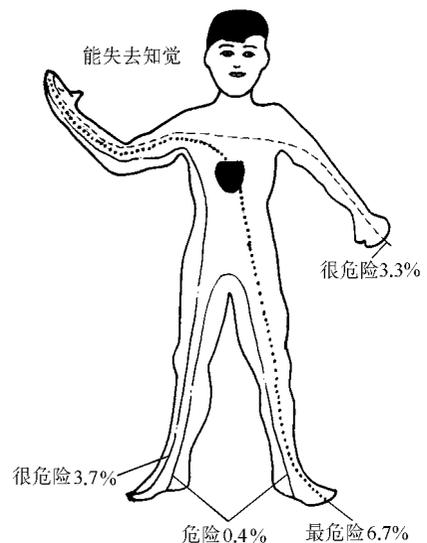


图 1-3 电流通过人体的路径

第二节 安全电压

人体触电时，人体所承受的电压越低，通过人体的电流就越小，触电伤害就越轻。当电压低到某一定值以后，对人体就不会造成伤害。在不带任何防护设备的条件下，当人体接触带电体时对各部分组织（如皮肤、神经、心脏、呼吸器官等）均不会造成伤害的电压值，叫安全电压。它通常等于通过人体的允许电流与人体电阻的乘积，但在不同场合，安全电压的规定是不相同的。

一、人体电阻

人体电阻包括体内电阻、皮肤电阻和皮肤电容。因皮肤电容很小，可忽略不计，体内电阻基本上不受外界影响，差不多是定值，约 $0.5\text{k}\Omega$ ，皮肤电阻占人体电阻的绝大部分。但皮肤电阻随着外界条件的不同可在很大范围内变化。皮肤表面 $0.05 \sim 0.2\text{mm}$ 的角质层电阻高达 $10 \sim 100\text{k}\Omega$ ，但这层角质层容易遭到破坏，在计算安全电压时不宜考虑在内。除去角质层，人体电阻一般不低于 $1\text{k}\Omega$ ，通常应考虑在 $1 \sim 2\text{k}\Omega$ 范围内。

影响人体电阻的因素很多，除皮肤厚薄外，皮肤潮湿、多汗、有损伤、带有导电粉尘，对带电体接触面大、接触压力大等都将减小人体电阻，加大触电电流，增加触电危险。

人体电阻还与接触电压有关，接触电压升高，人体电阻将按非线性规律下降，如图 1-4 所示。图中，曲线 c 表示人体电阻的下限，曲线 a 表示人体电阻的上限，曲线 b 表示人体电阻的平均值，a、b 之间相应于干燥皮肤，b、c 之间相应于潮湿皮肤。

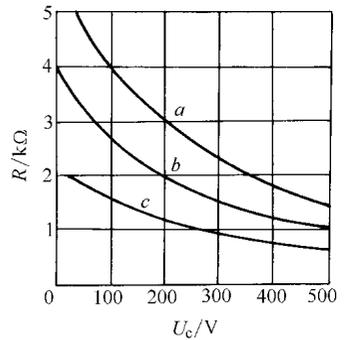


图 1-4 人体电阻与接触电压的关系

二、人体允许电流

人体允许电流是指发生触电后触电者能自行摆脱电源，解除触电危害的最大电流。在通常情况下，人体的允许电流，男性为 9mA ，女性为 6mA 。一般情况下，人体允许电流应按不引起强烈痉挛的 5mA 考虑。在设备和线路装有触电保护设施的条件下，人体允许电流可达 30mA 。在容器中，在高空、水面上等场所，可能因电击造成二次事故（再次触电、摔死、溺死），应尤为注意。

必须指出，这里所说的人体允许电流不是人体长时间能承受的电流。

三、安全电压值

我国有关标准规定， 12V 、 24V 和 36V 三个电压等级为安全电压级别，不同场所选用的安全电压等级也不同。

在湿度大、狭窄、行动不便、周围有大面积接地导体的场所（如金属容器内、矿井内、隧道内等）并使用手提照明灯，应采用 12V 安全电压。

凡手提照明器具，在危险环境或特别危险环境的局部照明灯，高度不足 2.5m 的一般照明灯，携带式电动工具等，若无特殊的安全防护装置或安全措施，均应采用 24V 或 36V 安全电压。安全电压的规定是从总体上考虑的，对于某些特殊情况或某些人也不一定绝对安

全。是否安全与人的当时状况，主要是人体电阻、触电时间长短、工作环境、人与带电体的接触面积和接触压力等都有关系。所以，即便在规定的安全电压下工作，也不可粗心大意。

第三节 触电原因及保护措施

本节首先分析触电的常见原因，从而提出几种预防措施。详细讨论保护接地、保护接零、家用电器的接零与接地和漏电保护装置的应用。

一、触电的常见原因

触电的场合不同，引起触电的原因也不同，下面根据在工农业生产、日常生活中所发生的不同触电事例，将常见触电原因归纳如下。

1. 线路架设不合格

室内、外线路对地距离及导线之间的距离小于允许值；通信线、广播线与电力线间隔距离过近或同杆架设；线路绝缘破损；有的地区为节省电线而采用一线一地制送电等。

2. 电气操作制度不严格、不健全

带电操作时，不采取可靠的保护措施；不熟悉电路和电器而盲目修理；救护已触电的人时，自身不采取安全保护措施；停电检修时，不挂警告牌；检修电路和电器时，使用不合格的保护工具；人体与带电体过分接近而又无绝缘措施或屏护措施；在架空线上操作时，不在相线上加临时接地线（零线）；无可靠的防高空跌落措施等。

3. 用电设备不合要求

电器设备内部绝缘损坏，金属外壳又未加保护接地措施或保护接地线太短、接地电阻太大；开关、闸刀、灯具、携带式电器绝缘外壳破损，失去防护作用；开关、熔断器误装在中性线上，一旦断开，就使整个线路带电。

4. 用电不谨慎

违反布线规程，在室内乱拉电线；随意加大熔断器熔丝规格；在电线上或电线附近晾晒衣物；在电杆上拴牲口；在电线（特别是高压线）附近打鸟、放风筝；未断电源移动家用电器；打扫卫生时，用水冲洗或用湿布擦拭带电电器或线路等。

二、接地与接零保护措施

电气设备漏电或击穿碰壳时，平时不带电的金属外壳、支架及其相连的金属部分就会呈现电压，人若触及这些意外带电部分，就会发生触电事故。为防止意外事故的发生，应采取保护措施。

在低压配电系统中采用的保护措施有两种。当低压配电系统变压器中点不接地时，采用接地保护；当低压配电系统变压器中点接地时，采用接零保护。

1. 保护接地

为防止触电事故而装设的接地，称为保护接地。如电气设备不带电的金属外壳、支架及相连的金属部分的接地就是保护接地。设备接地后将会起到保护作用。如图 1-5a 所示三相电源，中点不接地，如果接在这个电源上的电动机的外壳没接地而发生一相漏电或碰壳时，它的外壳就带有较高的对地电压，这时如果有人接触到电动机外壳，就有电流流过人体入地，并经线路与大地之间的分布电容构成回路，这是很危险的。

如果电动机外壳接了地，由于人体电阻与接地电阻并联，而人体电阻又远大于接地电阻，大部分电流经接地装置流入大地，通过人体的电流就很小，保护了人的安全，如图 1-5b 所示。保护接地仅适用于中性点不接地的电网，凡接在这个电网中的电气设备的金属外壳、支架及相连的金属部分均应接地。

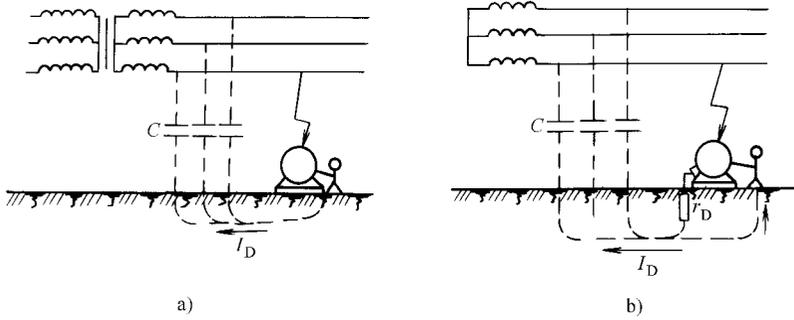


图 1-5 保护接地原理图

a) 未保护接地 b) 有保护接地

2. 保护接零

在中性点直接接地的三相四线制电网中，电气设备应采用保护接零。将电气设备正常运行时，不带电的金属外壳与电网的零线联接起来。当一相发生漏电或碰壳时，由于金属外壳与零线相联，形成单相短路；当电流很大时，能使电路保护装置迅速动作，切断电源。这时，外壳不带电，保护了人身安全和电网其他部分的正常运行，如图 1-6 所示。

在采用接零保护时，电源中线不允许断开，如果中线断开，则保护失效。所以，在电源中线上不允许安装开关和熔断器。在实际应用中，用户端常将电源中线再重复接地，以防止中线断线，如图 1-7 所示，重复接地电阻一般小于 10Ω 。

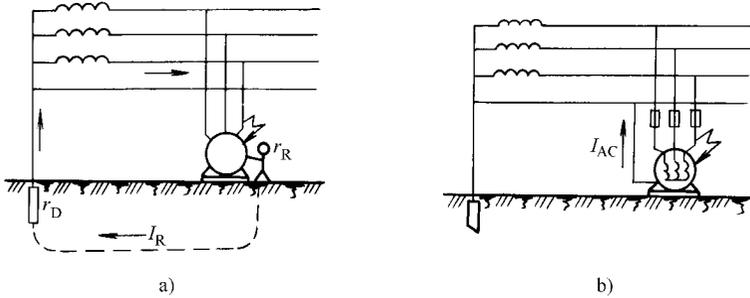


图 1-6 保护接零原理图

a) 未保护接零 b) 有保护接零

在中性点接地的电源上使用的电气设备，必须采用接零保护，而不能采用接地保护。如果将设备的金属外壳接地，如图 1-8 所示，一旦发生漏电或碰壳事故，通过短路相的熔丝电流 I_D 并不是很大，熔丝如果不动作，设备的外壳将出现 $U = U_\phi \cdot r_c / (r_c + r_D)$ 这样的电压，如果 $r_0 = r_c$ ， $U_\phi = 220V$ ， $U = 110V$ ，保护零线对地的电压也为 $110V$ 。

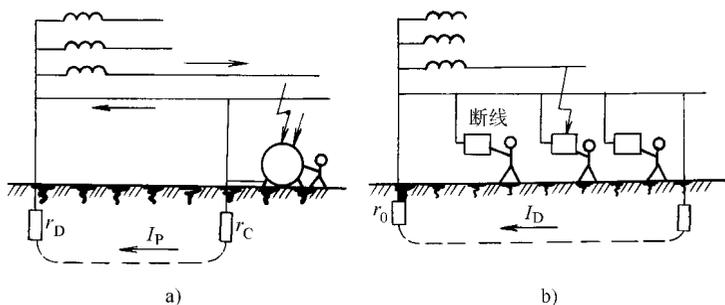


图 1-7 重复接地

a) 设备零处加重重复接地 b) 有重复接地时零线断线示意图

也就是说，不仅这台设备的外壳带有危险的电压，而且使接在这个电网中的所有接零设备的外壳，全都带有危险的电压。

3. 家用电器的接零与接地

如果居民区供电变压器低压输出的三相四线电源中性点不接地，家用电器须采用保护接地作为保安措施。

如三相四线电源中点接地，应采用接零保护。居民住宅一般是单相供电，即一根相线，一根零线。家用电器多采用三脚插头和三眼插座。图 1-9 为三眼插座的接法，接三眼插座时，不准将插座上接电源中线的孔与接地线的孔连接，如图 1-9a 所示。否则，如果接零孔的线路松落或断开，会使设备金属外壳带电，或者当零线与相线接反时，也会使金属外壳带电，如图 1-9b 所示。

三眼插座的正确接法，是将插座上接零线的孔同接地的孔分别用导线并联到中性线上，如图 1-9c 所示。

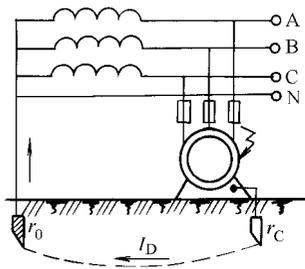


图 1-8 错误的接地保护

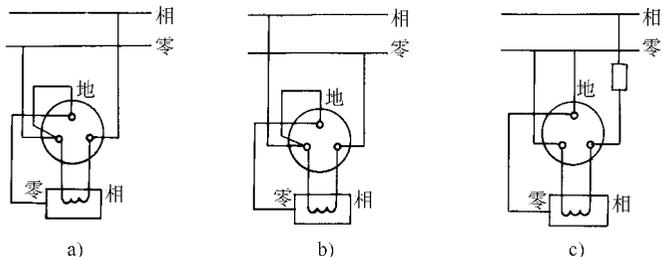


图 1-9 三眼插座的接法

a) 中性线与接地线串接图 b) 零线与相线接反时串接图 c) 正确接法

三、漏电保护装置

普通民用住宅的配电箱大多数采用熔断器作为保护装置。随着家用电器的日益增多，这类保护电器已不能满足安全用电的要求。当设备只是绝缘不良引起漏电时，由于泄漏电流很小，不能使传统的保护装置（熔断器、自动空气开关等）动作。漏电设备外露的可导电部分

长期带电，这增加了人身触电的危险。漏电保护开关（简称漏电开关）就是针对这种情况在近年来发展起来的新型保护电器。

漏电保护开关的特点是在检测与判断到触电或漏电故障时，能自动切断故障电路。图 1-10 所示为目前通用的电流动作型漏电保护开关的工作原理图。它由零序互感器 TAN、放大器 A 和主回路断路器 QF（内含脱扣器 YR）等主要部件组成。其工作原理是：设备正常运行时，主电路电流的相量和为零，零序互感器的铁心无磁通，其二次侧无电压输出。如设备发生漏电或单相接地故障时，由于主电路电流的相和不再为零，零序互感器的铁心有零序磁通，其二次侧有电压输出，经放大器 A 判断、放大后，输入脱扣器 YR，令断路器 QF 跳闸，从而切除故障电路，避免人员发生触电事故。

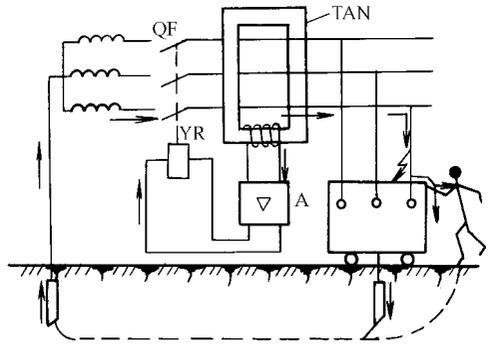


图 1-10 电流动作型漏电保护开关工作原理图

TAN—零序互感器 A—放大器
YR—脱扣器 QF—低压断路器

按保护功能分，漏电保护开关有两种。一种是带过流保护的，它除具备漏电保护功能外，还兼有过载和短路保护功能，使用这种开关，电路上一般不需再配用熔断器。另一种是不带过流保护的，它在使用时还需配用相应的过流保护装置（如熔断器）。

漏电保护断路器也是一种漏电保护装置，它由零序互感器、放大器和控制触点组成。它只具有检测与判断漏电的能力，本身不具备直接开闭主电路的功能。通常与带有分励脱扣器的自动空气开关配合使用，当断路器动作时输出信号至自动空气开关，由自动开关分断主电路。

图 1-11 为家用单相漏电开关的外形图，图 1-12 为三相漏电开关的外形图。



图 1-11 家用单相漏电开关

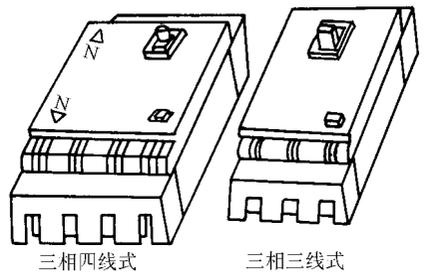


图 1-12 三相漏电开关

表 1-3 是我国生产的电流动作型漏电保护装置的技术数据。其中 DZL18—20 型漏电保护开关采用了国际电工委员会（EC）标准，它适用于额定电压为 220V、电源中性点接地的单相回路。由于采用了微电子技术，这种漏电开关具有结构简单、体积小、动作灵敏、性能稳定可靠等优点，很适合一般民用住宅使用。

表 1-3 国产漏电保护装置技术数据

| 型 号 | 名 称 | 极 数 | 额定电压 /V | 额定电流 /A | 额定漏电动作电流 /mA | 漏电动作 时间/s | 保护功能 | | |
|----------|------|-------|------------|----------------------|-------------------|--------------|-----------------|--------|-----------------|
| DZ15—20L | 漏电开关 | 3 | 380 | 3、4、5 | 30、50、75、100 | < 0.1 | 过载、短路、漏电保护 | | |
| DZ15—20 | | | | 6、10、15、 20、30、40 | | | | | |
| DZL—16 | | 4 | | 220 | 6、10、15、 25、40 | | | 15 | 漏电保护 |
| | | 3 | | 380 | | | | 36 | |
| | | 4 | | | | | | | |
| DZL18—20 | | 2 | 220 | 20 | 10、30 | | 过载、短路、漏电保护 | | |
| DZL—20 | | | | | 6、15 | | 漏电保护 | | |
| JD—100 | | 漏电继电器 | 贯穿孔 | 380 | 100 | | 100、200、300、500 | 漏电保护专用 | |
| JD—200 | | | | | 200 | | | | 200、300、400、500 |

四、其他保护措施

1. 预防直接接触的措施

(1) 绝缘措施 用绝缘材料将带电体封闭起来的措施叫绝缘措施。良好的绝缘是保证电气设备和线路正常运行的必要条件，是防止触电事故的重要措施。

绝缘材料的选用必须与该电气设备的工作电压、工作环境和运行条件相适应，否则容易造成击穿。常用的电工绝缘材料有：瓷、玻璃、云母、橡胶、木材、塑料、布、纸、矿物油等。其电阻率多在 $10^7 \Omega \cdot m$ 以上。但应注意，有些绝缘材料如果受潮，会降低甚至丧失绝缘性能。绝缘材料的绝缘性能往往用绝缘电阻表示。不同的设备或电路对绝缘电阻的要求不同。新装或大修后的低压设备和线路的绝缘电阻不应低于 $0.5M\Omega$ ；运行中的线路和设备的绝缘电阻不应低于每伏 $1k\Omega$ ，在潮湿工作环境下，则要求不低于每伏 $0.5k\Omega$ ；携带式电气设备的绝缘电阻不应低于 $2M\Omega$ ；配电盘二次线路的绝缘电阻不应低于每伏 $1k\Omega$ ，在潮湿环境下不低于每伏 $0.5k\Omega$ ；高压线路和设备的绝缘电阻不应低于每伏 $1000M\Omega$ 。

(2) 屏护措施 采用屏护装置将带电体与外界隔绝开来，以杜绝不安全因素的措施叫屏护措施。常用的屏护装置，如电器的绝缘外壳、金属网罩、金属外壳、变压器的遮栏、栅栏等都属于屏护装置。凡是金属材料制作的屏护装置，应妥善接地或接零。

屏护装置不直接与带电体接触，对所用材料的电气性能没有严格要求，但必须有足够的机械强度和良好的耐热、耐火性能。

(3) 间距措施 为防止人体触及或过分接近带电体，为避免车辆或其他设备碰撞或过分接近带电体，为防止火灾、过电压放电及短路事故，为操作的方便，在带电体与地面之间、带电体与带电体之间、带电体与其他设备之间，均应保持一定的安全间距，称为间距措施。安全间距的大小取决于电压的高低、设备的类型、安装方式等因素。如导线与建筑物最小距离如表 1-4 所示。

2. 预防间接触电的措施

(1) 加强绝缘措施 对电气线路或设备采取双重绝缘与加强绝缘，或对组合电气设备采用共同绝缘，称为加强绝缘措施。采用加强绝缘措施的线路或设备绝缘牢固，难于损坏，即

使工作绝缘损坏后，还有一层加强绝缘，不易发生带电的金属导体裸露而造成间接触电。

表 1-4 导线与建筑物的最小距离

| | | | |
|---------|------|------|------|
| 线路电压/kV | <1.0 | 10.0 | 35.0 |
| 垂直距离/m | 2.5 | 3.0 | 4.0 |
| 水平距离/m | 1.0 | 1.5 | 3.0 |

(2) 电气隔离措施 采用隔离变压器或具有同等隔离作用的发电机，使电气线路和设备的带电部分处于悬浮状态叫做电气隔离措施。即使该线路或设备工作绝缘损坏，人站在地面上与之接触也不易触电。应注意的是：被隔离回路的电压不得超过 500V，其带电部分不得与其他电气回路或大地相连，方能保证其隔离要求。

(3) 自动断电措施 在带电线路或设备上发生触电事故或其他事故（短路、过载、欠压等）时，在规定时间内能自动切断电源而起保护作用的措施叫自动断电措施。如漏电保护、过流保护、过压或欠压保护、短路保护、接零保护等均属自动断电措施。

第四节 触电急救

在电气操作和日常用电中，如果采取了有效的预防措施，会大幅度减少触电事故，但要绝对避免是不可能的。所以，在电气操作和日常用电中必须做好触电急救的思想和技术准备。

一、触电的现场抢救措施

1. 使触电者尽快脱离电源

发现有人触电，最关键、最首要的措施是使触电者尽快脱离电源。由于触电现场的情况不同，使触电者脱离电源的方法也不一样。在触电现场经常采用以下几种急救方法。

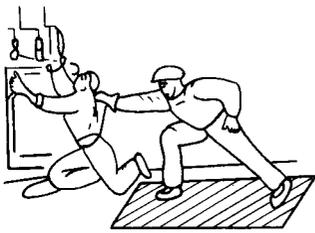


图 1-13 将触电者拉离电源

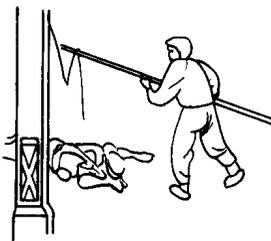


图 1-14 将触电者身上电线挑开

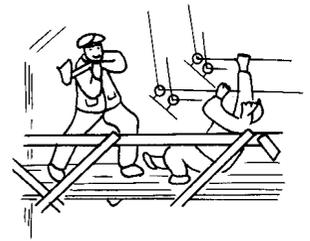


图 1-15 用绝缘柄工具切断电线

(1) 关断电源 迅速关断电源，把人从触电处移开。如果触电现场远离开关或不具备关断电源的条件，只要触电者穿的是比较宽松的干燥衣服，救护者可站在干燥木板上，如图 1-13 所示，用一只手抓住衣服将其拉离电源，但切不可触及带电人的皮肤。如这种条件尚不具备，还可用干燥木棒、竹竿等将电线从触电者身上挑开，如图 1-14 所示。

(2) 用干燥绳索 如果触电发生在相线与大地之间，一时又不能把触电者拉离电源，可用干燥绳索将触电者身体拉离地面，或在地面与人体之间塞入一块干燥木板，这样可以暂时切断带电导体通过人体流入大地的电流。然后再设法关断电源，使触电者脱离带电体。在用绳索将触电者拉离地面时，注意不要发生跌伤事故。

(3)用各种工具 救护者手边如有现成的刀、斧、锄等带绝缘柄的工具或硬棒时，可以从电源的来电方向将电线砍断或撬断，如图 1-15 所示。但要注意切断电线时人体切不可接触电线裸露部分和触电者。

(4)用绝缘导线短路 如果救护者手边有绝缘导线，可先将一端良好接地，另一端接在触电者所接触的带电体上，造成该相电源对地短路，迫使电路跳闸或熔断熔丝，达到切断电源的目的。在搭接带电体时，要注意救护者自身的安全。如在电杆上触电，地面上一时无法施救时，仍可先将绝缘软导线一端良好接地，另一端抛掷到触电者接触的架空线上，使其对地短路，促使跳闸断电。在操作时要注意两点：一是不能将接地软线抛在触电者身上，这会使通过人体的电流更大；二是注意不要让触电者从高空跌落。

注意，以上救护触电者脱离电源的方法，不适用于高压触电情况。

2. 脱离电源后的判断

触电者脱离电源后，应根据其受电流伤害的不同程度，采用不同的施救方法。

(1)判断呼吸是否停止 将触电者移至干燥、宽敞、通风的地方。将衣、裤放松，使其仰卧，观察胸部或腹部有无因呼吸而产生的起伏动作。若不明显，可用手或小纸条靠近触电者鼻孔，观察有无气流流动，用手放在触电者胸部，感觉有无呼吸动作，若没有，说明呼吸已经停止。

(2)判断脉搏是否搏动 用手检查颈部的颈动脉或腹股沟处的股动脉，看有无搏动，如有，说明心脏还在工作。因颈动脉或股动脉都是人体大动脉，位置较浅，搏动幅度较大，容易感知，所以经常用来作为判断心脏是否跳动的依据。另外，也可用耳朵贴在触电者心脏附近，倾听有无心脏跳动的声音，如有则心脏还在工作。

(3)判断瞳孔是否放大 瞳孔是受大脑控制的一个能自动调节大小的光圈。如果大脑机能正常，瞳孔可随外界光线的强弱自动调节大小。处于死亡边缘或已经死亡的人，由于大脑细胞严重缺氧，大脑中枢失去对瞳孔的调节功能，瞳孔就会自行放大，对外界光线强弱不再做出反应，如图 1-16 所示。



图 1-16 瞳孔的比较

根据上述简单判断的结果，对受伤害程度不同、症状表现不同的触电者，可用下面的方法进行不同的救治。

3. 对不同情况的救治

(1)触电者神智清醒 只是感觉头昏、乏力、心悸、出冷汗、恶心、呕吐时，应让其静卧休息，以减轻心脏负担。

(2)触电者神智断续清醒 出现一度昏迷时，一方面请医生救治，一方面让其静卧休息，随时观察其伤势变化，作好万一恶化的施救准备。

(3)触电者已失去知觉 但呼吸、心跳尚存时，应在迅速请医生的同时，将其安放在通风、凉爽的地方平卧，给他闻一些氨水，摩擦全身，使之发热。如果出现痉挛，呼吸渐渐衰弱，应立即施行人工呼吸，并去医院救治。在去医院途中，如果出现“假死”，应边送边抢救。

(4)触电者呼吸、脉搏均已停止 出现假死现象时，应针对不同情况的假死现象对症处理。如果呼吸停止，用口对口人工呼吸法，迫使触电者维持体内外的气体交换。对心脏停止跳动者，可用胸外心脏压挤法，维持人体内的血液循环。如果呼吸、脉搏均已停止，上述两

种方法应用时使用，并尽快向医院告急。下面介绍口对口人工呼吸法和胸外心脏压挤法。

二、口对口人工呼吸法

对呼吸渐弱或已经停止的触电者，人工呼吸法是行之有效的。在几种人工呼吸法中，效果最好的是口对口人工呼吸法，其操作步骤如下：

1) 将触电者仰卧，松开衣、裤，以免影响呼吸时胸廓及腹部的自由扩张。再将其颈部伸直，头部尽量后仰，掰开口腔，清除口中脏物，取下假牙，如果舌头后缩，应拉出舌头，使进出人体的气流畅通无阻，如图 1-17a、b 所示。如果触电者牙关紧闭，可用木片、金属片从嘴角处伸入牙缝，慢慢撬开。

2) 救护者位于触电者头部一侧，将一只手捏住触电者的鼻子（防止吹气时气流从鼻孔漏出），并将这只手的外缘压住额部，另一只手托其颈部，将颈上抬，这样可使头部自然后仰，解除舌头后缩造成的呼吸阻塞。

3) 救护者深呼吸后，用嘴紧贴触电者的嘴（中间也可垫一层纱布或薄布）大口吹气，如图 1-17c 所示，同时观察触电者胸部的隆起程度，一般应以胸部略有起伏为宜。胸腹起伏过大，说明吹气太多，容易吹破肺泡；胸腹无起伏或起伏太小，则吹气不足，应适当加大吹气量。

4) 吹气至待救护者可换气时，应迅速离开触电者的嘴，同时放开捏紧的鼻孔，让其自动向外呼气，如图 1-17d 所示。这时应注意观察触电者胸部的复原情况，倾听口鼻处有无呼气声，从而检查呼吸道是否阻塞。

按照上述步骤反复进行，对成年人每分钟吹气 14~16 次，大约每 5s 一个循环，吹气时间稍短，约 2s；呼气时间要长，约 3s 左右。对儿童吹气，每分钟 18~24 次，这时不必捏紧鼻孔，让一部分空气漏掉。对儿童吹气，一定要掌握好吹气量的大小，切不可让其胸腹过分膨胀，以防止吹破肺泡。

在做口对口人工呼吸时，需要注意以下几点：第一，掌握好吹气压力，一般是刚开始时压力偏大，频率也稍快一些，待 10~20 次后逐渐减少吹气压力，维持胸腹部的轻度舒张即可。第二，若触电者牙关紧闭，一时无法撬开，可用口对鼻吹气，方法与口对口吹气相似，只是此时应使触电者嘴唇紧闭，防止漏气。口对鼻吹气时，救护者的嘴唇应完全盖紧触电者鼻孔，吹气压力也应稍大，吹气时间稍长，这样有利于外部气体充分进入肺内，以便加速人体内外的气体交换。

三、胸外心脏压挤法

在触电者心脏停止跳动时，可以有节奏地在胸廓外加力，对心脏进行挤压。利用人工方法代替心脏的收缩与扩张，以达到维持血液循环的目的，具体操作过程如图 1-18 所示。

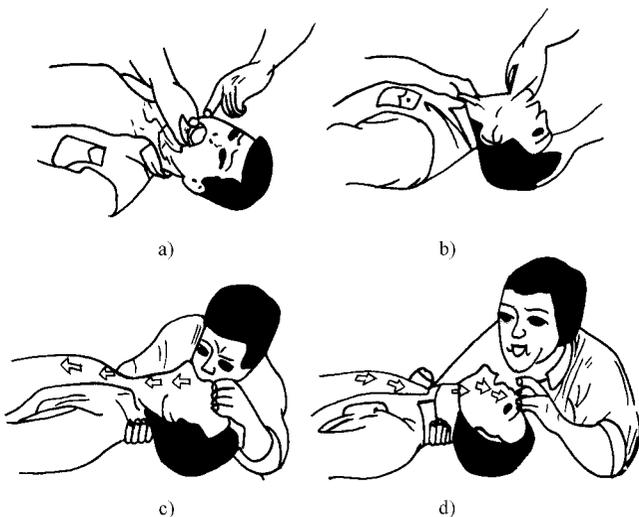


图 1-17 口对口人工呼吸法

a) 清理口腔阻塞 b) 鼻孔朝天头后伸
c) 贴嘴吹气胸扩张 d) 放开嘴鼻好换气

下面结合图形介绍其操作步骤与要领：

1) 将触电者仰卧在硬板上或平整的硬地面上，解松衣裤，救护者跪跨在触电者腰部两侧。

2) 救护者将一只手的掌根按于触电者胸骨以下横向二分之一处，中指指尖对准颈根凹腔下边缘，另一只手压在那只手的背上呈两手交叠状，肘关节伸直，靠体重和臂与肩部的用力，向触电者脊柱方向慢慢压迫胸骨下段，使胸廓下陷 3~4cm，由此使心脏受压，心室的血液被压出，流至触电者全身各部。

3) 突然放松，依靠胸廓自身的弹性，使胸腔复位，让心脏舒张，血液流回心室。放松时，交叠的两掌不要离开胸部，只是不加力而已。

重复 2) 3) 步骤，每分钟 60 次左右。

在做胸外心脏压挤时，应注意以下几点：

第一，压挤位置和手掌姿势必须正确，下压的区域在胸骨以下横向二分之一处，即两个奶头连线中间稍偏下方，接触胸部只限于手掌根部，手指应向上，与胸、肋骨之间保持一定距离，不可全掌着力。第二，用力要对脊柱方向下压，要有节奏，有一定冲击性，但不能用大的爆发力，否则将造成胸部骨骼损伤。第三，挤压时间和放松时间大体一样。第四，对心跳和呼吸都已停止的触电者，如果救护者有两人，可以同时进行口对口人工呼吸和胸外心脏压挤，效果更好，但两人必须配合默契。如果救护者只有一人，也可两种方法交替进行。其作法如下：先用口对口向触电者吹气两次，立即在胸外压挤心脏 15 次，再吹气两次，再压挤 15 次，如此反复进行，直到将人救活或医生确诊已无法抢救为止。第五，对小孩只用一只手的根部加压，并酌情掌握压力的大小，以每分钟 100 次左右为宜。

无论是施行口对口人工呼吸法或胸外心脏压挤法，都要不断观察触电者的面部动作，如果发现其眼皮、嘴唇会动，喉部有吞咽动作时，说明他自己有一定呼吸能力，应暂时停止几秒钟，观察其自动呼吸的情况，如果呼吸不能正常进行或者很微弱，应继续进行人工呼吸和胸外心脏压挤，直到能正常呼吸为止。在触电者呼吸未恢复正常以前，无论什么情况，包括送医院途中，雷雨天气（雷雨时可移至室内）或时间已进行得很长而效果不甚明显等，都不能停止这种抢救。事实上，用人工呼吸法抢救的触电者中，有长达 7~10 小时才救活的。

第五节 防雷常识

雷击是一种自然灾害，它往往威胁着人们的生产和生活安全。人们通过对雷电长期的探索研究，找出了它的活动规律，也研究出了一系列防雷措施。本节将讲述这些知识。

一、雷电的形成与活动规律

闪电和雷鸣是大气层中强烈的放电现象。在云块的形成过程中，由于摩擦和其他原因，

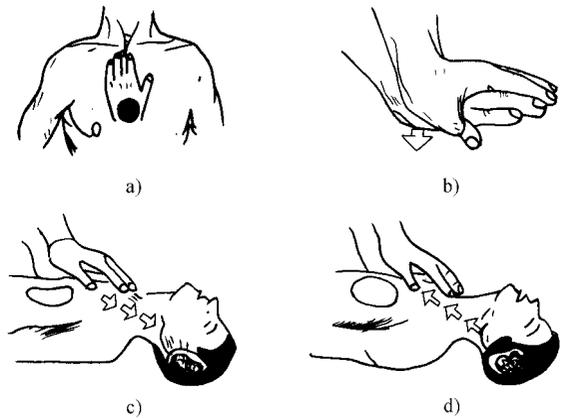


图 1-18 胸外心脏压挤法

a) 中指对凹腔，手掌按在胸骨上 b) 掌根用力向下压
c) 慢慢向下 d) 突然放松

有些云块可能积累正电荷，另一些云块又可能积累负电荷，随着云块间正负电荷的分别积累，云块间的电场越来越强，电压也越来越高。当这个电压高达一定值或带异种电荷的云块接近到一定距离时，便会将其间的空气击穿，发生强烈放电。云块间的空气被击穿电离发出耀眼闪光，形成闪电。空气被击穿时受高热而急剧膨胀，发出爆炸的轰鸣，形成雷声。人们在长期的生产实践和科学实验中，逐步认识和总结出了雷电活动的规律。在我国，雷电发生的总趋势是：南方比北方多，山区比平原多，陆地比海洋多，热而潮湿的地方比冷而干燥的地方多，夏季比其他季节都多。在同一地区，凡是电场分布不均匀的、导电性能较好容易感应出电荷的以及云层容易接近的部位或区域，也更容易引雷而导致雷击。

具体地说，下列物体或地点容易受到雷击：

- 1) 空旷地区的孤立物体或高于 20m 的建筑物或构筑物，如宝塔、水塔、烟囱、天线、旗杆、尖形屋顶和输电线路杆塔等。
- 2) 烟囱冒出的热气（含有大量导电质点、游离态分子）、排出导电尘埃的厂房、排废气的管道和地下水出口。
- 3) 金属结构的屋面，砖木结构的建筑物或构筑物。
- 4) 特别湿的建筑物和露天放置的金属物。
- 5) 金属的矿床、河岸、山坡、与稻田接壤的地区、土壤电阻率小的地区和土壤电阻率变化大的地区。
- 6) 山谷风口处，在山顶行走的人畜。

上述这些容易受雷击的地方，在雷雨时应特别注意。

二、雷电的种类与危害

1. 雷电的种类

(1) 直击雷 雷云离大地较近，附近又无带异种电荷的其他雷云与之中和，这时带有大量电荷的雷云与地面凸出部分将产生静电感应，在地面凸出部分感应出大量异性电荷而形成强电场，当其间的电压高达一定值时，将发生雷云与地面凸出部分之间的放电，这就是直击雷。

(2) 感应雷 感应雷分为静电感应雷和电磁感应雷两种。静电感应雷是由于雷云接近地面，先在地面凸出物顶部感应出大量异性电荷，当雷云与其他雷云或物体放电后，地面凸出物顶部的感应电荷失去束缚，以雷电波的形式从凸出部分沿地面极快地向外传播，在一定时间和部位发生强烈放电，形成静电感应雷。电磁感应雷是在发生雷电时，巨大的雷电流在周围空间产生迅速变化的强大磁场，这种变化的强磁场在附近的金属导体上感应出很高的冲击电压，使其在金属回路的断口处发生放电而引起强烈的火光和爆炸。

(3) 球形雷 是一种很轻的火球，能发出极亮的白光或红光，通常以 2m/s 左右的速度从门、窗、烟囱等通道侵入室内，当它触及人、畜或其他物体时发生爆炸或燃烧而造成伤害。

(4) 雷电侵入波 它是雷击时在架空线或空中金属管道上产生的高压冲击波，沿着线路或管道侵入室内，危及人、畜和设备安全。

2. 雷电的危害

地面附近的雷云，电场强度高达 5 ~ 300kV/m，电位高达数十到数十万千伏，放电电流为数十到数百千安，而放电时间只有 0.0001 ~ 0.001s。可见雷电的电场特别强，电压特别

高，电流特别大，在极短的时间释放出巨大能量，其破坏作用无疑是相当严重的。雷电的危害大致有以下四个方面。

(1) 电磁性质的破坏 发生雷击时，可产生高达数百万伏的高压冲击波，还可在导线或金属物体上感应出几万乃至几十万伏的特高压，这种特高压足以破坏电气设备和导线的绝缘而使其烧毁，或在金属物体的间隙及连接松动处形成火花放电，引起爆炸，或者形成雷电侵入波浸入室内危及人、畜或设备安全。

(2) 热性质的破坏 强大的雷电流在极短的作用时间内，转换成强大的热能，足以使金属熔化、飞溅，使树木烧焦。如果击中易燃品或房屋，还将引起火灾。

(3) 机械性质的破坏 当雷电击中树木、电杆等物体时，被击物缝隙中的气体，受高热急剧膨胀，其中的水分又因受热而急剧蒸发，产生大量气体，造成被击物体的破坏和爆炸。

此外，由于电流变化极大，同性电荷之间强大的静电斥力和同方向电流之间的电磁吸力也有很强的破坏作用，雷击时产生的冲击气浪也将对附近的物体造成破坏。

(4) 跨步电压破坏 雷电电流通过接地装置或地面雷击点向周围土壤中扩散时，在土壤电阻的作用下，向周围形成电压降，此时若有人、畜在该区域站立或行走，将受到雷电跨步电压的伤害。

三、防雷常识

1) 为了避免避雷针上雷电的高电压通过接地体传到输电线路而引入室内，避雷针接地体与输电线路接地体在地下至少应相距 10m。

2) 为防止感应雷和雷电侵入波沿架空线进入室内，应将进户线最后一根支承物上的绝缘子铁脚可靠接地，在进户线最后一根电杆上的中性线应加重复接地。

3) 雷雨时在野外雨伞不要举得过高，特别是有金属柄的雨伞。若有几个人在一路时，要相距几米远分散避雷，不得手拉手聚在一起。衣服潮湿后应尽快寻找躲避处躲避。

4) 躲避雷雨应选择有屏蔽作用的建筑或物体，如金属箱体、汽车、电车、混凝土房屋等。不能站在孤立的大树、电杆、烟囱和高墙下，不要乘坐敞篷车或骑自行车，因这些物体容易受直击雷轰击。

5) 雷雨时不要停留在易受雷击的地方，如山顶、湖泊、河边、沼泽地、游泳池等。在野外遇到雷雨时，应蹲在低洼处或躲在避雷针保护范围内。

6) 雷雨时，在室内应关好门窗，以防球形雷侵入。不要站在窗前或阳台上，也不要停留在有烟囱的灶前。应离开电力线、电话线、水管、煤气管、暖气管、天线馈线 1.5m 以外。不要洗澡、洗头，应离开厨房、浴室等潮湿的场所。

7) 雷雨时，不要使用家用电器，应将电器的电源插头拔下，以免雷电沿电源线侵入电器内部损伤绝缘，击毁电器，甚至使人触电。

8) 对未装避雷装置的天线，应抛出户外或干脆与地线短接。

9) 如果有人遭到雷击，切不可惊慌失措，应迅速而冷静地处理。受雷击者即使不省人事，心跳、呼吸都已停止，也不一定是死亡，应不失时机地对其进行人工呼吸和胸外心脏挤压，并尽快送医院救治。

本章小结

本章主要介绍了以下常识。

1. 有关人体触电的知识

人体触电有电击和电伤两类。人体触电方式有单相触电、两相触电、跨步电压触电和悬浮电路上的触电。触电时电流对人体的伤害程度与以下几个因素有关：电流的大小、电压的高低、频率的高低、时间的长短、电流通过的路径及人体电阻的大小等。

2. 安全电压的知识

安全电压通常等于通过人体的允许电流与人体电阻的乘积。在不同场合，安全电压的规定是不相同的。

3. 触电原因及保护措施

常见触电原因有：线路架设不合规格，电气操作制度不严格、不健全，用电设备不合要求及用电不谨慎等。介绍了保护接零与保护接地、家用电器的接零与接地及漏电保护装置的知识。预防直接接触电和间接触电的措施。

4. 触电急救

使触电者尽快脱离电源，触电者脱离电源后，应根据其受电流伤害的不同程度，采用不同的施救方法。

5. 雷电的形成与活动规律、雷电的种类与危害及防雷常识。

通过本章的学习，读者要了解安全用电的基本常识，懂得引起触电的原因，掌握家用电器的接地/接零、漏电保护措施、防雷措施和其他一些常用措施，并且熟知触电现场抢救措施和一些人工急救的方法。

第二章 电工工具与电工材料

从事电类工作的人员，必须了解常用的电工工具和电工材料。本章详细介绍了常用电工工具和电工材料的种类、用途、性能及合理使用的方法。目前常用的工具大部分还是手工工具。为了提高劳动生产率，保证产品质量，对于批量大、要求一致性强的产品，配置了一些专用设备，如剥头机、插件机、波峰焊接机等。这些设备是专门供整机装配时使用，亦称为整机装配专用设备。

第一节 常用电工工具

常用电工工具，按其用途可分为焊接工具、钳口工具、剪切工具、紧固工具和防护工具等。

一、焊接工具

电烙铁是装接工最常用的焊接工具，一般有如下几种。

1. 外热式电烙铁

外热式电烙铁由烙铁头、烙铁心、外壳、手柄等部分组成，如图 2-1 所示。

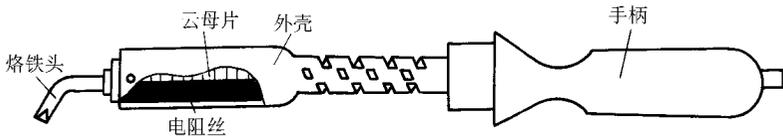


图 2-1 外热式电烙铁

电阻丝绕在由薄云母片绝缘的圆筒上，组成烙铁心，烙铁头安装在烙铁心里面，电阻丝通电后产生的热量传送到烙铁头上，使烙铁头温度升高，故称为外热式电烙铁。

电烙铁的规格是用功率来表示的，常用的有 25W、75W 和 100W 等几种。功率越大，烙铁的热量越大，烙铁头的温度越高。在焊接印制电路板组件时，通常使用功率为 25W 的电烙铁。

烙铁头可以加工成不同的形状，如图 2-2 所示。凿式和尖锥形烙铁头的角度较大时，热量比较集中，温度下降较慢，适用于焊接一般焊点。当烙铁头的角度较小时，温度下降快，适用于焊接对温度比较敏感的元器件。斜面烙铁头，由于表面大，传热较快，适用于焊接布线不很拥挤的单面印制板焊盘接点。圆锥形烙铁头适用于焊接高密度的线头、小孔及小而怕热的元器件。

烙铁头插入烙铁心的深度直接影响烙铁头的表面温度，一般焊接体积较大的物体时，烙铁头插得深些，焊接小而薄的物体时可浅些。

使用外热式电烙铁时应注意如下事项：

1) 装配时必须用三线的电源插头。一般电烙铁有三个接线柱，其中一个与烙铁壳相通，是接地端；另两个与烙铁心相通，接 220V 交流电压。电烙铁的外壳与烙铁心是不接通的，

如果接错就会造成烙铁外壳带电，人触及烙铁外壳就会触电；若用于焊接，还会损坏电路上的元器件。因此，在使用前或更换烙铁心时，必须检查电源线与地线的接头，防止接错。

2) 烙铁头一般用紫铜制作，在温度较高时容易氧化，在使用过程中其端部易被焊料侵蚀而失去原有形状，因此需要及时加以修整。初次使用或经过修整后的烙铁头，都必须及时挂锡，以利于提高电烙铁的可焊性和延长使用寿命。目前也有合金烙铁头，使用时切忌用锉刀修理。

3) 使用过程中不能任意敲击，应轻拿轻放，以免损坏内部发热器件而影响使用寿命。

4) 电烙铁在使用一段时间后，应及时将烙铁头取出，去掉氧化物再重新装配使用。这样可以避免烙铁心与烙铁头卡住而不能更换烙铁头。

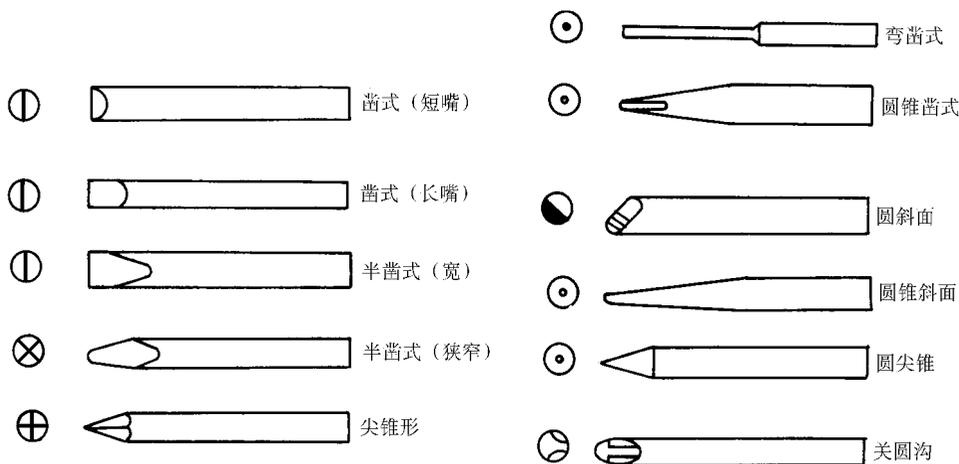


图 2-2 烙铁头的形状

2. 内热式电烙铁

内热式电烙铁的外形如图 2-3 所示。由于发热芯子装在烙铁头里面，故称为内热式电烙铁。芯子是采用极细的镍铬电阻丝绕在瓷管上制成的，在外面套上耐高温绝缘管。烙铁头的一端是空心的，它套在芯子外面，用弹簧夹紧固。

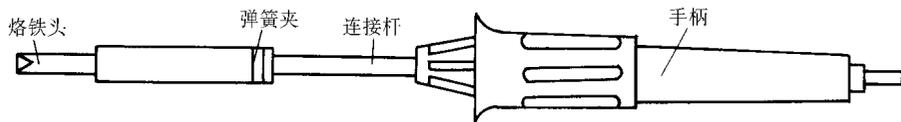


图 2-3 内热式电烙铁

由于芯子装在烙铁头内部，热量能完全传到烙铁头上，发热快，热量利用率高达 85% ~ 90%，烙铁头部温度达 350°C 左右。20W 内热式电烙铁的实用功率相当于 25 ~ 40W 的外热式电烙铁。内热式电烙铁具有体积小、重量轻、发热快和耗电低等优点，因而得到广泛应用。

内热式电烙铁的使用注意事项与外热式电烙铁基本相同。由于其连接杆的管壁厚度只有 0.2mm，而且发热元件由电阻丝绕在瓷管上制成，所以更应注意不要敲击，不要用钳子夹连接杆。

内热式电烙铁的烙铁头形状较复杂,不易加工。为延长其使用寿命,可将烙铁头进行电镀,在紫铜表面镀以纯铁或镍。这种烙铁头的使用寿命比普通烙铁头高 10~20 倍,并且由于镀层耐焊锡的浸蚀,不易变形,能保持操作时所需的最佳形状。使用时,应始终保持烙铁头头部挂锡。擦拭烙铁头要用浸水海棉或湿布,不得用砂纸或砂布打磨烙铁头;也不要使用锉刀锉,以免破坏镀层,缩短使用寿命。若烙铁头不沾锡,可用松香助焊剂或 202 浸锡剂在浸锡槽中上锡。

3. 恒温电烙铁

目前使用的外热式和内热式电烙铁的烙铁头温度都超过 300°C,这对焊接晶体管、集成块等是不利的。一是焊锡容易被氧化而造成虚焊;二是烙铁头的温度过高,若烙铁头与焊点接触时间长,就会造成元器件的损坏。在要求较高的场合,通常采用恒温电烙铁。

恒温电烙铁有电控和磁控两种。电控是用热电偶作为传感元件来检测和控制烙铁头温度。当烙铁头的温度低于规定数值时,温控装置就接通电源,对电烙铁加热,使温度上升,当达到预定温度时,温控装置自动切断电源。这样反复动作,使烙铁基本保持恒定温度。

磁控恒温电烙铁是在烙铁头上装一个强磁性体传感器,用于吸附磁性开关(控制加热器开关)中的永久磁铁来控制温度。升温时,通过磁力作用,带动机械运动的触点,闭合加热器的控制开关,烙铁被迅速加热。当烙铁头达到预定温度时,强磁性体传感器到达居里点(铁磁物质完全失去磁性的温度)而失去磁性,从而使磁性开关的触点断开,加热器断电,于是烙铁头的温度下降。当温度下降至低于强磁性体传感器的居里点时,强磁性体恢复磁性,又继续给烙铁供电加热。如此不断循环,达到控制烙铁温度的目的。

如果需要控制不同的温度,只需要更换烙铁头即可。因不同温度的烙铁头,装有不同规格的强磁性体传感器,其居里点不同,失磁温度各异。烙铁头的工作温度可在 260~450°C 范围内任意选取。

恒温电烙铁外形如图 2-4 所示。

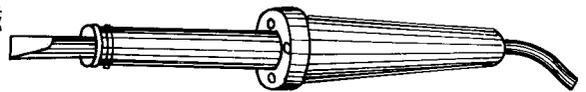


图 2-4 恒温电烙铁

4. 吸锡电烙铁

在检修整机时,经常需要拆下某些元器件或部件。使用吸锡电烙铁能够方便地吸附印制电路板焊接点上的焊锡,使焊接件与印制板脱离,从而可以方便地进行检查和修理。吸锡电烙铁,由烙铁体、烙铁头、橡皮囊和支架等几部分组成。使用时先缩紧橡皮囊,然后将烙铁头的空心口子对准焊点,稍微用力,待焊锡熔化后放松橡皮囊,焊锡就被吸入烙铁头内,移开烙铁头,再按下橡皮囊,焊锡便被挤出。

5. 半自动电烙铁

图 2-5 所示为手枪式半自动电烙铁。它与普通电烙铁不同的是增加了焊锡丝送料机构。按动扳机,带动枪内齿轮转动,借助于齿轮和焊锡丝之间的摩擦力,把焊锡丝向前推进,焊锡丝通过导向嘴到达烙铁头尖端,从而实现半自动送料。这种烙铁的优点是用单手操作焊接,使用灵活方

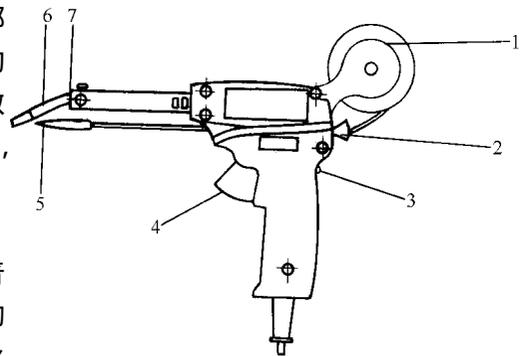


图 2-5 手枪式半自动电烙铁

1—焊锡架 2—焊锡丝入口 3—焊锡进给调整螺钉
4—扳机 5—导向嘴 6—烙铁头 7—烙铁体

便。目前，这种电烙铁广泛应用于流水生产线。

二、钳口工具

1. 尖嘴钳

尖嘴钳适于狭小的工作空间，外形如图 2-6 所示。它主要用在焊点上网绕导线和元器件引线，以及元器件引线成型、布线等。尖嘴钳一般都带有塑料套柄，使用方便，且能绝缘。

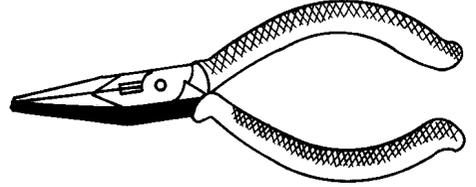


图 2-6 尖嘴钳

为确保使用者的人身安全，严禁使用塑料套破损、开裂的尖嘴钳带电操作。不允许用尖嘴钳装拆螺母，敲击它物。不宜在 80°C 以上的温度环境中使用尖嘴钳，以防止塑料套柄熔化或老化。为防止尖嘴钳装拆端头断裂，不宜用它夹持网绕较硬、较粗的金属导线及其他硬物。尖嘴钳的头部是经过淬火处理的，不要在锡锅或高温的地方使用，以保持钳头部分硬度。

2. 平嘴钳

平嘴钳外形如图 2-7 所示。它主要用于拉直裸导线，将较粗的导线及较粗的元器件引线成型。在焊接晶体管及热敏元件时，可用平嘴钳夹住管脚引线，以便于散热。

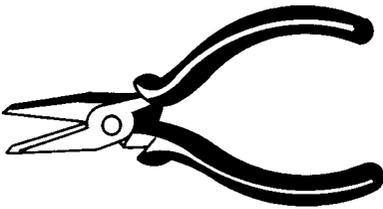


图 2-7 平嘴钳

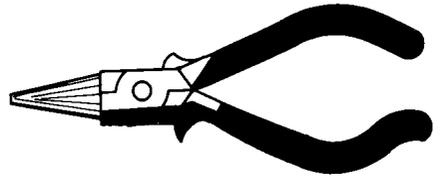


图 2-8 圆嘴钳

3. 圆嘴钳

圆嘴钳外形如图 2-8 所示。

由于钳口呈圆锥形，可以方便地将导线端头、元器件的引线弯绕成圆环形，安装在螺钉及其他部位上。

4. 钢丝钳

钢丝钳如图 2-9 所示，是电工用于剪切或夹持导线、金属线的钳类工具。钢丝钳的规格较多，电工常用的有 175mm 和 200mm 两种，一般都带有塑料套柄，使用方便，且能绝缘。

为确保使用者的人身安全，使用钢丝钳前应检查手柄绝缘套是否完好，在切断导线时，不得将相线 and 中性线同时在一个钳口处切断，使用时应把刀口的一侧面向操作者。

钢丝钳的使用见图 2-9。弯绞导线按图 2-9b 所示方法，可利用钳口或齿口对较粗的导线进行弯曲、整形及扳旋螺母等；图 2-9c 所示的方法，可用钢丝钳的齿口进行旋紧或松动螺母；剪断导线如图 2-9d 所示的方法，可用钢丝钳的刀口进行导线断切。

5. 镊子

镊子有两种，如图 2-10 所示。其主要作用是用来夹持物体。端部较宽的医用镊子可夹持较大的物体，而头部尖细的普通镊子，适合夹持细小物体。在焊接时，用镊子夹持导线或元器件，以防止移动。对镊子的要求是弹性强，合拢时尖端要对正吻合。

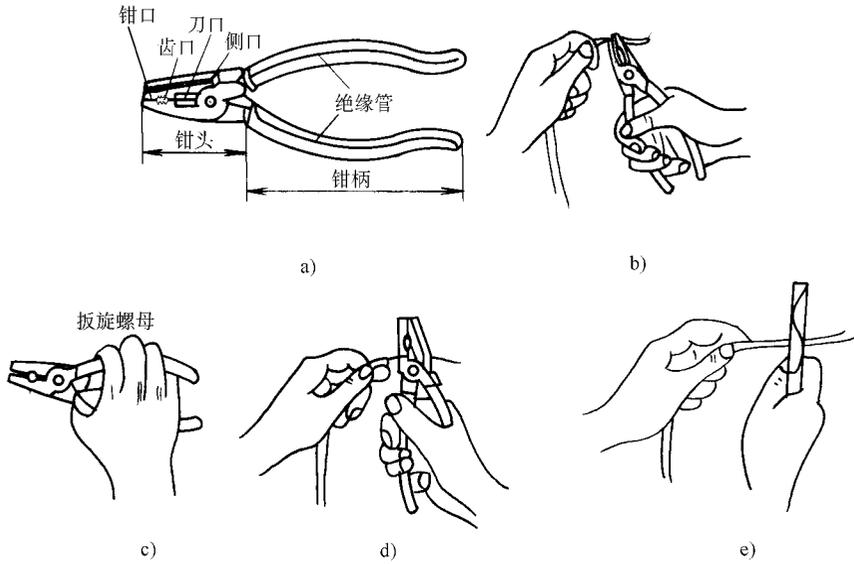


图 2-9 钢丝钳

a) 构造 b) 弯绞导线 c) 松紧螺丝 d) 剪切导线 e) 铡切钢丝

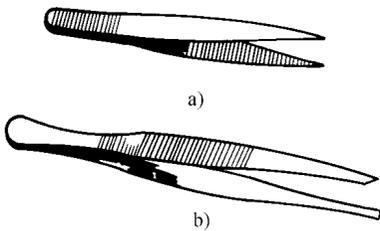


图 2-10 镊子

a) 钟表镊子 b) 医用镊子

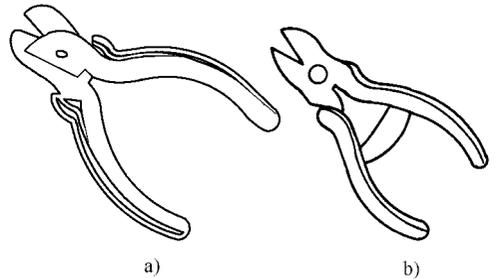


图 2-11 偏口钳

a) 普通偏口钳 b) 带弹簧偏口钳

三、剪切工具

1. 偏口钳

偏口钳又称斜口钳，其外形如图 2-11 所示，主要用于剪切导线，尤其适合用来剪除缠绕后元器件多余的引线。剪线时，要使钳头朝下，在不变动方向时可用另一只手遮挡，防止剪下的线头飞出伤眼。

2. 剪刀

剪刀有普通剪刀和剪切金属线材用剪刀两种，后者外形如图 2-12 所示，其头部短而宽，刀口角度较大，能承受较大的剪切力。

3. 电工刀

电工刀的外形如图 2-13 所示，是常用电工工具之一。通常用来剥削导线绝缘层和削制木棒等。有的电工刀还带有手锯和尖锥，用于电工器材的切割和扎孔。使用时应使刀口向外进行操作，用毕随即把刀身折入刀柄。

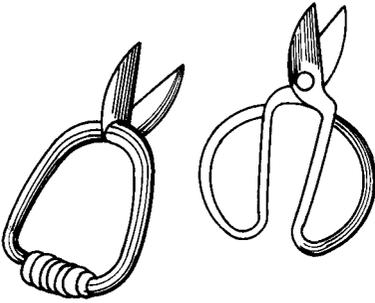


图 2-12 剪刀

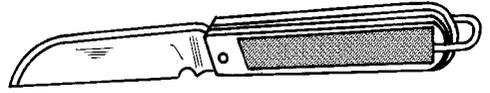


图 2-13 电工刀

电工刀的刀口应在单面上磨出呈圆弧状的刀面，在剥削导线的绝缘层时，使圆弧状刀面贴在导线上进行切削，这样不易损伤芯线。

注意：电工刀刀柄不带绝缘装置，不能进行带电操作。

四、紧固工具

紧固工具用于紧固和拆卸螺钉和螺母。它包括螺钉旋具、螺母旋具和各类扳手等。螺钉旋具也称螺丝刀、改锥或起子，常用的有一字形、十字形两类，并有自动、电动、风动等形式。

1. 一字形螺钉旋具

一字形螺钉旋具用来旋转一字槽螺钉，如图 2-14 所示。选用时，应使旋具头部的长短和宽窄与螺钉槽相适应。若旋具头部宽度超过螺钉槽的长度，在旋沉头螺钉时容易损坏安装件的表面；若头部宽度过小，则不但不能将螺钉旋紧，还容易损坏螺钉槽。头部的厚度比螺钉槽过厚或过薄也是不好的，通常取旋具刀口的厚度为螺钉槽宽度的 0.75 ~ 0.8。此外，使用时旋具不能斜插在螺钉槽内。

2. 十字形螺钉旋具

这种旋具适用于旋转十字槽螺钉，其外形如图 2-15 所示。选用时应使旋杆头部与螺钉槽相吻合，否则易损坏螺钉槽。十字形螺钉旋具的端头分四种槽型：1 号槽型适用于 2 ~ 2.5mm 螺钉；2 号槽型适用于 3 ~ 5mm 螺钉；3 号槽型适用于 5.5 ~ 8mm 螺钉；4 号槽型适用于 10 ~ 12mm 螺钉。

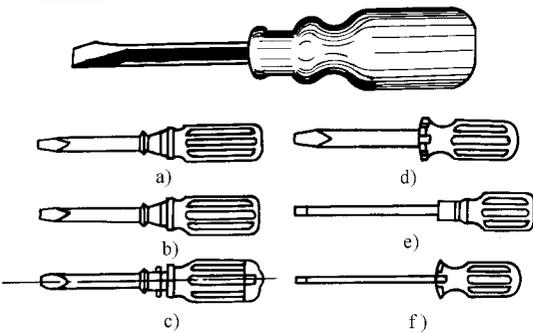


图 2-14 一字形螺钉旋具

- a) YM—I 型木柄螺钉旋具
- b) YM—II 型木柄无铆钉螺钉旋具
- c) YM—III 型木柄穿心螺钉旋具
- d) YS 型塑料柄螺钉旋具
- e) YDM 型电信木柄螺钉旋具
- f) YDS 型电信塑料螺钉旋具

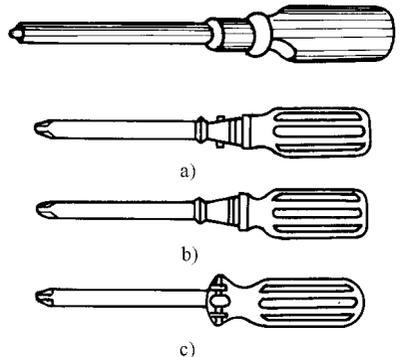


图 2-15 十字形螺钉旋具

- a) SM—I 型十字形木柄螺钉旋具
- b) SM—II 型十字形无铆钉木柄螺钉旋具
- c) SS 型十字形塑料柄螺钉旋具

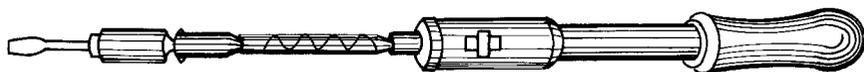


图 2-16 自动螺钉旋具

使用一字形或十字形螺钉旋具时，用力要平稳，压和拧要同时进行。

3. 自动螺钉旋具

自动螺钉旋具适用于紧固头部带槽的各种螺钉，其外形如图 2-16 所示。这种旋具有同旋、顺旋和倒旋三种动作。当开关置于同旋位置时，与一般旋具用法相同。当开关置于顺旋或倒旋位置，在旋具刀口顶住螺钉槽时，只要用力顶压手柄，螺旋杆通过来复孔来转动旋具，便可连续顺旋或倒旋。这种旋具用于大批量生产中，效率较高，但使用者劳动强度较大，目前逐渐被机动螺钉旋具所代替。

4. 机动螺钉旋具

这种旋具有电动和风动两种类型，广泛用于流水生产线上小规格螺钉的装卸。小型机动螺钉旋具外形如图 2-17 所示。这类旋具的特点是体积小、重量轻、操作灵活方便。

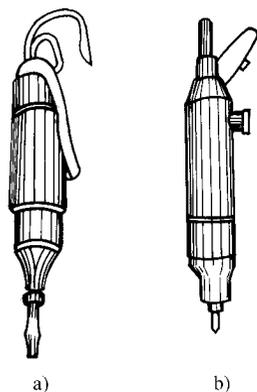


图 2-17 机动螺钉旋具

a) 电动螺钉旋具

b) 风动螺钉旋具

机动螺钉旋具设有限力装置，使用中超过规定扭矩时会自动打滑。这对在塑料安装件上装卸螺钉极为有利。

5. 螺母旋具

螺母旋具外形如图 2-18 所示。它用于装卸六角螺母，使用方法与螺钉旋具相同。

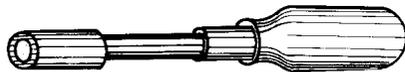


图 2-18 螺母旋具

6. 活络扳手

活络扳手是用来紧固或旋松螺母的一种专用工具，如图 2-19 所示。

使用时，旋动蜗轮使扳口卡在螺母上，然后扳动手柄即可把螺母紧固或旋松。扳动大螺母时，需用大力矩，手应握在手柄尾端处；扳动小螺母时，需要的力矩不大，并且容易打滑，应握在靠近头部的部位，拇指可随时调节蜗轮，收紧扳口以防止打滑，如图 2-19b、c 所示。

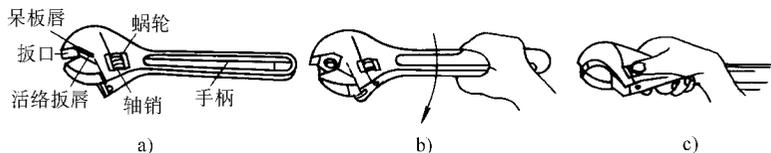


图 2-19 活络扳手

五、防护工具

低压验电器通常又称为试电笔，是检查导线和电气设备的常用工具。试电笔有钢笔式和旋具式两种。常用的低压试电笔的测试范围是 60 ~ 500V，指带电体和大地之间的电位差。

使用试电笔时，手指必须接触金属笔挂或试电笔顶部的金属螺钉，观察时应将氖管窗口背光面向操作者，如图 2-20 所示。

使用注意事项：每次使用前，应先在带电体上进行检验，确定试电笔是否工作正常。应

防止试电笔受潮，不得随意拆卸，探头不能承受较大的扭矩。由于用试电笔检测零线时，氖管不发光，所以试电笔不能检查电路通断情况。

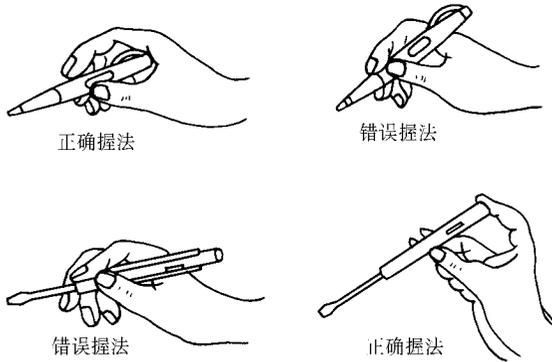


图 2-20 试电笔的握法

第二节 常用设备

一、普通浸锡炉

普通浸锡炉是在一般锡锅的基础上加焊锡滚动装置和温度调节装置构成的，其外形如图 2-21 所示。它既可用于对元器件引线、导线端头、焊片等进行浸锡，也适用于中小批量印制板的焊接。由于锡锅内的焊料不停地滚动，增强了浸锡效果。

使用浸锡炉时要注意调整温度。锡锅一般设有加温档和保温档。开关置加温档时，炉内两组电阻丝并联，温度较高，便于熔化焊料。当锅内焊料已充分熔化后，应及时转向保温档。此时，电阻丝从并联改为串联，电炉温度不再继续升高，维持焊料的熔化，供浸锡用。

为了保证浸锡质量，应根据锅内焊料消耗情况，及时增添焊料，并及时清理锡渣和适当补充焊剂。

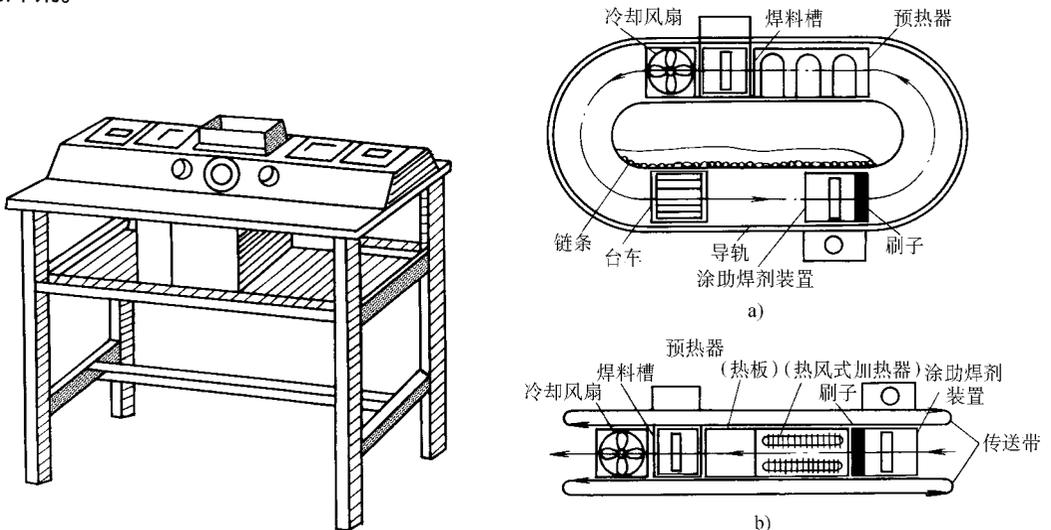


图 2-22 波峰焊接机结构示意图

a) 圆周式 b) 直线式

图 2-21 浸锡炉外形

二、波峰焊接机

波峰焊是自动焊接中较为理想的焊接方法，近年来发展较快，目前已成为印制电路板的主要焊接方法。

波峰焊接机通常由涂助焊剂装置、预热装置、焊料槽、冷却风扇和传送装置等部分组成，其结构形式有圆周式和直线式两种，如图 2-22 所示。图 2-22a 所示为圆周式，焊接机的有关装置沿圆周排列，台车运行一周完成一块印制板的焊接任务。这种焊接机的特点是台车能连续循环使用。图 2-22b 所示为直线式，通常传送带安装在焊接机的两侧，印制板可用台车传送，也可直接挂在传送带上。

三、自动插件机

为提高印制电路板的插装速度和插装质量，可采用元器件自动插件机。它由微处理器按待插装在印制板上的插装元件事先编程，通过机械手和与其联动机构，将规定的电子元器件插入并固定在印制板预制孔中。

按元器件插装时的方向，自动插件机分为水平（轴向）式和立式（径向）两类。水平式插件机适合插装电阻、跨接线（裸铜线）等轴向安装元件；立式插件机适合插装电容器，二、三极管等径向安装元件。图 2-23 为水平式自动插件机外形图。

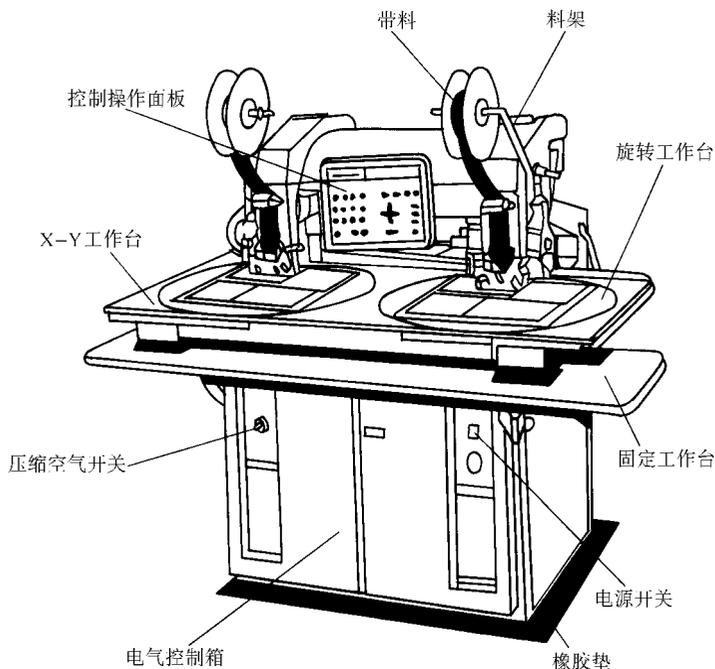


图 2-23 水平式自动插件机

自动插件机一般每分钟能完成 100 ~ 200 件次的插装，最高可达 530 件次。自动插件机一般都可以完成 X、Y 方向任意一个轴向元件插装，并设有保证插装质量的自动监测系统，以防止误插、漏插等缺陷。自动插件机的缺点是设备成本高，对印制板的尺寸和元器件的形状等有严格的要求，因此对不宜自动插装的元器件，仍需在自动插装后用手工插装。

四、烫印机

烫印机是用来烫印金箔的加工设备。

烫印可分为平版烫印、凸版烫印、滚烫和周边烫印等方式。平版烫印、凸版烫印和滚烫适用于较小的塑料件。周边烫印适用于大面积烫印。

烫印机通常都设有温度、时间控制和压力调节机构，以满足不同烫印工艺的要求。上述烫印机采用电阻丝作为热源。目前较先进的烫印设备采用超声波作为热源。它的工作原理是在薄膜和塑料件接合处，靠超声波的振荡，产生较高频率的摩擦，从而导致生热，使薄膜和塑料件表面熔化，在一定压力作用下结合在一起。这类装置的优点是薄膜贴附牢靠，且操作安全，适用于加工形状复杂的塑料件，如扬声器面框等。

五、表面安装工艺装备

1. 波峰焊接机

表面安装使用的波峰焊是在传统波峰焊的基础上进行重大革新，以适应高密度组装的需要。主要改进在波峰上，有双峰、Ω峰、喷射式峰和气泡峰等新型波峰，形成湍流波，以提高渗透性。它们的工作性能见表 2-1。表面安装用波峰焊机主要技术指标有：焊剂容量 6 ~ 10L，最高 18L；焊料量 10 ~ 1000kg；带速 0 ~ 6m/min 可调；带宽 300 ~ 450mm；焊料温度 220 ~ 250°C；焊接时间 3 ~ 4s。

表 2-1 SMT 用波峰焊接机

| 方法 | 特点 |
|--------|--|
| 双峰波峰焊 | 适用于混装的 SMT 焊接；生产率高，工艺成熟；易桥接、漏焊，滑焊率 18%；AP 承受焊料冲剂；SMD 须预先固定 |
| Ω 波波峰焊 | |
| 喷射式波峰焊 | 适用于混装的 SMT 焊接；生产率高，工艺成熟；易桥接、漏焊，滑焊率 18%，漏焊率 20%；AP 承受焊料冲剂；SMD 须预先固定；适用于细线焊接 |
| 气泡波峰焊 | 漏焊率 2% |

2. 再流焊接机

再流焊接属精密焊接，热应力小，适用于全表面贴装元件的焊接。通常在整体再流焊中采用红外线再流焊、气相再流焊、热板再流焊等；在局部再流焊中使用专用加热工具、激光束、红外光束和热气流等。应用最多的是红外线再流焊、热风再流焊和气相再流焊。各种再流焊的原理和性能见表 2-2 所示。

表 2-2 各种再流焊接方式

| 加热方式 | 原理 | 焊接温度 | 备注 |
|--------|---------|--|---------------------|
| 整体加热方式 | 红外线炉 | 225 ~ 235°C 调节范围：3 ~ 10°C 预热：远红外 焊接：近红外 | 适合于不需要部分加热场合，可大批量生产 |
| | 气相焊 | 215°C 调节范围：10 ~ 30°C | |
| | 热板（加热板） | 215 ~ 235°C 调节范围：3 ~ 10°C | |

| 加热方式 | | 原 理 | 焊接温度 | 备 注 |
|----------------|--------|-------------------------------------|--|-----------------------------|
| 局部 加热 方式 | 专用加热工具 | 利用热传导进行焊接 | 100 ~ 260°C 调节范围：5 ~ 10°C 加力：78.5 ~ 274.6N | 焊接时对其他元件 不产生热应力，损坏 性小 |
| | 激光 | 利用激光进行焊接 CO ₂ ，YAG 激光 | | |
| | 光束 | 红外线高温光点焊接 | 同激光焊接相比较，成本低 | |
| | 热气流 | 通过热气喷嘴加热焊接 | 230 ~ 260°C 调节范围：3 ~ 10°C | |

单纯的红外加热再流焊，很难使组件上各处的温度都符合规定的曲线要求，而红外/热风混合式，采用强力空气对流的远红外再流焊，热空气在炉内循环，在一定程度上改善了温度场的均匀性。

3. 贴片机

贴片机是片式元器件自动安装装置，是一种由微电脑控制的对片式元件实现自动检选、贴放的精密设备，又称为自动元件拾放机、贴装机、表面组装机和表面安装机等。贴片机是表面安装工艺的关键设备，不仅因为它是整条 SMT 生产线中最昂贵的设备，更因为这种设备必须达到高水平的工艺要求。贴片机结构框图如图 2-24 所示，配备视觉识别功能的高速贴片机 NM2599A（日本产）的外形如图 2-25 所示。

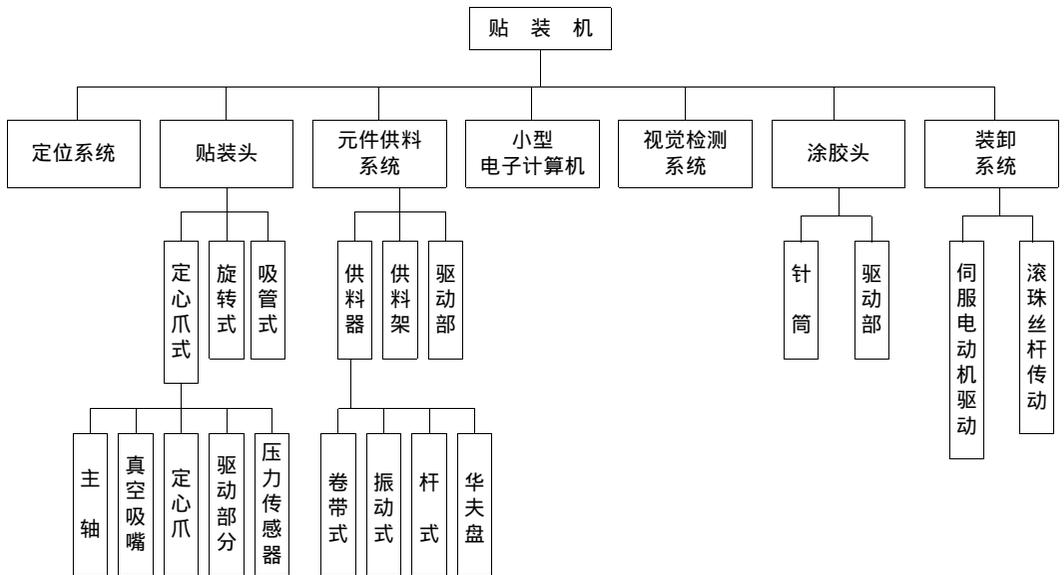


图 2-24 贴片机结构框图

目前世界上生产的贴片机已有百余种，按贴片机的贴装速度及所贴装元件种类，可分为以下三类。

(1) 高速贴片机 适合贴装矩形或圆柱形的片式元件。

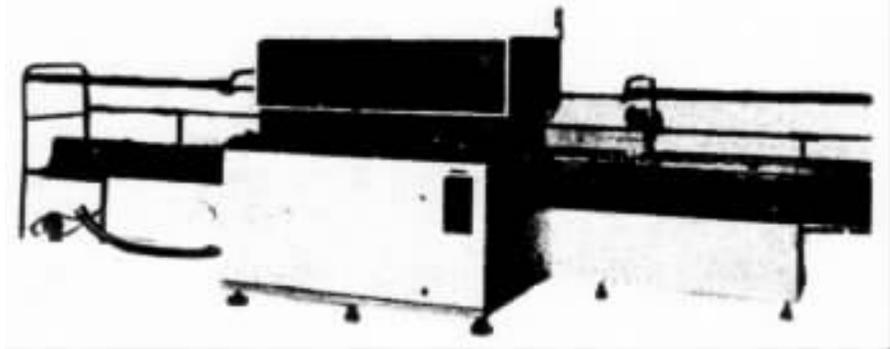


图 2-25 配备视觉识别功能的高速贴片机

(2) 低速高精度贴片机 适合贴装 SOP 形集成电路、小型封装芯片载体及无引线陶瓷封装芯片载体等。

(3) 多功能贴片机 既可贴装常规片式元件，又可贴装各种芯片载体。

一些生产贴片机的公司将机器归类为标准型片式元件贴片机和异型片式元件贴片机。按照贴片机贴装方式又可分为同时式、顺序式与流水线式，见表 2-3 所示。

表 2-3 贴片机的贴片方式分类表

| 类别 | 贴片方式 | 特点 |
|--------|--|---------------|
| 顺序式 | 印制电路板 AP 装在 X—Y 工作台上，表面安装元器件 (SMD)，一个一个地顺序贴装 | 工作灵活 |
| 同时式 | 多个 SMD 通过模板一次同时贴于 AP 上 | 贴装率高，但不易更换 AP |
| 流水线式 | AP 在排成流水线的多个贴装头下一步一步地进行，每到一头下，贴装一个 SMD | 投资、占地大，但贴装率高 |
| 顺序/同时式 | 兼有顺序式和同时式两种方式 | |

新一代的多功能贴片机还有线路板识别摄像机和元件识别摄像机，采用彩色显示器，实现人机对话（所使用的识别系统称为光学视觉系统），纠正片式元器件与相应焊盘图形间的角度误差和定位误差，以提高贴装精度。这类贴片机的贴装精度达 $\pm 0.04\text{mm}$ ，贴装件接脚间距为 0.3mm ，贴装速度为 $0.1 \sim 0.2\text{s/件}$ 。

第三节 常用线材

一、常用线材的分类

电子产品常用线材有电线、电缆，它们是电能或电磁信号的传输线，一般又分为裸线、电磁线、绝缘电线电缆和通信电缆四种。

1. 裸线

没有绝缘层的金属导线称为裸线。它有圆形铜、铝单线和平线、架空绞线等。

2. 电磁线

电磁线是由涂漆或包缠纤维制成的绝缘导线。纤维可用纱包、丝包、玻璃丝包和纸包等。

3. 绝缘电线电缆

绝缘电线电缆俗称安装线和安装电缆，它们一般是由导电的芯线、绝缘层和保护层构成的。

4. 通信电缆

通信电缆包括电信系统中的各种通信电缆、射频电缆、电话线和广播线等。

二、电缆线的结构及各部分的作用

电缆线由导体、绝缘层、屏蔽层、护套、铠装等部分组成，如图 2-26 所示。

1. 导体

凡属于导电性能良好的物体（电阻率低于 $10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ ）称为导体。电缆线导体材料主要是铜线和铝线，一般采用多股细线绞合而成，以增加电缆的柔软性。为了减少集肤效应，也可采用铜管或皱皮铜管作导体材料。

2. 绝缘层

绝缘层的作用是防止通信电缆漏电和电力电缆放电。

常用的绝缘材料有棉纱、纸、绝缘漆、橡胶、塑料、无机绝缘材料等。电线电缆的绝缘材料应具有良好的电气性能和一定的机械物理性能。高频电缆的绝缘材料还应具有较低的介电常数和介质损耗。

低频绝缘一般采用聚氯乙烯，高频电缆一般采用聚乙烯、聚苯乙烯、聚四氟乙烯或优质橡胶绝缘，还有的采用半空气绝缘和空气绝缘。

3. 屏蔽层

屏蔽就是用导电或导磁材料制成的盒、壳、屏、板等将电磁能限制在一定范围内，使电磁场的能量从屏蔽体的一面传到另一面时受到很大衰减的防电磁干扰措施。电线电缆的屏蔽一般用金属丝绕包或用细金属丝编织而成，主要材料有铜、钢或铝，也有采用双金属和多层复合屏蔽的。

4. 护套

电线电缆绝缘层或导体上面包裹的物质称为护套，它主要起机械保护和防潮作用。护套有金属护套和非金属护套两种。金属护套大多用铝套、铅套、皱纹金属套和金属编织套等。非金属护套大多采用橡胶、塑料等。

5. 铠装

为了增强电缆的抗拉强度及保护电缆不受机械损伤，在电缆护套外面加保护层。根据电缆型号的不同，有钢带铠装、镀锌扁钢丝或镀锌圆钢丝铠装。

三、电线电缆的选用

1. 裸线的选用

裸线大部分用作电线、电缆的导电线芯，一部分直接用于连接及制作各种零部件。圆铜线有两种型号：TY（硬）和 TR（软）。圆铝线有三种型号：LY（硬）、LYB（半硬）和 LR（软）。镀银圆铜线和 TRX 镀锡圆铜线常用作电子元件的引线，以保证其良好的可焊性。

2. 电磁线的选用

电磁线常用于线圈或绕组。电子工业中常用的主要是绝缘圆铜线。按照绝缘层的特点和用途，电磁线可分为漆包线和绕包线。

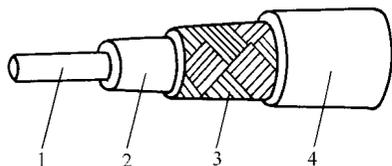


图 2-26 电缆线的结构示意图

1—导体 2—绝缘层 3—屏蔽层 4—护套

漆包线有多种型号，其中聚酯漆包线（QZ）具有优良的耐电压击穿性能，机械强度高，抗溶剂的特性好，耐温在 130°C 以下，广泛用于绕制各种变压器。高频绕组线（QJST）用于高频绕组。聚酯自黏性漆包线（QJN）不需要浸渍处理，在一定温度条件下能自行黏合成型，电视机中的行偏转线圈多用这种漆包线来绕制。QAN 型自黏直焊漆包线则既可自黏又能直焊。

3. 绝缘电线电缆的选用

绝缘电线电缆又称安装线和安装电缆。安装线常用橡胶或聚乙烯作为绝缘层。用于电子设备装配的导线常用聚氯乙烯导线，其芯线大都用铜线，有单股的，也有多股绞合的。单股导线主要用于固定元器件之间的连接；多股绞线比较柔软，不易折断，多用于活动零部件之间的连接。聚氯乙烯塑料可制成各种鲜艳的颜色，易于识别。

4. 通信电缆的选用

一般通信用电缆多为多芯电缆，并且总是成对出现的，对数可多至几百甚至上千对。当信号较小，外来干扰电平不可忽略时，应选用带有屏蔽的电缆。高频电缆分为单芯和双芯电缆两种。双芯电缆又称平行线，图 2-27 所示的 SBVD 带形线适用于电视机接收天线的馈线。单芯高频电缆又称同轴电缆，其特性阻抗常用的有 50Ω、75Ω 和 150Ω 三种。选用高频电缆时应注意阻抗的匹配关系。闭路电视系统常用同轴电缆的参数见表 2-4 所示。

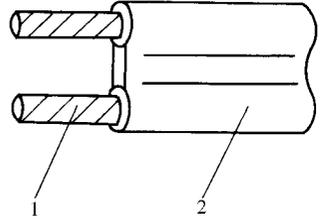


图 2-27 SBVD 带形线
1—铜芯线 2—橡胶绝缘

表 2-4 闭路电视系统常用同轴电缆的参数

| 参数 | | 型号 | | | | MC ² 500 | MC ² 700 |
|---|--------------------|-----------|------|------|------|---------------------|---------------------|
| | | SYKV—75—5 | | | | | |
| 衰 减 量 /dB (100m) ⁻¹ | 50MHz ^① | 5.3 | 3.4 | 2.8 | 2.2 | 1.42 | 1.00 |
| | 100MHz | 7.4 | 4.9 | 4.0 | 3.1 | 2.13 | 1.48 |
| | 200MHz | 10 | 7.1 | 5.7 | 4.5 | 3.04 | 2.12 |
| | 230MHz | 12 | 8 | 6.1 | 5 | 3.2 | 2.3 |
| | 300MHz | 12.5 | 9.1 | 7.1 | 5.8 | 3.74 | 2.59 |
| | 450MHz | 17.5 | 11.5 | 9.1 | 6.8 | | |
| | 550MHz | | 12 | 10 | 8.5 | 4.6 | 3.18 |
| | 800MHz | 20.5 | 15.2 | 12.5 | 10 | 6.17 | 4.27 |
| 直流电阻/Ω (km) ⁻¹ | | | | 17 | 11 | 5.1 | 4.6 |
| 特性阻抗/Ω | | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 |
| 中心导体直径/mm | | 1 | 1.6 | 2 | 2.6 | 3.1 | 4.8 |
| 外径/mm | | 6.8 | 10 | 12 | 14.4 | 14.9 | 21.2 |
| 应用 | | 室内 | 支线 | 干线 | 干线 | 干线 | 干线 |

① 测试频率

第四节 绝缘材料与磁性材料

一、绝缘材料

具有高电阻率、能够隔离相邻导体或防止导体间发生接触的材料称为绝缘材料，又称电介质。绝缘材料应具有较高的绝缘电阻和耐压强度，还应具有较好的耐热性、导热性、耐潮

性和较高的机械强度以及加工方便等特点。

1. 绝缘材料的分类

常用绝缘材料按其化学性质不同,可分为有机绝缘材料、无机绝缘材料和混合绝缘材料三种。有机绝缘材料有树脂、虫胶、橡胶、棉纱、纸、麻、蚕丝、人造丝等。无机绝缘材料有云母、石棉、大理石、陶瓷、玻璃、硫磺等。混合绝缘材料是由两种以上材料经加工后制成的各种成形绝缘材料,常用作电器的底座、外壳等。

有机绝缘材料的特点是密度小、柔软、易加工,但耐热性不高、化学稳定性差、容易老化。无机绝缘材料则恰恰相反。

2. 常用绝缘材料

绝缘材料在电子产品中有着广泛的应用,主要有如下四个方面。

(1) 介质材料 用作电容器的介质,主要要求介电常数大、介质损耗小。

(2) 装置和结构材料 用作开关、接线柱、线圈骨架、印制电路板及一些机械结构件,如框架、齿轮等。主要要求有高的机械强度。对高频应用的材料还要求介质损耗和介电常数小,以减少损耗和分布电容。

(3) 浸渍、灌封材料 要求有良好的电性能以及黏度小、化学稳定性高、吸水性小、阻燃性好、无毒等。

(4) 涂覆材料 要求有良好的附着性。

常用的绝缘材料可见表 2-5。应根据产品的电气性能和环境条件的要求,合理选用绝缘材料。

表 2-5 常用绝缘材料

| 名称及标准号 | 牌 号 | 特性与用途 |
|-------------------------|----------------------|--|
| 电缆纸 QB131—61 | K—08 K—12 K—17 | 作 35kV 的电力电缆、控制电缆、通信电缆及其他电器的绝缘用纸 |
| 电容器纸 QB603—72 | DR—Ⅲ | 在电子设备中作变压器的层间绝缘 |
| 黄漆布与黄漆绸 JB879—66 | 2010 (平放) 2210 | 适用于一般电动机电器衬垫或线圈绝缘 |
| 黄漆管 JB883—66 | 2710 | 有一定的弹性,适用于电气仪表、无线电器件和其他电器装置的导线连接的保护和绝缘 |
| 环氧玻璃漆布 | — | 适用于包绕环氧树脂浇注的特种电器线圈 |
| 软聚氯乙烯管(带) HG2—64—65 | — | 作电气绝缘及保护用,颜色有灰、白、天蓝、紫、红、橙、棕、黄、绿色等 |
| 聚四氟乙烯电容器薄膜、聚四氟乙烯电容器绝缘薄膜 | SFM—1 SFM—3 | 用于电容器及电气仪表中的绝缘,适用温度为 - 60 ~ + 250°C |
| 酚醛层压纸板 JB885—66 | 3021 3023 | 3023 具有低的介质损耗,适用于无线电通信 |
| 酚醛层压布板 TB886—66 | 3025 | 有较高的力学性能和一定的介电性能,适用于电气设备中做绝缘结构零部件 |
| 环氧酚醛玻璃布板 JB887—66 | 3240 | 有较高的力学性能、介电性能和耐水性,适用于潮湿环境下做电气设备结构零部件 |

二、磁性材料

磁性材料通常分为软磁材料和硬磁材料两大类。

1. 软磁材料

软磁材料具有高导磁率和低矫顽力。这类材料在较弱的外磁场下就能产生高的磁感应强度，并随外磁场的增强很快达到饱和。当外磁场去除时，它的磁性即基本消失。软磁材料又可分为用于低频的金属软磁材料（如硅钢片、铁镍合金等）和用于高频的磁介质及软磁铁氧体。

硅钢片是铁和硅的合金。在铁中加入硅可以大大提高其电阻率，减少涡流损耗。但含硅量不宜太大，通常硅钢片中硅的质量分数为 0.4% ~ 4.5%。同时，硅的质量分数小于 3.5% 的硅钢片才能进行冷辗压加工，制成冷轧硅钢片。用冷轧法制取的硅钢片，可显著地改善其磁性能，并有明显的各向异性，在辗压方向上有比一般硅钢片更高的磁导率和更低的磁滞损耗。因此，冷轧硅钢片可作低频大功率电感元件的铁心。

铁镍合金又称坡莫合金，在弱磁场和中磁场中具有较高的磁导率和小的矫顽力及损耗，因此常用于要求体积小、重量轻的变压器铁心。由于这类材料仍是金属软磁材料，其电阻率较大，不宜用于高频；又由于其饱和磁感应不大，亦不宜用于大功率。由于铁镍合金对应力特别敏感，在使用时需防止振动和冲击，机械加工后要进行热处理，以恢复其性能。

磁介质由金属磁性粉末用胶黏剂黏合模压而成，亦称铁粉心。它的涡流损耗较小，可用于高频电路中，工作频率高达几十兆赫。

软磁铁氧体是由氧化铁与一种或几种金属氧化物所组成的复合化合物。它的生产过程、机械性能均与陶瓷相似，所以常称为瓷性磁。与金属磁性材料相比，软磁铁氧体的最大优点是具有高电阻率，多用于高频电路中，同时还具有密度小，防锈、防腐性好，生产工艺简单，原材料来源丰富等优点，亦可通过调整配方和工艺来满足各种不同性能的要求。它常用于制作天线磁棒和偏转线圈及可调电感的磁心。软磁铁氧体的缺点是硬而脆、易吸潮，因此调节磁心元件时用力不宜过猛，并要防止跌落碎断，在要求较高的场合需经防潮处理。

2. 硬磁材料

硬磁材料又称永磁材料。它的主要特点是具有高矫顽力，经饱和磁化再将外磁场撤除后仍能保持强而稳定的磁性。它主要用作电声器件（如扬声器、拾音器、话筒等）的永久磁铁。早期使用的永磁材料为碳钢和各种可锻合金钢，这类材料有良好的加工性能，但永磁特性较差。现在大量使用的永磁材料有铝镍钴永磁、铁氧体永磁和稀土钴永磁。稀土钴永磁是最近十几年才发展起来的新型材料，具有优异的磁性能，其原料来源丰富，制作工艺简单，制成元件后体积小，重量轻，价格低廉。

第五节 塑 料

一、塑料的组成与分类

塑料是以天然树脂或合成树脂为主要原料，在加热、加压的条件下可以塑制的高分子材料。塑料由树脂和填充剂两种基本成分组成，树脂占塑料全部组成成分的 40% 以上，它将其他成分黏合起来。塑料的性能主要取决于树脂本身的特性。填充剂种类繁多，有机填充剂如木粉、棉布、纸屑；无机填充剂如石棉、云母、滑石粉、玻璃纤维等。填充剂决定塑料的

机械性能、电气性能与化学稳定性，并能改变某些物理性能，还能降低塑料成本。填充剂通常占塑料的 20% ~ 50%。此外，为了使塑料获得某些不同的性能，有时还加入不同种类的添加剂，如增塑剂、着色剂、稳定剂、润滑剂和固化剂等。

按热性能，塑料分为热固性和热塑性两大类。

热固性塑料是指塑料受热、受压后，先软化并有部分熔融，然后变为不溶性固体的一种塑料。这种塑料塑制成型后不因再度受热而软化，所以只能塑制一次，故称热固性塑料。常用的有酚醛塑料、环氧树脂塑料、硅有机塑料等。这类塑料的优点是耐热性高、不易变形、价格低廉。

热塑性塑料又称热塑性塑料。它在加热时熔融，冷却后固化成型，再加热又可重新塑制，可以反复重塑。热塑性塑料的优点是成型工艺简便，生产效率高，具有较高的物理机械强度，但耐热性较低。近年来新型热塑性塑料不断出现，有的耐热性已可与热固性塑料相比。

二、工程塑料

工程塑料是指机械性能比较好，可以代替金属作为工程技术上结构材料的一类塑料。尼龙、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯（ABS）、聚碳酸酯、聚甲醛、聚砜以及聚苯硫醚（PPS）等，都是性能优良的工程塑料。

根据用途不同，塑料制品分为一般结构件、传动件、耐磨件、绝缘件、耐腐蚀件等。应根据塑料的不同用途和具体要求，并结合其性能特点来选取合适的塑料。下面介绍几种常用的工程塑料。

1. ABS 塑料

ABS 塑料是由苯乙烯、丁二烯、丙烯腈共聚而成的。它具有三种成分的共同性能，有较高的冲击韧性和机械强度，制品尺寸稳定，耐化学性和电绝缘性良好，而易于注塑成型和进行机械加工。常用它制造各种机壳、安装架、齿轮、拉线盘和旋钮等。ABS 塑料表面还可镀铬和进行烫印、喷漆等装饰加工，而且结合牢固、不易锈蚀。

2. 聚苯乙烯塑料

聚苯乙烯塑料具有一定的机械强度，化学稳定性和电气性能都较优良，透明度达 88% ~ 92%，着色性能好，易于热注塑成型。常用它制造仪表外壳、指示罩、表头罩、透明模型等。

聚苯乙烯在加入丙烯腈或丁苯橡胶后，便成为改性聚苯乙烯。高抗冲击聚苯乙烯（HIPS）是一种新型的改性聚苯乙烯塑料，它的抗冲击强度可以同 ABS 塑料媲美，可代替 ABS 塑料，用于制作机壳、安装架等。

3. 聚乙烯塑料

聚乙烯塑料按聚合时所采用的压力不同可以分为高压、中压和低压聚乙烯。电子产品中多采用高压聚乙烯。高压聚乙烯具有柔韧、弹性好等优点，常用来制作导线卡子或负荷不重的安装架及弹性固定夹，如磁性天线支架等，同时还具有优良的电性能，介质损耗小，因而广泛用于制造各种规格的高频电缆和电容器的绝缘层。

4. 聚丙烯塑料

聚丙烯塑料的主要特点是密度小、成型性能好，并具有较高的抗弯曲疲劳强度，良好的耐热性，常用来制作电视机、录音机等的门盖、盒盖的铰链，缺点是收缩率较大，故不宜做

尺寸稳定性要求高的零件。

5. 聚碳酸酯塑料

聚碳酸酯塑料的耐冲击性是热塑性塑料中最好的，其耐温度变化性能也很好，既耐热又耐寒，制品尺寸稳定性高。它适合于制造录像机和高档收录机中的各种齿轮、蜗杆、齿条、凸轮、轴承、铰链以及电位器骨架、开关骨架等，电视机中的耐高温、高压的线圈骨架、壳体等亦常用聚碳酸酯制造。

6. 聚砷塑料

聚砷塑料具有突出的耐热、抗氧化性能，在 150°C 的温度下可长期使用，具有较高的机械强度及良好的电性能，能进行一般热注塑成型加工和机械加工，制品尺寸稳定，并有良好的可镀性。常用来制作具有高强度、耐热、抗蠕变及耐腐蚀的零件，如各种齿轮及线圈和变压器骨架等。

7. 聚甲醛塑料

聚甲醛塑料抗压、抗拉强度高，并有突出的耐疲劳及耐冲击性能，大量用于制作普通录音机机芯、滚轮、齿轮、轴承及线圈骨架等。

8. 聚酰胺塑料

聚酰胺塑料俗称尼龙，具有良好的电性能、热性能及机械综合性能，用于制作普通录音机、收音机中的各种齿轮、滑轮、垫圈等。

9. 酚醛塑料

酚醛塑料俗称胶木，是一种最常用的热固性塑料。制品表面光滑平整，有良好的机械性能、电绝缘性能和耐熔性，但抗冲击性较差，易碎。普通酚醛塑料用于制造开关、仪表壳、插头和插座等。电工绝缘用酚醛塑料常用于制造电位器、接插件外壳、绝缘支架等。高频用酚醛塑料常用于制造高频线圈骨架、电子管管座和管帽等。

第六节 印制电路板

一、覆铜箔层压板

覆以铜箔的绝缘层压板称为覆铜箔层压板。它是用腐蚀铜箔法制作印制电路板的主要材料。覆铜箔层压板的种类很多，按基材的品种可分为纸基板和玻璃布板；按黏结树脂来分有酚醛、环氧、环氧酚醛、聚酰亚胺、聚四氟乙烯板等。

1. 酚醛纸基覆铜箔层压板

它是用浸渍过酚醛树脂的绝缘纸或棉纤维板作为基板，两面加无碱玻璃布，并在一面或两面覆以电解紫铜箔，经热压而成的板状层压制品，其型号有 3420（浸渍纸双面覆铜箔层压板）和 TFZ—63（棉纤维纸单面覆铜箔层压板）。

此类层压板价格低廉，但机械强度低，易吸水，耐高温性能差（一般不超过 100°C），主要用于低频和一般民用产品中。

覆铜箔层压板的标准厚度有 1.0mm、1.5mm 和 2.0mm 三种，一般应优先选用 1.5mm 和 2.0mm 厚的层压板。

2. 环氧酚醛玻璃布覆铜箔层压板

这是用无碱玻璃布浸以环氧树脂经热压而成的层压制品，一面或两面覆以电解紫铜箔。

其型号有 3440 (双面)、3441 (单面) 和 THFB—65 (单、双面) 等。

这类层压板的电气和机械性能良好, 加工方便, 可用于恶劣环境和超高频电路中。

3. 环氧玻璃布覆铜箔层压板

这类层压板由玻璃布浸以双氰胺固化剂的环氧树脂经热压而成。其型号有 THAB—67D (单面) 和 THAB—67S (双面)。

这类层压板基材的透明度良好, 与环氧酚醛覆铜板相比, 具有较好的机械加工性能。其防潮性良好, 工作温度较高。

4. 聚四氟乙烯玻璃布覆铜箔层压板

这是以无碱玻璃布浸渍聚四氟乙烯分散乳液为基材, 覆以经氧化处理的电解紫铜箔, 经热压而成的层压板。它具有良好的介电性能和化学稳定性, 是一种耐高温和高绝缘的新型材料; 具有较宽的耐温范围 (- 230 ~ 260°C), 在 200°C 下可长期工作, 并可在 300°C 下间断工作。它主要用在高频和超高频电路中。

此外, 还有聚苯乙烯覆铜箔板、软性聚酯覆铜箔板等。

二、印制电路板的类型和特点

印制电路是指在绝缘基板上的印制导线和印制元件系统。具有印制电路的绝缘基板称为印制电路板。目前在电子设备中广泛采用的印制电路板只有印制导线而没有印制元件。印制电路板用于安装小型化元件、晶体管和集成电路等电路元件。

使用印制电路板制造的产品具有可靠性高, 一致性、稳定性好, 机械强度高, 耐振、耐冲击, 体积小、重量轻, 便于标准化, 便于维修, 用铜量小以及成批生产的生产效率高等优点。其缺点是制造工艺较复杂, 单件或小批量生产不经济。印制电路板按其结构可分为以下四种。

1. 单面印制电路板

单面印制电路板通常是由酚醛纸基单面覆铜箔板, 通过印制和腐蚀的方法, 在绝缘基板覆铜箔一面制成印制导线。它适用于对电性能要求不高的收音机、收录机、电视机和仪器仪表等。

2. 双面印制电路板

双面印制电路板是在两面覆有铜箔的绝缘基板上, 制成两面都有印制导线的印制板。通常采用环氧玻璃布覆铜箔板或环氧酚醛玻璃布覆铜箔板。由于两面都有印制导线, 一般采用金属化孔连接两面印制导线。其布线密度比单面板更高, 使用更为方便。它适用于对电性能要求较高的通信设备、电子计算机和仪器仪表等。

3. 多层印制电路板

多层印制电路板是在绝缘基板上制成三层以上印制导线的印制电路板。它由几层较薄的单面或双面印制电路板 (每层厚度在 0.4mm 以下) 叠合压制而成。为了将夹在绝缘基板中间的印制导线引出, 多层印制板上安装元件的孔需经金属化处理, 使之与夹在绝缘基板中的印制导线导通。目前, 广泛使用的有四层、六层和八层, 更多层的也有使用。多层印制电路板的主要优点如下。

- 1) 与集成电路配合使用, 有利于整机小型化及减轻重量。
- 2) 接线短、直, 布线密度高。由于增设了屏蔽层, 可以减小电路的信号失真。
- 3) 由于引入了接地散热层, 可以减少局部过热, 提高整机工作的稳定性。

4. 软性印制电路板

这是以软层状塑料或其他软质绝缘材料为基材制成的印制电路板，也称挠性印制电路板或柔性印制电路板。它可分为单面、双面和多层三大类。单面和双面软性印制电路板的厚度为 0.25 ~ 1mm。使用的绝缘材料有聚酯、聚酰亚胺、聚四氟乙烯薄膜等。此类印制电路板除了重量轻、体积小和可靠性高以外，最突出的特点就是具有挠性，能折叠、弯曲、卷绕，自身可端接以及三维空间排列。软性印制电路板在电子计算机、自动化仪表、通信设备中的应用已日益广泛。

第七节 辅助材料

一、焊料

凡是用来熔合两种或两种以上的金属面，使之成为一个整体的金属或合金都称为焊料。按组成成分，焊料可以分为锡铅焊料、银焊料和铜焊料等；按熔点，焊料又可分为软焊料（熔点在 450°C 以下）和硬焊料（熔点高于 450°C）。纯锡能与多种金属反应，形成化合物，但强度低、较脆、价格贵，而且不能很快地流灌和充填焊接处的空隙，所以一般不用纯锡作焊料。用锡与铅制成的锡铅合金，则既可降低焊料的熔点，又可避免纯锡较脆的缺点，提高了焊接强度。所以，在整机装配中常用的是锡铅焊料，简称焊锡。

1. 锡铅共晶焊料

锡铅合金的熔化温度随锡的含量而变化。当含锡 63%，含铅 37% 时，合金的熔点是 183°C，凝固点也是 183°C，可由固体直接变为液体，这时的合金称为共晶合金。按共晶合金的配比制成的焊锡称共晶焊锡。锡铅共晶焊料有如下优点。

(1) 熔点最低 由于共晶焊锡的熔化温度比非共晶焊锡要低，减少了元器件受热损坏的机会。

(2) 熔流点一致 共晶焊锡只有一个熔流点，焊点可迅速凝固，因而可缩短焊接时间，减少虚焊。

(3) 流动性好、表面张力小 焊料能很好地填满焊缝，并对工件有较好的浸润性，这些都有利于减少虚焊点。

(4) 强度高 共晶焊锡能承受较大的拉力和剪切力，有较高的焊接强度。

2. 杂质对焊锡的影响

焊锡中往往含有少量其他元素，这些元素会影响焊锡的熔点、导电性、抗张强度等物理、机械性能。

(1) 铜 (Cu) 铜的成分来源于印制电路板的焊盘和元器件的引线，并且铜的熔解速度随着焊料温度的提高而加快。随着铜的含量增加，焊料的熔点增高，黏度加大，容易产生桥接、拉尖等缺陷。一般焊料中铜的含量允许在 0.3% ~ 0.5%。

(2) 锑 (Sb) 加入少量锑会使焊锡的机械强度增高，光泽变好，但润滑性变差。

(3) 锌 (Zn) 锌是焊锡最有害的金属之一。焊料中熔进 0.001% 的锌就会对焊料的焊接质量产生影响。当熔进 0.005% 的锌时，会使焊点表面失去光泽，流动性变差。

(4) 铝 (Al) 铝也是有害的金属，即使熔入 0.005% 的铝，也会使焊锡出现麻点，黏接性变坏，流动性变差。

(5) 铋 (Bi) 含铋的焊料熔点下降, 当添加 10% 以上的铋时, 有使焊锡变脆的倾向, 冷却时易产生龟裂。

(6) 铁 (Fe) 铁难溶于焊料中。它使焊料熔点升高, 难于焊接。

3. 常用焊锡

(1) 管状焊锡丝 由助焊剂与焊锡制作在一起, 在焊锡管中夹带固体助焊剂。助焊剂一般选用特级松香为基质材料, 并添加一定的活化剂, 如盐酸二乙胺等。管状焊锡丝适用于手工焊接。

管状焊锡丝的直径有 0.5mm、0.8mm、1.0mm、1.2mm、1.5mm、2.0mm、2.3mm、2.5mm、4.0mm、5.0mm 等。扁带焊料的规格也有很多种。

(2) 抗氧化焊锡 在锡铅合金中加入少量的活性金属, 能使氧化锡、氧化铅还原, 并漂浮在焊锡表面形成致密覆盖层, 从而保护焊锡不被继续氧化。这类焊锡适用于浸焊和波峰焊。

(3) 含银的焊锡 在锡铅焊料中添加 0.5% ~ 2.0% 的银, 可减少镀银件中的银在焊料中的熔解量, 并可降低焊料的熔点。

(4) 焊膏 它是表面安装技术中的一种重要贴装材料, 由焊粉、有机物和溶剂组成, 制成糊状物, 能方便地用丝网、模板或点膏机印涂在印制电路板上。

焊粉是焊接金属粉末, 其直径为 15 ~ 20 μ m, 目前已有 Sn-Pb、Sn-Pb-Ag、Sn-Pb-In 等。有机物包括树脂或一些树脂溶剂混合物, 用来调节和控制焊膏的黏性。使用的溶剂有触变胶、润滑剂、金属清洗剂。其中触变胶不会增加黏性, 但能减少焊膏的沉淀。

焊膏适合片式元器件用再流焊进行焊接。由于可将元器件贴在印制板的两面, 因而节省了空间, 提高了可靠性, 有利于大量生产。

二、助焊剂

助焊剂的作用是清除金属表面氧化物、硫化物、油和其他污染物, 并防止在加热过程中焊料继续氧化。同时, 它还具有增强焊料与金属表面的活性, 增加浸润的作用。

1. 对助焊剂的要求

- 1) 有清洗被焊金属和焊料表面的作用。
- 2) 熔点要低于所有焊料的熔点。
- 3) 在焊接温度下能形成液状, 具有保护金属表面的作用。
- 4) 有较低的表面张力, 受热后能迅速均匀地流动。
- 5) 熔化时不产生飞溅或飞沫。
- 6) 不产生有害气体和有强烈刺激性的气味。
- 7) 不导电, 无腐蚀性, 残留物无副作用。
- 8) 助焊剂的膜要光亮、致密、干燥快、不吸潮、热稳定性好。

2. 助焊剂的种类

助焊剂一般可分为有机、无机和树脂三大类。

(1) 无机类助焊剂 无机类助焊剂的化学作用强, 腐蚀性大, 焊接性非常好。这类助焊剂包括无机酸和无机盐。无机酸有盐酸、氟化氢酸、溴化氢酸、磷酸等。无机盐有氯化锌、氯化铵、氟化钠等。无机盐的代表助焊剂是氯化锌和氯化胺的混合物 (氯化锌 75%, 氯化胺 25%), 它的熔点约为 180°C, 是适用于钎焊的助焊剂。由于其具有强烈的腐蚀作用, 不

能在电子产品装配中使用，只能在特定场合使用，并且焊后一定要清除残渣。

(2) 有机类助焊剂 有机类助焊剂由有机酸、有机类卤化物以及各种胺盐树脂类等合成。这类助焊剂由于含有酸值较高的成分，因而具有较好的助焊性能，可焊性好。由于此类助焊剂具有一定程度的腐蚀性，残渣不易清洗，焊接时有废气污染，因而限制了它在电子产品装配中的使用。

(3) 树脂类助焊剂 这类助焊剂在电子产品装配中应用较广，其主要成分是松香。在加热情况下，松香具有去除焊件表面氧化物的能力，同时焊接后形成的膜层具有覆盖和保护焊点不被氧化腐蚀的作用。由于松脂残渣为非腐蚀性、非导电性、非吸湿性，焊接时没有什么污染，且焊后容易清洗，成本又低，所以这类助焊剂至今还被广泛使用。松香助焊剂的缺点是酸值低、软化点低（55°C左右），且易氧化、易结晶、稳定性差，在高温时很容易脱羧碳化而造成虚焊。

目前出现了一种新型的助焊剂——氢化松香，我国已开始生产。它是用普通松脂提炼出来的，氢化松香在常温下不易氧化变色，软化点高，脆性小，酸值稳定，无毒，无特殊气味，残渣易清洗，适用于波峰焊接。

3. 助焊剂的配方及主要性能

助焊剂的配方及主要性能见表 2-6。

表 2-6 助焊剂的配方及主要性能

| 品种 | 配方/g | | 酸值 | 浸流面积/mm ² | 绝缘电阻/ Ω | 可焊性 | 适用范围 |
|----------|----------|------|-------|----------------------|----------------------|-----|------------------|
| 盐酸二乙胺助焊剂 | 盐酸二乙胺 | 4 | 47.66 | 749 | 1.4×10^{11} | 好 | 整机手工焊，元器件、零部件的焊接 |
| | 三乙醇胺 | 6 | | | | | |
| | 特级松香 | 20 | | | | | |
| | 正丁醇 | 10 | | | | | |
| | 无水乙醇 | 60 | | | | | |
| 盐酸苯胺助焊剂 | 盐酸苯胺 | 4.5 | 53.4 | 418 | 2×10^9 | 中 | 浸焊及手工焊 |
| | 三乙醇胺 | 2.5 | | | | | |
| | 特级松香 | 23 | | | | | |
| | 无水乙醇 | 70 | | | | | |
| | 溴化水杨酸 | 10 | | | | | |
| HY—3A | 溴化水杨酸 | 9.2 | 53.76 | 351 | 1.2×10^{10} | 中 | 浸焊、波峰焊 |
| | 缓蚀剂 | 0.12 | | | | | |
| | 改性丙烯酸 | 1.3 | | | | | |
| | 树脂 A | 2 | | | | | |
| | X—3 过氯乙烯 | 9.2 | | | | | |
| | 特级松香 | 18 | | | | | |
| | 无水乙醇 | 60 | | | | | |
| 201 助焊剂 | 树脂 A | 20 | 57.97 | 681 | 1.8×10^{10} | 好 | 元器件引线浸锡，波峰焊 |
| | 溴化水杨酸 | 10 | | | | | |
| | 特级松香 | 20 | | | | | |
| | 无水乙醇 | 50 | | | | | |

| 品种 | 配方/g | 酸值 | 浸流面积/mm ² | 绝缘电阻/ Ω | 可焊性 | 适用范围 |
|---------------|--|-------|----------------------|--------------------|-----|----------------|
| 201—1 助焊剂 | 溴化水杨酸 7.9 丙烯酸树脂 101 3.5 特级松香 20.5 无水乙醇 60 | | 551 | | 好 | 印制板储存保护 |
| SD 助焊剂 | SD 6.9 溴化水杨酸 3.4 特级松香 12.7 无水乙醇 77 | 38.49 | 529 | 4.5×10^9 | 好 | 浸焊、波峰焊 |
| TH—1 预涂助焊剂 | 改性松香 29 活化剂 0.2 缓蚀剂 0.02 表面活性剂 1 无水乙醇 70 | 90 | 90% 以上可焊率 | 1×10^{11} | | 印制电路板预涂 防氧化 |

三、阻焊剂

阻焊剂是一种耐高温的涂料。在焊接时可将不需要焊接的部位涂上阻焊剂保护起来，使焊接仅在需要焊接的焊接点上进行。阻焊剂广泛用于浸焊和波峰焊。

1. 阻焊剂的优点

- 1) 防止焊锡桥连造成短路。
- 2) 使焊点饱满，减少虚焊，而且有助于节约焊料。
- 3) 由于板面部分被阻焊剂膜所覆盖，焊接时板面受到的热冲击小，因而不易起泡、分层。

2. 对阻焊剂的要求

阻焊剂是通过丝网漏印方法印刷在印制板上的，因此要求它黏度适宜、不封网、不润图形，以满足漏印工艺的要求。阻焊剂应在 $250 \sim 270^\circ\text{C}$ 的锡焊温度中经过 $10 \sim 25\text{s}$ 而不起泡或脱落，与覆铜箔仍能牢固黏接；具有较好的耐溶性，能经受焊前的化学处理；具有一定的机械强度，能承受尼龙刷的打磨抛光处理。

3. 阻焊剂的种类

按成膜方法，阻焊剂可分为热固化型、紫外线光固化型及电子束漫射固化型等几种。

(1) 热固化型阻焊剂 热固化型阻焊剂的成膜材料有酚醛树脂、环氧树脂、氨基树脂、醇酸树脂等。它们可以单独或混合使用，也可以改性使用。通常把它们制成液体印料，通过丝网漏印在板上，然后加温，固化形成一层阻焊膜。

热固化阻焊剂的优点是价格便宜，黏接强度高。但这类阻焊剂需要在 $130 \sim 150^\circ\text{C}$ 温度下经过数小时的烘烤才能固化，故生产周期长、效率低、耗电量大，不能适应自动化或半自动化生产的要求，正逐步为光固化阻焊剂所代替。

(2) 紫外线光固化型阻焊剂 紫外线光固化阻焊剂主要使用的成膜材料是含有不饱和双键的乙烯树脂，分干膜型和液体印料型。干膜型需经过层压贴膜、紫外线曝光、显影，然后形成一层阻焊膜；液体印料型是通过丝网模板漏印在印制板上，然后在一定能量紫外光源照

射下固化，形成一层阻焊膜。

光固化阻焊剂由光固树脂、稀释剂、光敏剂、颜料和填料等组成。光固化树脂黏度大，经稀释剂稀释后才能使用，阻焊剂的性能在很大程度上依赖于稀释剂性能。紫外线光固化主要借助于加入光敏剂完成。加入填料的目的在于提高阻焊剂的硬度和机械强度，同时还可以降低成本。着色的目的是使操作人员易于分辨、检查印制板焊接缺陷和保护视力，习惯上配制成绿色。

光固化型阻焊剂与一般热固化型阻焊剂比较，具有如下优点：

1) 固化时间短，适合自动化流水线生产。目前国内一般干燥固化时间为 1 ~ 3min，国外为数秒钟。

2) 光敏固化剂的固化不依靠溶剂挥发，因此对空气的污染较小。

3) 由于固化时间短，可使印制电路板免受热冲击而变形翘曲。

4) 设备简单，价格低，维护费用少，占地面积小。

(3) 电子束漫射固化型阻焊剂 与光固化型阻焊剂的基本原理相同，但其固化时无需光引发剂，只要在一定能量的电子束漫射激发下，便可形成固化阻焊膜。

本章小结

电工工具的使用、维护和电工材料的合理选用是电气工作者的基本技能之一。

本章详细介绍了常用电工工具和电工材料的种类、用途、性能及合理使用的方法。

1. 常用电工工具

按其用途可分为焊接工具、钳口工具、剪切工具、紧固工具等。

2. 常用电工材料

线材、绝缘材料、磁性材料、塑料、覆铜箔层压板、辅助材料等。

3. 整机装配专用设备

有插件机、波峰焊接机等。这些设备是专门供整机装配时用的。

通过本章的学习，要求了解常用电工工具和电工材料的性能，并能正确选用。了解无线电整机装配专用设备的主要组成部分和性能。通过实践，初步掌握这些工具、材料、设备的使用要领。

第三章 常用电子元器件

电子元器件是组成电路的基本零件。单个分立的常规零件，也可以由若干个零件组成，带有端子，可直接与其他器件相连接，能在同类装置中互换使用，这种零件，通常称为元件，也可称为器件。本章主要介绍常用元件的分类、命名方法、性能参数和结构特点。

电子整机产品是由许多电子元器件组成的，它们在电子电路中起着不同的作用。整机产品性能的优劣，不但同电路的设计、结构、工艺和操作水平有关，而且还与正确识别、判别、选用元器件材料有很大的关系。

常用元器件的品种、规格较多，它的分类方法也不同，下面介绍几种常用的分类方法。

(1)按系列标准分 可分为标准元件（如常用电子元件、紧固件等）和非标准元件（如自制件、装饰件、橡塑件、包装件等）。

(2)按元器件的引出线分 可分为有引出线元件和无引出线元件（如片状元件或贴片元件）。有引出线元件又可分为径向引出元件（直立式或垂直式）和轴向引出元件（卧式或水平式）。

(3)按元器件的变化规律分 可分为模拟元件和开关元件。模拟元件又可分为线形元件和非线形元件。

(4)按元器件的功能分 可分为电子元件、机电元件、机动元件和辅助元件。

1)电子元件可分为无源元件（电阻器、电容器、电感器）、有源元件（电真空器件、半导体器件）、变换元件（电声器件、热电器件、拾音器、磁头等）、磁性元件（磁钢、铁氧体等）和敏感元件（热敏、光敏、压敏、力敏、湿敏、磁敏、气敏等）。

2)机电元件可分为继电器件、开关器件、接触器件、接插器件和指示器件。

3)机动元件可分为液压元件、气动元件和阻尼元件。

4)辅助元件可分为紧固元件、包装元件、装饰件和橡塑件。

第一节 电阻器、电位器

一、电阻器

电阻器是组成电路的基本元件之一。在电路中，电阻器用来稳定和调节电流、电压，作分流器和分压器，并可作为消耗能量的负载电阻。

1. 电阻器的分类

根据电阻器的工作特性及电路功能，可分为固定电阻器、可变电阻器和敏感电阻器三类。

(1)固定电阻器 这种电阻器的阻值是固定不变的。固定电阻器主要用于阻值固定而不需要变动的电路中，起限流、分流、分压、降压、负载或匹配等作用。

(2)可变电阻器 这种电阻器的阻值可以在一定范围内变化，又称为变阻器或电位器。在电路中，用来调节音量、音调、电压和电流等。

(3)敏感电阻器 这种电阻器是指其电阻值对于某种物理量（如温度、电压、光通、机械力、磁通、湿度以及气体浓度等）表现敏感的元件。它是以某种材料对这些外界物理量作用的敏感特性为基础而制成的。由于它们所用的材料几乎都是半导体材料，这类电阻器也称为半导体电阻器。敏感电阻器根据所敏感的物理量的不同，可分为热敏、压敏、光敏、力敏、磁敏、湿敏和气敏七种主要类型。

电阻器的图形符号如图 3-1 所示。



图 3-1 电阻器的图形符号

2. 电阻器的命名方法

根据国家标准 GB2470—1981《电子设备用电阻器、电容器型号命名方法》的规定，电阻器和电位器的型号由以下四个部分组成。

第一部分：用字母表示产品的主称。

R—电阻器 W—电位器

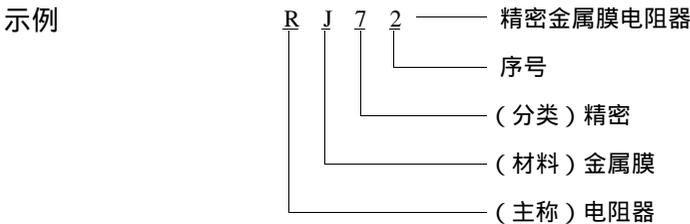
第二部分：用字母表示产品的材料。

H—合成膜 I—玻璃釉膜
 J—金属膜 N—无机实芯
 S—有机实芯 T—碳膜
 X—线绕 Y—氧化膜

第三部分：一般用数字表示分类，个别类型也用字母表示。

1—普通 8—高压
 2—普通 9—特殊
 3—超高频 G—大功耗
 4—高阻 T—可调
 5—高温 D—多圈
 7—精密 W—微调 M—敏感元件

第四部分：用数字表示序号，以区别产品外形尺寸和性能指标。



根据行业标准 SJ1155—1982《热敏电阻器型号命名方法》的规定，热敏电阻器的型号由以下四个部分组成。

第一部分：主称（用字母表示）。

第二部分：类别（用字母表示）。各字母的具体含义见表 3-1。

第三部分：用途或特征（用数字表示）。详见有关标准。

第四部分：序号（用数字表示）。

表 3-1 表示敏感电阻器类别的各字母意义

| 字母 | Z | F | Y | G | L | C | S | Q |
|----|---------|---------|----|----|----|----|----|----|
| 含义 | 正温度系数热敏 | 负温度系数热敏 | 压敏 | 光敏 | 力敏 | 磁敏 | 湿敏 | 气敏 |

示例 M F 4 1

旁热式负温度系数热敏电阻器
 序号
 （用途或特征）4 表示旁热式
 （类别）负温度系数热敏
 （主称）敏感电阻器

3. 电阻器的主要性能参数

电阻器的性能参数包括额定功率、标称阻值及允许偏差、极限工作电压、温度系数、高频特性、非线性和噪声电动势等。

（1）标称阻值和允许偏差 在电阻器表面所标的阻值称为电阻器的标称阻值。标称阻值与实际阻值不完全相符，存在一定的误差，称为偏差。

电阻器的阻值范围很大，从几欧到几十兆欧，所有标称阻值都必须符合阻值系列。根据国家标准 GB2471—1981《电子设备用电阻器的标称阻值系列和固定电容器的标称容量系列及其允许偏差》的规定，通用电阻器的精度分为 I、II、III 级，对应的阻值允许偏差分别是 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ ，相应的标称阻值如表 3-2 中 E_{24} 、 E_{12} 、 E_6 系列所示。

表 3-2 通用电阻器的标称阻值系列

| 系列 | 偏差 | 电阻器标称阻值系列 |
|----------|------------------|---|
| E_{24} | I 级 $\pm 5\%$ | 1.0、1.1、1.2、1.3、1.5、1.6、1.8、2.0、2.2、2.4、2.7、3.0、3.3、3.6、3.9、4.3、4.7、5.1、5.6、6.2、6.8、7.5、8.2、9.1 |
| E_{12} | II 级 $\pm 10\%$ | 1.0、1.2、1.5、1.8、2.2、2.7、3.3、3.9、4.7、5.6、6.8、8.2 |
| E_6 | III 级 $\pm 20\%$ | 1.0、1.5、2.2、3.3、4.7、6.8 |

电阻器的标称阻值应符合表 3-2 中所列数值或所列数值再乘以 10^n 倍，其中 n 为正整数或负整数。

电阻器的阻值允许偏差及标志符号见表 3-3。

表 3-3 阻值允许偏差及标志符号的规定

| 对称偏差及标志符号 | | | | 不对称偏差及标志符号 | |
|-------------|------|-----------|------|------------|------|
| 允许偏差(%) | 标志符号 | 允许偏差(%) | 标志符号 | 允许偏差(%) | 标志符号 |
| ± 0.001 | E | ± 0.5 | D | +100, -10 | R |
| ± 0.002 | X | ± 1.0 | F | +50, -20 | S |
| ± 0.005 | Y | ± 2.0 | G | +80, -20 | Z |
| ± 0.01 | H | ± 5.0 | J | + 不规定, -20 | 不标记 |
| ± 0.02 | U | ± 10 | K | | |
| ± 0.05 | W | ± 20 | M | | |
| ± 0.1 | B | ± 30 | N | | |
| ± 0.2 | C | | | | |

电阻器的标称阻值和偏差一般都标在电阻体上。按国家标准 GB2691—1981《电阻器、电容器标志内容与标志方法》的规定，电阻器的标志方法有以下三种。

1) 直标法。即直接在产品表面标出其参数和技术性能的方法。主要参数和技术性

能的有效值用阿拉伯数字标出；电阻值的单位用 Ω （欧）、 $k\Omega$ （千欧）、 $M\Omega$ （兆欧）等符号表示；允许偏差用百分数表示。例如，在电阻体上印有标志 $6.8k\Omega \pm 5\%$ ，即表示其标称阻值为 $6.8k\Omega$ ，允许偏差为 $\pm 5\%$ 。还有的印 $6.8k\Omega I$ ，则表示其标称阻值为 $6.8k\Omega$ ，允许偏差为 I 级（从表 3-2 中可查得，偏差 I 级即偏差为 $\pm 5\%$ ）。若电阻体表面没有印偏差等级，则表示允许偏差为 $\pm 20\%$ 。

2) 文字符号法。即将需要标出的主要参数与技术性能，用文字、数字符号有规律地组合标志在产品表面上的方法。其规律是：阻值的整数部分写在阻值单位标志符号的前面，阻值的小数部分写在阻值单位标志符号的后面。例如， 0.33Ω 标志符号为 $\Omega 33$ ； 5.1Ω 标志符号为 $5\Omega 1$ ； $4.7k\Omega$ 标志符号为 $4k7$ ； $2200M\Omega$ 标志符号为 $2G2$ 。

3) 色标法。即用不同颜色的带或点，在产品表面上标志出主要参数的方法。在电阻体表面用不同的颜色代表电阻器的阻值和偏差，各种颜色所代表的具体意义如表 3-4 所示。

表 3-4 色标法各种颜色的意义

| 颜色 代表意义 | 银 | 金 | 黑 | 棕 | 红 | 橙 | 黄 | 绿 | 蓝 | 紫 | 灰 | 白 | 无 |
|------------|-----------|-----------|--------|---------|---------|--------|--------|-----------|------------|-----------|--------|------------|----------|
| 有效数字 | | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| 乘数(数量级) | 10^{-2} | 10^{-1} | 10^0 | 10^1 | 10^2 | 10^3 | 10^4 | 10^5 | 10^6 | 10^7 | 10^8 | 10^9 | |
| 阻值允许偏差(%) | ± 10 | ± 5 | | ± 1 | ± 2 | | | ± 0.5 | ± 0.25 | ± 0.1 | | $+50, -20$ | ± 20 |

一般电阻用两位有效数字表示。例如，标称电阻值为 27000Ω ，允许偏差为 $\pm 5\%$ ，其标志示意图 3-2。

图 3-2 中，红色表示第一位数为 2，紫色表示第二位数为 7，橙色表示乘数为 10^3 ，金色表示允许偏差为 $\pm 5\%$ 。

精密电阻器用三位有效数字表示。例如，标称电阻值为 1.75Ω ，允许偏差为 $\pm 1\%$ ，其标志示意图 3-3。

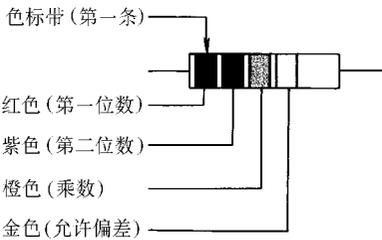


图 3-2 两位有效数字色环表示

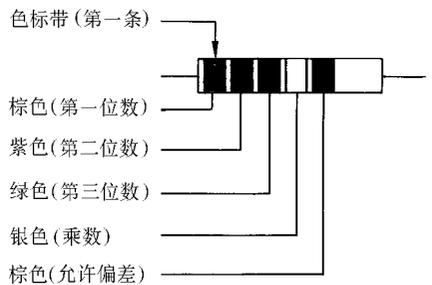


图 3-3 三位有效数字色环表示

图 3-3 中，棕色表示第一位数为 1，紫色表示第二位数为 7，绿色表示第三位数为 5，银色表示乘数为 10^{-2} ，棕色表示允许偏差为 $\pm 1\%$ 。

(2) 电阻器的额定功率 电阻器长期安全使用所能承受的最大消耗功率的数值称为电阻器的额定功率，它是选择电阻器的主要参数之一。根据国家标准 GB2475—1981《电子设备用电阻器额定功率系列》的规定，线绕电阻器的额定功率系列为：0.05W，0.125W，0.25W，0.5W，1W，2W，4W，8W，10W，16W，25W，40W，50W，75W，100W，150W，250W，500W；非线性固定式电阻器的额定功率系列为：0.05W，0.125W，0.25W，0.5W，

1W, 2W, 5W, 10W, 16W, 25W, 50W, 100W。

在电路图中，表示电阻器的额定功率的图形符号如图 3-4 所示。

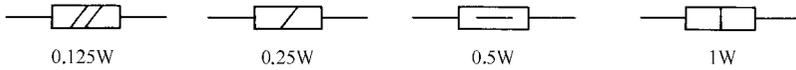


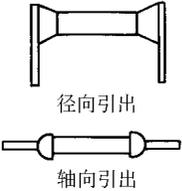
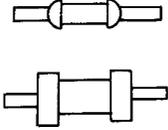
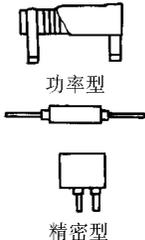
图 3-4 电阻器的额定功率符号

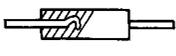
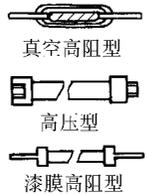
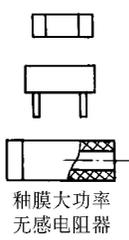
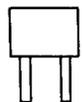
(3) 电阻器温度系数 电流通过电阻时，电阻器就发热并温度升高，它的阻值也随之发生变化。温度每变化 1°C 所引起电阻值的相对变化，称为电阻器的温度系数。温度系数愈小，表明电阻值愈稳定。除热敏电阻器之外，电阻器的阻值随温度的变化而改变的特性，对有些电路的性能是不利的。因此，在选择电阻器时要加以考虑。

热敏电阻器的温度系数有正的（即阻值随温度的升高而增大），也有负的（即阻值随温度的升高而减小）。利用这一特性，热敏电阻器在电路中可用于温度补偿及测量或调节温度等。例如，MF41 旁热式负温度系数热敏电阻器，可在半导体收音机和电视机中作温度补偿元件，也可在温度测量和温度控制电路中作感温元件。

(4) 常用电阻器的主要结构和特点 见表 3-5。

表 3-5 常用电阻器的结构和特点

| 名称 | 外形 | 结构 | 特点 |
|--------------------|---|---|---|
| RT 型 碳膜 电阻器 |  | 用碳氢化合物在高温真空下热分解，使其在陶瓷骨架上沉积一层碳膜，而形成碳膜电阻。通过控制碳膜厚度和刻槽来控制阻值。表面一般涂有绿色保护漆 | 稳定性好，温度系数不大，受电压和频率的影响小，作脉冲负载稳定，价廉，应用广泛 阻值范围： $1\Omega \sim 10\text{M}\Omega$ 额定功率： 0.125W 、 0.25W 、 0.5W 、 1W 、 5W 、 10W |
| RJ 型 金属膜 电阻器 |  | 用真空蒸发法或烧渗法在陶瓷骨架上覆盖一层金属膜（一般为镍铬合金），表面涂有红色保护漆 | 耐热性能、噪声指标、温度系数都比碳膜电阻器好，体积小（同样额定功率下约为碳膜电阻器的一半），精度可达 $\pm 0.5\% \sim \pm 0.05\%$ ，可用于高频电路 缺点：脉冲负载稳定性差，价格稍贵 阻值范围： $1\Omega \sim 620\text{M}\Omega$ 额定功率： 0.125W 、 0.25W 、 0.5W 、 1W 、 2W |
| RX 型 线绕 电阻器 |  | 用康铜、锰铜或镍铬合金丝绕在陶瓷骨架上面制成的一种电阻器，表面涂有保护漆或玻璃釉 | 噪声小，温度系数小，稳定性好，精度可达 $\pm 0.01\%$ ，耐热性好，工作温度可达 315°C ，功率大 缺点：高频特性差 阻值范围： $0.1\Omega \sim 5\text{M}\Omega$ 额定功率： $0.125 \sim 500\text{W}$ |

| 名称 | 外形 | 结构 | 特点 |
|-------------------|---|---|---|
| RY型 金属氧化膜电阻器 |  <p>通用型 高频型 高功率型</p> | 用金属盐溶液（四氯化锡和三氯化锑）在炽热的陶瓷骨架表面水解沉积而得 | 比金属膜电阻器有较好的抗热性和热稳定性，功率可达50kW。由于膜层较厚，阻值范围小，可用来补充金属膜电阻器低阻部分 阻值范围：1Ω~200kΩ 额定功率：0.125~10W、25~50kW |
| RS型 合成实心电阻器 |  | 将碳黑、石墨、填料和有机黏合剂混合成粉料，经热压而成实心电阻器 | 因电阻体是实芯结构，故机械强度高，具有较强的过负荷能力（包括脉冲负荷），可靠性较高，体积小，价廉 缺点：固有噪声较高，分布电容、电感较大，对电压和温度稳定性差 阻值范围：10Ω~10MΩ 额定功率：0.25~2W |
| RH型 合成碳膜电阻器 |  <p>真空高阻型 高压型 漆膜高阻型</p> | 用碳黑、石墨、填料和有机黏合剂配成悬浮液，涂覆在绝缘骨架上，经加热聚合而成 | 价廉，但抗湿性差，噪声大，特性不好，电压稳定性低。主要用来制造高压高阻电阻器 阻值范围：10Ω~10MΩ 额定功率：0.25~5W 最高工作电压：35kV |
| RI型 玻璃釉电阻器 |  <p>釉膜大功率无感电阻器</p> | 由贵金属银、钨、铈、钨等的金属氧化物（氧化钨、氧化钨等）和玻璃釉黏合剂混合成浆料，涂覆在陶瓷基体上，经高温烧结制成 | 耐高温，功率大，阻值宽，温度系数小，耐湿性好。又称厚膜电阻器 阻值范围：5.1Ω~200MΩ 额定功率：0.05~2W 5~500W 最高工作电压：15kV |
| RJ711型 块金属膜电阻器 |  | 在玻璃或陶瓷片上黏结一层电阻合金箔，用光刻蚀出迂回图形作为电阻体，外加保护层而构成 | 温度系数小，稳定性高，精度可达±0.001%，分布电容、电感小，具有良好的频率特性，可用于高速脉冲电路 阻值范围：5Ω~20kΩ 额定功率：0.125~1W |

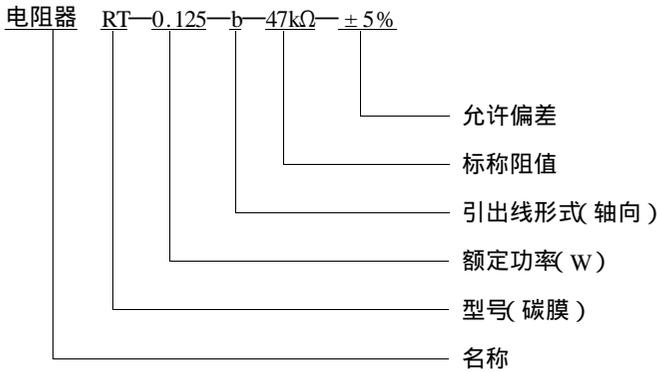
4. 电阻器选用原则

电阻器是电子设备常用元件之一，其性能的优劣对电子设备的性能有重要影响。在选用时，要根据电子设备的使用条件、电路中的具体要求，选择可靠性高、精度和稳定性符合要求的电阻器。此外，还要从电气性能与经济价值等方面加以综合考虑，不要片面追求选用高

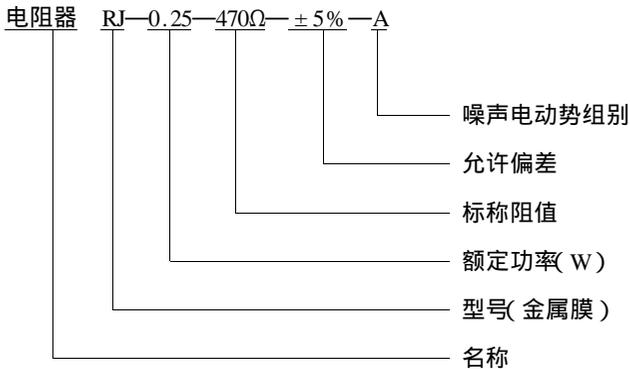
精度和非标准系列的电阻器。额定功率应比该电阻器实际所承受的功率大 1.5~2 倍，以保证电阻器耐用可靠。

为了识别和选用电阻器，还应熟悉它的填写方法。电阻器的型号、规格的填写示例如下。

示例 1 0.125W, 47kΩ 碳膜电阻器



示例 2 0.25W 470Ω 金属膜电阻器



二、电位器

1. 电位器的分类

电位器的品种繁多，分类方式各有差异。经常采用的有以下分类方法。

(1) 按接触方式分类 分为接触式和非接触式两类

(2) 按调节机构运动方式分类 分为旋转式和直滑式两类。

(3) 按用途分类 分为普通电位器、精密电位器、功率电位器、微调电位器以及各种专用电位器。

(4) 按结构特点分类 分为单联、多联、带开关、锁紧、抽头、螺杆驱动、密封、单圈、多圈电位器等。

2. 电位器的主要性能参数

(1) 标称值和允许偏差 标志在电位器上的阻值称为标称阻值，常用表 3-2 中 E_6 、 E_{12} 系列。电位器总阻值与标称值之间的最大允许偏差就是电位器的阻值精度。允许偏差应符合国家标准 GB2471—1981 的规定。有效阻值是总阻值的一部分，它是电阻体上阻值按一定规律变化的那一部分阻值，直接影响电位器的阻值精度。

(2) 电位器的额定功率 电位器额定功率的定义和电阻器额定功率的定义是类似的。根据国家标准 GB2475—1981 的规定，电位器额定功率的标准系列如表 3-6 所示。

表 3-6 电位器额定功率的标准系列

| | |
|-------------|--|
| 电位器额定功率系列/W | 0.025、0.05、0.1、0.25、0.5、1、1.6、2、3、5、10、16、25、40、63、100 |
| 线绕电位器/W | 0.25、0.5、1、1.6、2、3、5、10、16、25、40、63、100 |
| 非线绕电位器/W | 0.025、0.05、0.1、0.25、0.5、1、2、3 |

(3) 电位器的阻值变化规律 电位器在旋转时，其相应的阻值随旋转角度而变化。变化规律有三种不同形式，如图 3-5 所示。

1) X 型为直线式。其阻值按旋转角度均匀变化。它适用于作分压、调节电流、调节音调等，如在电视机中作场频调整。

2) Z 型为指数式。其阻值按旋转角度以指数关系变化（即阻值变化开始缓慢，以后变快），它普遍用在音量调节电路。由于人耳对声音响度的听觉特性近似于指数关系，当音量从零开始逐渐变大的一段过程中，人耳对音量变化的听觉灵敏度，当音量大到一定程度后，人耳听觉逐渐变迟钝。所以音量调节电路一般采用指数式电位器，使声音变化听起来显得平稳、舒适。

3) D 型为对数式。其阻值按旋转角度以对数关系变化（即阻值变化开始快，以后变慢），这种方式多用于仪器设备的特殊调节。在电视机中采用这种电位器调整黑白对比度，可使对比度更加适宜。

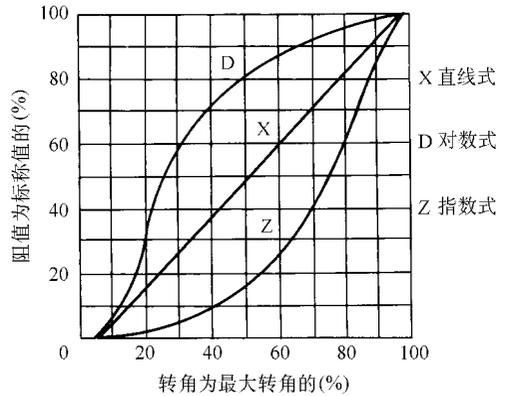


图 3-5 电位器旋转角和实际阻值变化关系

3. 部分电位器结构和特点

部分电位器的结构和特点见表 3-7。

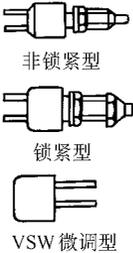
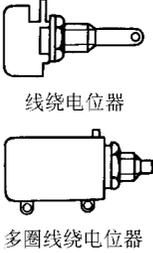
4. 电位器的轴端结构

旋转式电位器的转轴是用于引进旋转运动的构件。电位器的尺寸大小、旋转轴柄的长短以及轴端形式各有不同，不同的轴端形式配不同的旋钮，所以了解轴的轴端结构很有必要。

表 3-7 部分电位器的结构和特点

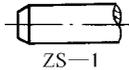
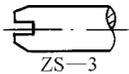
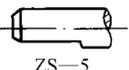
| 名称 | 外形 | 结构 | 特点 |
|-------------|----|---|---|
| WH 型合成碳膜电位器 | | 电阻体用碳黑、石墨、石英粉、有机黏合剂等配成悬浮液，涂覆在绝缘体上，经加热聚合而成 | 分辨力高，阻值范围宽，寿命长，价廉。但耐湿性差，滑动噪声大，温度系数也较大。此种电位器为通用电位器，广泛用于一般电路，作分压或变阻器用 阻值范围：100Ω ~ 4.7MΩ 额定功率：0.1 ~ 2W |

(续)

| 名称 | 外形 | 结构 | 特点 |
|--------------------|---|---------------------------------------|--|
| WS型 有机实心 电位器 |  <p>非锁紧型</p> <p>锁紧型</p> <p>VSW 微调型</p> | 电阻体用碳黑、石墨、石英粉、有机黏合剂等，经加热压制，然后再压入塑料基体上 | <p>可靠性高，分辨力高，耐磨性强，体积小，阻值范围宽，有较强的耐热性及过负荷能力。但温度系数大，耐湿性差，噪声大，精度低。主要用于对可靠性及温度要求较高的小型通用电子仪器中</p> <p>阻值范围：100Ω~4.7MΩ</p> <p>额定功率：0.25~2W</p> |
| WX型 线绕 电位器 |  <p>线绕电位器</p> <p>多圈线绕电位器</p> | 电阻体是用电阻丝绕在绝缘胶木片上，弯成圆形，电刷在电阻丝上滑动 | <p>耐高温，额定功率大，温度系数小，稳定性好，噪声小，精度高。但分辨力低，耐磨性差，高频特性差，阻值范围小。适用于高温大功率电路及作精密调节</p> <p>阻值范围：4.7Ω~100kΩ</p> <p>额定功率：0.25~25W</p> |

电位器的轴端形式一般有三种：ZS—1 光轴式、ZS—3 带起子槽式、ZS—5 铣平面式，具体参见表 3-8。

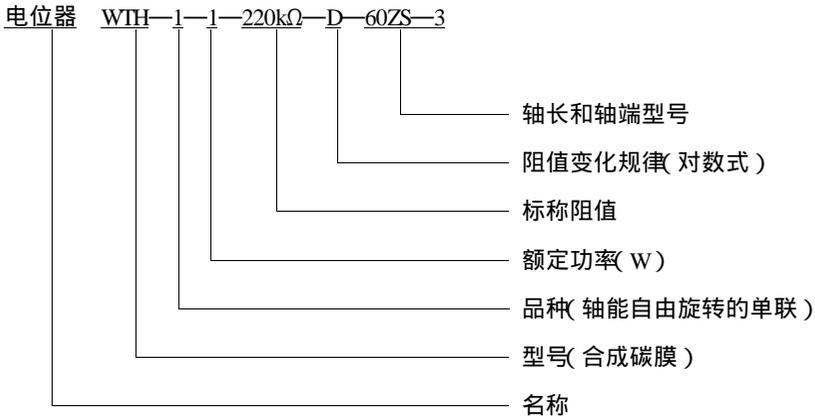
表 3-8 电位器轴端形式及轴长

| 轴端型号和结构 | 轴长/mm |
|---|----------------------------|
|  <p>ZS—1</p> | 16、18、20、25、32、40、50、60... |
|  <p>ZS—3</p> | 11、12、16、18、20、25、60... |
|  <p>ZS—5</p> | 12、16、18、25、32、40、50、60... |

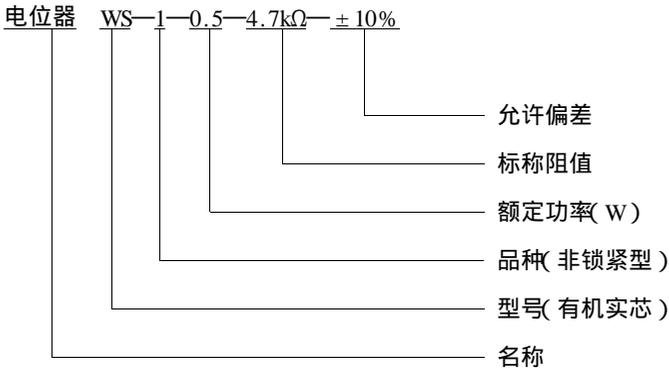
5. 电位器的型号命名方法

电位器的型号命名方法与电阻器的型号命名方法相同。现举例说明电位器的型号、规格和填写方法。

示例 1 220kΩ 单联合成碳膜电位器



示例 2 4.7kΩ 有机实芯电位器



第二节 电 容 器

电容器是一种能储存电能的元件。它是由两个相互靠近的导体与中间所夹的一层不导电的绝缘介质组成的。电容器是组成电路的基本元件之一，常用于调谐回路、耦合回路、隔直流电路、滤波和交流旁路等电路中。

一、电容器的种类

电容器的种类繁多，以绝缘介质分，有空气介质电容器、纸介质电容器、云母电容器、瓷介电容器、涤纶电容器、聚苯乙烯电容器、金属化纸介电容器、电解电容器等；按结构来分，有固定电容器和可变电容器。可变电容器又分为可变和半可变（包括微调）电容器。

二、电容器的型号命名方法

根据国家标准 GB2470—1981《电子设备用电阻器、电容器型号命名方法》的规定，电容器的型号由四个部分组成。

第一部分：用字母表示产品的主称。

第二部分：用字母表示产品的材料。

C—高频瓷

Q—漆膜

T—低频瓷

H—复合介质

三、电容器的主要性能参数

1. 电容器的标称容量和允许偏差

容量是表示电容器在一定工作电压条件下储存电能的本领。不同材料制造的电容器，其标称容量系列也不一样，应根据国家标准 GB2471—1981 的规定选用。

电容器的标称容量和允许偏差一般标在电容体上，其标志方法有直标法和文字符号标法等几种。直标法是将标称容量及偏差值直接标在电容体上。文字符号标法是将容量的整数部分写在容量单位标志符号的前面，容量的小数部分写在容量单位标志符号的后面。例如，0.82pF 写为 p82，6.8pF 写为 6p8，1000pF 写为 1n，6800pF 写为 6n8，2.2 μ F 写为 2 μ 2 等。进口电容器多采用数码标法，例如容量为 10×10^4 pF，容量偏差为 $\pm 10\%$ 的电容器，写为 104K，其中个位数字 4 表示 10^4 ，K 为偏差。以此类推， 39×10^3 pF 写为 393，120pF 写为 121， 15×10^4 pF 写为 154 等。

容量允许偏差的标志符号与电阻器采用的符号，除个别小容量电容器之外，其他都相同。10pF 以下的电容器其容量允许偏差的标志符号见表 3-10。

表 3-10 10pF 以下电容器的允许偏差标志符号

| 允许偏差/pF | ± 0.1 | ± 0.2 | ± 0.5 | ± 1 |
|---------|-----------|-----------|-----------|---------|
| 表示符号 | B | C | D | F |

除了上述两种标法之外，有些电容器采用色标法。电容器色标法原则上与电阻器色标法相同，标志的颜色符号与电阻器相同，可参见表 3-4 的规定，其单位为 pF。有些小型电解电容器，在正极引线的根部用颜色来表示其工作电压：6.3V 用棕色、10V 用红色、16V 用灰色表示。

电容器的详细标志内容与标志方法见国家标准 GB2691—1981。

2. 额定直流工作电压

额定直流工作电压是指电容器在电路中能够长期可靠地工作而不被击穿所能承受的最高直流电压（又称耐压）。不同的电容器有不同的耐压值，耐压的大小与电容器介质的种类和厚度有关。额定直流工作电压直接标在电容体上。如果电容器用在交流电路中，应注意所加的交流电压的最大值（峰值）不能超过电容的耐压值。可变电容器多数用在电压较低的高频电路中，一般都不标明耐压值。

电容器还有其他一些参数，如绝缘电阻、损耗、温度系数等，这里不再详述。

四、常用电容器的结构和特点

1. 常用固定电容器的结构和特点

(1) CL 型涤纶薄膜电容器 此类型电容器的介质为涤纶薄膜，电极有金属箔式和金属膜式两种。外形结构有三种：一种是卷好的芯子用带色的环氧树脂包封，如 CL10 型、CL11 型、CL20 型、CL21 型；另一种是装入密封的金属壳内，如 CL41 型；再一种是装在塑料壳内。CL 型涤纶薄膜电容器的优点是体积小、容量大、耐热耐湿性好、强度大，有利于自动化生产，缺点是稳定性差，适用于低频和要求不高的电路。容量范围为：470pF ~ 4 μ F；允许偏差为： $\pm 5\%$ 和 $\pm 10\%$ ；工作电压为：63 ~ 630V。外形见图 3-6a 所示。

(2) CB 型聚苯乙烯薄膜电容器 此类电容器的介质为聚苯乙烯薄膜，电极有金属箔式和金属膜式两种。由于聚苯乙烯薄膜吸湿性很弱，卷好的芯子采用自身聚合的方法，可以做成非密封的结构，如 CB10 和 CB14 型等。其优点是体积小，绝缘电阻大，损耗小，适用于高频和高电压电路，缺点是耐热性较差。容量范围为：10pF ~ 2 μ F；允许偏差为： $\pm 5\%$ 和 $\pm 10\%$ ；工作电

压为 :100V ~ 30kV。外形见图 3-6c 所示。

(3) CJ 型金属化纸介电容器 此类电容器的结构是在介质(电容纸)上覆盖有约 $0.01\mu\text{m}$ 厚的金属膜作为两电极,卷绕成芯子,装入外壳内加以密封。其优点是体积小、容量大,当工作电压较高而被轻微击穿后,绝缘能恢复,从而避免了两极片之间的短路,缺点是损耗较大,只适用于低频电路或要求不高的场合。容量范围为 :0.01 ~ $10\mu\text{F}$;允许偏差为 : $\pm 5\%$ 和 $\pm 10\%$;工作电压为 :63 ~ 160V。外形见图 3-6b 所示。

(4) CY 型云母电容器 此类电容器的介质为云母片,电极有金属箔式和金属膜式。目前大多数采用在云母介质表面喷上银层构成电极,芯子结构是按所需容量叠片而成。外壳有塑料、陶瓷、金属、胶木等,常用的是塑料外壳。这类电容器的主要优点是稳定性、可靠性、精密度高,损耗小,绝缘电阻很高,温度频率特性稳定,固有电感小,不易老化,是性能优良的高频电容器之一,广泛用于对稳定性和可靠性要求较高的场合及高频高压设备中;其缺点是价格较贵,容量不高。容量范围为 :10 ~ 51000pF;允许偏差为 : $\pm 2\%$ 、 $\pm 5\%$ 和 $\pm 10\%$;工作电压为 :100V ~ 7kV。外形见图 3-6d 所示。

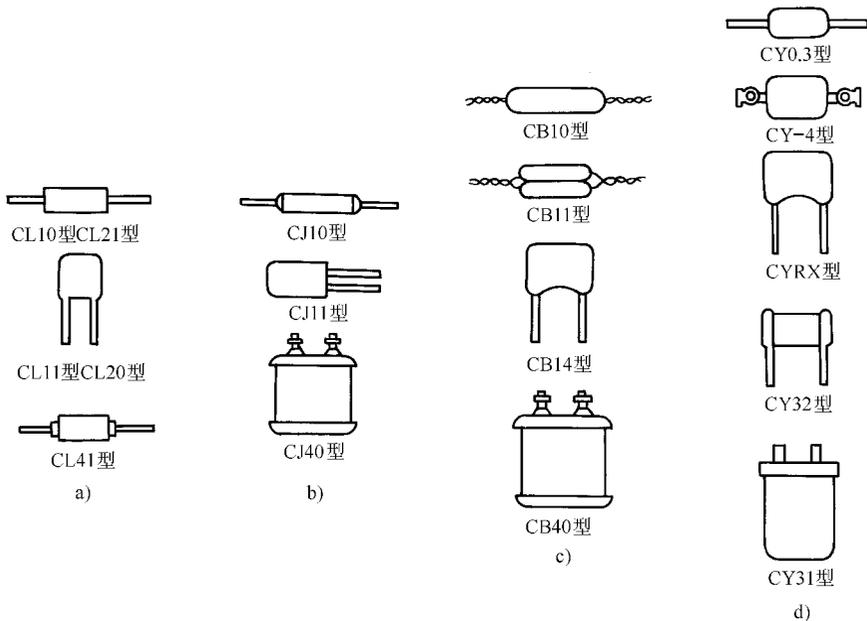


图 3-6 常用电容器的外形图

(5) CC 型瓷介电容器 瓷介电容器是用高介电常数的电容器陶瓷作为介质,并在其表面烧渗上银层作为电极,焊接引出线,涂以保护漆而制成的。瓷介电容器的结构比较简单,但结构形式是各类电容器中最多种的一种。

根据 CC 型瓷介电容器所用的介质材料的介质常数 ϵ 的大小,又分出 CT 型瓷介电容器。CC 型的介质材料是 I 型电容器陶瓷,它的介质常数 $\epsilon \leq 1000$;CT 型的介质材料是 II 型电容器陶瓷,它的介质常数 $\epsilon > 1000$ 。

CC 型瓷介电容器的优点是体积小、性能稳定、耐化学腐蚀、耐热性好、长期工作不易老化、损耗小、绝缘电阻高,可做成各种温度系数的陶瓷电容器;其缺点是容量较小,常用于要求低损耗和容量稳定的高频电路中,或作温度补偿用。容量范围为 :1 ~ 3600pF;允许偏差为 : $\pm 2\%$ 、

$\pm 5\%$ 和 $\pm 10\%$;工作电压为 $\times 3 \sim 500\text{V}$ 。对于高压型的 CC 型瓷介电容器 ,其容量范围为 $1 \sim 6800\text{pF}$;允许偏差为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$;工作电压为 $1\text{V} \sim 30\text{kV}$ 。

CT 型瓷介电容器 ,因介质采用 II 型陶瓷材料 ,介质常数 $\epsilon > 1000$,故体积比 CC 型更小 ,容量比 CC 型大 ,但绝缘电阻低、损耗大、稳定性差 ,一般适用于低频电路中作旁路、隔直流或电源滤波。这种电容器不宜用在脉冲电路中。容量范围为 $330 \sim 47000\text{pF}$,允许偏差为 $\pm 20\%$, $+80\%$ 、 -20% ,+ 不规定、 -20% 。

CC 型和 CT 型瓷介电容器的外形见图 3-7 所示。

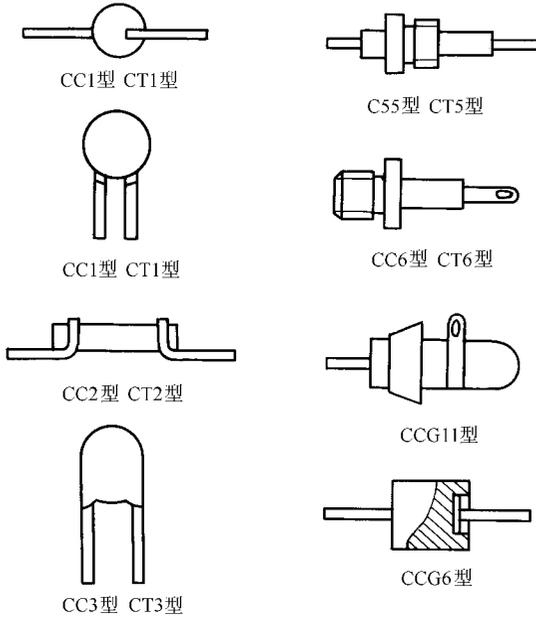


图 3-7 CC 型和 CT 型瓷介电容器外形

(6) 电解电容器 此类电容器有 CD 型铝电解电容器、CA 型钽电解电容器。CA 型钽电解电容器又分为固体钽和液体钽电解电容器。

CD 型铝电解电容器的结构是用铝箔作正极 ,电解质作负极。介质 Al_2O_3 膜是在正极铝箔的表面生成的。芯子为卷绕式结构 ,装入铝或塑料外壳内。为防止负极电解质的干涸 ,外壳引线根部一般用优质橡胶圈、胶木盖或环氧树脂加以密封。其优点是单位体积容量特别大 ,价格低 ,重量较轻 ,缺点是容量偏差大 ,绝缘电阻小 ,漏电流大 ,时间稳定性差 ,温度频率特性也差。它适用低频旁路、耦合、整流后滤波等场合。容量范围为 $10 \sim 100000\mu\text{F}$,同一容量有不同的工作电压。铝电解电容器的外形见图 3-8a 所示。

CA 型固体钽电解电容器的正极是用钽粉压制成块 ,烧结成多孔形钽 ;介质是在其表面生成的一层 Ta_2O_5 膜 ;负极是在 Ta_2O_5 介质上被覆的一层 MnO_2 。液体钽电解电容器的负极为液体电解质 ,它的外壳一般采用银外壳。钽电解电容器与铝电解电容器相比 ,其体积小 ,漏电流小 ,绝缘电阻较大 ,稳定性、可靠性较高 ,但价格较贵。固体钽电解电容器的容量范围为 $0.33 \sim 470\mu\text{F}$,工作电压小于 63V 。液体钽电解电容器的容量范围为 $220 \sim 3300\mu\text{F}$,工作电压为 $16 \sim 125\text{V}$ 。钽电解电容器的外形见图 3-8b 所示。

2. 常见的可变电容器的结构和特点

(1) CBM型薄膜介质可变电容器 由定片和动片组成,为平行板式结构。动片固定在动片轴上,定片固定在支架上。动片与定片之间用聚苯乙烯薄膜作介质,动片组相对于定片组可旋转 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$,从而改变电容量的大小。它主要在半导体收音机、收录机中作调谐用。外形见图 3-8c 所示。

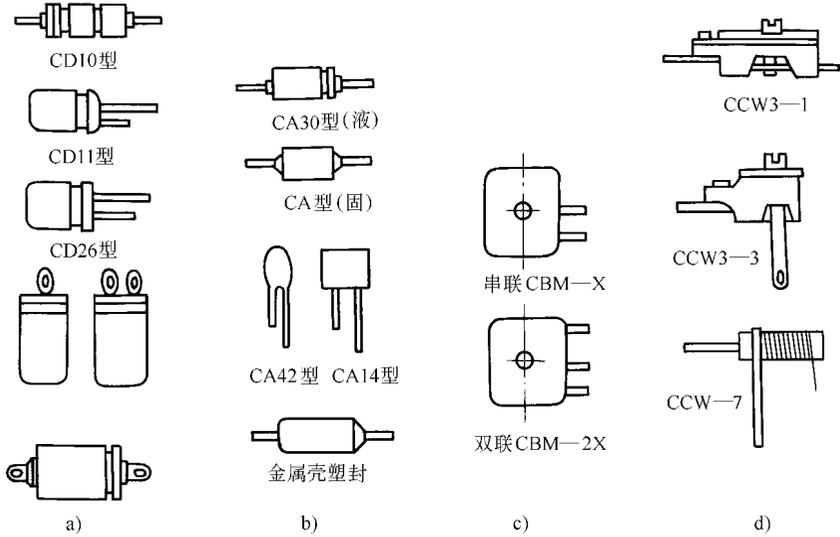


图 3-8 几种电容器的外形

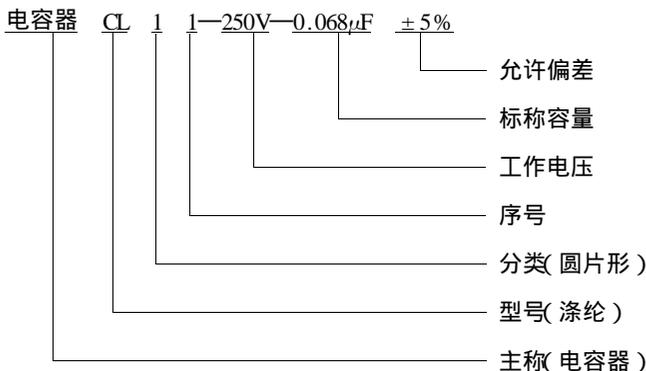
a) 铝电解电容器外形图 b) 钽电解电容器外形图 c) 薄膜介质可变电容器外形图
d) 瓷介微调电容器外形图

(2) 瓷介微调电容器 瓷介微调电容器有 CCW3 型、CCW7 型等,它们是以陶瓷作介质的微调电容器。CCW3 型是在两块陶瓷片上分别涂一层半圆形银层,其中一块为定片,另一块为动片。旋转动片改变两块银片的相对位置,从而改变电容器容量。CCW7 型是拉线微调电容器,以瓷管作介质,内壁涂银,外面则以细铜丝密绕若干圈。调整电容时,将铜丝拆去几圈即可。

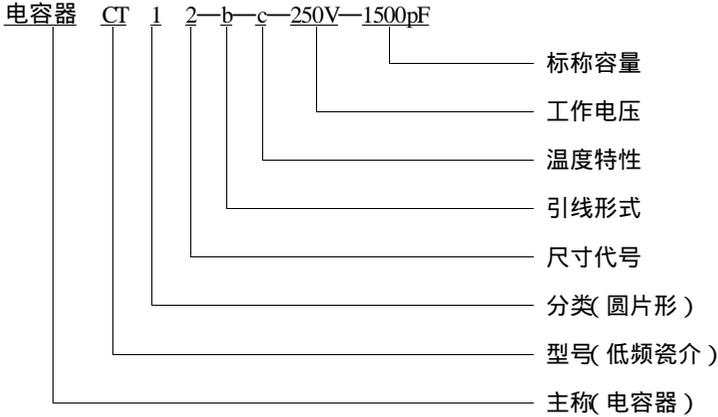
这类微调电容器尺寸小,电性能良好,价格低,使用方便。CCW3 型主要在高频回路中作微调用。CCW7 型适用于广播收音机,其容量只能调小,不能调大,瓷介微调电容器的外形见图 3-8d 所示。

为了识别和选用电容器,现举例说明型号规格的填写方法。

示例 1 0.068 μ F 耐压 250V 圆片形涤纶电容器



示例 2 1500pF 耐压 250V 圆片形低频瓷介电容器



第三节 电感器

凡能产生电感作用的元件统称为电感器。通常电感器都是由线圈构成，所以又称为电感线圈。在电子整机中，电感器主要指各种线圈和变压器。

一、电感线圈

1. 电感线圈的作用和分类

在电路中，电感线圈有阻碍交流通过的能力，而对直流却不起作用（除线圈本身的直流电阻外）。所以电感线圈可以在交流电路中作阻流、降压、交连耦合以及负载用。当电感和电容配合时，可以作调谐、滤波、选频、退耦等用。电感线圈是组成电路的基本元件之一。

电感线圈的种类很多，按电感的形式分，有固定电感线圈和可变电感线圈；按导磁体性质分，有空气芯线圈和磁心线圈；按工作性质分，有天线线圈、振荡线圈、低频扼流圈和高频扼流圈等；按工作波段分，有中波天线、短波天线、中频振荡和高频振荡线圈等；按绕线结构分，有单层线圈、多层线圈和蜂房式线圈等。

常用电感线圈的外形符号见图 3-9 所示。

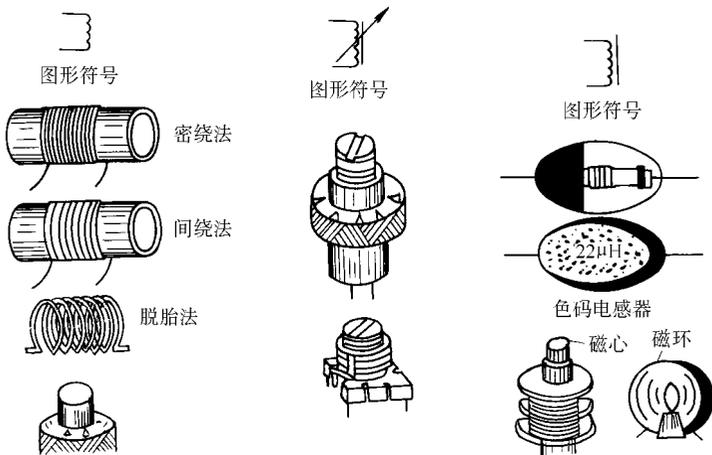


图 3-9 常用电感线圈外形及图形符号

2. 电感线圈的基本参数

(1) 线圈的电感量 线圈产生感应电动势大小的能力称为线圈的电感量。

(2) 品质因数 它是电感线圈的一个主要参数。品质因数为储存能量与损耗率之间的关系量,用字母 Q 表示。因此,品质因数也叫 Q 值。它不但可以针对某一个线圈或一个电容器而言(Q 值也是电容器参数之一),而且可以针对某一回路而言。它们内部储存能量的效率越高, Q 值就越高。线圈储存能量效率的高低取决于其内阻的大小,以及是否选用损耗小的材料(如线圈骨架)。 Q 值的高低还和工作频率有关。

(3) 分布电容 线圈的相邻两根导线,相当于电容器的两个电极,导线之间的绝缘材料相当于介质。当工作频率较高时,这个小电容(分布电容)使线圈的功率损耗增大, Q 值减小。

3. 电感线圈的结构和特点

线圈的结构通常由骨架、绕组、磁心、屏蔽罩等组成。线圈用途不同,其结构也不同。例如,用于短波、超短波电路的电感线圈,只有绕组而无骨架,有的线圈则没有磁心或屏蔽罩。

(1) 骨架 线圈骨架起支撑导线的作用,使其保持一定的形状,另外也便于线圈的安装。

(2) 绕组 大多数线圈的绕组是由导线在线圈骨架上缠绕而成。常用的导线有各种规格的漆包线、纱包线及镀银铜线等。导线的粗细应根据通过线圈的电流和 Q 值来决定。通过电流大,要求 Q 值高,则导线直径应选粗些。

绕组的形式不同,其特点也不同。单层间绕或密绕的线圈,其特点是分布电容小, Q 值高(可达 $150 \sim 250$),这种线圈广泛用于短波和中波回路。特别是单层间绕线圈,其分布电容最小, Q 值可达 $150 \sim 300$,主要用于短波回路。多层绕组线圈,其分布电容大,参数稳定性差,一般用于长波回路及扼流圈等。多层绕组采用串联分段绕法,以降低分布电容及匝间的电位差。蜂房绕组线圈与多层绕组相比,分布电容小, Q 值高,广泛用于要求电感量大、分布电容小的场合,如长波、中波回路以及中频变压器、高频扼流圈等。蜂房绕组也可采用分段串联绕法。

(3) 磁心 磁心由磁性材料制成。线圈中装入磁心后,可增大电感量、缩小体积。在电感量给定时,带磁心线圈的圈数可以减少很多,因而缩小了线圈的体积,节省导线材料。由于分布电容随圈数的减少而变小, Q 值则随之提高。当需要调整线圈的电感量时,可以通过调整磁心与线圈的相对位置来实现。

(4) 屏蔽 为了减少外界电磁场对线圈的影响和线圈磁场对周围电路的影响,通常将线圈放入一个闭合的、具有良好接地的金属罩内,使线圈与外界隔离。

二、变压器

在电子设备中,变压器是不可缺少的重要器件之一。常用变压器进行电压变换、电流变换、传递功率、阻抗匹配等。

1. 变压器的种类

变压器的种类很多,按心材分,有空气心变压器、磁心变压器、可调磁心变压器、铁心变压器等;按工作频率分,有低频、中频、高频变压器。低频变压器按用途又可分为电源变压器、输入变压器、输出变压器、线间变压器及耦合变压器等。变压器的图形符号及外形结

构如图 3-10 所示。

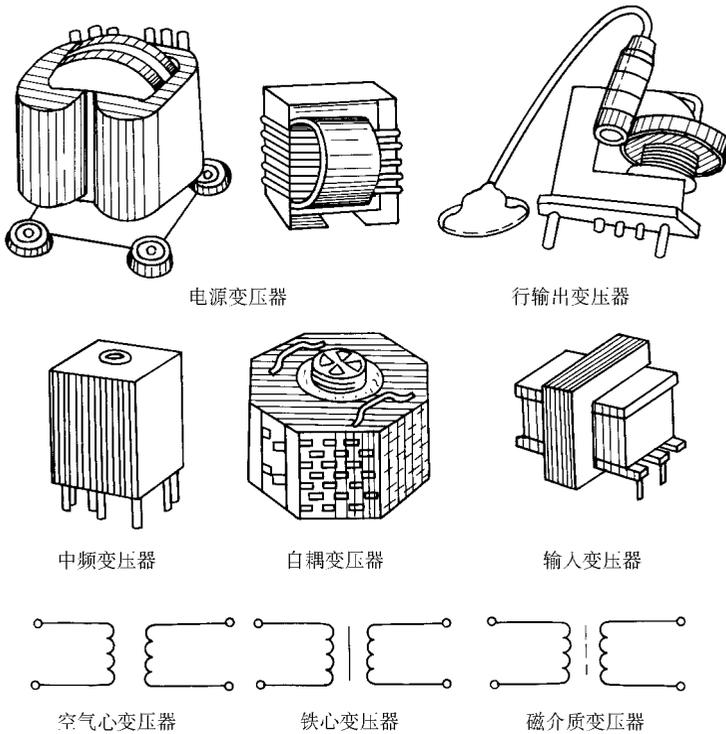


图 3-10 变压器的图形符号及其外形结构

2. 变压器的主要性能参数

(1) 电压比 指变压器二次电压与一次电压的比值，或二次线圈匝数与一次线圈匝数的比值。

(2) 额定功率 指在规定的频率和电压下，变压器能长期工作而不超过规定温升的输出功率。额定功率的容量单位用伏安表示。

(3) 温升 变压器的温升主要指线圈的温升，因为它影响变压器的绝缘性能。温升是变压器通电工作发热后，温度上升到稳定值对比周围环境温度升高的数值。

(4) 效率 指变压器的输出功率与输入功率的比值。

(5) 空载电流 当变压器二次侧开路时，一次侧中仍有一定的电流，这部分电流叫空载电流。

(6) 绝缘电阻 变压器的各绕组间、各绕组与铁心之间并不是理想的绝缘。当外加电压时，总有漏电流存在，这是由于变压器存在绝缘电阻造成的。绝缘电阻越高则漏电流越小。变压器的绝缘电阻过低，可能会使设备机壳带电，工作不稳定，甚至对设备和人身带来危害。

3. 变压器的典型结构

变压器主要由铁心、线包和紧固件等组成。

(1) 铁心 铁心由磁导率较高的软磁材料制成。一般要求它的磁导率高、损耗小、磁感应强度高。由于铁心损耗与工作频率有关，工作频率不同，制造铁心所用的材料也不同。例如，电源变压器的工作频率较低，铁心材料采用电工钢或硅钢带；音频变压器一般也采用硅

钢板或硅钢带。低电平的音频变压器由于工作磁通密度较低，要求在低磁通密度下也具有高磁导率，故常采用坡莫合金或高磁导率铁氧体；中频和高频变压器，一般采用铁氧体材料作铁心。

常见变压器铁心的种类有冲制铁心片（插片铁心）、C形铁心、芯式铁心、壳式铁心等。常见铁心的结构形式见图 3-11 所示。

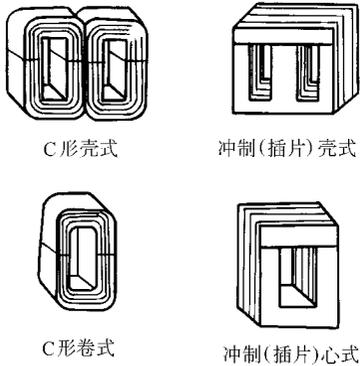


图 3-11 常见铁心的结构形式

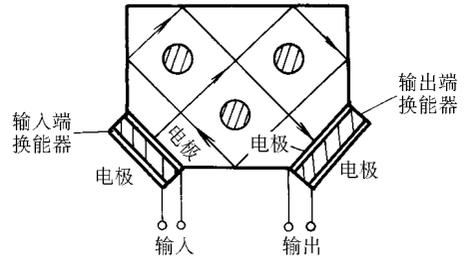


图 3-12 超声延迟线

(2) 线包 线包由骨架和线圈（一次绕组和二次绕组）等组成。线包应具有足够的机械强度、良好的电气性能和耐热能力，以保证变压器正常工作。

骨架常用胶纸板、胶布板或胶木化纤维板制成。它的作用是防止线圈两边松散及保证铁心和线圈之间的耐压。因此，要求它有足够的机械强度和绝缘强度，同时不能太厚，以免占据铁心窗口太多的空间。

线圈绕在骨架上。一般小功率变压器的线圈用漆包线绕制，低压大电流的线圈用纱包粗铜线绕制。

线圈排列的顺序通常是先绕一次线圈，后绕二次线圈。若二次有几个绕组，则应先绕电压较高的绕组，然后再绕低电压绕组。为了增大变压器的绝缘电阻，每绕完一层都应衬垫薄的绝缘纸。在各绕组间，由于电位差较大，为了防止绕组间的击穿，还必须用耐压强度高的黄蜡绸布、涤纶膜等绝缘材料衬垫。此外，为了避免干扰信号通过电源窜入无线电设备，在变压器的一、二次间通常加有静电屏蔽，以消除一、二次线包间的分布电容引起的干扰信号。静电屏蔽通常用铜箔或铝箔在一次线包外缠绕一层，屏蔽层必须与线包绝缘，以免线包短路。金属箔的一端应引出接地。

(3) 铁心紧固装置 变压器铁心插入线包后，必须将铁心夹紧，常用的夹紧方法有两种。一种是用夹板条夹好，再用螺杆插入硅钢片预先冲好的孔中，然后将螺母拧紧。螺杆插入铁心的那一段，最好加上绝缘套管，以免螺杆使硅钢片各片短路，形成较大的涡流。另一种用于小功率变压器，其铁心通常不冲孔，这种铁心的固定方法是使用 U 形夹子将铁心夹紧。例如，收音机的输入、输出变压器就是用 U 形夹子将铁心固定。

三、延迟线

延迟线有电磁延迟线、超声延迟线、电路延迟线等。

1. 电磁延迟线

电磁延迟线是采用传输线或仿真线，将信号延迟一段时间。凡是能传送电磁能的导体都可称为传输线，而仿真线是由集中参数元件（如电容器、电感器等）组成的网络来仿效真实

传输线在所需频率范围内的传输特性。电磁延迟线按结构分为分布参数型和集中参数型两类。同轴线和对称线是典型的分布参数型延迟线，其延迟时间短；集中参数型延迟线是多节串接的电感、电容组成的低通滤波网络，其延迟时间较长。

2. 超声延迟线

超声延迟线是利用机电换能器将电信号转换为机械振动，产生超声波，超声波在弹性介质（烧结石英玻璃、铝镁合金等）中沿一定路径传输后，再由另一机电换能器转换为延迟后的电信号输出。其结构如图 3-12 所示。

图 3-12 是一种五次反射型超声延迟线。在其输入和输出端装有压电陶瓷（锆钛酸铅）换能器。当信号电压加到输入换能器的两端电极上时，压电陶瓷将产生机械振动，产生超声波。超声波在特殊配方的玻璃介质中定向传输，经过一定的反射延迟时间传送到输出端。输出端换能器将机械振动转换为电信号输出。图 3-12 中的阴影形圆点为吸收剂，起避免杂波反射的作用。这种五次反射型延迟线体积小、用料省。超声波延迟线广泛用于 PAL 制彩色电视机解码电路。

3. 电路延迟线

电路延迟线是利用晶体管及其他元器件组成的延迟电路。它广泛用于电子设备和仪器中，起到对信号进行延迟的作用。

第四节 电声器件、磁头

一、电声器件

在广播通信设备中，要将声音信号转换成相应的电信号，进行放大、传送，然后再将电信号还原成声音。把声能转换为电能或将电能转换成声能的器件，称为电声器件。常用的有传声器（又称话筒或麦克风）、拾音器（俗称电唱头）、扬声器（又称喇叭）、耳机等。常用电声器件的外形及图形符号见图 3-13。

1. 传声器

传声器是一种能接收声波（在可听声频率范围内）并将其转换为相应电信号的声电换能器。传声器广泛用于录音、广播电视、扩音及声学测量等方面。

（1）传声器的分类 传声器的种类很多，按工作原理可分为电容式、半导体式、电磁式、碳粒式等。近年来国外生产的多数是电容式和电动式两类。我国自行设计制造的传声器也以这两类为主，有 CH 系列测量传声器，驻极体传声器，无线传声器，压力传声器，强指向、立体声传声器等多种类型。近年来才发展起来的一种更新颖的声乐话筒，称为近讲话筒，以演唱时话筒离嘴很近而得名。这种话筒的特点是灵敏度较高，高低频特性较好。

（2）传声器性能参数 主要参数有灵敏度、频率特性、固有噪声等。灵敏度是指当声压为 0.1Pa 时，话筒产生的输出电压或电动势。高阻话筒的灵敏度通常用 dB （分贝）表示，以话筒膜片受声压 0.1Pa ，话筒输出电压为 1V 作为 0dB 。实际上，话筒在 0.1Pa 声压作用下，输出电压都远小于 1V ，所以话筒的灵敏度为负分贝。

频率特性是指传声器的频率响应范围。传声器对不同频率信号的灵敏度不同，每种传声器都有自己的频率响应范围。

传声器在没有声压作用时，仍有电压输出，这一输出电压称为传声器的固有噪声。产生

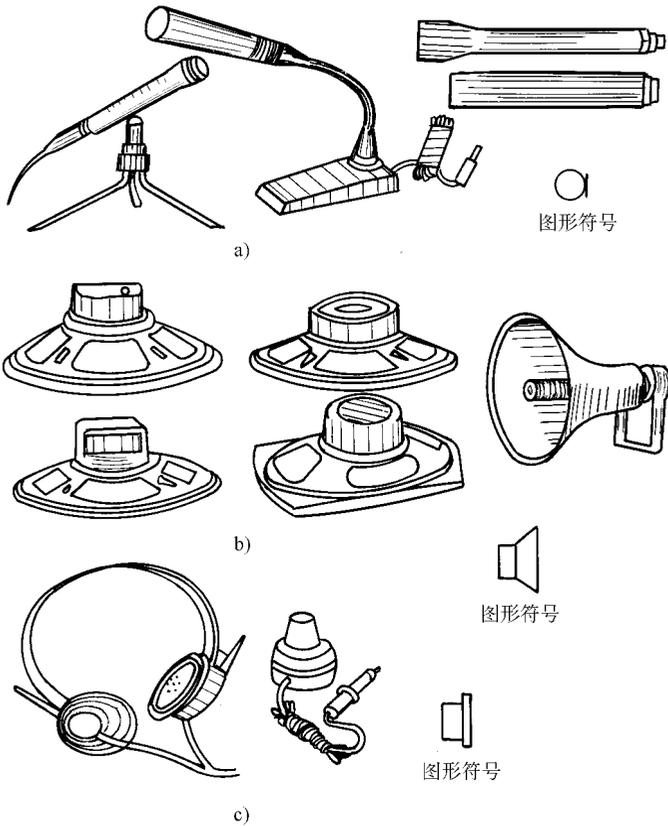


图 3-13 常用电声器件的外形及图形符号

a) 传声器 b) 扬声器 c) 耳机

噪声的原因是由传声器内部及导线中分子的热运动，以及周围空气压力的扰动造成的。

(3) 常见传声器的结构特点 比较常见的传声器有电动式、晶体式和铝带式等。现介绍电动式传声器。

电动式传声器是当前应用比较广泛的一种传声器，由永久磁铁、音膜、音圈和输出变压器等组成。音圈位于永久磁铁内强磁场的空隙中，当入射声波使音膜振动时，音圈也随之振动，从而切割磁力线产生感应电动势，其大小随声压的大小而变化。由于音圈圈数少（通常只有 60~80 圈），阻抗低（约为 30~70 Ω ），所以输出电压低。为了使它与扩音机输入电路的阻抗匹配，须加装输出变压器。

电动传声器的优点是结构坚固，工作稳定，具有单方向性，经济耐用。它的阻抗分为低阻和高阻两类。低阻型输出阻抗一般在 200~600 Ω ，高阻型在 10k Ω 以上。国产的高阻传声器输出阻抗为 20k Ω 。

2. 拾音器

拾音器的作用是将唱针在唱片音槽中划走时所受到的机械振动转换为音频电压。唱片的放音质量在很大程度上取决于拾音器性能的好坏。

(1) 拾音器的分类 拾音器可分为电磁式和压电式两类。电磁式拾音器有动磁式 (MM)、动铁式 (IM)、动圈式 (MC)、变磁阻式等几种。动圈式价格太贵，虽然音质最好，但应用不广。变磁阻式在单声道盛行时曾广泛使用，当立体声流行后已不常使用。立体声拾

音器也有电磁式和压电式两种。近年来还发展了一些新型拾音器，如光电型拾音器、电容型拾音器等。这些新型拾音器的针压可以做得很小，高频响应极佳。

(2) 拾音器的结构特点 电磁式拾音器由线圈、永久磁铁、唱针和唱针支架、唱头盒等部分组成。

压电式拾音器是利用晶体的压电效应原理制成的。常用的压电材料有酒酸钾钠晶体和压电陶瓷。前一种灵敏度较高，但怕潮、怕热；后一种灵敏度较低，但不受高温和潮湿影响。压电式拾音器的优点是重量轻，针尖对唱片的压力很小；缺点是频响较差，只适用于普及型唱机。

立体声拾音器与一般拾音器的结构主要区别是在一枚唱针上带有两个互相垂直的换能元件，当唱针在唱片上滑过时，即可同时分别拾取两个声道的信号。

3. 扬声器

扬声器是利用电磁感应、静电感应、压电效应等原理，将电能转换为声能并辐射到空间的一种电声换能器件。

(1) 扬声器的分类 扬声器的种类很多，按音圈阻抗分为低阻抗和高阻抗扬声器；按音频分为低音频和高音频扬声器；按电声换能原理分为电动式、电磁式、压电式、静电式等；按采用的磁性材料分为永磁式（即铝镍合金）和恒磁式（即钕铁氧体）两种。永磁式扬声器因磁铁可做得小些，安装在内部，也称为内磁式扬声器。恒磁式磁铁的体积较大，安装在外部，也称为外磁式扬声器。常用的扬声器按其外形分为圆形和椭圆形两种。圆形的有 $\phi 41\text{mm}$ ， $\phi 55\text{mm}$ ， $\phi 102\text{mm}$ ， $\phi 167\text{mm}$ 等多种。椭圆约有 $\phi 103\text{mm} \times \phi 161\text{mm}$ ， $\phi 120\text{mm} \times \phi 190\text{mm}$ 等。

(2) 扬声器的性能参数 主要性能参数有额定功率、阻抗、频率响应、灵敏度、效率和非线性失真等。

扬声器的非线性失真不超过某一数值时，输入的最大电功率称为额定功率。通常为了获得较好的音质，扬声器的输入功率应小于额定功率，一般输入功率应为额定功率的 $1/3 \sim 2/3$ 。额定功率的大小取决于扬声器音圈的散热和机械强度。

阻抗是指扬声器在工作时所呈现的阻抗，这个阻抗是随输入信号的频率而变化的。在扬声器上所标明的阻抗，都是对应一定频率的。扬声器阻抗有 4Ω ， 8Ω ， 16Ω 等。

4. 耳机

耳机和扬声器一样，也是一种将电能转换为声能的电声器件。扬声器将声能辐射到自由空间，而耳机仅对人耳造成声压。

耳机按其使用方式分为头戴耳机和耳塞机。头戴耳机广泛用于广播、通信、测试、专业录音、放音的监听以及音乐欣赏等方面。新型耳机的音质能与高质量的音箱媲美。耳塞机的体积小、重量轻，常用于收录机、助听器。

二、磁头

1. 录音机磁头

录音机磁头是指录音磁头和放音磁头、抹音磁头。有些录音机将录音磁头和放音磁头合在一起，构成录放两用磁头。磁头是录音机的关键部件之一，其性能直接影响录音和放音的质量。

磁头有单声道、双声道（立体声）之分。不同的偏磁电路选配磁头不一样，因此不能随便更换磁头。只有充分了解磁头结构和阻抗之后，才能合理选用和置换。在阻抗相等时，双声道磁头可以代替单声道磁头。

(1) 磁头的性能特点 录音磁头可将电信号转换成磁信号，并将磁信号记录在磁带上；放音磁头则是将磁带上的磁信号转换成电信号；抹音磁头能将磁带记录的磁信号抹掉。录放两用磁头具有录音和放音两种功能，既简化电路又节省费用，其阻抗比一般录音磁头高一些，以提高放音灵敏度。

磁头主要性能参数有阻抗、偏磁电流、录音灵敏度等。阻抗分为直流电阻和交流阻抗。交流阻抗是指在规定的电流及频率下，磁头线圈两端的音频电压与流过线圈的电流的比值。一般录音机磁头的交流阻抗约为 $600\Omega \sim 2k\Omega$ 。国产录音机大部分采用 600Ω 阻抗的磁头。交流阻抗在 600Ω 左右的为低阻磁头， 900Ω 左右的为中低阻磁头， 1400Ω 左右的为中高阻磁头， $2k\Omega$ 左右的为高阻磁头。一般低阻抗磁头大都采用交流偏磁方式，高阻抗磁头大都采用直流偏磁方式。

部分录放磁头的型号及主要性能参数见表 3-11。

表 3-11 部分录放磁头的型号及主要性能参数

| | 型号 | 直流电阻/ Ω | 交流阻抗/ Ω | 偏磁电流/ μA | 录音灵敏度/ μA |
|---------|---------|----------------|----------------|---------------------|----------------------|
| 单声道录放磁头 | RM-7301 | 400 | 2000 | 250 | 25 |
| | RM-7544 | 245 | 2000 | 250 | 25 |
| | RM-7521 | 180 | 1200 | 300 | 30 |
| | RM-7533 | 110 | 600 | 400 | 40 |
| | RM-7522 | 110 | 600 | 600 | 40 |
| 双声道录放磁头 | RS-1251 | 215 | 850 | 400 | 60 |
| | RS-1241 | 215 | 850 | 400 | 60 |
| | RS-1231 | 210 | 900 | 400 | 60 |

(2) 录音机磁头的结构 录音、放音、抹音磁头的结构形式基本相同，由具有细长缝隙（工作缝隙）的高磁导率的铁心和绕在铁心上的线圈构成。铁心多用坡莫合金等合金片叠制而成，有的也采用矫顽力低、磁导率高、电阻率大及硬度高的铁氧体材料。磁头的结构、图形符号如图 3-14 所示。

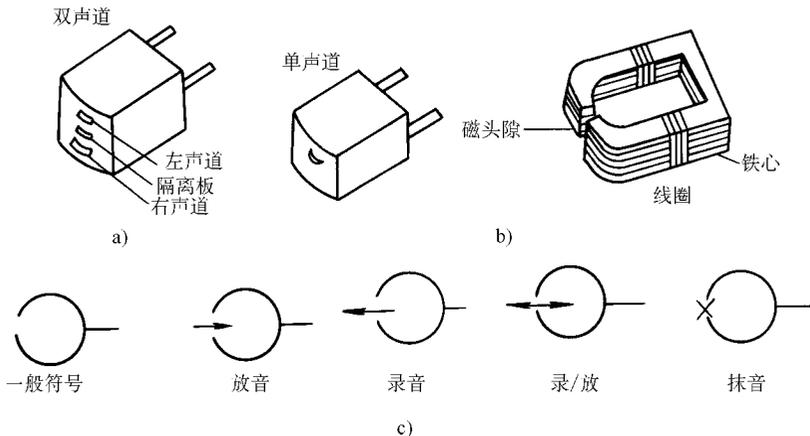


图 3-14 磁头结构及图形符号

a) 磁头外形 b) 内部结构 c) 图形符号

2. 录像机磁头

录像机磁头有视频（图像）磁头和音频/控制磁头。视频（图像）磁头是录像机的核心部件之一。

(1) 视频（图像）磁头 录像机是将图像信号和声音信号记录在磁带上的装置。将信号记录在磁带上或提取磁带上的信号，其工作原理和录音机的工作原理基本相同。但是，录像机所处理的视频信号和录音机所处理的音频信号却有很大的不同。录音机所处理的音频信号的频率范围是 50Hz ~ 20kHz，而录像机所处理的视频信号的频率范围是 0 ~ 4MHz。若用录音机那样的磁头走带速度，将是无法工作的。因此，录像机视频（图像）磁头比较特殊，一般采用以下两种方法。

1) 将磁头工作缝隙做得很窄，以保证记录和重放最短波长的视频信号。现在的录像机视频磁头的工作缝隙已小于 0.3mm。但磁头缝隙也不能太窄，一是因为受到制作工艺的限制，加工困难，二是记录和重放的灵敏度都要下降。

2) 将视频磁头放在高速旋转的磁鼓上，使磁头与磁带的相对速度大大提高，有利于记录和重放最短波长的视频信号。视频磁头组件由上磁鼓（旋转磁鼓）、下磁鼓（固定磁鼓）、转子、霍尔元件、全抹消磁头以及磁鼓电动机组成。两磁头螺旋扫描原理见图 3-15 所示。

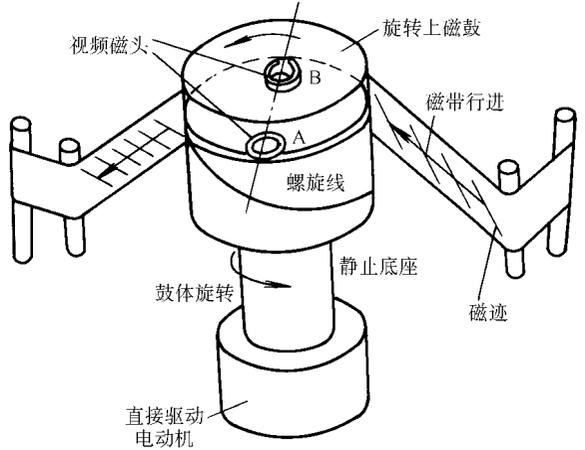


图 3-15 两磁头螺旋扫描原理

(2) 音频/控制磁头 也称为 A/C (AUDIO/CONTROL) 磁头，由音频的记录/放音磁头、控制信号的记录/重放磁头及抹音磁头三个部分组成。音频/控制磁头的工作示意图如图 3-16 所示。

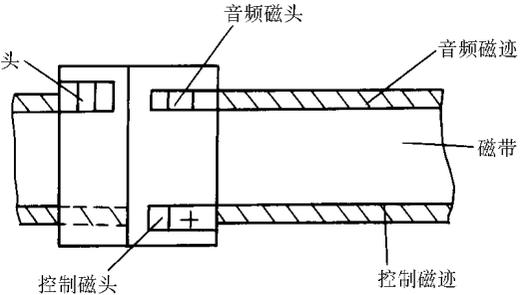


图 3-16 音频/控制磁头的工作示意图

第五节 半导体二极管

一、半导体二极管的分类

半导体二极管是具有单向导电特性或非线性伏安特性的半导体两极器件。按用途分为检波二极管、混频二极管、参放二极管、开关二极管、稳压二极管、整流二极管、光电二极管、发光二极管等；按采用材料分为锗二极管、硅二极管、砷化镓二极管等；按结构分为点接触和面接触二极管；按工作原理分为隧道二极管、变容二极管、雪崩二极管等。

二、国产半导体二、三极管型号命名方法

半导体二极管、三极管的型号由五部分组成。

第一部分：用数字表示半导体管的电极数目。

例如：2—二极管

3—三极管

第二部分：用汉语拼音字母表示半导体管的材料和极性。

例如：A—表示二极管时为 N 型锗材料

表示三极管时为 PNP 型锗材料

B—表示二极管时为 P 型锗材料

表示三极管时为 NPN 型锗材料

C—表示二极管时为 N 型硅材料

表示三极管时为 PNP 型硅材料

D—表示二极管时为 P 型硅材料

表示三极管时为 NPN 型硅材料

第三部分：用汉语拼音字母表示半导体管的类型，各字母及其代表类型见表 3-12。

表 3-12 二极管、三极管型号第三部分各字母的代表类型

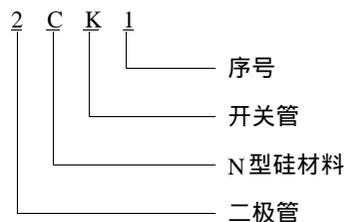
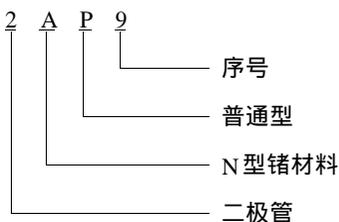
| 字母 | 类型 | 字母 | 类型 | 字母 | 类型 |
|----|-----|----|--------|-----|---------|
| P | 普通管 | U | 光电器件 | B | 雪崩管 |
| V | 微波管 | K | 开关管 | J | 阶跃恢复管 |
| W | 稳压管 | X | 低频小功率管 | CS | 场效应器件 |
| C | 参量管 | G | 高频小功率管 | BT | 半导体特殊器件 |
| Z | 整流管 | D | 低频大功率管 | PIN | PIN 型管 |
| L | 整流堆 | A | 高频大功率管 | FH | 复合管 |
| S | 隧道管 | T | 半导体闸流管 | JG | 激光器件 |
| N | 阻尼管 | Y | 体效应器件 | | |

第四部分：用数字表示半导体管的序号。

第五部分：用汉语拼音字母表示区别代号。

示例 1 N 型锗材料的普通二极管

示例 2 N 型硅材料的开关二极管



三、半导体二极管的极性判别及选用

1. 半导体二极管的极性判别

一般情况下，二极管有色点的一端为正极，如 2AP1 ~ 2AP7, 2AP11 ~ 2AP17 等。如果是透明玻璃壳二极管，可直接看出极性，即内部连触丝的一端是正极，连半导体片的一端是负极。如果既无色点，管壳又不透明，则可用万用表来判别正、负极。根据二极管正向电阻小、反向电阻大的特点，将万用表拨到欧姆档（一般用 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 档，不要用 $R \times 1$ 或 $R \times 10k$ 档，因为 $R \times 1$ 档使用的电流太大，容易烧坏管子，而 $R \times 10k$ 档使用的电压太高，可能击穿管子），用表棒分别与二极管的两极相接，测出两个阻值。在测得阻值较小的一次，与黑棒相接的一端即为二极管的正极。同理，在测得阻值较大的一次，与黑表棒相接的一端为二极管的负极。

2. 半导体二极管的选用

通常小功率锗二极管的正向电阻值为 $50 \sim 300\Omega$ ，硅管为 1000Ω 或更大一些。锗管反向电阻为几十千欧，硅管反向电阻在 $500k\Omega$ 以上（大功率二极管要小得多）。正反向电阻差值越大越好。

点接触二极管的工作频率高，不能承受较高的电压和通过较大的电流，多用于检波、小电流整流或高频开关电路。面接触二极管的工作电流和功率都较大，但适用的频率较低，多用于整流、稳压、低频开关电路等。

选用整流二极管时，既要考虑正向电压，也要考虑反向饱和电流和最大反向电压。选用检波二极管时，要求工作频率高、正向电阻小，以保证较高的检波效率；伏安特性曲线要好，避免引起过大的失真。

用万用表可以检验二极管的好坏，其方法与用万用表判别二极管极性相同。若测得的反向电阻很小，说明管子的内部短路；若测得正向电阻很大，说明管子内部断路。这两种情况下，管子都不能用了。

第六节 半导体三极管

半导体三极管是电子设备的关键器件之一。它对信号具有放大及开关控制作用，也用于振荡、调制等，与电子管相比具有体积小、重量轻、坚固耐震、使用寿命长、耗电省等优点。

一、半导体三极管的分类

半导体三极管可分为两大类。一类是结型三极管，由两个 PN 结组成，有 PNP 及 NPN 两种结构。这类三极管工作时，半导体中的电子和空穴两种载流子同时都起主要的作用，所以又称双极三极管，习惯上叫晶体三极管。另一类型是场效应晶体管，有结型场效应晶体管、金属—氧化物—半导体（MOS）场效应晶体管及肖特基势垒栅场效应晶体管等结构。这类晶体管工作时，半导体中的多数载流子对导电起主要作用，所以又称单极型晶体管。

按工作频率、开关速度、噪声电平、功率容量及其他电性能来分，三极管、场效应管又可分为低频小功率、低频大功率、高频低噪声、微波低噪声、高频大功率、微波大功率、超高速开关、功率开关、高速功率开关管等类型。

二、半导体三极管的判别

1. 管型和管脚排列

晶体管的型号一般都标在管壳上，但有时标记模糊或不标管型时，就得进行判别。为了判别管脚，首先应了解一下管脚排列。管脚排列方式有多种，目前金属管壳的管脚一般呈等腰三角形排列，并偏向一边。有些管子的管脚排成一条直线而距离相等或其中两管脚靠得较近。部分大功率晶体管，其管壳为一极，而另外两极管脚排列成一条直线。有关管脚排列的详细资料应查阅晶体管手册。

2. 管脚的判别

(1) 根据管脚排列及色点判别 有一种等腰三角形排列，其顶点是基极，有红色点的一边是集电极，另一极为发射极。另一种等腰三角形排列，顶点是基极，管帽边缘凸出的一边为发射极，另一极为集电极。还有一种等腰三角形排列，靠不同的色点来区分，顶点与管壳上的红点标记相对应的为集电极，与白点对应的为基极，与绿点对应的为发射极。有些管子管脚排成一条直线而距离相等，则管壳带红点的一边为发射极，中间为集电极，另一脚为基极。有些管子管脚排列成一条直线但距离不相等，则距离较近的两脚之中靠外的管脚为发射极，靠里的为基极，另一个为集电极。四个管脚的晶体管，若有四个色点，则红色点对应的是集电极，白色点对应的是基极，绿色点对应的是发射极，黑色点对应的是地线。有些四个管脚的晶体管，管壳带有凸缘，可将管脚朝向自己，则从管壳凸缘开始顺时针方向排列依次为发射极、基极、集电极、地线。对塑封晶体管，可将剖去一个平面或去掉一个角的标记朝向自己，则从左至右依次为发射极、基极、集电极。超小型晶体管，其中一个管脚截去一角为标记，定为发射极，与其垂直的管脚为集电极，另一个管脚为基极。还有一种超小型三极管，将球面向上，管脚朝自己，则从左至右依次是基极、集电极和发射极。以上均可参见图 3-17。

(2) 用万用表判别 目前晶体管的品种繁多，一般都可以用万用表判别管脚。其依据是：NPN 型管子基极到发射极和基极到集电极均为 PN 结的正向，而 PNP 型管子基极到发射极和基极到集电极均为 PN 结的反向。

首先判别管子的基极。将万用表拨在 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 档上，用黑表棒接触某一管脚，用红表棒分别接触另两个管脚，如表头读数都很小（约几千欧），则与黑表棒接触的那一管脚是基极，同时可知此管子为 NPN 型。若用红表棒接触某一管脚，而用黑表棒分别接触另两个管脚，表头读数同样都很小（约几百欧）时，则与红表棒接触的那一管脚是基极，同时可知此管子为 PNP 型。用上述方法既判定了晶体管的基极，又判别了管子的类型。

接着判别发射极和集电极。以 NPN 型管子为例，确定基极后，假定其余的两只脚中的一只是集电极，将黑表棒接在此脚上，红表棒则接到假定的发射极上。用手指把假定的集电极和已测出的基极捏起来（但不要相碰），看表针指示，并记下此阻值的读数。然后再作相反假设，即把原来假设为集电极的脚假设为发射极，作同样的测试并记下阻值的读数。比较两次读数的大小，若前者的读数较小，说明前者的假设是对的，那么黑表棒接的一只脚就是集电极，剩下的一只脚便是发射极。

若需判别的是 PNP 型晶体管，仍用上述方法，但必须把表棒的极性对调一下。

3. 晶体管性能的鉴别

(1) 穿透电流 I_{co} 大小的判别 用万用表 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 电阻档测量晶体管集电极和发射极之间的电阻，电阻值应大于数兆欧（指硅管，而锗管应大于数千欧）。阻值越大说明穿透电流越小。若阻值太小说明穿透电流大；若阻值不断明显下降，则说明管子性能不稳

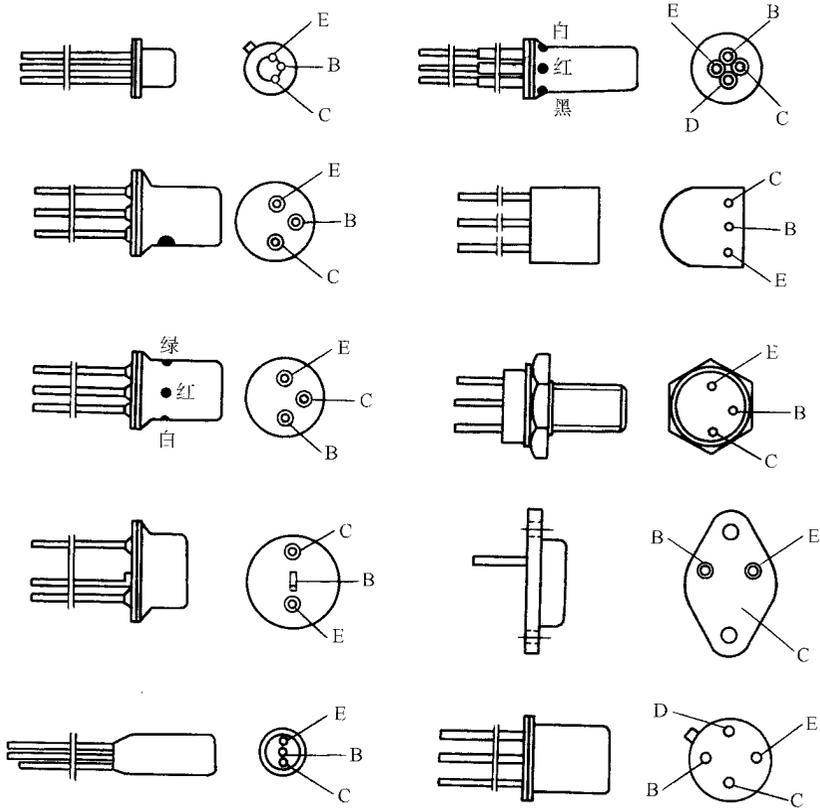


图 3-17 部分三极管电极分布

定；若测得的阻值接近于零，则表明管子已经击穿；若测得的阻值太大，则可能是内部断线。应当指出，集电极和发射极之间的电阻与温度有关。例如穿透电流很小的锗管，用手捏住加温后，其间电阻也只有几千欧。因此，不能用电阻绝对数值的大小来判定穿透电流的大上，而只能用比较的方法来判别。

(2) 电流放大系数 β 的估计 将万用表拨到 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 电阻档，测量晶体管发射极与集电极之间的电阻。看好读数，而后再用手捏着基极和集电极（但两极不要相碰），观察表针摆动幅度大小，摆动越大，说明管子放大能力越大，即 β 越大。应当指出，这是相对比较的方法。手捏在两极之间等于给管子提供了基极电流 I_b ， I_b 的大小和手的潮湿程度有关，也可接一只 $50 \sim 100k\Omega$ 的电阻来代替手捏的方法进行测试。

以上是对 NPN 型管子的鉴别，黑表棒接管子的集电极，红表棒接于发射极。将黑红表棒对调一下，就可对 PNP 型管子进行鉴别。

三、半导体三极管的选用

选用晶体管一要满足设备及电路要求，二要符合节约的原则。根据用途的不同，一般应考虑以下几个主要因素：频率、集电极最大耗散功率、电流放大系数、反向击穿电压、稳定性和饱和压降等。这些因素又有互相制约的关系，在选管时应抓住主要矛盾，兼顾次要因素。

低频管的特征频率 f_T 一般在 $2.5MHz$ 以下，而高频管的 f_T 都从几十兆赫到几百兆赫甚

至更高。选管时应使 f_T 为工作频率的 3~10 倍。原则上讲，高频管可以代替低频管，但是高频管的功率一般都比较小，动态范围窄，在代替时应注意功率条件。

一般希望 β 大一点，但也并不是越大越好。 β 太大容易引起自激振荡（自生干扰信号），何况一般 β 大的管子工作多不稳定，受温度影响大。通常 β 多选在 40~100 之间。另外，对整个设备来说还应该从各级的配合来选择队列，如前级用 β 较大的管子，后级就可以用 β 较小的管子；反之，前级用 β 较小的管子，后级就可以用 β 较大的管子。对称电路，如末级乙类推挽功率放大电路，需选用 β 和 I_{ceo} 都尽可能相同的管子，否则会出现信号失真。对 OIL 型电路可选用 3BX 型低频小功率三极管和同材料的 3AX 型三极管进行配对使用。

集电极—发射极反向击穿电压 BV_{ceo} 应选得大于电源电压。穿透电流 I_{ceo} 越小，对温度的稳定性越好。普通硅管的稳定性比锗管好得多，但普通硅管的饱和压降比锗管大，在某些电路中会影响电路的性能，应根据具体情况选用。选用晶体管的耗散功率时应根据不同电路的要求留有一定的余量。

对高频放大、中频放大、振荡器等电路用的晶体管，应选用特征频率 f_T 较高、极间电容较小的晶体管，以保证在高频情况下仍有较高的功率增益和稳定性。

四、使用场效应管的注意事项

场效应管具有噪声低、温度漂移小、输入阻抗高的优点，能满足高内阻微弱信号源对输入阻抗的要求。所以是较理想的前置输入级放大元件。

场效应管在使用中要特别注意对栅极的保护，尤其是绝缘栅型场效应管，因为输入阻抗非常高，栅极如果有感应电荷，就很难泄放掉。电荷的积累会使电压升高，特别是极间电容比较小的管子，少量的电荷足以产生击穿的高压。为了避免管子击穿，关键在于不能让栅极悬空，要在栅源之间绝对保持直流通路，即使在不用时，也要将三个电极短接起来。在焊接时，也要短接好，并应在电烙铁的电烙铁电源断开后再焊栅极，以避免交流感应将栅极击穿。对结型场效应管，其栅极保护的关键在于不能对 PN 结加正向电压，以免损坏。

第七节 集成电路

随着电子技术的不断发展，电子设备趋向小型化、微型化，其体积缩小，重量减轻，工作可靠性大大提高，这些都归功于集成电路的应用。

一、集成电路的种类

集成电路是指采用半导体工艺或厚膜工艺（或者这些工艺的结合）将电路的有源元件、无源元件及其互连线一起制作在半导体或绝缘基片上，形成结构上紧密联系的整体电路，而从外观上已分不出各种元件、器件和电路的界限。

集成电路与分立元件电路相比，大大减小了体积、重量、引出线和焊点数目，提高了电路性能和可靠性，同时降低了成本，便于批量生产。

集成电路按工艺结构或制造方法的不同，可分为半导体集成电路、厚膜集成电路和混合集成电路等；按电路功能可分为线性集成电路、数字集成电路；按电路集成度的高低可分为大、中、小规模 and 超大规模集成电路。所谓集成度，是指一块集成电路芯片中所包含的电子元器件数量。集成电路的集成度少于 10 个门电路或少于 100 个元件者，称为小规模集成电

路；集成度在 10~100 个门电路之间或集成元件在 100~1000 个之间者，称为中规模集成电路；集成度在 100 个门电路以上或 1000 个元件以上者，称为大规模集成电路。在各类集成电路中，半导体集成电路优点最多，因而其发展也较快。

1. 半导体集成电路

半导体集成电路是以半导体单晶硅为基础材料，以制造硅平面晶体管的平面工艺为基本工艺，将三极管、二极管、电阻、电容等制作在同一块硅片上，构成一个完整的电路。该集成电路具有生产效率高，有利于大规模工业生产及成本较低的优点。由于利用了制造晶体管的平面工艺，在电路中制造晶体管比制造电阻、电容更为方便。

半导体集成电路的外形结构有圆形金属外壳封装、扁平型陶瓷或塑料外壳封装、双列直插型陶瓷或塑料封装等。圆形金属外壳封装，其引出线根据内部结构不同有 8 根、10 根、12 根、14 根等多种，此种封装方式的集成块一般都是线性电路；扁平陶瓷或塑料外壳封装，其引出线有 14, 16, 18, 24, 36 根等多种，数字集成电路大多采用这种封装；双列直插型陶瓷或塑料封装，其引出线有 14, 16, 18, 24 根等多种，它可以直接焊在印制电路板上，也可以把相应的管脚插座焊装在印制电路板上，然后将集成电路块插入插座中，便于试验和维修。

2. 膜集成电路

根据工艺方法及膜厚的不同，可分为厚膜集成电路和薄膜集成电路。

厚膜集成电路是利用丝网漏印的方法，在陶瓷或玻璃绝缘基片上，装上预先做好的漏板，把电阻材料的印浆通过漏印板印制在基片上，烘干后就成了厚膜电阻。通过改变电阻印浆的材料成分和改变漏印板上的电阻图形，可以得到不同的电阻值，或者利用印制多层不同的材料，制造电容器，但制造晶体管比较困难。近年来厚膜集成电路有了新的发展。日本三洋公司生产的开关型集成稳压电源，是一种厚膜集成电路（如 1X0689C2 型），它稳压性能好，集成度高，外部元件少，在我国彩色电视机的稳压电源中广泛采用。

薄膜集成电路是以微晶玻璃片或陶瓷片为基片，采用真空镀膜或溅射工艺方法，在基片上表面依次蒸镀多层薄膜，相互重叠而构成电路。薄膜集成电路现在应用也很广泛。

膜集成电路的特点是电路中各种元件（电阻、电容）数值范围较大，精度高，基片绝缘性能好。这种电路宜作为高精度、高阻值、大容量的线性放大器，但这种电路的制造工艺繁琐，成本也较高。

3. 混合集成电路

混合集成电路是利用半导体集成电路、膜集成电路、分立元器件这三种工艺方法中的任意两种或三种，混合制造而成的微型结构电路。这种电路不论在电路形式或元件选择上都比较灵活，克服了半导体集成电路和膜集成电路的不足，充分利用它们各自的优点进行补偿，但制造工艺复杂，生产效率低。随着电子技术的不断发展，混合集成电路的生产水平将会不断提高。

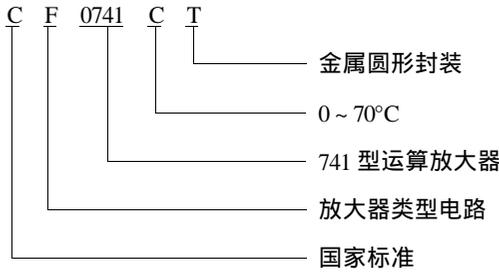
二、集成电路型号命名方法

我国集成电路标准化技术委员会参照国际上流行的标准，并结合我国的实际情况，颁布了国家标准 GB3430—1982《半导体集成电路型号命名法》。国产半导体集成电路的型号由五部分组成，每部分的字母及代表意义见表 3-13。

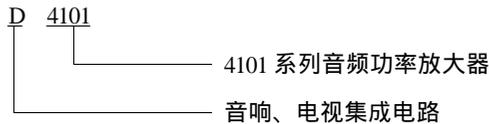
表 3-13 国产半导体集成电路型号命名方法

| 第一部分 | | 第二部分 | | 第三部分 | 第四部分 | | 第五部分 | |
|---------------|-------|-----------|---------|---------------------------------|-----------------|--------------|-----------------|-------|
| 用字母表示 国家标准 | | 用字母表示电路类别 | | 用数字表示电路系列 和代号（一般用四位 数字表示） | 用字母表示电路 温度范围 | | 用字母表示电路 封装形式 | |
| 字母 | 意义 | 字母 | 意义 | | 字母 | 意义 | 字母 | 意义 |
| C | 中国制造 | B | 非线性电路 | | C | 0 ~ 70°C | B | 塑料扁平 |
| | | C | CMOS | | E | - 40 ~ 85°C | D | 陶瓷直插 |
| | | D | 音响、电视电路 | | R | - 55 ~ 85°C | F | 全密封扁平 |
| | | E | ECL | | M | - 55 ~ 125°C | J | 黑陶瓷直插 |
| | | F | 放大器 | | | | K | 金属菱形 |
| | | H | HTL | | | | T | 金属圆形 |
| | | J | 接口器件 | | | | | |
| | | M | 存储器 | | | | | |
| | | T | TTL | | | | | |
| | | W | 稳压器 | | | | | |
| μ | 微型计算机 | | | | | | | |

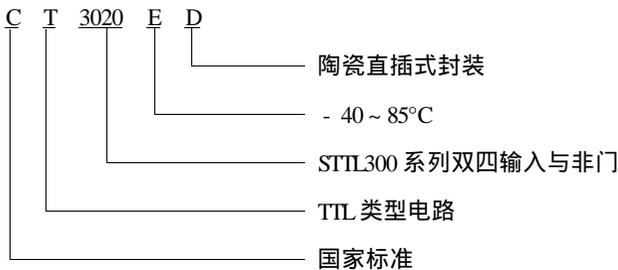
示例 通用 741 型运算放大器



示例 通用 4101 型功率放大器



示例：STTL300 系列双四输入与非门



第八节 其他元器件

电子元器件的种类很多，除了前面所介绍的之外，还有其他各种元器件，现将较常用的进行介绍。

一、继电器

继电器是自动控制电路中常用的一种器件，它是用较小电流来控制较大电流的一种自动开关，在电路中起着自动操作、自动调节、安全保护等作用。

1. 继电器的种类及结构

继电器的种类很多，常用的有电磁式和干簧式继电器。通常将继电器分为直流继电器、交流继电器、舌簧继电器及时间继电器四种。

电磁式继电器的典型结构如图 3-18 所示。它主要由铁心、线圈、动静触点、衔铁、返回弹簧（或簧片）等部分组成。其工作原理简单，只要在线圈引出线 1, 2 两端加上一定的电压，线圈中就会流过一定的电流，由于电流的磁效应，铁心被磁化而具有磁性，动铁心（即衔铁）在电磁力吸引的作用下，克服返回弹簧的拉力而被引向静铁心，从而带动在衔铁上的动触点 3 与静触点 4 闭合。线圈断电后，电磁吸力消失，衔铁就会在返回弹簧的作用下返回原来的位置，使动触点 3 与静触点 4 断开，而与静触点 5 闭合。

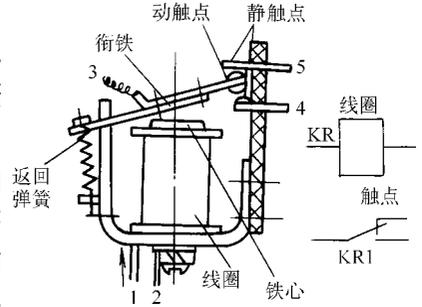


图 3-18 电磁式继电器的典型结构

2. 继电器的表示符号

继电器用字母“K”表示。继电器的线圈用两个长方框图形符号表示，对簧片继电器在方框旁标上项目代号“KR”。表 3-14 列出了继电器的常用符号和三种接点的符号。

表 3-14 继电器图形符号和项目代号

| 继电器线圈图形符号 | 继电器触点符号 | | |
|-----------|-----------|------------------|-----------|
| KR | KR-1 | 动合触点（常开触点），称 H 型 | |
| | KR-2 | 动断触点（常闭触点），称 D 型 | |
| | KR-3 | 动换触点（转换触点），称 Z 型 | |
| | KR1-1 | KR1-2 | KR1-3 |
| | KR2-1 | KR2-2 | |

二、数码管

数码管除可以显示阿拉伯数字外，还可以显示计量单位、符号、字母等，但最常用的是显示数字。数码管的种类有辉光放电数码管、荧光数码管、发光二极管、液晶显示器件等。其中，发光二极管和液晶显示器件应用最广泛。

1. 发光二极管

发光二极管（LED）是由半导体材料制成的，能将电信号转换成光信号的结型发光器件。如果将发光二极管制成条状，再按照一定方式连接，组成数字“8”，就构成LED数码管。使用时，按规定使某些发光二极管发光，即可组成0~9的一系列数字。

（1）半导体发光二极管命名方法 由七部分组成。第一部分是“发光”两字汉语拼音的第一个字母，即“FG”，表示该器件的型号。其余部分用阿拉伯数字表示。

型号全称：FGX₁X₂X₃X₄X₅X₆

第一部分：“FG”表示“发光”。

第二部分：“X₁”表示材料，用“1”表示磷砷化镓（GaAsP），用“2”表示镓铝磷（GaAsAl），用“3”表示磷化镓（GaP）。

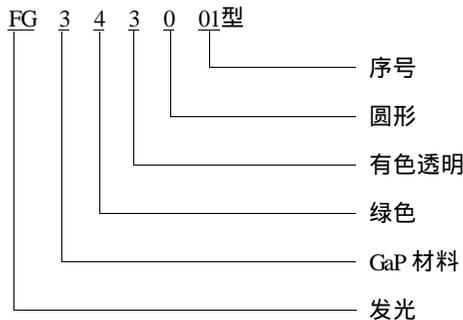
第三部分：“X₂”表示颜色，“1”为红，“2”为橙，“3”为黄，“4”为绿，“5”为蓝，“6”为紫。

第四部分：“X₃”表示封装形式，“1”为无色透明，“2”为无色散射，“3”为有色透明，“4”为有色散射。

第五部分：“X₄”表示外形，“0”为圆形，“1”为长方形，“2”为符号形，“3”为三角形，“4”为方形，“5”为组合形，“6”为特殊形。

第六、七部分：表示序号。

示例



（2）LED 数码管的构造与特点 LED 数码管分为共阳极与共阴极两种，有 7 个笔段和小数点的驱动端，也称笔划电极。对于共阳极 LED 数码管，当笔划电极接低电平，共阳极接高电平时，相应的笔划就发光，共阴极则与之相反。

LED 数码管主要特点是能在低电压，小电流条件下驱动发光，能与 CMOS、TTL 电路兼容，发光响应时间极短（ $< 0.1\mu\text{s}$ ），高频特性好，单色性好，亮度高，体积小，重量轻，抗冲击性能好，寿命长。

2. 液晶显示器件（LCD）

LCD 是一种新型显示器件，自 1968 年问世以来，其发展速度之快、应用范围之广，都

已远远超过了其他发光型显示器件。

液晶是介于固体和液体之间的中间物质，一般情况下，它和液体一样可以流动，但在不同方向上它的光学特性不同，显示出类似于晶体的性质，所以称这类物质为液晶。利用液晶的电光效应制作成的显示器称为液晶显示器件。

(1) 液晶显示器件分类 根据液晶显示器件的使用功能可分为仪表显示器、电子钟表显示器、电子计算器显示器、光阀及点阵显示器、彩色显示器和其他特种显示器等。

(2) 常用 TN 型液晶显示器的主要特点 工作电压低 (2 ~ 6V)，微功耗 ($1\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 以下)；能与 CMOS 电路匹配；显示柔和，字迹清晰；不怕强光冲刷，光照越强对比度越大，显示效果越好；体积小，重量轻，平板型，可靠性高，寿命长，价廉，设计及生产工艺比较简单。

(3) 国产液晶显示器件型号的命名 北京牌液晶显示器件的型号由四部分组成。

第一部分：用汉语拼音字母 YX 表示液晶显示器件。

第二部分：用汉语拼音字母表示液晶显示器件的类型。ZH—时钟，B—手表，J—计算器，Y—仪器仪表，SH—试电笔，BI—笔表，GF—光阀，JU—矩阵，M—显示模块。

第三部分：用阿拉伯数字表示器件的位数。对于数字显示：35— $3\frac{1}{2}$ 位，80—8 位；对于点阵显示：08—8 行，16—16 行；对于光阀无表示；对于模块：00—静态，16—16 行。

第四部分：用阿拉伯数字表示器件的序号。尾缀表示连接方式：D—导电橡胶，SH—插针。

示例 1：YXZH3501D 表示时钟用液晶显示器， $3\frac{1}{2}$ 位数字，序号 1，导电橡胶连接方式。

示例 2：XYX8030SH 表示仪表用液晶显示器，8 位数字，序号 30，插针连接方式。

示例 3：YXJ12003D 表示计算器用液晶显示器，12 位数字，序号 3，导电橡胶连接方式。

第九节 开关、接插件和散热器

一、开关

在机电设备中，开关用来换接电路，通常称为接触件。开关有多种，较常用的有波段开关、钮子开关、按钮开关、直键开关、微动开关、组合开关等。近年来国际流行的一种集装饰与功能为一体的新型元件，称为薄膜开关（又称平面开关），它是继导电橡胶、微动开关之后的新一代电子开关产品。

1. 波段开关

常用的波段开关有旋转式、拨动式、按键式等，每一种形式又可按照“刀”和“掷”分为若干规格。在开关结构中可以直接移动（或间接移动）的导体称为“刀”，固定的导体称为“掷”（也称为开关的位）。刀和掷通过机械结构接通和断开，接通时称“开”，断开时称“关”。有多少个刀，波段开关就可以同时接通电路中多少个点；有多少个掷，波段开关就可以换接多少个电路。

(1) 旋转式波段开关 旋转式波段开关是由开关片（即刀和掷）、跳步定位机构、轴、轴套以及各种装配件、紧固件组成。现以三刀三掷波段开关为例说明其工作原理。三刀三掷波段开关能随主轴转动的金属片叫做动片，装在动片外面的绝缘片（圆形瓷片或其他绝缘片）叫做定片。在绝缘片上铆有接点焊片，其中有三个接点始终和对应的动片连接，这三个

间接移动的焊片就是“刀”。每个刀通过金属动片按逆时针方向转动时，可分别与另外三个焊片连接，即每个刀有三个位置，称为三刀三掷。

(2) 拨动式波段开关 拨动式波段开关有多种类型，现以四刀双掷开关的外形和结构为例说明拨动式开关。它共有 12 个接点焊片，分成四组，每组三个接点，中间接点“刀”始终与动片相连。当开关往上拨动时，中间接点就连接“1”接点；往下拨动时，中间接点就连接“2”接点。这种开关刀数多、体积小，可以直接装在印制电路板上面。

2. 直键开关

直键开关也称琴键开关分为 KZJ1 型和 KZJ1A 型两种。这种开关有自锁自复位、互锁互复位、自锁共复位等形式。

3. 钮子开关

此种开关属于拨动式开关，通过拨动钮柄使弹簧带动滚柱倒向某一对簧片，使两个固定触点接通，从而达到开关的作用。钮子开关有几种型式，每种又分单刀双掷和双刀单掷两种形式。

4. 薄膜开关

薄膜开关是 20 世纪 80 年代发展起来的新一代电子产品，它不仅外形美观、安装简便，而且具有体积小、重量轻、密封性好、性能稳定、寿命长等优点。薄膜开关的应用对加速电子产品的更新换代有着重要的意义。

(1) 薄膜开关的分类及构造 薄膜开关按基本材料不同，可分为软性和硬性两种；按面板类型不同，可分为键位平面型和凹凸型两种；根据按键类型不同，可分为无手感键和有手感键（触觉反馈式）。这三种分类可以互相结合，构成不同结构种类的薄膜开关。

软性薄膜开关由多层柔软膜相互黏合构成，见图 3-19a。硬性薄膜开关的构造见图 3-19b，它由一块硬质印制电路板（AP）作为衬底和多层柔软薄膜相互黏合构成，底层电路由印制板上的导电电路组成。平面型薄膜开关的面板键位是平的，凹凸型薄膜开关的键位是凸起的，见图 3-19c。

无手感薄膜开关在按动时所需要的按动力较小，轻轻一按，开关就会接通；有手感薄膜开关在按动时会产生“喀”的低微声音，而且手按动键位时有感觉（触觉反馈）。一般凹凸型薄膜开关都是有手感开关。

(2) 国产薄膜开关部分产品主要电气性能

最大工作电压：DC30V

最大工作电流：100mA

最大功率：1.5W

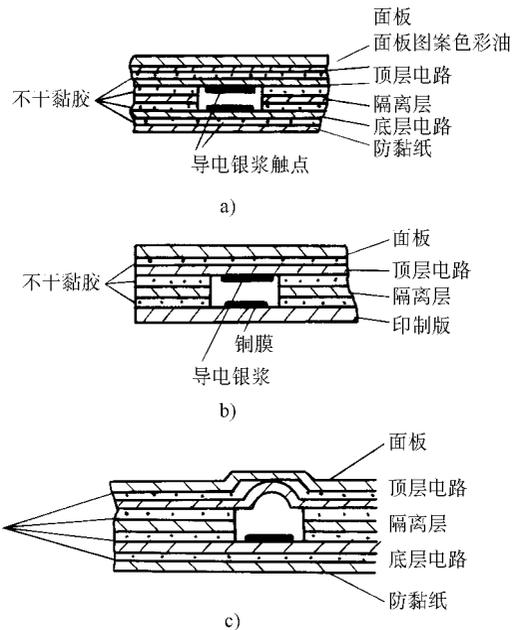


图 3-19 薄膜开关的结构

接触回路电阻： $< 100\Omega$

绝缘电阻： $> 10M\Omega$

开关行程： $0.1 \sim 0.8\text{mm}$

寿命： > 100 万次

(3) 使用注意事项

1) 薄膜开关是一种低压、小电流操作开关，适用于逻辑电路（CMOS，TTL 电路），不能作未经变压的电源开关。

2) 薄膜开关只能用于常断、瞬时接通的电路，不能用于自锁（推上、脱开）交替动作或按钮联锁机构。

二、插头、插座

在无线电整机设备中，往往有几个相对独立的分机或单元部件，它们是通过导线、电缆线以及插头、插座连接为整机的。此外，各种终端器件（如传声器、拾音器、耳机等）接到整机的输入端或输出端时，也要通过插头、插座连接。因此，插头、插座也称为连接器，它们之间必须配合使用。要求插头、插座要有足够的机械强度，有一定的电流容量，插拔力适当，能够达到一定的插拔寿命。

插头、插座的种类较多，有低频插头、插座和高频插头、插座等。高频插头、插座一般采用同轴结构与同轴电缆相连接。按外形结构可分为圆形和矩形插头、插座；按应用场合可分为印制电路板连接器，集成块插座，电源插头、插座，耳机插头、插座等。各类型插头、插座的外形如图 3-20 所示。

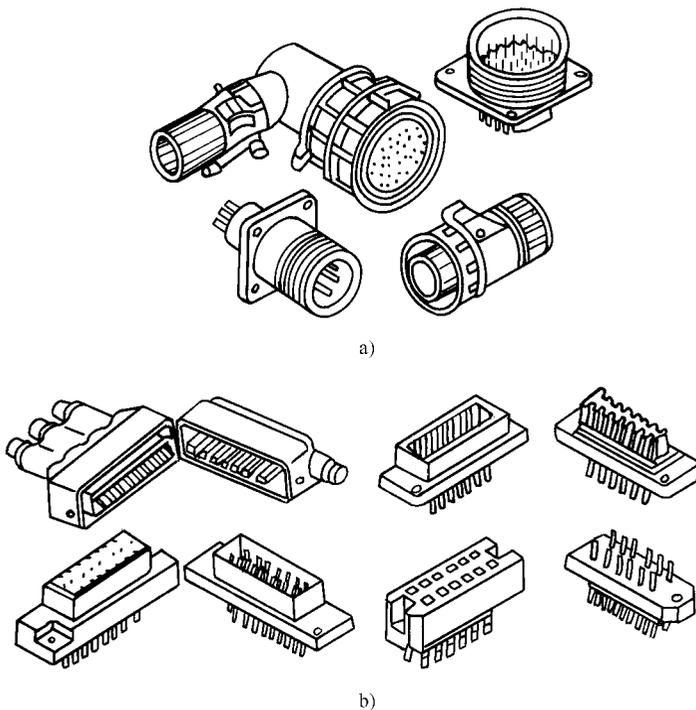


图 3-20 插头、插座的外形

a) 圆形 b) 矩形

三、散热器

在晶体管中，流过集电结的电流使集电结产生热量。集电结耗散功率产生的热量是热的来源，称为集电结热源。集电结热源首先把热量发散给管壳，使管壳温度上升。管壳虽然能帮助散热，但由于管壳与空间接触的面积太小，散热效果很差。对于大功率晶体管，由于集电结流过的电流较大，管壳发热比较厉害，如果不采取散热措施，管子发热到一定程度后便会烧坏。散热装置的作用是帮助管子散热，发散晶体管集电极耗散功率产生的热量。

散热器的设计主要是根据所要求的最大集电极耗散功率来确定散热装置的形式和尺寸。目前，一般采用散热板和散热型材两种形式的散热装置。

1. 散热板

散热板的热阻（散热板最后将热发散到空间所受到的阻力）决定于散热板的面积和厚度以及所用的材料。铜板比铝板略好，但不显著，因此一般都用铝板。实验证明，对一定厚度的散热板来说，当面积增加到一定值时，继续增加面积，热阻并没有减小。因此，在一定厚度下，过分地增加散热板的面积是无用的，只有增加厚度，才能使热阻进一步减小，提高散热效果。

2. 散热型材

目前，利用铝、镁合金挤压型材做成的散热器已得到广泛应用，见图 3-21 所示。铝型材散热器的热阻决定于它的包络体积，即长、宽、高乘积， $H \times B \times L$ 。

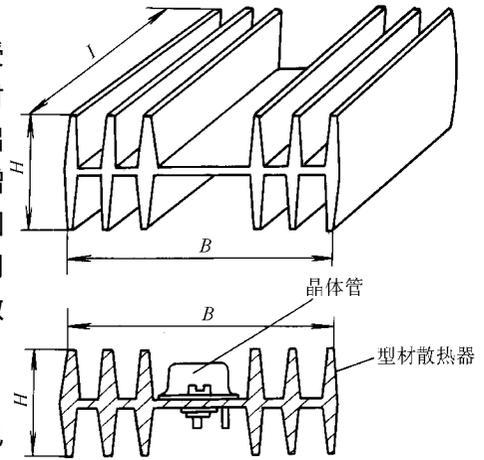


图 3-21 铝型材散热器

第十节 片式元器件

片状元器件是无引线或短引线的新型微小型元器件，它直接安装在印制板上，是表面组装技术的专用器件。目前，片状元器件广泛应用于计算机、移动通信设备、摄录像一体机、彩电高频头、VCD 等产品中。

片状元器件具有尺寸小、重量轻、安装密度高；可靠性好、抗振性强；高频特性好、抗干扰能力强等优点，且易于实现自动化。

片状元器件按形状可分为矩形、圆柱形和异形三类。

一、片状元器件的种类和特点

1. 片状电阻器

片状电阻器有矩形片状电阻（一般厚度为 0.5~0.6mm）、圆柱形电阻（通常直径为 1~2.2mm）和片状电位器（常用功率为 1/20~1/2W）等。矩形片状电阻的阻值用三位数（数码法）表示；圆柱形电阻的阻值用色环标志。起跨接作用的 0Ω 片状电阻无数字和色环标志，一般用红色或绿色表示，以示区别。

片状电阻因其高频特性好，常用在电子调谐器、移动通信等频率较高的产品中；圆柱形电阻则因噪声小、三次谐波失真小，常用在音响设备中。

常见矩形片状电阻器的尺寸见表 3-15。

表 3-15 矩形片状电阻器尺寸

| 代号 参数 | RC2012 (RC0805) | RC3216 (RC1206) | RC5215 (RC2010) | RC5025 (RC2010) | RC6332 (RC2512) |
|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 长度 L/mm | 2.0±0.15 | 3.2±0.15 | 3.2±0.15 | 5.0±0.15 |
| 宽度 W/mm | 1.25±0.15 | 1.6±0.15 | 2.5±0.15 | 2.5±0.15 | 3.2±0.15 |
| 额定功率/W | 1/10 | 1/8 | 1/4 | 1/2 | 1 |
| 额定电压/V | 100 | 200 | 200 | 200 | 200 |

注：括号内为英制代号

2. 片状电容器

片状电容器有矩形片状陶瓷电容、陶瓷微调电容、片状铝电解电容、片状钮电解电容等。矩形片状电容的容量标志法与片状电阻相同，其容量范围为 1~4700pF，耐压从 25~2000V 不等。常见矩形片状陶瓷电容器的尺寸见表 3-16。

表 3-16 矩形片状陶瓷电容器尺寸

| 代号 | | 长度 L /mm | 宽度 W /mm | 代号 | | 长度 L /mm | 宽度 W /mm |
|--------|--------|-------------|-------------|--------|--------|-------------|-------------|
| 国际制 | 英制 | | | 国际制 | 英制 | | |
| CC2012 | CC0805 | 2.0±0.2 | 1.25±0.2 | CC4532 | CC1812 | 4.5±0.2 | 3.2±0.2 |
| CC3216 | CC1206 | 3.2±0.2 | 1.6±0.2 | CC4564 | CC1825 | 4.5±0.3 | 6.4±0.4 |
| CC3225 | CC1210 | 3.2±0.2 | 2.5±0.2 | | | | |

陶瓷微调电容的容量通常在 1~15pF 之间，常用于电子钟表调节走时的快慢。片状铝电解电容与普通铝电解电容的性能相似，仅引脚形式不同。片状钮电解电容体积较小，但价格较贵，适合用在高速运算的电路中。片状钮电解电容的标称容量与普通电解电容相同，其最大容量为 330pF，额定电压为 4~50V。片状电容器标志打印在元件上，有横标端为正极，容量也用数码法表示，如 107，表示 10×100^7 pF，即 $100 \mu\text{F}$ 。

3. 片状电感器

片状电感器通常为矩形，包括片状叠层电感和绕线电感。片状叠层电感又叫压模电感，外观与矩形片状电容相似。这种电感器里面采用铁氧体磁屏蔽层，以防磁场外泄。电感内部采用薄片型印制式导线，呈螺旋状，根据需要可将其叠在一起。叠层片状电感尺寸小，Q 值低、电感量小，电感量范围为 0.01~200 μH ，额定电流最高为 100mA。具有磁路闭合、磁通量泄漏少、不干扰周围元器件和可靠性高的优点。绕线电感采用高导磁性铁氧体磁心，以提高电感量，有垂直缠绕和水平缠绕两种。其电感量范围为 0.1~1000 μH ，Q 值为 50~100，额定电流最高 300mA。铁氧体磁心对震动非常敏感，应注意避免其遭受震动。

4. 片状二极管、片状三极管

片状二极管有圆柱形和矩形两种。圆柱形结构是将二极管芯片装在具有内部电极的玻璃管中，两端装上金属帽作正负极。外形尺寸有 $\phi 1.5\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 和 $\phi 2.7\text{mm} \times 5.2\text{mm}$ 两种。片状二极管采用 SOT-23 形式封装（与片状三极管封装相同），有两根引出线的一面两根引出线均为负极，单引线的一面引线为正极。

小功率晶体三极管，也采用 SOT-23 形式封装，其功率一般为 100~200mW，电流为 10

~700mA。大功率晶体三极管采用 SOT—89 形式封装，其功率为 1~1.5W，最大可达 2W，集电极有两个管脚，可任接一脚。片状双栅场效应管，广泛用在彩电电子调谐器中，常见型号有 3SK138、3SK127、3SK134A 等。

5. 片状小型集成电路

片状小型集成电路有双列封装和四列封装两种。引线间距为 1.27mm、1mm 和 0.76mm，厚度一般为 2~3mm，功率在 1W 以内。目前大部分片状小型集成电路的功能与现在通用的集成电路的功能相似，与双列直插形式封装的集成电路相比，安装时占用印制板的面积小，重量也减轻了 1/5 左右。

二、片状元器件的拆卸

片状元器件体积非常小，怕热、怕碰，有的引线脚很多，难以拆卸，给维修带来很大困难，因而掌握科学的拆卸方法非常重要。

1. 专用烙铁头拆卸法

选购专用的“ Π ”形烙铁头，“ Π ”形头部的凹口宽度（W）及长度（L）可根据被拆件的尺寸确定。专用烙铁头可使被拆件两面引线脚的焊锡同时熔化，因而可方便地取下被拆元器件。也可采用自制烙铁头进行拆卸。自制的方法：选一段内径与烙铁头外径相配合的紫铜管，一端用虎钳夹平（或锤平），钻上小孔，如图 3-22a 所示。再用两块紫铜板（或紫铜管纵向剖开展平）加工成与被拆件长度相同的尺寸，并钻小孔，如图 3-22b 所示。挫平端面，打磨干净，最后用螺栓组装成图 3-22c 所示形状，套在烙铁头上，加热、沾锡，即可待用。

对于两个焊点的矩形片状元器件，只要将烙铁头敲成扁平状，使端面宽度等于元器件长度（L），即可同时加热熔化两个焊点，取下片状元器件。

2. 吸锡铜网法

吸锡铜网是用细铜丝编织而成的网状带子（也可用电缆线的金属屏蔽线或多股软线代替）。使用时将网线覆盖在多引脚上，涂上松香酒精焊剂，用烙铁加热，并拽动网线，各脚上的焊锡即被网线吸附。剪去已吸附焊锡的网线，重复几次，引脚上的焊锡逐渐减少，直到引脚与印制板分离。

3. 熔锡清扫法

当多脚元件焊锡熔化时，用牙刷（或油画笔、漆刷等）对熔锡进行清扫，也能很快拆下元器件。

元器件拆除后，应及时清洁印制板，以防残锡造成其他部位短路。

4. 引线拉拆法

此法适用于拆卸片状集成电路。用一根粗细适当，有一定强度的漆包线，从集成电路的引脚内侧空隙处穿入，漆包线的一端固定在某一适当的位置上，另一端用手拿住，当焊锡熔化时，拉动漆包线“切割”焊点，集成电路引脚便与印制板分离。

5. 吸锡器拆卸法

吸锡器有普通吸锡器和吸锡电烙铁两种。普通吸锡器使用时压下吸锡器活塞杆，待电烙铁将被拆件的焊点熔化时，将吸锡器的吸嘴紧靠熔点，按下吸锡器的释放钮，在吸锡器活塞杆弹回的同时，将熔锡吸走。反复几次，可使被拆件与印制板分离。

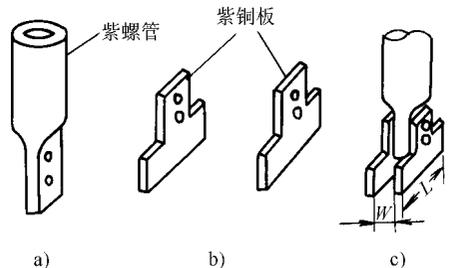


图 3-22 “ Π ”形烙铁头制作示意图

吸锡电烙铁是将普通吸锡器与电烙铁组装在一起的专用吸锡工具，其用法与普通吸锡器相同。

本章小结

元器件是组成电路的基本元件。元器件特性参数和结构是否符合设计要求，以及元器件的质量，都影响着电子产品的特性和质量。电子产品所用的元器件，都要通过严格的挑选，并经过老化处理，以保证其特性参数的稳定。

通过本章的学习，要求重点掌握元器件的命名方法、对应的特性参数和结构特点；根据电路设计要求，学会对元器件的识别和选用，掌握元器件质量的鉴别方法；熟悉片状元器件的种类和特点，学会对片状元器件的识别、选用和掌握科学的拆卸方法。

第四章 焊接与组装

焊接是电子产品中最基本的一种连接方式。锡铅焊接又是应用最广泛、最重要的焊接，直接影响电子整机产品的质量和性能。所以，只有掌握焊接的基础理论知识及手工焊接操作技能，才能确保电子整机产品的焊接质量。

第一节 焊接基础知识

一、焊接概述

利用加热或其他方法，使两种金属间原子的壳层互起作用，或是原子相互扩散、互熔，依靠原子间的内聚力使两种金属永久地牢固结合，称为焊接。

焊接一般分为熔焊、钎焊、接触焊三大类。熔焊又可分为气焊、电焊；钎焊可分为软焊（焊料熔点低于 450°C ）、硬焊（焊料熔点高于 450°C ）；接触焊可分为点焊、碰焊。

在固体母材之间，熔入比母材金属熔点低的焊料，依靠毛细管作用，使焊料进入母材之中，并发生化学变化，从而使母材与焊料结合为一体，这种过程称为钎焊。

家电整机设备中的焊接，主要采用钎焊类中的软焊，一般是锡铅焊接。

二、锡焊

采用锡铅焊料的焊接称为锡铅焊接，简称锡焊。它的熔化温度处于 $185 \sim 450^{\circ}\text{C}$ 之间，有利于手工焊接和自动焊接（机器焊接）。锡焊的特点如下。

（1）熔点低，适用范围广 除含有大量铬和铝等合金的金属材料不易焊接外，其他金属材料（如金、银、铜、铁等）大都可用锡焊。

（2）焊接方法简便 锡焊方法同其他焊接相比，操作较简单，只要使用电烙铁就能进行。

（3）成本低 锡铅焊料同其他焊料相比成本较低。另外，锡焊方法简便，大大地降低了焊接成本。

（4）容易实现焊接自动化 熔化温度较低，有利于浸焊和波峰焊，可实现焊接自动化。

由于锡焊有以上特点，所以在家电整机产品装配中，它使用最早，至今仍是被广泛采用的焊接方法之一。

三、焊接方法的分类

随着电子工业的不断发展，近年来焊接技术也有更新和发展。在焊接方法上，除了传统的手工焊接外，还出现了使用机器设备的自动焊接，此外无锡焊接在家电工业中逐步地被采用。

焊接方法一般分为手工焊接、自动焊接、无锡焊接三大类。手工焊接可分为绕焊、钩焊、搭焊、插焊。插焊又可分为直脚焊、弯脚焊；自动焊接可分为浸焊、波峰焊；无锡焊接可分为压接、绕接、熔接、激光焊、导电胶粘接。

本章主要介绍手工焊接的基础知识和操作技能。

第二节 焊接质量的鉴别

焊接点的质量主要由界面层结晶特性所决定，它与焊料及母材、晶体结构、表面清洁程度及焊接时的温度控制等因素有关

一、焊接点形成过程中的必要条件

如果熔化的焊锡和被焊接的金属材料，相互接触时在结合界面上不存在其他任何杂质，焊锡中的锡和铅原子便进入被焊接金属材料的晶格而生成合金。生成合金的种类随被焊接的金属种类及生成合金时的温度而变化。被焊接的金属材料与焊锡之间能否生成合金取决于以下条件。

1. 被焊接金属材料应具有良好的焊接性

焊接性是指被焊接的金属材料与焊锡，在适当的温度和助焊剂的作用下具有良好的结合性能。

铜是导电性及焊接性好的金属材料，因此它使用较多，元器件的引线、导线、接点等都是用铜制作的。另外如金、银、铁、镍等材料的焊接性也较好。

对一些焊接性较差的材料，为了便于焊接，通常在该材料上涂上焊接性好的金属材料，如锡铅合金、金、银、镍等；或焊接时采用较强的有机酸助焊剂，但是焊接后要进行彻底的清洗

2. 被焊接金属材料表面要清洁

为了使焊接良好，被焊金属材料和焊锡应保持清洁接触。金属与空气接触时，由于氧化作用，表面会生成一层氧化膜，因而焊接前必须清除氧化膜。

清除表面氧化膜一般采用三种方法：第一通过助焊剂直接清除；第二采用化学方法（如酸洗）清除氧化膜；第三采用机械刮削方法清除氧化膜。

3. 助焊剂的使用要适当

助焊剂的性能一定要适应被焊金属材料。焊接性好的金属材料，宜采用树脂助焊剂；焊接性较差的金属材料，需采用有机助焊剂。

4. 焊料的成分与性能要适应焊接要求

焊料的成分与性能取决于被焊接的金属材料的焊接性、焊接的温度和时间及焊接点的机械强度。焊料中的不纯物对焊接点的不良影响最大。

5. 焊接时要有一定的温度

热能是进行焊接不可缺少的条件。在锡焊时，热能的作用是使焊锡向被焊金属材料扩散和使被焊金属材料升温到所需的温度

6. 焊接的时间要适当

焊接的时间是指在焊接全过程中，进行物理和化学变化所需要的时间。它包括被焊接金属材料达到焊接温度的时间，焊锡的熔化时间与助焊剂发挥作用及生成金属合金的时间。

二、鉴别焊接质量的基本技术要求

装配中焊点的数量与产品使用的元器件数量有直接关系。产品越复杂，使用的元器件越多，它的焊点也越多。焊点的好坏直接影响装配质量。

鉴别焊接质量的基本技术要求是：高质量的焊点，要保证其良好的电气性能，一定的

机械强度，还应具有一定的大小、光泽及清洁美观的表面。

1. 焊接点要牢，具有一定的强度

焊接点要具有一定的机械强度。由于锡铅焊料的成分是锡和铅，而这两种金属的强度较低，为了增加焊接点的强度，通常采用扩大焊接点的面积或在焊接前对焊接点先进行绕接、钩接，来达到增加接点强度的目的。

2. 接触电阻要小，不虚焊（假焊）、漏焊

虚焊（假焊）：焊料与被焊物的表面没有互相扩散形成金属化合物，而是将焊料依附在被焊物的表面上。

漏焊：遗留未焊的焊接点。

一般情况下，虚焊（假焊）、漏焊会增加接触电阻。接触电阻大会影响整机的电气性能，当大电流通过时，会引起电压下降及发热，电路会出现时通时不通现象。

3. 焊接点之间不应有搭焊（碰焊）、桥连、溅锡等现象

搭焊（碰焊）：不该连接的焊接点相通

桥连：相通的两个焊接点多余的连接，也是一种搭焊现象。

溅锡：焊锡溅开，产生局部短路或损坏周围元器件

焊接中产生搭焊（碰焊）现象时，电路将发生短路或损坏元器件，使电路无法正常工作；桥连现象容易发生假焊；溅锡现象容易产生局部短路。因此，焊接中一定要避免出现这些现象。

4. 焊接点不应有毛刺、空隙、沙眼、气孔等现象

高频、高压电路中，焊接点要光滑均匀。焊接点若有毛刺会造成尖端放电；空隙、沙眼、气孔会引起假焊或造成空气污垢腐蚀。

5. 焊接点要光亮且大小要均匀

焊接点表面应有良好光泽且大小要均匀，不应有凹凸不平、光泽不均匀的现象。以上情况主要同焊料和焊剂的成分有关，同焊接的温度和时间也有关。

6. 焊接点表面要整洁，无焊剂残留

焊接点的表面应该清洁，没有污物，尤其不应有残留助焊剂的有害酸性物质，若不及时清除，残留的酸性物质将腐蚀被焊物和焊接点。

7. 焊接点上的焊料用料要适当

焊接点上的焊料过少，不仅会影响机械强度，而且由于氧化表面逐渐加深，会导致焊接点失效或产生假焊；焊料过多，不但不增加焊接强度，而且浪费焊料并容易造成短路或掩盖焊接点上缺陷等弊病；用料不均匀会出现大小不同的焊接点，则会影响焊接点的美观。

8. 掌握好焊接温度，防止烫坏、损伤导线和元器件

掌握好焊接温度是焊接的基本操作要点，不但可防止发生假焊、搭焊、毛刺、沙眼等缺陷，还可以防止烫坏导线及损伤元器件。

总之，焊接中为获得高质量的焊接点，首先要正确选用焊接工具及焊料、焊剂，还必须有过硬的焊接操作技术。

第三节 手工焊接操作技能

手工焊接是最普遍、最基本的焊接操作方法。它的操作技能主要包括烙铁头清洁处理、

电烙铁和焊锡丝的使用方法、焊接操作的基本步骤。

1. 电烙铁头清洁处理

为了提高电烙铁的可焊性和延长使用时间，不管是初次使用的烙铁头，还是经修整后的烙铁头，都要及时清洁处理和上锡。

其方法如下：在电烙铁通电发热的情况下，用砂纸或锉刀将烙铁头端部的氧化层磨掉，迅速投入事先准备好的松香助焊剂中，然后用湿布擦洗，清除烙铁头的表面氧化物及污垢，再给烙铁头上锡，使烙铁头沾有一些焊料。如未达到预期目的，可反复一二次；如一旦出现烙铁头不沾锡，可用活性松香助焊剂在锡槽中上锡；如烙铁头上焊料太多，可用湿布擦掉，决不可用敲击或甩掷的错误方法。

电烙铁头是用紫铜制作的，在温度较高时容易氧化，而且在使用过程中，其顶部极容易被焊料侵蚀而逐渐失去原来的形状，因此需要加以修整，方能继续使用。为了延长烙铁头的使用寿命，可将烙铁头拆下后，用锤子锻打以增强金属的密度，延长使用时间。

2. 电烙铁的使用方法

电烙铁的使用方法主要包括电烙铁的握法和吸取焊料的方法，操作者应灵活掌握。

(1) 电烙铁的握法 使用电烙铁的目的是为了加热被焊件而进行锡焊，绝不能烫伤、损坏导线和元器件，因此必须正确掌握电烙铁的握法。

手工焊接时，电烙铁要拿稳对准，可根据电烙铁的大小、形状和被焊件的要求等不同情况决定电烙铁的握法，通常有三种握法，如图 4-1 所示。

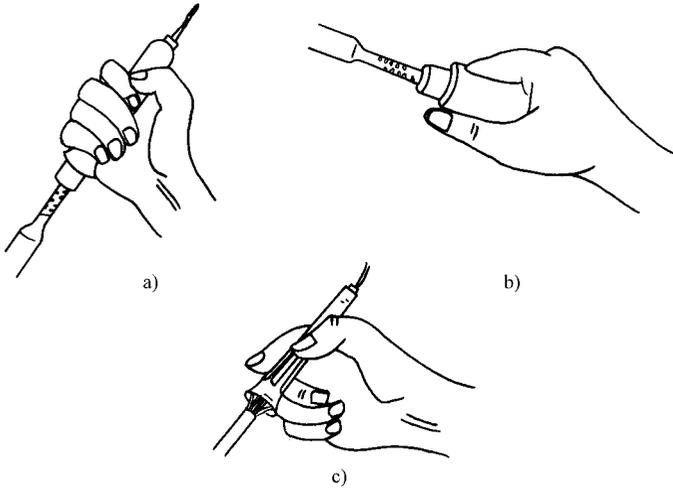


图 4-1 电烙铁的握法

a) 反握法 b) 正握法 c) 握笔式握法

1) 反握法。即用五指把电烙铁柄握在手掌内。这种握法焊接时动作稳定，长时间操作不易疲劳，它适用于大功率的电烙铁和热容量大的被焊件。

2) 正握法。即用五指把电烙铁柄握在手掌外。它适用于中功率的电烙铁或弯烙铁头的电烙铁。

3) 握笔式握法。这种握法与书写字时手拿笔一样，易于掌握，但长时间进行操作易疲劳，烙铁头会出现抖动现象，因此适用于小功率的电烙铁和热容量小的被焊件。

总之电烙铁的握法，主要根据电烙铁的功率大小来决定，见表 4-1，家电维修工不但右

手要掌握这三种电烙铁的握法，而且左手也要掌握，以便于拆装元器件及维修。

表 4-1 电烙铁握法

| 电烙铁 | 功率/W | 握法 |
|-----|-----------|-------|
| 小功率 | 20 ~ 45 | 握笔式握法 |
| 中功率 | 50 ~ 100 | 正握法 |
| 大功率 | 125 ~ 300 | 反握法 |

(2) 焊锡丝的拿法 手工焊接中，一手握电烙铁，另一手拿焊锡丝，帮助电烙铁吸取焊料。拿焊锡丝方法一般有两种：连续锡丝拿法和断续锡丝拿法，如图 4-2 所示。

1) 连续锡丝拿法。用拇指和四指握住焊锡丝，三手指配合拇指和食指把焊锡丝连续向前送进，它适用于成卷（筒）焊锡丝的手工焊接。

2) 断续锡丝拿法。用拇指、食指和中指夹住焊锡丝，这种拿法，焊锡丝不能连续向前送进，适用于小段焊锡丝的手工焊接。

3. 手工焊接的步骤

为了保证焊接质量，手工焊接的步骤要根据被焊件的热容量大小来决定，通常有五步和三步焊接操作法。

(1) 五步焊接操作法工艺流程 准备→加热被焊件→放上焊锡丝→移开焊锡丝→移开电烙铁。

1) 准备。首先把被焊件、焊锡丝和电烙铁准备好，处于随时可焊的状态。

2) 加热被焊件。将电烙铁头置于接线端子和引线的焊接点上加热。

3) 放上焊锡丝。被焊件经过加热达到一定温度后，立即把焊锡丝触到被焊件上熔化适量的焊料，焊锡丝应加到被焊件烙铁头对称的一侧，而不是直接加在烙铁头上。

4) 移开焊锡丝。当焊锡丝熔化一定量之后，使焊锡丝迅速移开被焊件。

5) 移开烙铁。当焊料的扩散范围达到要求后，将电烙铁立即撤离被焊件。

电烙铁移开的方向和速度的快慢同焊接质量有关，操作时应特别注意。

完成焊接五个步骤后，焊料尚未完全凝固以前，不能移动被焊件。因为焊料未凝固时，如果相对位置被改变，就会产生假焊现象。

以上五步是焊接操作法的基本步骤，需通过训练，才能在操作节奏上，逐步协调、熟练并掌握。

(2) 三步焊接操作法工艺流程 准备→同时加热和加焊料→同时移开烙铁和焊锡丝。对于热容量小的焊件，可以采用三步焊接操作法。

1) 准备。一只手握住电烙铁，另一只手拿焊锡丝并与烙铁靠近，处于随时可焊接的状态。

2) 同时加热和加焊料。在被焊件的焊接点两侧，分别同时放上烙铁头和焊锡丝，以熔化适量的焊料。

3) 同时移开烙铁和焊锡丝。当焊料的扩散范围达到要求后，应迅速将焊锡丝和烙铁移

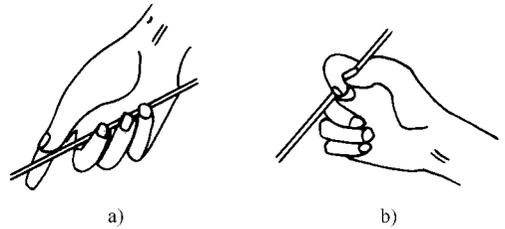


图 4-2 焊锡丝的拿法

a) 连续拿法 b) 断续拿法

开被焊件。焊锡丝移开的时间不得迟于烙铁头移开的时间。

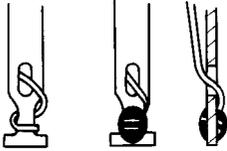
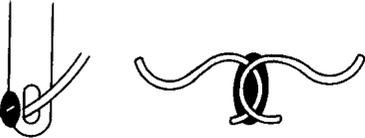
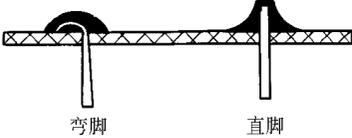
第四节 四种手工焊接方法

手工焊接方法因焊接点的连接方式而定，见表 4-2。通常焊接点有四种连接方式，相应的有四种手工焊接方法：绕接→绕焊；钩接→钩焊；搭接→搭焊；插接→插焊。

一、绕焊工艺

绕焊是将焊元件的引出线或导线等线头绕在被焊件接点的金属上，一般绕 1~3 圈，然后再进行焊接，以增加焊接点的强度。

表 4-2 手工焊接方法

| 焊接方法 | 图 形 | 焊接方法 | 图 形 |
|------|--|------|---|
| 绕焊 |  | 搭焊 |  |
| 钩焊 |  | 插焊 |  |

1. 工艺流程

准备→绕头→焊接→整理。

(1) 准备 绕焊前准备工作有焊接点及元器件的表面清洁处理，一般采用浸锡工艺，还要对烙铁头进行表面清洁和上锡处理。

(2) 绕头 放在绕接工艺中讨论。

(3) 焊接 通常采用五步焊接操作法。

(4) 整理 整理工作有焊接点质量的检查及元器件和导线的排列整理

2. 绕接工艺

为了提高导线和元器件连接的牢固程度，焊接前必须进行绕头，这种工艺称为绕接工艺。

(1) 绕头 将导线或元器件的引出线，用尖嘴钳连接在支架、接线柱、接线板等固定的焊接点上，这种过程称为绕头，也称为绕接。

(2) 绕头的方式 绕头前首先要认清被绕接点的正反面。绕头的方式有两种，一种是正绕头，另一种是反绕头。

1) 正绕头。如图 4-3 所示，无孔绕头时，顺时针方向绕为正绕头；穿孔绕头时，从下穿上或从外穿内为正绕头。

2) 反绕头。如图 4-4 所示，无孔绕头时，逆时针方向绕为反绕头；穿孔绕头时，从上穿

下或从内穿外为反绕头。

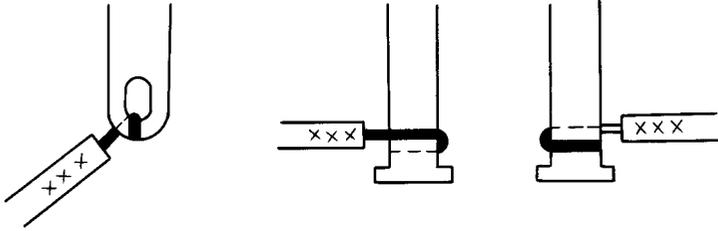


图 4-3 正绕头示意

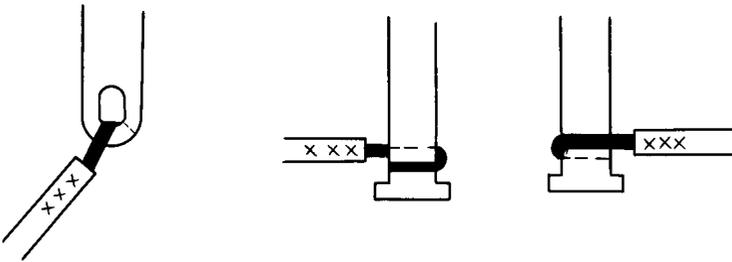


图 4-4 反绕头示意

(3) 绕头的要求 引出线排列要整齐，绕头要钳紧，不能钳伤导线和元器件的表面。

(4) 绕头的工具 绕头使用的工具一般采用尖嘴钳，较细的引线可用镊子。

(5) 绕头的过程 用左手拿住元器件或导线，右手用尖嘴钳钳住元器件或导线的引出线，在被绕接点上转绕 1~3 圈。至于绕头的方式、圈数、顺序，都应该按工艺文件规定进行，转绕结束后应用钳子扣紧绕头。

(6) 绕接中注意事项（如图 4-5 所示）

1) 导线与接线焊片之间，保持 1~2mm 距离，以免焊接时烫伤导线及造成假焊现象（见图 a）。

2) 有凹槽的焊片脚应对准凹槽绕头，无凹槽的焊片脚可任意方向绕头（见图 b）。

3) 如在一个孔内要绕两个以上的绕头，必须排齐平绕（见图 c）。

4) 两根以上线头穿孔绕头时，不能绕满焊片孔眼，需保证下道工序重复绕头（见图 d）。

5) 绕地线脚时，引出线与地线必须交替往上绕，以免脱落或造成假焊现象（见图 e）。

6) 绕各种电阻器、电容器、晶体二极管等元器件时，不能用钳子钳元器件的本体，以免表面损坏（见图 f）。

7) 在整理接线角度时，不得用钳子钳导线，只能用钳子背勒齐，以免钳伤导线（见图 g）。

3. 绕焊特点

焊接点强度高，拆焊较困难。因而绕焊工艺应用于可靠性要求较高的产品中。

二、钩焊工艺

1. 工艺过程

准备→钩接→焊接→整理。

钩焊工艺基本上与绕焊工艺相同，仅是钩与绕的工艺有所不同。钩接是将被连接的导线

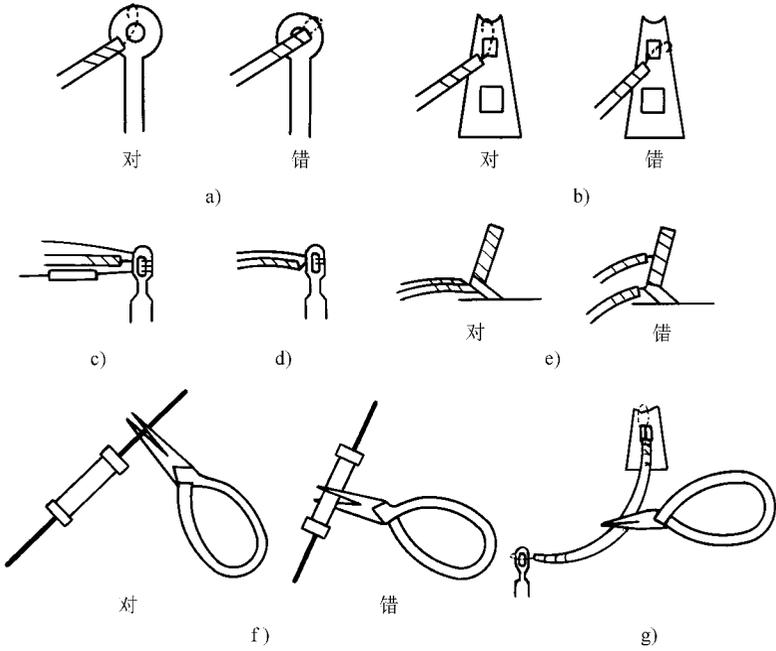


图 4-5 绕接中注意事项

或元器件引出线钩在接点的眼孔中，转线 0.5~1 圈，使引出线不易脱落。

2. 钩焊特点

焊接点强度略高，机械强度不如绕焊，但它便于拆焊。因而钩焊适用于不便绕接，又有一定机械强度要求的产品中。

三、搭焊工艺

1. 工艺过程

准备→搭焊→整理。

搭焊是将导线或元器件引出线搭接在焊接点上，再进行焊接，搭接与焊接是同时进行的，因此无绕头工艺。

2. 搭焊特点

焊接点强度较差，但焊接简便，节省焊接工时，拆焊最方便。因而搭焊适用于调试中的临时焊接，另外还可用于对焊接要求不高的产品，是节省焊接工时而采用的焊接方法。

四、插焊工艺

将导线或元器件引出线插入洞孔形的接点中，再进行焊接，这种过程称为插焊。插焊按引线弯脚，可分为直脚焊和弯脚焊两种，见表 4-2。

1. 直脚焊工艺过程

准备→插入→焊接→剪头→整理。

插焊中的直脚焊工艺，准备工序同绕焊工艺，元器件插入洞孔中，焊接采用三步焊接法，焊接后剪去多余的引出线头，最后进行整理工作。

2. 弯脚焊工艺过程

准备→插入→弯头→剪头→焊接→整理。

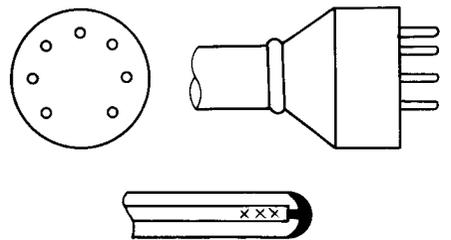


图 4-6 接插件上插焊示意图

插焊中的弯脚焊工艺同直脚焊相比，增加了一个弯头工序，弯头角度一般为 100° ，带一些弧形，焊接后不容易产生尖刺，剪头和焊接工序调换一下，其他工艺过程相同。

3. 插焊特点

焊接方便，速度快，焊料省，便于拆焊，机械强度尚可。插焊适用于印制电路板上元器件安装和焊接，另外接插件上导线的连接也可采用插焊，如图 4-6 所示。

第五节 表面组装技术 (SMT)*

一、表面组装技术的发展

表面组装技术 (SMT) 是当代最先进的电子产品组装手段，实际上它是混合集成电路技术的延伸和发展。自 1971 年荷兰飞利浦公司率先采用表面安装工艺以来，特别是经过近年来的不断发展，该项技术已取得了巨大的进步，得到了越来越广泛的应用。预计今后数年内，表面组装技术将会逐步取代传统的插装工艺，成为新一代电子设备和电子产品的主要组装手段。

20 世纪 50 年代研制成的扁平封装器件，组装时把引线直接焊在基板表面上，可视为表面组装器件的最初模式，混合电路中的厚膜印制工艺和焊接工艺为 SMT 的自动化奠定了基础，为厚膜电路研制开发的片式电容器和片式电阻器至今仍大量应用于 SMT 中。早期的混合电路由于其陶瓷基板的加工制作工艺复杂，难于制备大面积平整的基片，因此一个较复杂的电路必须由多块混合电路陶瓷板相互连接而成。这样必然使得整个电路的可靠性、成本、体积和生产效率受到很大影响，限制了混合电路工艺自身的发展。于是人们便探索如何用有机基板来代替陶瓷基板，这样就开始了表面组装技术的研究。

表面组装技术的重要基础之一是表面组装元器件。20 世纪 50 年代，表面安装元件首先用于高可靠的军事方面，这是首批安装在印制电路板上的表面安装元件，那时元件引脚要求镀金，因而成本很高，没有得到普及。20 世纪 60 年代飞利浦公司研制出可用于表面组装的钮扣状微型器件供手表工业使用，这种器件后来发展成现在的小外形集成电路 (SOIC)，这种器件的引线分布在两侧，呈鸥翼形，引线中心距为 50mil (非法定计量单位， $1\text{mil} = 25.4 \times 10^{-6}\text{m}$ ，后同。 $50\text{mil} = 1.27\text{mm}$)，引线数最多可达 28 针。20 世纪 70 年代初期，日本开始采用塑料方形封装的集成电路 (QFP) 制造计算器，这种封装工艺的引脚分布在四周，向下并向外弯曲呈鸥翼形，引线中心距为 40mil (1mm) 和 25mil (0.65mm)，引线数最多可达 160 针以上。美国研制的塑封有引线芯片载体 (PLCC) 器件，引线分布在器件的四周，引线中心距为 50mil (1.27mm)，引线呈“J”形。

上述三种器件 (SOIC、QFC、PLCC) 都是塑料外壳，不是全密封器件。由于军事上的需要，美国在 20 世纪 70 年代研制出了全密封器件——无引线陶瓷芯片载体 (LCCC)，该器件以分布在四周的金属化焊盘代替引线。因为 LCCC 器件在电路中没有引进引线产生的寄生参数，噪声和时延特性有明显改善，另外，陶瓷外壳的热阻比塑料好，所以该器件适用于高频、高性能和高可靠电路。但是由于直接装在基板上，没有引线帮助吸收应力，使用中容易造成焊点开裂，另外，由于陶瓷金属化封装使成本升高，使应用推广受到一定限制。

随着混合集成电路的发展以及表面组装技术的扩大应用，片式元件的品种和数量也迅速增加。到 20 世纪 80 年代以后，各种片式电阻器、片式电容器、片式电感器相继成系列地占

领市场,各种片式机电元件、敏感元件和复合元件也陆续研制成功。随着电子元器件的发展和不断改进,电路的组装技术也随之不断发展,例如有源器件经历了从电子管、晶体管、集成电路、大规模集成电路的发展过程,无源元件也经历了由小型化到微型化的发展,与此相应的组装技术则经历了手工插装、半自动插装、自动插装直至表面组装的演变过程。由此可见,电子元器件的不断缩小,促进了组装技术的不断发展,而组装技术在提高组装密度的同时,又向元器件提出了新的技术要求和配套性要求,二者是互相促进的。

表面组装技术的发展大致可划分为三个阶段。第一阶段大约在 1970~1975 年,这一阶段的主要目标是微小型化,表面组装元器件主要用于混合集成电路、石英表和计算器。第二阶段为 1976~1980 年,这一阶段的主要目标是减小电子产品的单位体积、提高电路功能,主要用于摄像机、录像机和电子照相机等。在这一段时期内,元器件的组装工艺和支撑材料逐渐成熟,为表面组装技术的进一步发展奠定了基础。第三阶段为 1980 年至今,主要目标是大力发展组装设备,降低元器件的成本,提高电子产品的性能价格比。到 1985 年,片式元器件的品种已超过两万种,产量逐年大幅度增加。日本在 20 世纪 80 年代片式元件以每年 20% 的速度增长,1988 年片式化率已接近 50%,75% 的电子设备采用了表面组装技术。美国 1988 年至 1991 年间,片式元件年均增长率为 14.5%,其中片式电阻器为 13%,片式电容器为 16%。到 1991 年为止,片式电阻器占全部电阻器的 40%。1986 年美国表面组装用线路板销售额仅占全部线路板的 6%,1988 年达到 12% (合 185 亿美元),1992 年增加到 30%。

1985 年世界片式电阻器已占全部电阻器的 50%,1988 年片式电容器所占比率为 50%。随着片式阻容元件的发展,其他各类片式元器件都有了相应的发展。1981 年世界表面组装元器件的数量只占 5%,1985 年达 21%,1991 年达 41% 以上,到 1996 年片式阻容元件达 80% 以上,有引线的阻容元件市场急剧萎缩。随着片式元件的发展,各类片式元件的价格也逐年降低。

表面组装技术采用的设备也在同期有了迅速发展,而各国情况也不尽相同。例如美国在军用和宇航方面的应用增长最快,到 1992 年已遥遥领先于其他各国,而用于消费类的表面组装设备增长率较低。在日本情况与美国相反,表面组装设备大量用于消费类电子产品的生产中。表面组装技术所用设备可分为贴片机、焊接机、测试设备等七大类。七大类设备中以贴片机为核心,其销售额占全部设备销售总额的 1/3。从 1987~1990 年,设备销售额每年平均增长率达 21.8%。

与传统的穿孔插入式组装技术相比,表面组装技术具有体积小、重量轻、信号处理速度快、可靠性高等优点。表面组装技术的发展也促进了集成电路的发展,主要体现在电路封装形式上的变化,适应表面组装的集成电路封装形式有:多芯片组件封装(MCM)、塑封有引线芯片载体封装(PLCC)、无引线片式陶瓷载体封装(LCCC)、塑封四边引出扁平封装(PQFP)、硅基板多芯片组装(SOS)、硅互连基片(SIS)和载带自动焊接等多种形式。表面组装技术也使混合集成电路产生了巨大变化,结构尺寸进一步缩小,功能则不断增强,逐步形成了新一代混合集成电路。

目前,发达国家在计算机、通信、军事、工业自动化和消费类电子产品等领域都普遍采用了表面组装技术。据统计,到 1997 年全世界电子设备中表面组装技术所占百分率达 66%,也就是说,表面组装技术已成为现代电子工业的支柱技术。电子元器件与组装技术的发展见表 4-3。

表 4-3 电子元器件与组装技术的发展

| 年代 | 20 世纪 50 年代 | 20 世纪 60 年代 | 20 世纪 70 年代 | 20 世纪 80 年代 |
|------|-------------|-------------|-------------|--------------------------|
| 代表产品 | 电子管收音机 | 黑白电视机 | 彩色电视机 | 录像机, 电子照相机 |
| 器件 | 电子管 | 晶体管 | 集成电路 | 大规模集成电路, SMD |
| 元件 | 带引线的大型元件 | 轴向引线小型化元件 | 整形引线的小型插装元件 | 表面组装元件, SMC |
| 组装技术 | 扎线、配线、手工焊接 | 半自动插装浸焊接 | 自动插装波峰焊接 | 表面组装自动贴装和自动焊接(再流焊接或波峰焊接) |

二、表面组装技术的组成

表面组装技术是采用片式化、微型化的元器件, 这些元器件是无引线或短引线的, 其装配方式是通过自动贴装设备将元器件贴装在单面或双面印制电路板上, 再经过自动焊接、检测等工序完成产品的组装。与传统的通孔插装技术相比, 表面组装技术有重大的变革, 而不仅仅是元器件形状的不同。例如, 印制电路板的设计规范必须适应表面组装技术的要求, 要考虑到焊盘图形、贴片方式、贴片精度和焊接工艺等, 制定合理的设计规范还必须先做大量的研究和试验。片式元器件本身也有许多需要解决的技术难题, 为在很小的体积中实现容量的系列化要做大量的资料研究。电容器金属化端头的可焊性、半导体器件的封装材料、基板和器件热膨胀系数的匹配等问题, 都需要不断地做大量的研究工作。表面组装技术的工艺规程也与传统工艺大不相同, 所用设备的开发和制造涉及许多科学和技术领域。概括地说, 表面组装技术主要由以下四个部分组成。

(1) 表面组装元器件

- 1) 设计。结构尺寸、端子形状、耐焊接热等。
- 2) 各种元器件的制造技术。
- 3) 包装。编带式、棒式、散装等。
- (2) 电路基板 单层或多层印制电路板、陶瓷、瓷釉金属板等。
- (3) 组装设计 电设计、热设计、元器件布局、基板图形设计等。

(4) 组装工艺

- 1) 组装材料。粘接剂、焊料、焊剂、清洗剂等。
- 2) 组装技术。涂敷技术、贴装技术、焊接技术、清洗技术、检测技术等。
- 3) 组装设备。涂敷设备、贴装机、焊接机、清洗机、测试设备等。

由于目前表面组装元器件的品种规格尚不齐全, 因此表面组装技术还要采用若干通孔插装元器件。这样表面组装件就分成三种类型, 所需的设备也不同。

第一类 (I 型): 单面混合组装件。采用表面组装元器件和通孔插装元器件混合组装。在 PCB 的 A 面装通孔插装元器件, 在 PCB 的 B 面装表面组装元器件, 如图 4-7a 所示。

第二类 (II 型): 双面混合组装件。采用表面组装元器件和通孔插装元器件混合组装。在 PCB 的 A 面装配表面组装元器件和通孔插装元器件, 在 PCB 的 B 面还可装表面组装元器件, 如图 4-7b 所示。

第三类 (III型): 全表面组装件。全部采用表面组装元器件, 可组装在 PCB 的单面或双面, 分别称为单面或双面表面组装元器件。如图 4-7c 所示。

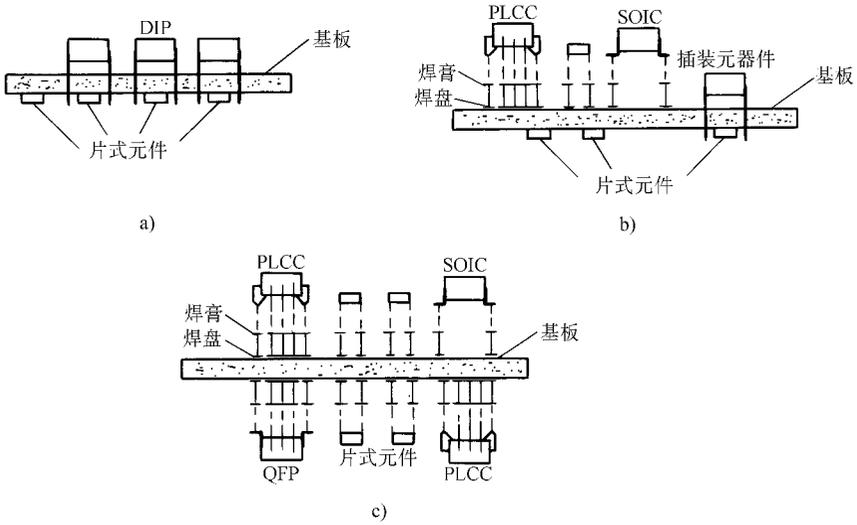


图 4-7 三种表面组件示意图

a) 单面混合组装 b) 双面混合组装 c) 全表面混合组装

不同类型的表面组装件工艺顺序不同。单面混合组装件的工艺流程如图 4-8 所示。首先由插装设备将插装元器件进行自动插装并铆紧, 然后翻转 PCB 板并点胶, 由于自动插入的元件引脚已被铆紧, 所以不会从电路板上掉下来。再由贴片机在贴装表面安装元器件, 再送入对流或红外炉中进行胶粘剂的固化, 翻转 PCB 板, 对引脚及表面安装元器件进行一次性波峰焊接, 底面上的分立元件在波峰焊时由胶粘剂固定住。如果不使用自动插装设备, 则引脚不被铆住, 装配顺序也必须作些调整: 先手工插入全部插装元件, 最后进行全部件的波峰焊、清洗和测试。

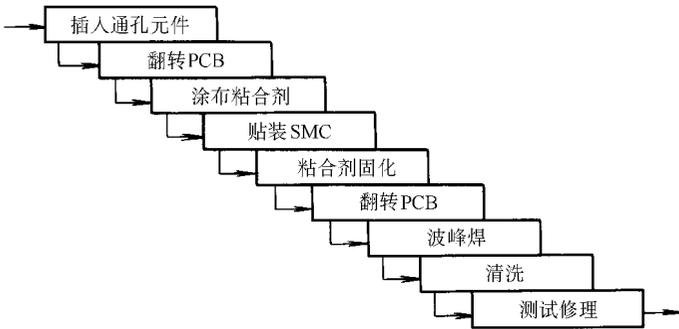


图 4-8 单面混合组装工艺流程

全表面组装件的工艺流程如图 4-9 所示。该工艺中不使用任何通孔插装元件。首先是用丝网印刷焊膏, 贴放元器件, 并将部件放入对流或红外炉中烘烤, 以去掉焊膏中的挥发性物质 (也有不需要烘烤的焊膏)。然后对部件进行气相或红外再流焊以及溶剂清洗。对于双面全表面组装件, 则要翻转 PCB, 重复上述工艺过程, 电路板上的焊点再次进行再流焊。应当注意, 部件必须首先进行上面电路的再流焊使元件固定, 以防止电路板翻转进行第二次再流

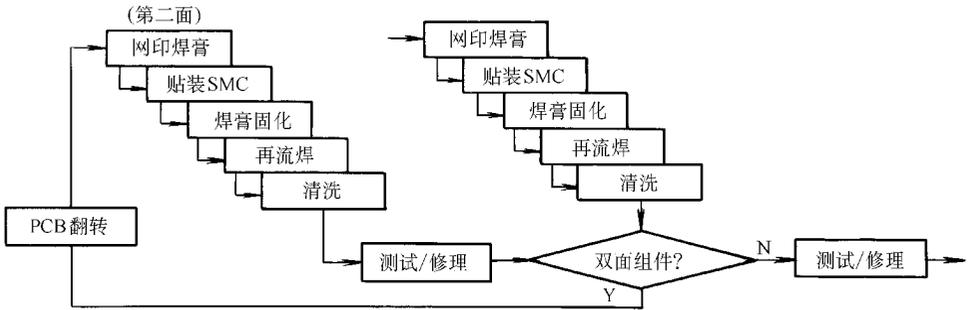


图 4-9 全表面组装件的工艺流程

焊时元件脱落。

双面混合组装件的工艺流程如图 4-10 所示，该类组装件工艺步骤最多，生产过程也更为复杂。上述一种类型的工艺细节在以后的相关章节中还要分别予以讨论。所有类型的部件都需要进行检验和测试，必要时还需进行修理。

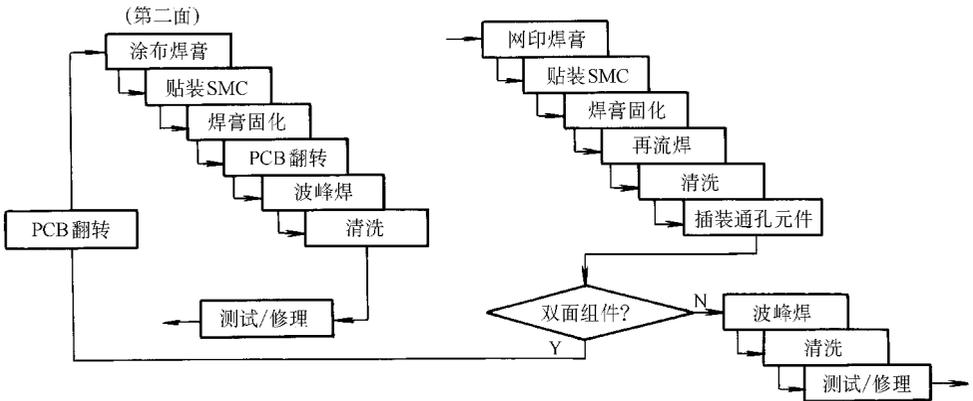


图 4-10 双面混合组装工艺流程

三、表面组装技术的优点

采用表面组装技术后，电子产品不但在体积、重量上发生变化，更重要的是在技术性能、质量与可靠性方面产生了根本性的变化。采用表面组装技术制造的电子产品的优点可以归纳为以下几个方面。

1. 实现组装的电子产品密度高，体积小，重量轻

电子元器件从有引线到无引线，体积和重量都明显缩小。贴装时由于无引线间距、通孔间距的限制，元器件之间的距离缩小，密度提高。采用 SMT 的新印制板尺寸只有原来的 60%。片式电阻器、电容器的高度很小，一般都在 2mm 以下，最大的片式机电元件的高度也不超过 8mm，而且可以在印制板的两面贴装，因此可实现高密度组装。据统计，通孔组装元器件的密度一般为 2~4 只/cm³，单面表面组装密度为 3~6 只/cm³，单面混合组装为 4~8 只/cm³，双面混合组装为 5~9 只/cm³，双面表面组装为 6~12 只/cm³。电子产品在相同用途或功能的条件下，采用表面组装技术后，其质量可比采用传统的插装技术减小 75%；在体积相同的条件下，采用表面组装技术的产品性能提高，功能增强。

2. 电子元器件及电子产品的性能显著提高

由于片式元器件是无引线或短引线，又采用了表面组装技术，使得引线间的分布电容和分布电感大幅度减小，从而提高了电子产品的高频特性。这一点对通信设备，军事和宇航电子设备具有重要意义。据测试表明，采用插装式印制板的电子产品，其最高工作频率为 500MHz，而采用 SMT 技术后，工作频率可提高到 3000MHz，若采用特种带线封装，工作频率还可提高。

采用了 SMT 技术后，大大缩短了信号传输线路的长度，减小了延迟时间，有利于信号的高速传输，特别是对于高速大容量的数字电路更有利。例如：IBM 计算机总延迟时间为 57ns，其中芯片占 29ns，互连占 28ns；IBM3081 计算机总延迟时间为 26ns，其中芯片占 17ns，互连占 9ns。日本产 SX—2 超级计算机总延迟时间仅为 6ns，浮点运算能力达每秒 13 亿次。

采用了 SMT 技术后，由于一些灵敏器件被装在一个很小的陶瓷基板或电路板上，容易实现全屏蔽，可以提高抗干扰能力

3. 表面组装技术更适合采用计算机技术和实现自动化生产

由 SMT 组装成的电路实测性能与计算机辅助设计 (CAD) 的电路性能比较吻合，因此，适合采用计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助制造 (CAM) 和计算机辅助测试 (CAT) 等新技术，加快新产品的研制与开发。

采用 SMT 技术可实现高度自动化，降低电子产品的成本。目前要实现插装元器件的自动装取，必须在元器件之间留较大间隙，以便自动插装机能准确抓住元器件引线并插入通孔，这样就需把原来的印制电路板扩大 40%。而表面贴装元器件外形很规则，小而轻，贴装机是利用真空吸头吸取元器件并贴装到印制电路板上，真空吸头小于 SMC 的表面，这样就可以不加大元器件间隙，提高了组装密度。所以 SMT 更适合自动化生产。目前贴装机品种和功能已系列化，用户可根据电路复杂程度选择合适的贴装机，一台贴装机有时也可以适应整个组装的要求，降低生产投资。目前已研制出“半自动化”和“手工操作”的 SMT 设备，以适应科研和新产品试制的要求。

4. 提高可靠性，降低成本

片式元器件无引线，端电极直接焊在印制板上，因此无断腿现象，直接贴装又增加了耐机械冲击的能力。采用了新的焊接技术，减少了桥接、虚焊等焊接疵病。国外许多公司对表面组装件进行了可靠性试验，结果表明，采用 SMC、SMD 组装成的组件，其可靠性都高于用通孔插装的组件。

无引线的片式元器件加工工序少，节省原材料，尤其是节省贵金属，因此每一只片式元器件比相同规格的有引线元器件的成本低。在元器件装配过程中，印制电路板不需要打孔，不需要元器件的引线剪断、整形工序。采用双面组装的工艺提高了组装密度，起到了减少多层 PCB 板层数的作用。上述种种因素，都有效地降低了生产成本。然而在目前，由于我国片式元器件的生产规模还较小，自动化生产的优势还未发挥出来，成本还比较高。在国外，表面组装用阻容元件价格已与传统的有引线阻容元件价格相当。

四、表面组装技术目前存在的问题

1. 系列化、标准化问题

在我国表面组装元器件不仅产量较低，而且品种不全，不能配套。在国外表面组装元器件的品种规格也不能完全配套，还需要继续开发表面组装用的超大规模集成电路和部分无源元件，如机电类元件，可调元件和敏感元件等。有些片式元器件由于产量少，使单个元件成

本仍较高，应随着表面组装技术的应用推广，逐步降低成本。在国际上目前尚没有表面组装用元器件的统一标准，日本、美国也没有完整的国家标准，这使得 SMT 产品的设计工作受到影响，由于设计缺少统一标准，使应用推广受到一定限制。

表面组装设备的发展落后于表面组装元器件的发展，缺少权威性的质量监测体系，这些都影响了表面组装元器件的发展。

2. 热胀系数不一致导致的开焊问题

片式元器件是直接贴装并焊接在 PCB 表面上的，受热后或工作时发热后由于片式元器件与 PCB 板的热胀系数不一致，焊接部位受到较大应力，容易引起开裂。这种现象在无引线陶瓷芯片载体器件中表现较为明显。这需要大力研究能和陶瓷器件热胀系数相一致的基板结构材料，或者在基板焊接面设置柔性层等

3. 散热问题及信号交叉耦合问题

表面组装件单位面积的功耗大，有的设备又是立体装配，因此散热问题复杂。此外，随着片式元器件尺寸越来越小，布线也越来越密，由于间距小，易造成信号的交叉耦合。

4. 塑封器件的吸潮问题

采用塑料封装的片式元器件在贮存时吸潮，在焊接时，吸收的水分膨胀容易造成封装件的开裂。相比之下，有引线器件在焊接时由于有引线起缓冲作用，不会引起开裂。片式元器件的塑封件开裂的原因可能与封装的结构、内部芯片的尺寸、塑封材料的厚度、吸潮程度有关，应综合考虑。例如在元器件焊接前先设法使吸收的水分蒸发掉，或者在器件表面再涂一层防潮层，都是可行的解决办法。

5. 表面组装技术的初始投资太大

表面组装用生产设备结构复杂，涉及多种高新技术，如精密机械，光电传感，计算机辅助项目等，设备费用十分庞大，在市场不清或资金不足的情况下，难以扩大生产规模，结果也限制了表面组装技术的发展

五、表面组装技术的发展展望

表面组装技术已经在设计与制造上显示出优越性，而且该技术正在被进一步开发。通过减小引线间距，表面组件可以大大缩小其尺寸，目前表面组件的引线间距一般为 50mil，最近已有引线更密（20 或 25mil 间距）的组件被开发出来，预计会有 10mil 引线间距的组件问世。若将单个管芯或多个管芯直接贴装在基板上，则可以进一步减小印制电路板的面积，这就是所谓的板上芯片（COB）技术，是表面组装技术的发展趋势之一。另一发展趋势是高密度、高可靠和立体化结构的微电子产品（如组件、部件、子系统或系统），具体讲就是在高密度多层互连电路板上，用焊接或封装工艺把微型元器件组装起来。

1. 板上芯片技术（COB）

由于管芯比任何引线间距的组件要小得多，因此板上芯片技术节省占地空间的优势是十分明显的。板上芯片技术广泛应用于消费类电子产品，如游戏卡、计算器、电子温度计等。由于每块印制板上只安装很少的器件，制作时又需要特定的工具和设备，因此只有市场很大时才能投资生产。

裸芯片在贴装到基板上之前不能测试，因此要提高组件的成品率将会面临严重的问题。设 Y_p 为组装一个单个芯片的成品率， Y_l 为组装 n 个芯片的成品率，则二者的关系可表示为如下：

$$Y_t = (Y_p)^n$$

由此容易计算出，如果单个芯片组装成品率为 90% ~ 95%，那么每块印制板上有 10 个芯片时，组件的成品率将下降到 35% ~ 60%。此外，芯片在封装前因无封装保护，运输及操作时易损坏也是困难问题之一。COB 技术的组装过程如下：在放置 IC 前，先将导电粘合剂（一般是环氧银膏）用丝网印刷在基板上，IC 贴装后，将粘合剂固化。粘合剂在 150°C 下固化后，用引线将管芯键合点连在基板上。管芯用贴装机贴装。有时厂家提供给用户的是整个硅片，用户装配时先把硅片切割成单个管芯。这种做法的优点是在运输过程中硅片的划痕和其他形式的损伤最少。

2. 微组装技术 (MAT)

微组装技术就是高密度的立体组装技术。在高密度的互连电路板上，用焊接和封装工艺把微型元器件组装起来，制成立体结构的电子产品。微组装技术的设计内容包括系统总体设计、多层基板布线、电路结构设计、散热结构设计、电路性能模拟及电路板修改设计等。高密度的互连基板制造是微组装技术的另一重要内容。高密度互连基板的类型有高温或低温共烧陶瓷多层基板、厚膜多层基板、薄膜多层基板、混合多层基板及单层多次布线基板等，涉及到的相关技术有陶瓷材料与成型、电子浆料、印刷、烧结、真空镀膜、化学镀膜、光刻、离子刻蚀冲孔等。

多层布线电路板和载体器件是微组装技术的两大支柱，其核心是表面组装技术和片式元器件。目前多层布线电路板已达 33 层陶瓷板组合。微组装技术中使用的片式元器件主要是载体器件，载体器件是把有关器件（主要是大规模集成电路芯片）先装在具有特殊结构的载体上，制成合格的微电子组件。载体引出结构的基本要求是：所有引出端的焊接面必须在一个平面上，并且焊接组装条件都相同。载体器件的引出插脚有的多达数百根，说明了载体器件的复杂性。载体器件的引出结构有两种：有引线式的，其引线是特殊结构的短引线，专门用来作表面安装；无引线式的，其引出端做成焊料凸点结构，其要求是与电路板的相应焊盘精确对准，从而保证焊接质量的可靠性。

微组装技术使用的多层布线电路板，根据使用的材料和制造工艺，可分为三类：陶瓷多层布线板、厚膜多层布线板和薄膜多层布线板。陶瓷多层布线板的制作工艺是：先在作为介质层的各个未经烧结的生坯薄片上印制导体图形，再将这些有互连线的生坯薄片按要求叠放在一起，经烧结形成独立结构的高密度互连体系，称为共烧多层陶瓷板。根据陶瓷材料和导电浆料不同，又分为高温共烧和低温共烧多层陶瓷板两种。各层之间的电气连接是通过预先在生瓷坯片上冲制通孔和后来的金属化而实现的。这类多层布线板与陶瓷载体器件的热胀系数相近，导热性好，不老化。其主要缺点是陶瓷介电系数大（9 ~ 10 左右），会增加信号的延迟，陶瓷的耐冲击性差，不适于制作刚柔相济的或大面积的电路板，工艺比较复杂。

厚膜多层布线板有两种型式，一种是纯互连体系，具有多层互连导线、通孔和引出端，即整体上是一个导体与介质体系。另一种是功能互连体系，该体系在多层布线板的顶层或内层除有互连导线外，还制作若干厚膜阻容元件，因此整体上它是一个由阻容元件、导体和介质构成的体系。厚膜多层布线板的优点是工艺简单，投资较小；其缺点是分层印制和烧结工艺使层数受限制（一般在 10 层以下），烧结后表面不太平整，易出现微裂纹。

薄膜多层布线板采用聚酰亚胺介质和硅基板，能制作出更高密度的多层互连基板，线条可以细到 10 μ m，是厚膜不可比的，互连线短，因此信号延迟小，线间干扰小，又因使用硅

基片，与半导体集成电路的热胀系数一致，提高了可靠性。与厚膜多层布线一样，薄膜多层布线板也分为纯互连体系和功能互连体系两种。

目前采用微组装技术的产品主要有高级计算机、雷达和通信设备，大多为军用设备。美、日等主要厂家生产的近 300 台超级计算机中都采用了多层布线的微组装技术。美国的战略防御计划（即星球大战计划）也采用了高水平的微组装技术，使一个处理机由原来的机箱变成一块插件，使整个并行处理计算机系统的运算能力达 5 亿次/s，并能扩大到 80 亿次/s。

目前的多层布线工艺已较为成熟，因而应用日益普遍。

本章小结

本章主要介绍了焊接的基础知识、焊接质量的鉴别和各种手工焊接的方法、特点。

1. 焊接的基础知识

利用加热或其他方法，使两种金属间原子的壳层互起作用，或是原子相互扩散、互熔，依靠原子间的内聚力使两种金属永久地牢固结合，称为焊接。采用锡铅焊料的焊接，称为锡铅焊接，简称锡焊，在家电整机产品装配中，它使用最早，至今仍是被广泛采用的焊接方法之一。焊接方法一般分为手工焊接、自动焊接、无锡焊接三大类。

2. 焊接质量的鉴别

焊接点的质量主要由界面层结晶特性所决定，它与焊料及母材、晶体结构、表面清洁程度及焊接时的温度控制等因素有关。

3. 手工焊接

手工焊接是最普遍、最基本的焊接操作方法。它的操作技能主要包括烙铁头清洁处理、电烙铁和焊锡丝的使用方法、焊接操作的基本步骤。

4. 表面组装技术（SMT）

表面组装技术作为新一代电子设备和电子产品的主要组装手段，得到了越来越广泛的应用。教师可以根据教学需求，选取相应内容让学生通过学习，了解表面组装技术的形成阶段、表面组装技术组成和发展趋势。

通过本章的学习既要掌握焊接的基础理论知识，又要熟练地掌握手工焊接操作技能，确保产品的焊接质量。

第五章 异步电动机与常用低压电器

电动机是根据电磁感应原理，将电能转换为机械能的机器，通常又称为马达。

电动机的种类很多，它可分为直流电动机和交流电动机两大类。直流电动机虽然具有调速性能好、起动转矩大等特点，但由于直流电源不易获得，所以直流电动机除在一些特殊要求的场合中使用外，应用不太广泛。交流电动机又可分为同步电动机和异步电动机。由于交流电的生产和输送都很方便，特别是交流异步电动机结构简单、工作可靠、使用维护方便和价格便宜等优点，因此在工农业生产和日常生活中得到广泛应用，建筑施工机械的动力拖动设备一般都是采用交流异步电动机。

本章主要介绍三相与单相异步电动机的结构、工作原理、异步电动机运行工作的控制电器、控制电路和常用建筑工程设备的控制电路。

第一节 三相异步电动机

一、三相异步电动机的结构

异步电动机基本结构是由定子和转子两大部分组成。定子和转子之间留有一定的气隙，此外还有端盖、轴承及风扇等部件，其外形和结构如图 5-1 所示。

1. 定子

异步电动机的定子由定子铁心、定子绕组和机座三部分组成。

(1) 定子铁心 由 0.5mm 厚的硅钢片，经过冲剪、涂绝缘漆后叠压而成，它是磁路的一部分。在铁心的内圆表面开有均匀分布的槽，槽内放置三相对称的定子绕组。

(2) 定子绕组 由绝缘铜线或铝线绕成的三个独立的绕组，即三相绕组。它是电路的组成部分。每相绕组由若干个线圈按一定规律联接而成，三相绕组有六个出线端。三相绕组的始末端分别记作 A-X, B-Y, C-Z。绕组的始端和末端引到机座外壳接线盒内的接线柱上。接线柱的布置如图 5-2 所示。将接线柱上的连接铜片进行适当的连接，就可以使三相定子绕组接成星形或三角形，以满足异步电动机不同运行工作状态时，对绕组不同接法的要求。

(3) 机座 主要作用是固定定子铁心、定子绕组和端盖。整个电动机通过它固定在安装的基础上。中、小型机座采用铸铁制成；小机座也有用铝合金压铸而成。考虑不同安装场合的要求，机座的基本安装结构形式有机座带底脚或不带底脚，端盖有凸缘或无凸缘等形式，分别适合卧式或立式安装。

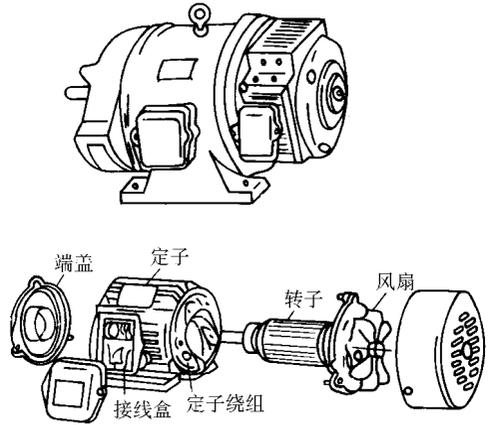


图 5-1 笼型异步电动机基本结构

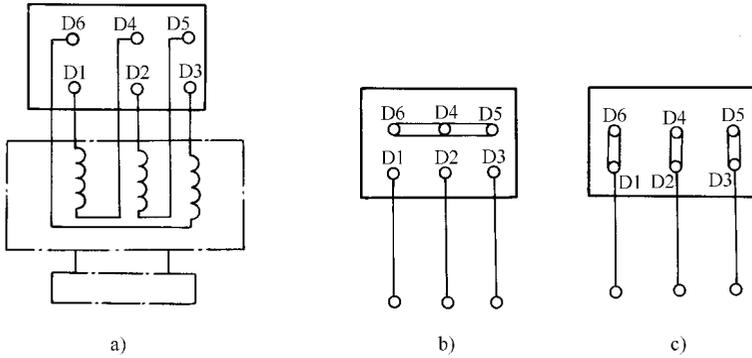


图 5-2 定子绕组的布置与连接

a) 接线柱的布置 b) 星形联结 c) 三角形联结

2. 转子

异步电动机的转子是电动机的转动部分，靠它拖动机械负载旋转。它由转子铁心、转子绕组和转轴组成。转子铁心也是由 0.5mm 厚的硅钢片叠合而成，在外圆表面上有许多均匀分布的槽，槽内放置转子绕组。

转子绕组分为笼型和绕线型两种型式。

(1) 笼型转子 在转子铁心槽内都有裸铜（或铝）导条，在伸出铁心两端的槽口处，用两个端环把所有导条都连接起来，使所有铜（或铝）导条短路，（故端环又称短路环），由此构成了笼型转子绕组。如果去掉铁心，整个绕组的形状就像一个“鼠笼”，如图 5-3 所示。中、小型异步电动机笼型转子的导条与端环一般采用熔化的铝液一次浇铸出来。

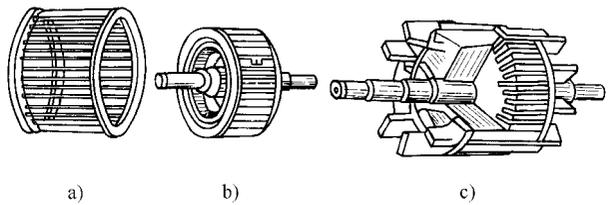


图 5-3 笼型转子

a) 笼型绕组 b) 笼型转子 c) 铸铝转子

(2) 绕线型转子 绕线型转子与笼型转子相似，但是它用绝缘导线放置在转子铁心的槽内，接成三相对称绕组，通常把该三相绕组的末端连结在一起，首端的引线分别接到转轴上的三个互相绝缘的铜环（称为集电环）上，再通过电刷把电流引出，与外接的变阻器接通，以便对电动机进行起动或调速，如图 5-4 所示。

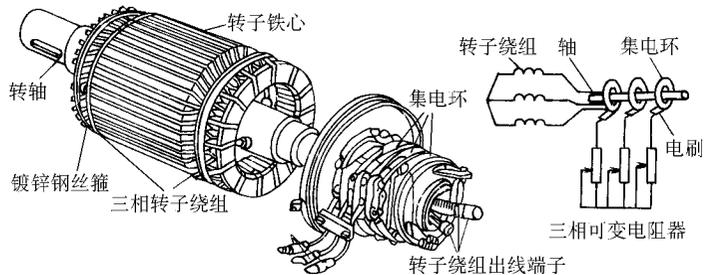


图 5-4 绕线型转子

异步电动机的定子铁心和转子铁心是电动机磁路的一部分，定子绕组和绕线式转子绕组是电动机的电路部分。

二、三相异步电动机的工作原理

1. 旋转磁场

三相异步电动机定子具有对称分布的三相定子绕组，接入三相交流电后产生旋转磁场，带动转子作旋转运动，转子的转速与旋转磁场的转速和极数有关，转子的旋转方向与旋转磁场的转向一致。

(1) 三相绕组的旋转磁场 三相定子绕组由 AX、BY、CZ 三个绕组组成，在空间上位置上它们彼此相隔 120° 电角度。如果将三相绕组按星形联接，三个始端 A、B、C 接到三相电源上，在绕组中得到三相对称电流为

$$i_a = I_m \sin \omega t$$

$$i_b = I_m \sin (\omega t - 120^\circ)$$

$$i_c = I_m \sin (\omega t - 240^\circ)$$

式中 I_m ——每相电流的最大值。

各相电流随时间变化的曲线如图 5-5 所示。规定电流的正方向从每相始端 (A、B、C) 流入，从未端 (X、Y、Z) 流出，流入画面的电流用“×”表示，流出画面的电流用“·”表示。

两极电动机三相绕组的旋转磁场如图 5-6 所示。当 $\omega t = 0^\circ$ 时， $i_a = 0$ ， $i_b = -\frac{\sqrt{3}}{2} I_m$ ， $i_c = \frac{\sqrt{3}}{2} I_m$ 。

由于 i_b 为负值， i_c 为正值，电流分别从 Y、C 流入，从 B、Z 流出，如图 5-6a 所示。按照右手螺旋定则，B、C 两相绕组的磁动势方向为 f_b 、 f_c ，三相合成磁动势方向为 F 指向下方。其合成磁场只有 N、S 两极。

同理分析，当 $\omega t = 90^\circ$ 、 180° 、 270° 时各瞬间的合成磁场方向分别如图 5-6b、c、d 所示。当 $\omega t = 360^\circ$ 时，又重复到 $\omega t = 0^\circ$ 时的情况。

由此可见，两极三相绕组通入三相交流电以后，其合成磁场的方向是变化的，每当电流变化一个周期，两极合成磁场的方向在空间转动一圈。如果交流电流的频率为 $f = 50\text{Hz}$ ，则合成磁场方向每分钟转动圈数即旋转磁场转速为 $n_1 = 60f = 3000\text{r}/\text{min}$ 。

(2) 旋转磁场的转速与转向 三相绕组的旋转磁场转速除了与交流电流的频率有关以外，还与三相绕组的极数有关。如果每相定子绕组由两个线圈组成，线圈两边之间的宽度作成四分之一圆周，并把三相绕组作如图 5-7 的安排，则组成四极电动机定子的

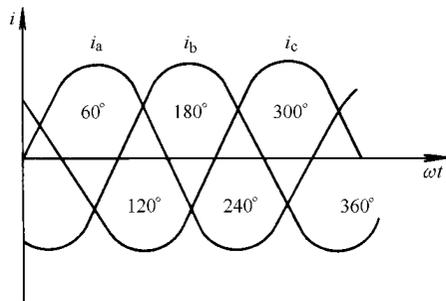


图 5-5 三相交流电流波形图

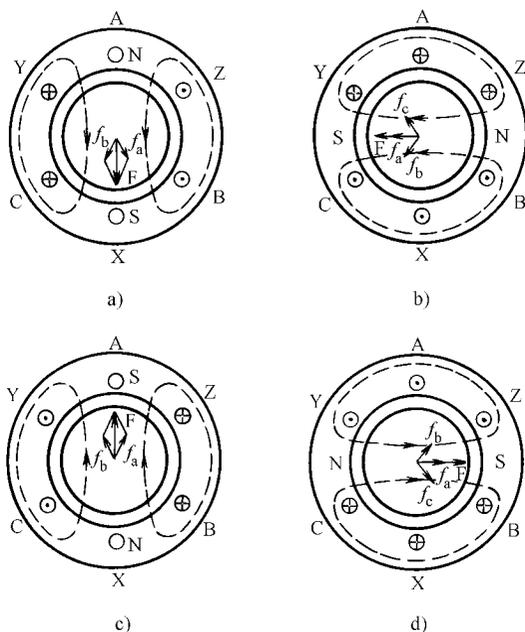


图 5-6 两极电动机三相绕组的旋转磁场

a) $\omega t = 0^\circ$ b) $\omega t = 90^\circ$
c) $\omega t = 270^\circ$ d) $\omega t = 360^\circ$

三相绕组。

当 $\omega t = 0^\circ$ 时，各相绕组的电流方向如图 5-7a 所示。这时四个磁极位置是上下为 N 极，左右为 S 极。而当 $\omega t = 90^\circ$ 时，各相绕组线圈内的电流方向如图 5-7b 所示。与图 5-7a 相比，磁场方向依绕组相序方向（A—B—C—A）转动角度 90° ，而空间角度为 45° 。同样，当 $\omega t = 180^\circ$ 、 $\omega t = 360^\circ$ 时，磁极也分别转过 180° 和 360° 的角度，而转过的空间角度则为 90° 和 180° 。

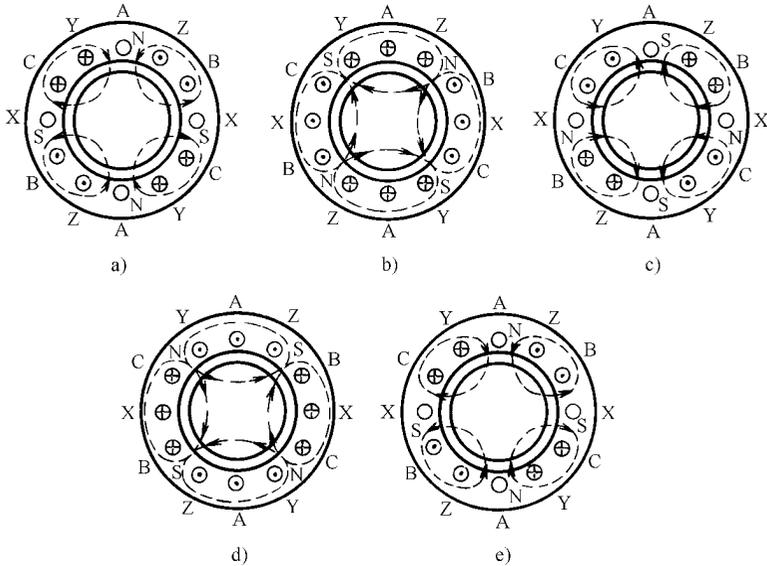


图 5-7 两极电动机三相绕组的旋转磁场

a) $\omega t = 0^\circ$ b) $\omega t = 90^\circ$ c) $\omega t = 180^\circ$ d) $\omega t = 270^\circ$ e) $\omega t = 360^\circ$

由此可见，四极电动机三相绕组相应通入顺序一致的三相交流电以后，产生旋转磁场的旋转方向为三相绕组在空间相序的方向，但其极数为 4，在空间的转速为两极电动机的一半，即 $n_1 = 60f/2 = 1500\text{r/min}$ 。

同理，对于 p 对极的三相交流绕组，旋转磁场的转速为 $n_1 = 60f/p$ (r/min)

式中 f ——电源频率，单位为 Hz；

p ——旋转磁场极对数，磁极数 = $2p$ 。

在电源频率 $f = 50\text{Hz}$ 时，不同磁极对数 p 的旋转磁场转速（同步转速）见表 5-1。

表 5-1 异步电动机不同磁极对数的同步转速

| p | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------|------|------|------|-----|-----|-----|
| n_1 | 3000 | 1500 | 1000 | 750 | 600 | 500 |

如果三相绕组按顺时针方向排列，电流相序 A—B—C，即 i_a 超前于 i_b 120° ， i_b 超前于 i_c 120° 。当 i_a 流入 AX 相绕组， i_b 流入 BY 绕组， i_c 流入 CZ 相绕组时，旋转磁场也将按绕组电流的相序，即旋转磁场按 AX—BY—CZ 的方向顺时针旋转。

如将三相电流联结的三根导线中的任意两根的线端对调位置，例如将 A 相与 C 相对调，则绕组电流的相序变成 i_a 流入 CZ 绕组， i_b 流入 BY 绕组， i_c 流入 AX 绕组，根据改变后的绕组电流相序，旋转磁场也按 CZ—BY—AX 的方向逆时针旋转，即旋转磁场也改变转向。

2. 转子转动原理

(1) 转子的转动 当三相异步电动机的定子中通入三相交流电流后产生了旋转磁场。设旋转磁场以同步转速 n_1 沿顺时针方向转动, 这时静止的转子与旋转磁场之间有了相对运动, 转子绕组的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来确定, 如图 5-8 所示。由于转子导体是个闭合回路, 因此在感应电动势的作用下, 转子绕组中形成感应电流。此电流又与磁场相互作用而产生电磁力 F 。力的方向可由左手定则来确定。图 5-8 中, 转子上半部分导体受到的电磁力方向向右, 下半部分导体受到的电磁力方向向左, 这对力对转子轴形成与旋转磁场方向一致的转矩。在这个转矩的驱动作用下, 转子顺着旋转磁场方向转动起来。如果旋转磁场的旋转方向改变, 那么转子的旋转方向也随之改变。这个转矩称为电磁转矩或电磁力矩。

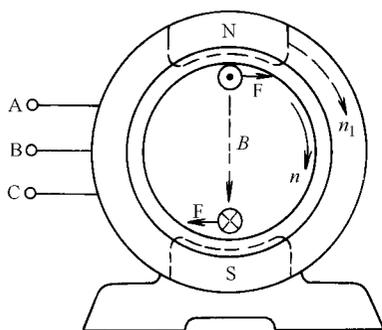


图 5-8 转子转动原理

(2) 转子的转速 转子转动的转速 n 与定子绕组产生旋转磁场的同步转速 n_1 , 方向一致, 但是在数值上, 转子转速 n 不可能升至同步转速 n_1 。因为, 如果 $n = n_1$, 那么转子导体就与旋转磁场之间不存在相对运动, 不发生切割磁力线, 转子导体就不再产生感应电动势和感应电流, 转子上也不存在电磁转矩的作用而逐渐慢下来。一旦 $n < n_1$ 时, 转子又受到电磁转矩的作用。因此, 异步电动机转子的转速永远不会等于同步转速 n_1 , 所以这种电动机称为异步电动机。

第二节 常用低压电器

凡是自动或手动接通和断开电路, 以及能实现对电路或非电对象进行切换、控制、保护、检测、变换和调节的元件统称为电器。低压电器是指工作电压在交流 1000V 或直流 1200V 以下的各种电器。低压电器广泛应用于输配电系统、电力传动与自动控制设备、计算机控制系统等领域, 品种系列繁多, 新品种不断涌现。

一、分类及用途

常用低压电器有熔断器、低压开关、主令电器、接触器、继电器等。低压电器的分类方法很多, 下面介绍几种常用的分类方法。

1. 按动作原理分

(1) 手动电器 指通过人力做功来完成指令任务的电器。例如刀开关、控制器、转换开关等。

(2) 自动电器 指不需人工操作, 而是按照电的或非电的信号自动完成指令任务的电器。例如低压断路器、接触器、继电器等。

2. 按用途分

(1) 控制电器 用于各种控制电路和控制系统的电器。例如接触器、控制器、启动器等。

(2) 主令电器 用于自动控制系统中发送控制指令的电器。例如控制按钮、主令开关、

行程开关等。

(3) 保护电器 用于保护电路及用电设备的电器。例如熔断器、热继电器、避雷器等。

(4) 配电电器 用于电能的输送和分配的电器。例如隔离开关、刀开关、低压断路器等。

(5) 执行电器 用于完成某种动作或传动功能的电器。例如电磁铁、电磁离合器等。

3. 按工作原理分

(1) 电磁式电器 依据电磁感应原理来工作的电器。例如接触器、各种电磁式继电器等。

(2) 非电量控制电器 电器的工作是靠外力或某种非电物理量的变化而动作的电器。例如刀开关、行程开关、压力继电器等。

另外低压电器的分类方法还有：按灭弧介质分为空气、真空、油等低压电器；按工作条件分为一般工业用、船用、化工用、矿用、牵引用、航空用等；也有按外壳防护等级、安装类别等来分类的。表 5-2 列出了常用低压电器的分类和用途。

表 5-2 常用低压电器的分类和用途

| | 电器名称 | 主要品种 | 用 途 |
|------------------|-------|--|--------------------------------|
| 配 电 电 器 | 刀开关 | 负荷开关 熔断器式开关 板形刀开关 | 主要用于电路的隔离，也能接通和分断额定电流 |
| | 转换开关 | 组合开关 换向开关 | 用于两种以上电源和负载的转换，接通或分断电路 |
| | 低压断路器 | 塑壳式低压断路器 框架式低压断路器 限流式低压断路器 漏电保护开关 | 用于线路过载、短路或欠压保护，也可用作不频繁接通和分断电路 |
| | 熔断器 | 无填料熔断器 有填料熔断器 快速熔断器 自动熔断器 | 用于线路或电器设备的过载和短路保护 |
| | 接触器 | 交流接触器 直流接触器 | 主要用于远距离频繁起动和控制电动机，接通和分断正常工作的电路 |
| 控 制 电 器 | 继电器 | 热继电器 中间继电器 时间继电器 电流继电器 速度继电器 | 主要用于控制系统，用于控制其他电器或用作主电路的保护 |
| | 起动器 | 磁力起动器 降压起动器 | 主要用于电动机的起动和正反转控制 |
| | 控制器 | 凸轮控制器 平面控制器 | 主要用于电气设备中转换主电路或励磁回路的接法，完成换向和调速 |

| | 电器名称 | 主要品种 | 用途 |
|--------------|------|------------------------------|----------------------|
| 控制 电 器 | 主令电器 | 按钮 限位开关 万能转换开关 微动开关 | 主要用于接通和分断控制电路 |
| | 电阻器 | 铁基合金电阻 | 用于改变电路参数或变电能为热能 |
| | 变阻器 | 励磁变阻器 起动变阻器 频敏变阻器 | 主要用于发电机调压及电动机减压起动和调速 |
| | 电磁铁 | 起重电磁铁 牵引电磁铁 制动电磁铁 | 用于起重, 操纵或牵引机械装置 |

二、低压电器选用原则

目前, 我国生产的低压电器大约有 130 多个系列, 品种规格繁多。在对低压电器的设计和制造上, 国家规定了严格的标准, 极大地方便了用户的使用。标准内容可归纳为标准化、系列化、通用化和统一型号规格、统一技术条件、统一外型及安装尺寸、统一易损零部件。正确选用低压电器即选用合理、使用正确、技术和经济相互兼顾。选用的一般原则为:

(1) 安全原则 使用安全可靠是对任何电器的基本要求, 保证电路和用电设备的可靠运行是正常生活与生产的前提, 例如用手操作的低压电器要确保人身安全; 金属外壳要有明显接地标志等等。

(2) 经济原则 经济性包括电器本身的经济价值以及使用价值和使用该种电器产生的价值。前者要求合理适用, 后者必须保证运行可靠, 不致因故障而引起各类经济损失。

(3) 选用低压电器的注意事项

1) 了解控制对象的分类和使用环境。

2) 确认有关的技术数据, 如控制对象的额定电压、额定功率、操作特性、起动电流倍数和工作制等。

3) 了解电器的正常工作条件, 如周围温度、湿度、海拔、振动和防御有害气体等方面的能力。

4) 了解电器的主要技术性能, 如用途、种类、控制能力、通断能力和使用寿命等。

第三节 常用低压电器介绍

一、熔断器

熔断器是一种最简单有效的保护电器。在使用时, 熔断器串接在所保护的电路中, 作为电路及用电设备的短路和严重过载保护, 主要用作短路保护。

1. 熔断器的结构及工作原理

熔断器主要由熔体 (俗称保险丝) 和安装熔体的熔管 (或熔座) 两部分组成。如图 5-9 所示。熔体由易熔金属材料铅、锌、锡、银、铜及其合金制成, 通常制成丝状或片状。熔管

是装熔体的外壳，由陶瓷、绝缘钢纸或玻璃纤维制成，在熔体熔断时兼有灭弧作用。

熔断器的熔体与被保护的电路串联，当电路正常工作时，熔体允许通过一定大小的电流而不熔断。当电路发生短路或严重过载时，熔体中流过很大的故障电流，当电流产生的热量达到熔体的熔点时，熔体熔断切断电路，从而达到保护电路的目的。

2. 熔断器的分类

熔断器的分类也很多，如按使用场合有工业用与家用之分；按外壳结构有开启式、半封闭式和封闭式之分；按填充材料方式有有填充材料和无填充材料之分；按动作特性有延时动作特性、快动作特性、快慢动作特性和超快动作特性之分等分类方法。

3. 常用熔断器

熔断器的特点是结构简单，使用方便，重量轻，体积小，价格低廉。常用熔断器主要有如图 5-10 所示几种。在使用上，低压熔断器有管式、插入式、螺旋式及羊角式等多种形式。管式和螺旋式是封闭式，因而适用范围较广，可以用在大容量线路（动力负荷大于 60A 或照明负荷大于 100A）；插入式由于其结构特点，常用于中小容量电路；羊角熔断器为开启式结构，主要用在进户线上。

4. 熔断器的选择

(1) 熔断器的类型选择 其类型应根据线路要求、使用场合和安装条件来选择。例如用于电动机过载保护时，一般要求熔断器容量不大，也不要求限流，但希望其安秒特性平稳；用于配电时，如短路电流较大，则选高分断能力或要求带限流作用的熔断器，如 RT0 系列；在经常发生故障的地方，最好用可拆式的，如 RC1A、RL1、RM10 等系列；在有易燃品的地方，当然禁止用敞开式的，并且其快速性应较好等。

(2) 熔断器额定电压的选择 其额定电压应大于或等于线路的工作电压。

(3) 熔断器额定电流的选择 其额定电流应大于或等于所装熔体的额定电流。

(4) 熔体额定电流的选择 熔体的额定电流可按以下几种情况选择：

1) 对于电炉、照明等阻性负载的短路保护，应使熔体的额定电流等于或稍大于电路的工作电流，即 $I_{fu} \geq I$ ，其中， I_{fu} 为熔体额定电流； I 为电路的工作电流。

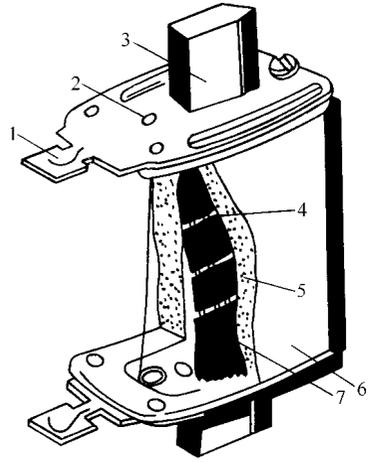


图 5-9 熔断器的结构

1—盖板 2—指示器 3—触刀 4—载熔体 5—填料 6—熔管 7—熔体

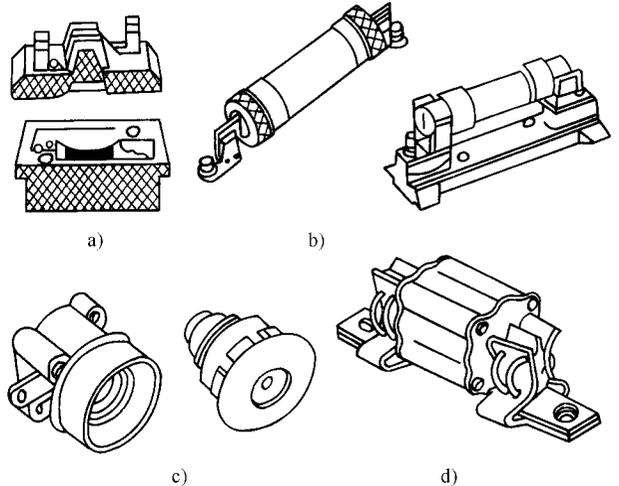


图 5-10 常用的几种熔断器

a) RC1A 系列瓷插式熔断器 b) RM10 系列无填料封闭式熔断器
c) RL1 系列螺旋式熔断器 d) RT0 系列有填料封闭式熔断器

2) 保护一台电动机时, 考虑到电动机起动冲击电流的影响, 应按公式 $I_{fu} \geq (1.5 \sim 2.5) I_N$ 计算, 式中 I_N 为电动机额定电流。

3) 保护多台电动机时, 则应按公式 $I_{fu} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{Nmax} + \sum I_N$ 计算, 式中 I_{Nmax} 为容量最大的一台电动机的额定电流; $\sum I_N$ 为其余电动机额定电流的总和。

4) 要依据动作特性校验所选熔断器以及上下级的配合, 前者是熔断器自身特性与保护对象的匹配问题, 后者是熔断器之间的配合问题, 在要求时才进行校验。

二、低压开关

1. 刀开关

刀开关是一种结构较简单的手动控制电器, 广泛应用于各种供电线路, 作为非频繁地接通和分断容量不太大的低压供电线路, 以及作为电源隔离开关使用。还可以用于 5.5kW 及以下的小容量电动机作不频繁的直接起动电源开关。

图 5-11 为其外形结构, 它主要由操作手柄、刀刃、刀夹和绝缘底座等组成, 内装有熔丝。按刀刃的个数可分为单极、两极和三极。两极的额定电压为 250V, 三极的额定电压为 500V, 常用的瓷底胶盖开关的额定电流一般有 10A、15A、30A、60A 四级, 产品型号主要有 HK1、HK2, 因为设有防护外壳胶盖, 也称胶盖闸刀开关。

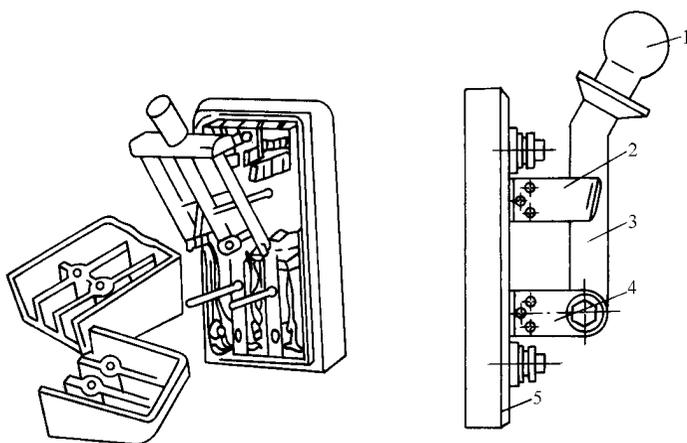


图 5-11 刀开关的基本结构图

1—瓷柄 2—进线触刀 3—可动触刀 4—负载接线座 5—瓷底板

刀开关安装时, 手柄要向上, 不得倒装或平装。安装正确, 作用在电弧上的电动力和热空气的上升方向一致, 就能使电弧迅速拉长而熄灭。反之, 两者方向相反电弧将不易熄灭, 严重时会使触头及刀片烧伤, 甚至造成相间短路。另外如果倒装, 手柄可能因自动下落而引起误动作合闸, 将可能造成人身和设备安全事故。刀开关安装时, 还要考虑到操作和检修的安全和方便, 电源进线应接在刀夹端的接线柱上, 用电设备应接在刀开关刀片下面熔丝另一端的接线柱上, 即电源线接在上端, 负载接在下端, 这样拉闸后刀片与电源隔离, 以保证换装熔丝的安全, 防止意外故障发生。

2. 组合开关

组合开关又名转换开关, 实质上也是一种刀开关, 只不过一般刀开关的操作手柄是在垂直于其安装面的平面内向上或向下运动。而组台

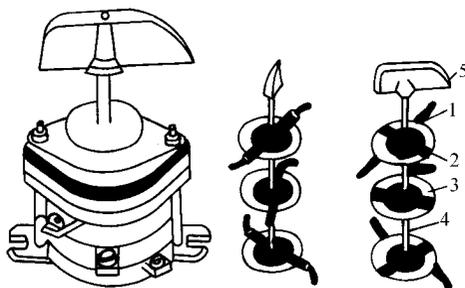


图 5-12 HZ10—25/3 型组合开关

1—静触头 2—动触头 3—绝缘垫板
4—绝缘方轴 5—手柄

开关的操作手柄则是在平行于其安装面的平面内每次顺时针或逆时针转动 90° 。其外形和结构如图 5-12 所示，它是由若干个动、静触头（刀片）分层固定在转轴和胶木壳体触头座内，顶部装有凸轮、扭簧转轴等部件，构成操作机构。转动手柄，每一动片即插入相应的静触片或脱离静触片，使线路接通或断开，由于采用扭簧储能机构使开关快速闭合及分断，提高了分断能力和灭弧性能。

组合开关的触头座可以一个接一个地堆叠起来，使其结构向立体空间发展，从而可以缩小安装面积。此外其动触头结构有 90° 和 180° 两种；通过选择不同类型的动触头，按照不同方式配置动触头和静触头、然后叠装起来，可得到若干种不同的接线方案，使用起来非常方便，故广泛用于电器设备的电源引入开关，5.5kW 以下小容量电动机的正反转、星形—三角形起动，多速电动机的调速等非频繁的操作场合。

组合开关的额定电压为 380V，额定电流为 100A 以下若干级，产品型号有 HZ5 和 HZ10 系列等。组合开关接线方案很多，这是它的优点，但是，应根据需要正确地选择相应规格的产品。

3. 低压断路器

低压断路器又称自动空气开关、自动空气断路器和自动开关，它是一种半自动开关电器。当电路发生严重过载、短路以及失压等故障时，能自动切断故障电路，有效地保护串接在它后面的电气设备。在正常情况下，也可用于不频繁地接通和断开电路及控制电动机。其保护参数可以人为整定，使用安全、可靠、方便，是目前使用最广的低压电器之一。

低压断路器按其用途和结构特点可分为框架式低压断路器、塑料外壳式低压断路器、直流快速低压断路器和限流式低压断路器等。在此主要介绍塑料外壳式和框架式两大类。

(1) 塑料外壳式低压断路器 塑料外壳式低压断路器又称装置式低压断路器或塑壳式低压断路器，一般用作配电线路的保护开关，以及电动机及照明线路的控制开关等。其外形及内部结构如图 5-13 所示，它主要由触头系统、灭弧装置、自动与手动操作机构、外壳、脱扣器等部分组成。根据功能的不同，低压断路器所装脱扣器主要有电磁脱扣器（用于短路保护）、热脱扣器（用于过载保护）、失压脱扣器、电磁脱扣器以及由电磁和热脱扣器组合而成的复式脱扣器等。脱扣器是低压断路器的重要部分，可人为整定其动作电流。

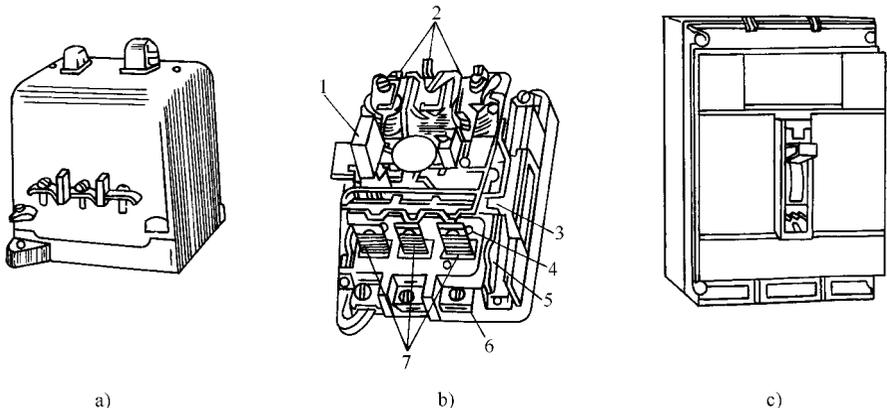


图 5-13 低压断路器

a) DZ5 型外形 b) DZ5 型内部结构 c) DZ10 型外形

1—按钮 2—电磁脱钩器 3—自由脱钩器 4—动触头 5—静触头 6—接线柱 7—热脱钩器

塑壳式低压断路器工作原理如图 5-14 所示。其中，触头 2 合闸时，与转轴相连的锁扣扣住跳扣 4，使弹簧 1 受力而处于储能状态。正常工作时，热脱扣器的发热元件 10 温升不高，不会使双金属片弯曲到顶动连杆 6 的程度；电磁脱扣器 13 的线圈磁力不大，不能吸住衔铁 12 去拨动连杆 6，开关处于正常供电状态。如果主电路发生过载或短路，电流超过热脱扣器或电磁脱扣器动作电流时，双金属片 11 或衔铁 12 将拨动连杆 6，使跳扣 4 被顶离锁扣 3，弹簧 1 的拉力使触头 2 分离切断主电路。当电压失压和低于动作值时，线圈 9 的磁力减弱，衔铁 8 受弹簧 7 拉力向上移动，顶起连杆 6 使跳扣 4 与锁扣 3 分开切断回路，起到失压保护作用。

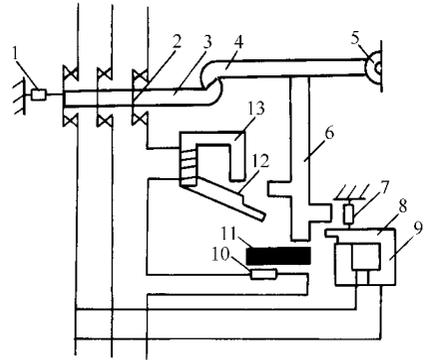


图 5-14 DZ 型塑壳式低压断路器工作原理图
1、7—弹簧 2—触头 3—锁扣 4—跳扣
5—转轴 6—连杆 8、12—衔铁 9—线圈
10—发热元件 11—双金属片
13—电磁脱扣器

(2) 框架式低压断路器 框架式低压断路器又叫万能式低压断路器，主要用于 40 ~ 100kW 电动机回路的不频繁全压起动，并起短路、过载、失压保护作用。

其操作方式有手动、杠杆、电磁铁和电动机操作四种。额定电压一般为 380V，额定电流有 200 ~ 4000A 若干种。常用的框架式低压断路器有 DW 系列等，其所有零部件都安装在框架上，它的热脱扣器和电磁脱扣器、失压脱扣器等保护原理与塑壳式相同。

(3) 低压断路器的选用 塑壳式低压断路器断流能力较小，框架式低压断路器断流能力较大。选用低压断路器的一般要求如下：

- 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流。
- 2) 热脱扣器的整定电流应与所控制的电动机的额定电流或负载额定电流一致。
- 3) 电磁脱扣器的瞬时脱扣额定电流应大于负载电流正常工作时的尖峰电流，对于电动机负载而言，低压断路器电磁脱扣机构的瞬时脱扣整定电流值 I_{set} ，可按公式 $I_{set} = KI_{st}$ 计算，式中 K 为安全系数，当为塑壳式自动开关时取 1.7，当为框架式自动开关时取 1.35； I_{st} 为电动机的起动电流。

除有上述电流、电压要求外，选用时还要考虑类型、等级、规格等方面以及上下级保护匹配等问题。

(4) 低压断路器使用时的注意事项 使用低压断路器要注意下面几点：

- 1) 安装前先检查其脱扣器的额定电流是否与被控线路、电动机等的额定电流相符，核实有关参数，满足要求方可安装。
- 2) 应按规定垂直安装，其上接、下接的导线要按规定截面选用，切不可太大。
- 3) 使用前认真清除灰尘附着物，擦净防锈油脂，检查各紧固螺钉不得松动。
- 4) 脱扣器整定电流等选择性参数，一经调好后便不准随意变动。
- 5) 操作机构在使用一定次数后（通常为机械寿命的 1/4 左右，机械寿命在 2000 ~ 20000 次），应给操作机构添加润滑剂。
- 6) 对低压断路器要定期检修（半年至少一次），并清污，尤其是触头的油污与杂质。
- 7) 使用一定次数后，如发现触头表面粗糙或粘有金属熔化后产生的颗粒，应清除它们，

以保证触头良好接触。

8) 在切断短路电流后,应在适当时候检查触头状况并清除灭弧室内壁、栅片上的烟尘与金属颗粒。

9) 定期检查脱扣器及时限机构的整定值,对长期未用而重新投入使用的,应认真检查接线是否良好、是否正确可靠,并进行绝缘测量及质检工作。

三、主令电器

主令电器是自动控制系统中用于发送控制指令的电器。主令电器应用广泛、种类繁多,按其动作分为按钮、行程开关、万能转换开关、接近开关、主令控制器及其他主令电器,如脚踏开关、倒顺开关、紧急开关、钮子开关等,在此仅介绍几种常用的主令电器。

1. 按钮

按钮又称控制按钮,是一种结构简单、应用广泛的主令电器;在低压控制电路中,用于手动发出控制信号。按钮是由按钮帽、复位弹簧、桥式触头 and 外壳等组成,通常做成复合式,即具有常闭触点和常开触点。其结构如图 5-15 所示。

常用的产品有:LA2 系列为仍在使用的老产品,新产品有以 LA18、LA19、LA20 等系列,其中 LA18 系列采用积木式结构,触头数目按需要拼装,一般装成二常开、二常闭,也可根据需要装成一常开、一常闭至六常开、六常闭。其按钮的结构形式可分为按钮式、紧急式、旋钮式及钥匙式等。LA19、LA20 系列有带指示灯和不带指示灯两种,前者按钮帽用透明塑料制成,兼作指示灯罩。

为了标明各个按钮的作用,避免误操作,通常将按钮帽做成不同的颜色,以示区别。其颜色有红、绿、黑、黄、蓝、白等。一般以红色表示停止按钮,绿色表示起动按钮。

2. 行程开关

行程开关又称限位开关,它是根据生产机械的行程而动作的小电流开关电器,在位移性建筑机械上应用很普遍,如吊车行走走到极限位置时必需自动停车;搅拌机、锅炉的上料、上煤时,料斗到达终端位置时也必需自动停止,这些都是靠行程开关来控制的。

图 5-16b 为行程开关的结构示意图。从结构上看行程

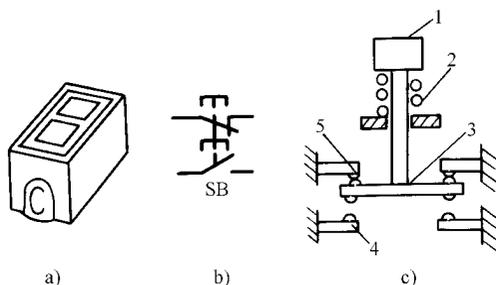


图 5-15 按钮开关结构示意图

a) 外形 b) 符号 c) 结构

1—按钮帽 2—复位弹簧 3—动触头 4—常开触头的静触头 5—常闭触点的静触头

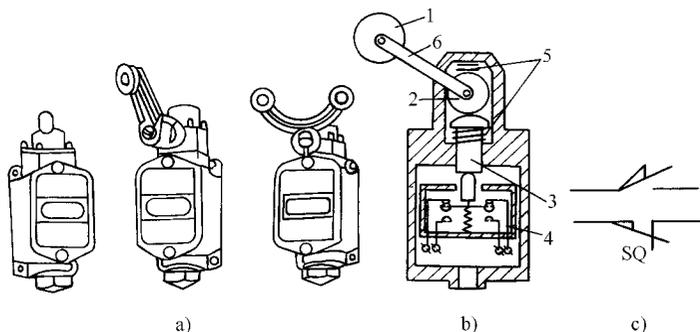


图 5-16 行程开关的外形和结构示意图

a) 外形 b) 结构 c) 符号

1—滚轮 2—凸轮 3—推杆 4—微动开关 5—复位弹簧 6—撞杆

开关由操作头，触头系统和外壳组成。当安装在生产机械运动部件的挡块撞击滚轮 1 时，撞杆转向右边，带动凸轮 2 转动，压迫推杆 3，使微动开关 4 的常闭触头迅速断开，常开触头迅速闭合。一旦受力消失，各触头由于复位弹簧的作用恢复到原来的状态。

可见，行程开关是将操作头传来的机械信号，通过本身的转换动作，变换为电信号，输入到有关的控制电路，使之接通或断开，实现对机械的（行程或位置）控制。

常见的 LX19 系列行程开关的操作头有直动式、单滚轮式和双滚轮式 3 种，如图 5-16a 所示。直动式和单滚轮式脱离外力时，微动开关能自动复位，双滚轮式必须从反方向撞回来才能使微动开关复位。

四、接触器

交流接触器是一种用来频繁接通和断开交直流主电路及大容量控制电路的自动切换电器。主要用于控制电动机、电热设备、电焊机、电容器组等。它还具有低电压释放保护功能，并适用于频繁操作和远距离控制，是电力拖动自动控制线路中使用最广泛的电器元件。

接触器的分类方法很多，接触头系统的驱动机构分为电磁接触器、气体接触器、液压接触器以及用晶闸管组成的无触头接触器等；按其主触头通过电流的种类不同，可分为交流接触器和直流接触器；还可分单极、双极、三极和多极接触器；有灭弧室、无灭弧室接触器；常开式、常闭式及混合式接触器；真空式、空气式接触器等。

1. 交流接触器

图 5-17 为交流接触器的外形与结构示意图。交流接触器由以下四部分组成：

(1) 电磁机构 电磁机构由线圈、动铁心（衔铁）和静铁心组成。对于 CJ0、CJ10 系列交流接触器，大都采用衔铁直线运动的双 E 型直动式电磁机构，而 CJ12、CJ12B 系列交流接触器采用衔铁绕轴转动的拍合式电磁机构。

(2) 触头系统 包括主触头和辅助触头，主触头用于通断主电路，通常为三对（二极）常开触头，辅助触头用于控制电路，起电器联锁作用，故又称联锁触头，一般常开、常闭各两对。

(3) 灭弧装置 容量在 10A 以下的接触器都有灭弧装置，对于小容量的接触器，常采用双断口触头灭弧、电动力灭弧、相间弧板隔弧及陶土灭弧罩灭弧等。对于大容量的接触器，采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧。

(4) 其他部件 包括反作用弹簧、缓冲弹簧、触头压力弹簧、传动机构及外壳等。

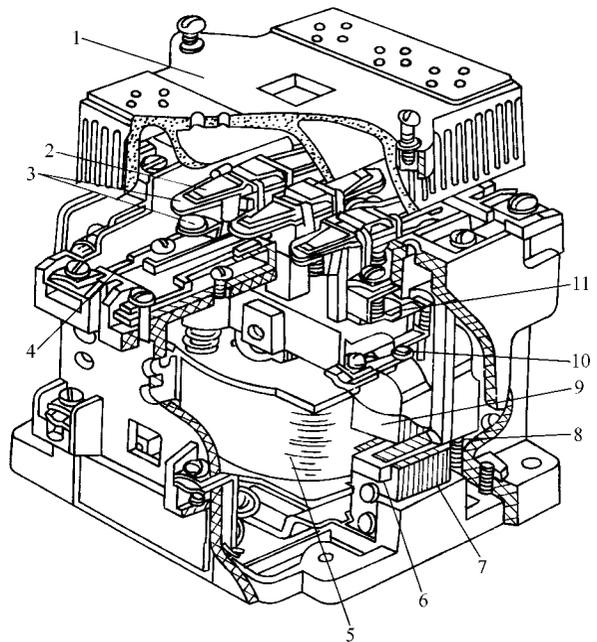


图 5-17 CJ0—20 型交流接触器

- 1—灭弧罩 2—触头压力弹簧片 3—主触头 4—反作用弹簧
5—线圈 6—短路环 7—静铁心 8—弹簧 9—动铁心
10—辅助常开触头 11—辅助常闭触头

交流接触器的工作原理为：当线圈通电后，线圈电流产生磁场，使静铁心产生电磁吸

力，将衔铁吸合。衔铁带动动触头动作，使常闭触头断开，常开触头闭合。当线圈断电时，电磁吸力消失，衔铁在反作用弹簧力的作用下释放，各触头随之复位。

2. 直流接触器

直流接触器的结构和工作原理基本上与交流接触器相同。在结构上也是由电磁机构、触头系统和灭弧装置等部分组成。但也有不同之处，例如，电磁机构方面直流接触器的铁心是用整块钢材或工程纯铁制成，其吸引线圈做成高而薄的瘦高型，且不设线圈骨架，易于散热；而交流接触器的铁心用硅钢片叠铆而成，其吸引线圈设有骨架；触头系统中，直流接触器主触头常采用滚动接触的指形触头，通常为一对或两对；灭弧装置中，由于直流电弧比交流电弧难以熄灭，直流接触器常采用磁吹式灭弧。

五、继电器

继电器是一种根据某种输入信号的变化，接通或断开控制电路，从而实现自动控制和保护电力拖动装置的自动控制电器，其输入量可以是电流、电压等电量，也可以是温度、时间、速度、压力等非电量，而输出则是触头的动作，或者是电参数的变化。

继电器的种类很多，按输入信号的性质分为电压继电器、电流继电器、时间继电器、温度继电器、速度继电器、压力继电器等；按工作原理分为电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器、热继电器和电子式继电器等；按输出形式可分为有触点和无触点两类；按用途可分为控制用与保护用继电器等。

1. 中间继电器

中间继电器是传输或转换信号的一种低压电器元件，它可将控制信号传递、放大、分路、隔离和记忆，以用于解决触点容量、数目与继电器灵敏度的矛盾。

中间继电器有通用型继电器、电子式小型通用继电器，电磁式中间继电器、采用集成电路构成的无触点静态中间继电器等。

2. 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实现触头延时接通或断开的自动控制电器；其种类很多，常用的有电磁式、空气阻尼式、电动式和晶体管式等。

空气阻尼式时间继电器是利用空气阻尼原理获得延时的，它由电磁机构、延时机构、触头三部分组成，电磁机构为直动式双 E 型，触头系统是借用 LX5 型微动开关，延时机构采用气囊式阻尼器。其外形如图 5-18a 所示。

空气阻尼式时间继电器可以做成通电延时型或断电延时型两种。电磁机构可以是直流的，也可以是交流的。现以通电延时型时间继电器为例，介绍其工作原理。如图 5-18b 所示，当线圈 1 通电后，衔铁 3 被铁心 2 吸合，活塞 6 在塔型弹簧 7 的作用下，带动活塞 13 及橡皮膜 9 向上移动，但由于橡皮膜下方气室的空气稀薄而形成负压，因此活塞杆 6 只能缓慢地向上移动，其移动的速度视进气孔的大小而定，可通过调节螺杆 11 进行整定。经过一定的延时时间后，活塞杆才能移到最上端，这时通过杠杆 15 将微动开关 14 压动，使其常闭触头断开，常开触头闭合，起到通电延时作用。

当线圈 1 断电时，电磁吸力消失，衔铁 3 在反作用力弹簧 4 的作用下释放，并通过活塞杆 6 将活塞 13 推向下端，这时橡皮膜 9 下方气室内的空气通过橡皮膜 9、弱弹簧 8、活塞 13 的肩部所形成的单向阀，迅速地从橡皮膜上方的气室缝隙中排掉。因此杠杆 15 和微动开关 14 能迅速复位。在线圈 1 通电和断电时，微动开关 16 在推板 5 的作用下，都能瞬时动作，

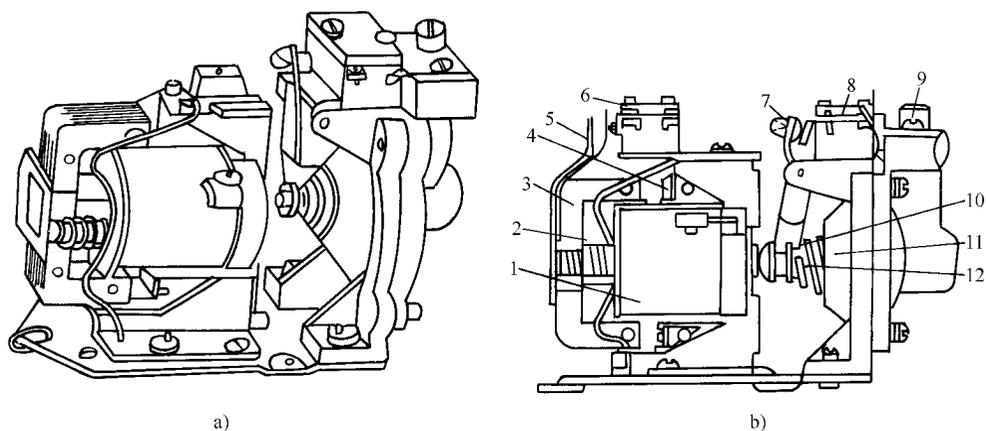


图 5-18 JS7 系列时间继电器

a) 外形 b) 结构

- 1—线圈 2—反作用弹簧 3—衔铁 4—铁心 5—弹簧片 6—瞬时触点 7—杠杆
8—延时触点 9—调节螺钉 10—推板 11—推杆 12—宝塔弹簧

为时间继电器的瞬动触头。

图 5-19b 为断电延时型时间继电器，显然是将通电延时型时间继电器的电磁机构翻转 180°而成。空气阻尼式时间继电器延时范围大、结构简单、寿命长、价格低廉，其缺点是延时误差大、无调节刻度指示，难以精确地整定延时值。在对延时精度要求比较高的场合不宜使用。

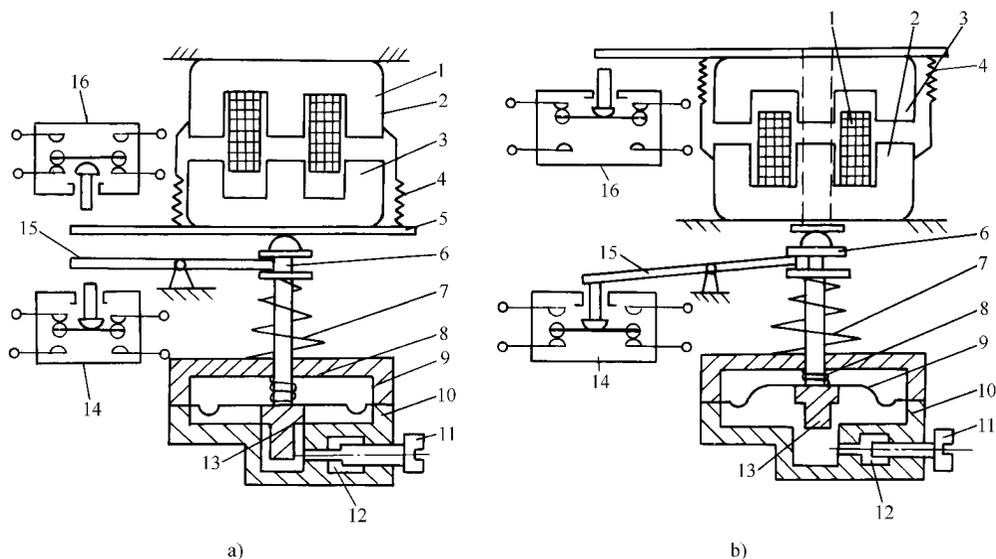


图 5-19 JS7—A 系列时间继电器动作原理

- 1—线圈 2—铁心 3—衔铁 4—反力弹簧 5—推板 6—活塞杆 7—塔形弹簧 8—弱弹簧 9—橡皮模
10—空气室壁 11—调节螺杆 12—进气孔 13—活塞 14、16—微动开关 15—杠杆

3. 热继电器

热继电器是利用电流的热效应原理工作的保护电器，在电路中用作电动机的过载保护。热继电器的外形和内部结构如图 5-20a 和 5-20b 所示。电动机在实际运行中，常遇到过载情

况，若过载不大，时间较短，只要电动机绕组不超过允许温升，这种过载是允许的。但过载时间过长，绕组温升超过了允许值时，将会加剧绕组绝缘老化，缩短电动机的使用年限，严重时甚至会使电动机绕组烧毁。因此，凡电动机长期运行时，都需要对其过载提供保护装置。

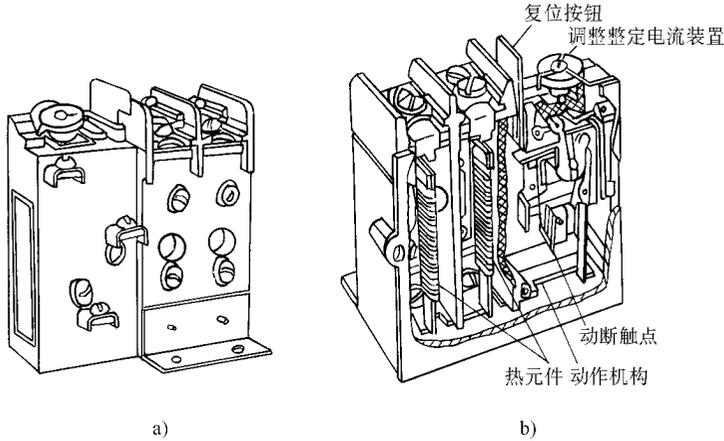


图 5-20 热继电器外形和结构

a) 外形 b) 结构

热继电器种类很多，应用最广的是基于双金属片的热继电器，其主要由热元件、双金属片、触头二部分组成。双金属片是热继电器的感测元件，它由两种不同线膨胀系数的金属用机械辗压而成。其工作原理如图 5-21 所示。

图 5-21 中热元件串接在电动机定子绕组中，电动机绕组电流即为流过热元件的电流，当电动机正常运行时，热元件产生的热量虽能使双金属片弯曲，但还不足以使继电器动作。当电动机过载时，流过热元件的电流增大，热元件产生的热量增加，使双金属片弯曲位移增大，经过一定时间后，双金属片推动导板使继电器触头动作，切断电动机控制电路。

热继电器常用的产品有 JR0、JR2、JR9、JR10、JR15、JR16 等系列。按其热元件的数量分两相和三相结构。其中 JR16 系列具有断相保护。

选用热继电器主要应考虑的因素有：额定电流或热元件的整定电流要求均应大于被保护电路或设备的正常工作电流。作为电动机保护时，要考虑其型号、规格和特性、正常起动时的起动时间和起动电流、负载的性质等。在接线上对星形联结的电动机，可选两相或三相结构的热继电器，对三角形联结的电动机，应选择带断相保护的热继电器。所选用的热继电器的整定电流通常与电动机的额定电流相等。

总之，选用热继电器要注意以下几点：

1) 先由电动机额定电压和额定电流计算出热元件的电流范围，然后选型号及电流等级，

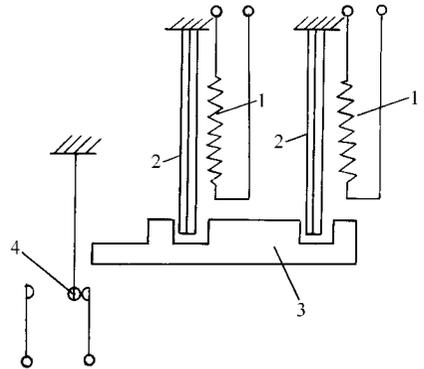


图 5-21 热继电器工作原理

1—热元件 2—双金属片 3—导板
4—继电器触头

例如：电动机额定电流 $I_N = 14.7\text{A}$ ，则可选 JR0—40 型热继电器，因其热元件电流 $I_R = 16\text{A}$ 。工作时，将热元件的动作电流整定在 14.7A 。

2) 要根据热继电器与电动机的安装条件和环境的不同，将热元件电流做适当调整。如高温场合，热元件的电流应放大 $1.05 \sim 1.20$ 倍。

3) 设计成套电气装置时，热继电器应尽量远离发热电器。

4) 通过热继电器的电流与整定电流之比称之为整定电流倍数。其值越大发热越快，动作时间越短。

5) 对于点动、重载起动、频繁正反转及带反接制动等运行的电动机，一般不用热继电器作过载保护。

本章小结

本章主要介绍三相与单相异步电动机的结构、工作原理、异步电动机运行工作的控制电器。异步电动机基本结构是由定子和转子两大部分组成，三相异步电动机定子具有对称分布的三相定子绕组，接入三相交流电后产生旋转磁场，带动转子作旋转运动，转子的转速与旋转磁场的转速和极数有关，转子的旋转方向与旋转磁场的转向一致；低压电器是指工作电压在交流 1000V 或直流 1200V 以下的各种电器，本章逐一介绍了熔断器、低压开关、主令电器、接触器、继电器等的结构和工作原理。

第六章 异步电动机的基本控制电路 及读图办法

电气控制系统图是由许多电气元件按一定要求联接而成的，可表达机床及生产机械电气控制系统的结构、原理等设计意图，便于电气元件和设备的安装、调整、使用和维修。因此，机床电气管理、使用、维修人员，必须掌握电气控制系统图的识图知识。

另外，任何复杂的控制电路，都是由下面比较简单的基本电路（或称基本环节）组合而成的。因此，研究机床电路，首先掌握基本控制电路是十分必要的。

本章主要介绍电气图的基本知识和异步电动机的一些主要基本电路。

第一节 概 述

一、电气图的分类

电气图是指用来指导电气工程和各种电气设备及电气线路的安装、接线、运行、维护、管理和使用的图样。由于电气图描述的对象复杂、应用领域广泛、表达形式多种多样，因此表示一项电气工程或一种电气装置的功能、用途、工作原理和使用方法等方面的电气图有多种，它们以不同的表达方式反映工程问题的不同侧面，它们彼此作用不同，但又有一定的对应关系，有时需要对照起来阅读。按用途和表达形式不同，电气图可分为以下几种。

1. 电气系统图和框图

电气系统图和框图是用符号或带注释的框，概略表示系统或分系统的基本组成，相互关系及其主要特征的图样，它比较集中地反映了所描述工程对象的规模。

2. 电气原理图

又称电路图，是用图形符号按其表示对象的工作顺序进行排列，表现某一具体设备的电气工作原理的图样。其作用是便于详细了解工作原理、指导系统或设备的安装调试与维修使用。电气原理图是电气图的最重要的种类之一，也是识图的难点和重点，本章主要介绍电气原理图。

3. 电器布置图

电器布置图主要是用来表明电气设备上所有电器的实际位置。它主要由机床电气设备布置图、控制柜及控制板、操纵台及悬挂操纵箱、电气设备布置图等组成。这种图样中，机床轮廓线用细实线或双点划线表示，所有可见的需要表示清楚的电气设备均应用实线绘制出简单的外形轮廓。有时，电器布置图和电气安装接线图组合在一起，既起到电气安装接线图的作用，又能清晰地表示出电器的布置情况。

4. 电气安装接线图

电气安装接线图是安装电气设备或检查电路故障的主要依据。电气安装接线图应表示出各电器的分布，同一电器元件的部件都要画在一起。不但要画出控制电器的位置还要画出相互之间的电气连接，不但画出电器控制柜内部的电器之间的电气连接还要画出柜外电器、控

制箱、接线盒在机床上的连接。电气安装接线图中的回路标号是电气设备之间、电器元件之间、导线与导线之间的连接标记，它的文字符号和数字符号应与原理图中的标号相一致。

5. 功能图

功能图是提供绘制电气原理图或其他有关图样的依据，是表示理论的或理想的电路关系而不涉及实现方法的一种图。

6. 电气元件明细表

电气元件明细表是把成套装置，设备中各组成元件（包括电动机）的名称、型号、规格、数量列成表格，供准备材料及维修使用。

二、电气图的一般特点

电气图是一种简图，它不是严格按几何尺寸和绝对位置测绘的，而是用规定的标准符号文字表示系统或设备的组成部分间的关系。

电气图的主要描述对象是电气元件和连接线。连接线可用单线法或多线法表示，两种表示方法在同一张图上可以混用。电气元件在图中可以采用集中表示法、半集中表示法、分开表示法来表示。

集中表示法是把一个元件的各组成部分的图形符号绘在一起的方法。

分开表示法是将同一元件的各组成部分分开布置，有些可以画在主回路，有些在控制回路。半集中表示法介于两种方法之间，在图中将一个元件的某些部分的图形符号分开绘制，并用虚线表示其相互关系。

绘制电气图时一般采用机械制图规定的 8 种基本线条中的四条（见表 6-1）线条的粗细应一致，有时为了区别某些电路或功能，予以突出，可以采用不同粗细，如主电路用粗实线表示，而辅助电路用细实线表示。

表 6-1 图线及其应用

| 序 号 | 图 线 名 称 | 一 般 应 用 |
|-----|---------|-------------------------------------|
| 1 | 实 线 | 基本线、简图主要内容用线、可见轮廓线、可见导线 |
| 2 | 虚 线 | 辅助线、屏蔽线、机械连接线、不可见轮廓线、不可见导线、计划扩展内容用线 |
| 3 | 点划线 | 分界线、结构图框线、分组图框线 |
| 4 | 双点划线 | 辅助图框线 |

三、电气图的图形符号及文字符号

电气系统图中，电气元件的图形符号和文字符号必须有统一的标准。我国在 1990 年以前采用国家科委 1964 年颁布的“电工系统图图形符号”的国家标准（即 GB312—1964）和“电工设备文字符号编制通则”（即 GB315—1964）的规定。近年来，各部门都相应引进了许多国外设备，为了适应新的发展需要，为了便于掌握引进技术，便于国际交流，国家标准局颁布了 GB/T4728.1~4728.13—1984~1999《电气图用图形符号》及 GB/T6988—1997《电气制图》和 GB/T7159—1987《电气技术中的文字符号制订通则》。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。

第二节 基本电气图的绘制原则

一、系统图和框图的绘制原则

系统图和框图用于概略表示系统、分系统、成套装置或设备等的基本组成部分的主要特征及功能关系。其用途是：为进一步编制详细的技术文件提供依据或供分析工作原理、操作维护时参考。系统图和框图原则上没有区别，在实际使用中，通常系统图用于系统或成套装置，框图用于分系统或设备。其绘制原则如下：

- 1) 系统图、框图采用符号或带有注释的框绘制。框内的注释可以采用符号、文字或同时采用符号与文字。
- 2) 系统图和框图均可在不同的层次上绘制，可参照对象逐级分解来划分层次。较高层次的系统图和框图可反映对象的概况；较低层次的系统图和框图可将对象表达得较为详细。
- 3) 系统图、框图的布局应清晰并利于识别过程和信息的流向。
- 4) 系统图、框图上可根据需要加注各种形式的注释和说明。

系统图、框图的图例很多，下面给出一个 6~10kV 高压配电系统电气系统图和直流电动机开环速度控制系统框图供参考，如图 6-1 和图 6-2 所示。

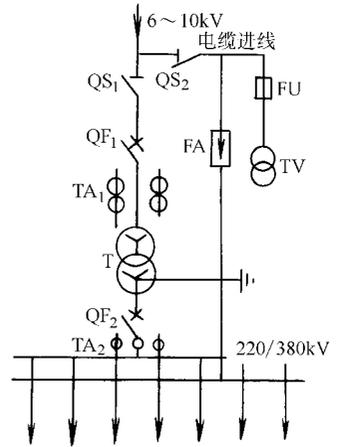


图 6-1 高压配电系统电气系统图

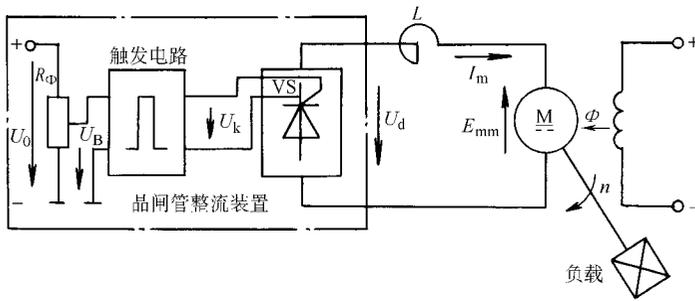


图 6-2 直流电动机开环速度控制系统框图

二、电气原理图的绘制原则

图 6-3 所示为某机床的电气原理图，绘制电气原理图应遵循以下原则：

1) 原理图一般分主电路和辅助电路两部分画出。主电路就是从电源到电动机绕组的大电流通过的路径。辅助电路包括控制回路、照明电路、信号电路及保护电路等，由继电器的线圈和触点、接触器的线圈和辅助触点、按钮、照明灯、控制变压器等电器元件组成。一般主电路用粗实线表示，画在图样的左边或上部；辅助电路用细实线表示，画在图样的右边或下部。

2) 原理图中，各电器元件不画实际的外形图，而采用国家规定的统一标准图形符号，文字符号也要符合国家规定。属于同一电器的线圈和触点，都要用同一文字符号表示。当使

用相同类型电器时，可在文字符号后加注阿拉伯数字序号来区分。

3) 原理图中，各电器元件的导电部件如线圈和触点的位置，应根据便于阅读和分析的原则来安排，绘在它们完成作用的地方。同一电器元件的各个部件可以不画在一起。

4) 原理图中，所有电器的触点，都按没有通电或没有外力作用时的开闭状态画出。如：继电器、接触器的触点，按线圈未通电时的状态画；按钮、行程开关的触点按不受力作用时的状态画；控制器手柄处于零位时的状态画。

5) 原理图中，有直接电联接的交叉导线的连接点，要用黑圆点表示。无直接电联接的交叉导线，交叉处不能画黑圆点。

6) 原理图中，无论是主电路还是辅助电路，各电气元件一般应按动作顺序从上到下，从左到右依次排列，可水平布置或垂直布置。

7) 图面分区时，竖边从上到下用拉丁字母；横边从左到右用阿拉伯数字分别编号。图6-3上方的自然数列是图区横向编号，它是为了便于检索电气线路，方便阅读分析而设的。图区横向编号下方的“电源开关及保护”……等字样，表明它对应的下方元件或电路的功能，以利于理解全电路的工作原理。

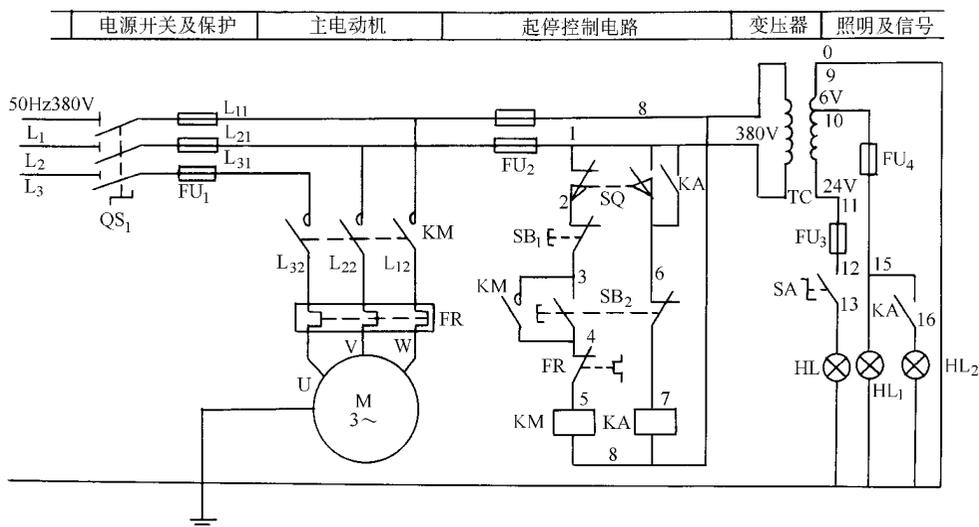


图 6-3 机床电气原理图

三、电气安装接线图的绘制原则

接线图是表示成套装置、设备或装置连接关系，用以进行接线和检查的一种简图。主要用来表明电气控制电路中所有电器、电动机的实际位置，标出各电器、电动机之间的接线关系和接线去向，它为安装电气设备及在电气元件之间进行配线、检修电气故障提供必要的资料。电气安装接线图是根据电器位置布置最合理，联接导线最经济等原则来安排的，一般应根据下列原则绘制：

1) 在安装接线图中，各电器元件均按其在安装底板（或电气控制箱、控制柜）中的实际安装位置绘出。元件所占图面按实际尺寸以统一比例绘制。

2) 一个元件的所有部件画在一起，并且用点划线框起来，即采用集中表示法。有时将多个电器元件用点划线框起来，表示它们是安装在同一个安装底板上的。

3) 安装接线图中各电气元件的图形符号和文字符号必须与原理图一致, 并符合国家标准。

4) 各电气元件上凡是需要接线的部件端子都应绘出并予以编号, 各接线端子的编号必须与原理图的导线编号相一致。

5) 安装底板 (或控制柜、配电盘) 内外的电气元件之间的连线通过接线端子板进行。安装底板 (或控制柜、配电盘) 上有几个接至外电路的引线, 端子板上就应有几个线的接点。

6) 走向相同的相邻导线可以绘成一股线。

图 6-4 为与图 6-3 对应的安装接线图, 上述特点可以从图中对应体会。

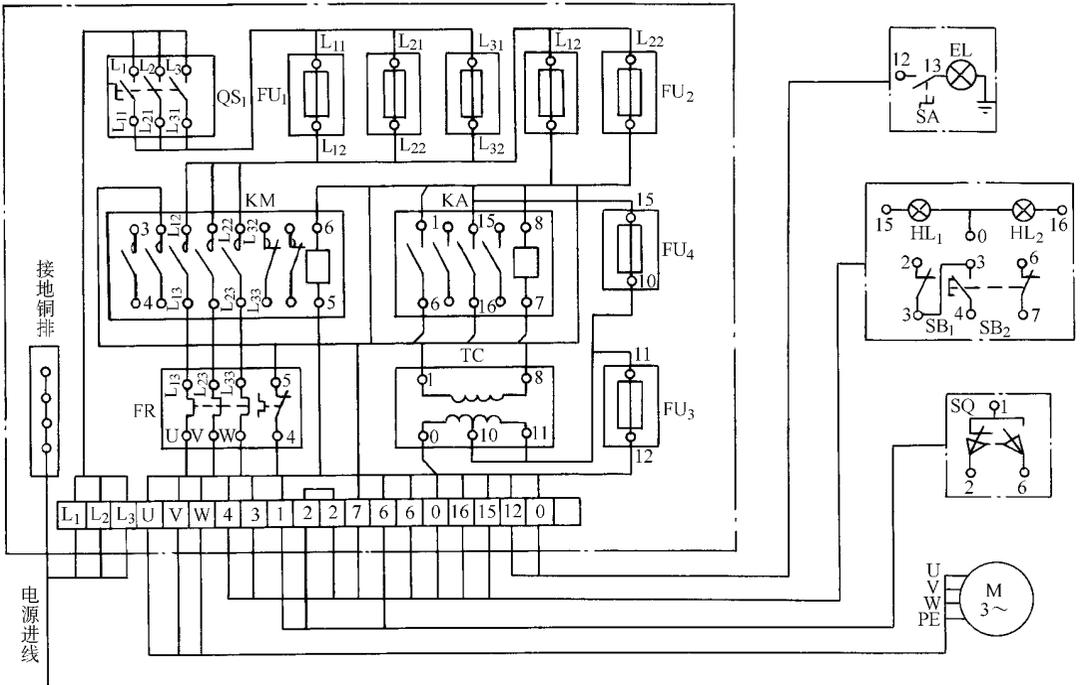


图 6-4 某机床电气安装接线图

第三节 电气图的读图方法

一、读电气图的基本方法

如果对一台设备进行安装、调试、维修或改造, 必须要首先看懂其电气图, 其中最主要的是电气原理图, 下面主要介绍电气原理图的读图方法。

在阅读电气原理图以前, 必须对控制对象有所了解, 尤其对机、液 (或气) 电配合得比较密切的生产机械, 单凭电气线路图往往不能完全看懂其控制原理, 只有了解了有关的机械传动和液压 (或气压) 传动后, 才能搞清全部控制过程。阅读电气原理图的步骤如下:

1. 分析主电路

一般先分析主电路, 一般主电路容易些, 可以看出有几台电动机, 各有什么特点, 是哪

一类的电动机，采用什么方法起动，是否要求正反转，有无调速和制动要求等。

2. 分析控制电路

一般情况下，控制电路较主电路要复杂一些。如果比较简单，根据主电路中各电动机和电磁阀等执行电器的控制要求，逐一找出控制电路中的控制环节即可分析清楚其工作原理。如果比较复杂，一般可以按控制线路分成几部分来分析，这样，“化整为零”分成为一些基本的单元电路，就便于分析。

3. 分析辅助电路

辅助电路中的电源显示，工作状态显示，照明和故障报警等部分，大多由控制电路中的元件控制，所以在分析时，还要对照控制电路进行分析。

4. 分析联锁和保护环节

机床对于安全性和可靠性有很高的要求，为了实现这些要求，除了合理地选择拖动和控制方案外，在控制线路中还设置了一系列电气保护和必要的电气联锁，这些联锁和保护环节必须弄清楚。

5. 总体检查

经过“化整为零”的局部分析：逐步分析了每一个局部电路的工作原理以及各部分之间的控制关系之后，还必须用“集零为整”的方法，检查整个控制线路，看是否有遗漏。特别要从整体角度去进一步检查和理解各控制环节之间的联系，以了解电路中每个电气元件的名称及其作用。

二、读图举例

1. C620—1 型卧式车床电气原理图

图

图 6-5 是机械加工中常用的 C620—1 卧式车床的电气控制线路图，它由主电路、控制电路和照明电路三部分组成。

(1) 主电路 从主电路看，C620—1 型卧式车床有两台笼型异步电动机，即主轴电动机 M_1 和冷却泵电动机 M_2 ，它们都由接触器 KM 直接控制起停，如果不需要冷却泵工作，则可用组合开关 Q_2 将电路关

断。电动机电源为交流 380V，由组合开关 Q_1 引入。主轴电动机由熔断器 FU_1 作短路保护，由热继电器 FR_1 作过载保护；冷却泵电动机由熔断器 FU_2 作短路保护，由热继电器 FR_2 作过载保护。这两台电动机的失压和欠压保护同时由接触器 KM 完成。

(2) 控制电路 该车床的控制电路是一个单方向起、停的典型电路。两个热继电器 FR_1 和 FR_2 的常闭触头串联在控制电路中，无论主轴电动机或冷却泵电动机发生过载，都会切断控制电路，使两台电动机同时停转。 FU_3 是控制电路的熔断器。

(3) 照明电路 照明电路由变压器 T 将 380V 电压变为 36V 安全电压供照明灯 HL 使用。

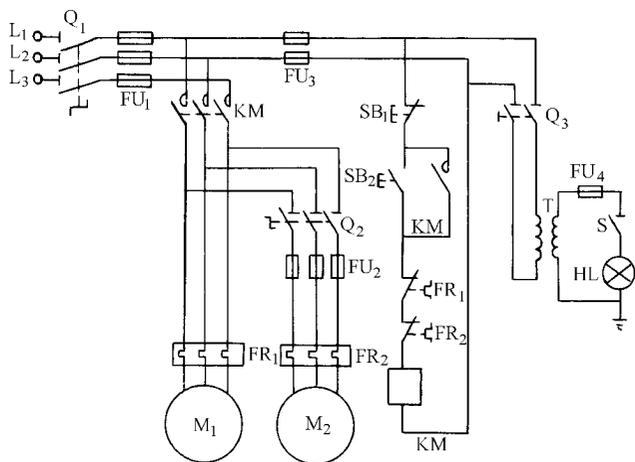


图 6-5 C620—1 卧式车床的电气原理图

Q_3 是照明电路的电源开关， S 是照明灯具开关， FU_4 是照明灯的熔断器。

2. 抽水机的电气原理图

图 6-6 是农村中常用的抽水机电气原理图，它由主电路和控制电路两部分组成。

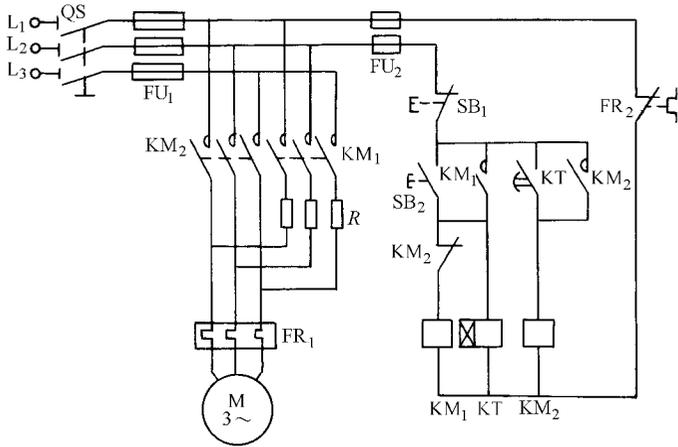


图 6-6 农村中常用的抽水机电气原理图

(1) 主电路 主电路上有一台笼型异步电动机，它是带动水泵的电动机，由接触器 KM_1 、 KM_2 的主触头控制。当 KM_1 的主触头闭合时，通过电阻 R 把电动机与电源接通；当 KM_2 主触头闭合时，电动机直接与电源接通。至于 KM_1 和 KM_2 究竟在什么条件下动作，则应看控制电路。

电动机的短路保护由熔断器 FU_1 ，过载保护由热继电器 FR_1 ，失压和欠压保护由接触器 KM_1 或 KM_2 完成。

(2) 控制电路 控制电路有接触器 KM_1 、 KM_2 和时间继电器 KT 三条回路。接触器 KM_1 和时间继电器 KT 是由按钮 SB_2 控制的，接触器 KM_2 则由时间继电器 KT 的延时闭合常开触头控制。

当合上电源开关 QS ，按下起动按钮 SB_2 时，接触器 KM_1 线圈通电，其主触头闭合，电流经电阻 R 流向电动机，使电动机起动， KM_1 的辅助触头自锁，同时时间继电器的线圈通电，经一定时间延时后，其常开触头 KT 闭合，使接触器 KM_2 线圈通电并自锁， KM_2 主触头闭合把电阻 R 短接，使电动机直接接入电源；同时 KM_2 的常闭触头切断 KM_1 的线圈回路，使 KM_1 的主触头和自锁触头断开，于是时间继电器 KT 也断电释放。

通过以上对电路的分析可知水泵的工作情况：先是 KM_1 通电，电动机串入电阻 R 及起动，这时 R 上有一定电压降，使加到定子绕组端的电压降低，从而限制起动电流使之在允许范围之内。经过一定时间后， KM_2 通电，再将电动机直接与电源接通，使电动机在额定电压下正常运转。电动机进入正常运转后， KM_1 和 KT 都不起作用了，因此让它们断电释放，以节约用电。这是一种简单的降压起动方法，缺点是起动时电阻 R 上要消耗一定电能，所以常用于不经常起动停止的场合。

第四节 三相异步电动机的基本控制线路

工业用生产机械是多种多样的，因而为满足生产机械动作要求的继电器接触器控制线路

也是各式各样的，有的比较复杂，也有的比较简单，但各种控制线路一般都由一些基本控制环节按照一定要求组合而成。三相异步电动机的控制电路大多是由继电器、接触器、主令控制器等电气元件通过导线连接而成，用来控制电动机的起动、制动、反转和调速等。下面以工业生产中最常用的笼型异步电动机为例，说明三相异步电动机的控制电路。

一、三相异步电动机的直接起动控制电路

三相异步电动机起动时，起动电流很大，一般为额定电流的 4~7 倍。如果要起动的电动机的容量较大，强大的起动电流会引起电网的电压降低太大，从而影响其他设备的运行。同时由于电压降低影响了电动机的起动转矩，严重时会导致电动机无法起动。所以，当电动机容量较大时，一般要采用降压起动的方法来限制起动电流。

当电动机的容量较小时，在电动机三相定子绕组上直接施加额定电压的电源进行起动的方法，称为直接起动，又称全电压起动。

直接起动控制电路如图 6-7 所示。该图的左半部为主电路；右半部为控制电路。从三相电源 L_1 、 L_2 、 L_3 经电源开关（隔离开关如闸刀开关等）QS、熔断器 FU、交流接触器主触点 KM 和热继电器 FR 热元件接到三相异步电动机定子绕组的电路是主电路。从线电压 V_{21} 经热继电器 FR 常闭触点、停止按钮 SB_1 、起动按钮 SB_2 和接触器线圈 KM 接到线电压 V_{21} 的电路是控制电路。控制电路中接触器常开辅助触点 KM 与起动按钮开关 SB_2 两端接点并联。

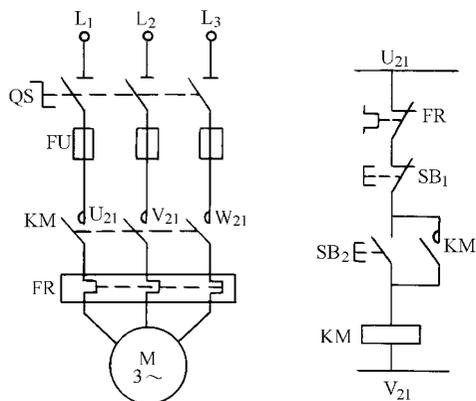
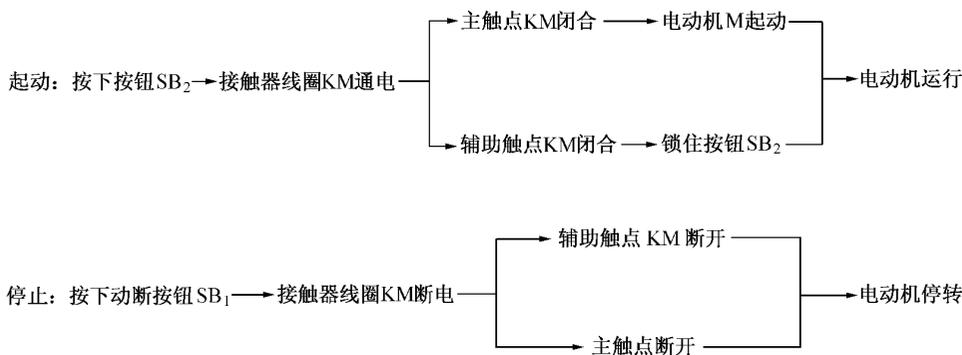


图 6-7 直接起动控制电路

从图中可见，在控制电路中，起动按钮 SB_2 是分断的，只要 SB_2 或与之并联的接触器动合辅助触点 KM 任意一处接通，控制电路即可通电，使接触器线圈通电动作。该电路工作原理可归纳为：



由于交流接触器的主触点和辅助触点是同步动作的，因此，当接触器线圈通电时，常开的辅助触点与常开主触点同时闭合，而常闭的辅助触点同时断开。在起动过程中，常开辅助触点 KM 随主触点一同闭合后，使之与并联的起动按钮开关 SB_2 两端短接，即使松开按钮开

关 SB_2 控制电路也不会断开，电动机起动后，就能保持连续运转。接触器常开辅助触点的这种作用叫做“自锁”。这种具有自锁功能的控制电路叫自锁电路。

如果控制电路中，起动按钮开关 SB_2 两端接点不采用常开辅助触点 KM 与之并联，这样就构成了电动机点动控制电路。只有按住按钮开关 SB_2 时，电动机才能起动运转。而当手松开时，按钮开关 SB_2 分断，接触器线圈 KM 断电，电动机就停止运转。这种控制方式经常在起吊运输设备中如“行车”等采用。

直接起动控制电路中，要使电动机停止运转，只要按一下停止按钮开关 SB_1 ，即使短时切断接触器线圈电路，主触点和常开辅助触点 KM 都恢复分断状态，常开辅助触点 KM 失去“自锁”作用，使电动机 M 停止运转。

电机控制电路的保护功能：

(1) 短路保护 短路时通过熔断器熔体熔断而切断短路电流的通路。熔断器 FU 在一般电路（如照明电路）中，既可作短路保护，也可作过载保护，但在三相异步电动机电路中一般只能作短路保护。因为如果作过载保护，熔断器按电动机的额定电流选取，在电动机起动时的起动电流就能使熔断器熔断，电动机就无法起动了

(2) 过载保护 通过热继电器 FR 和接触器 KM 共同作用来切断电动机的电源。热继电器的热元件 FR 串联在主电路中，热继电器的常闭触点 FR 串联在控制电路中。如果电动机在运行过程中，出现长时间超负载运行或断相运行等故障时，主电路中的电流大大超过额定值，通过热继电器热元件的热效应原理，经过一定的时间，其双金属片弯曲而推动热继电器常闭触头动作，使串联在控制电路中的常闭触点 FR 分断，从而切断接触器 KM 线圈电路，其主触头切断电动机的电源，使电动机 M 断开电源停止运转，避免电动机定子绕组由于过流产生过热而损坏，实现了对电动机的过载保护。

(3) 欠压和失压保护 电路欠压将使电动机电流增大，温升过高，发高热甚至烧毁。因此，欠压保护也是电动机安全运行措施之一。所谓欠压保护，是指电源电压下降到超过允许值时，控制电路动作，分断主电路，对电动机实施保护。在具有自锁功能的电动机直接起动控制电路中，当电源电压低于电动机额定电压的 85% 时，接触器线圈电流减小，磁场减弱，电磁力不足，动铁心在反作用弹簧力下释放，分断主电路，从而对电动机起欠压保护作用。

当电动机在运行过程中，如遇线路故障或突然停电，控制电路失去电压，接触器线圈断电，电磁力消失，动铁心复位，将接触器动合主触点、辅助触点全部分断。即使线路重新供电，电动机也不会起动，必须重新按起动按钮，才能使电动机恢复工作。这种失去电压时，控制电路动作，分断主电路而对电动机所起的保护作用叫失压保护。失压保护的作用是：当电网电压消失（如停电）而又重新恢复供电时，要求电动机或电气设备不能自行起动，以确保操作人员和设备的安全。失压保护是通过接触器 KM 的自锁触头来实现。由于自锁触头 KM 的存在，当电网停电时，接触器释放、恢复供电时，不重新按起动按钮发出命令，电动机就不会自行起动。

电气控制电路应用了接触器后，可实现远距离、频繁的操作；起动和停止只需操作按钮，电源开关 QS 仅用于隔离电源的作用，操作安全；发生过载时用接触器切断电源，不需更换元件；同时又增加了失压保护功能。这是用刀开关直接控制电动机起动与停止的电路无法相比的，因此得到广泛的应用。

二、降压起动控制电路

对容量较大的电动机的起动，为了不造成电网电压的大幅度下降，从而导致电动机起动困难或不能起动，也不影响电网内其他用电设备的正常供电，在生产技术上，多采用降压起动措施。降压起动是指电动机起动时，施加于定子绕组上的电压低于它的额定值，经过一定时间电动机转速升到一定值时，再将定子绕组上的电压提高到额定值，使电动机稳定运行。由于电动机的起动电流与定子绕组的电压成正比，所以利用降压起动的方法，可以减少电动机的起动电流。常用的降压起动方法有：定子电路中串电阻（或串电抗器）的起动；自耦变压器（补偿器）起动；星形—三角形起动及延边三角形起动。

1. 串联电阻（电抗器）起动

在定子电路中串入电阻（或电抗器），起动时用串入的电阻（或电抗器）起降压的作用，限制起动电流，待电动机转速升到一定值时，将电阻（或电抗器）切除，使电动机在额定电压下稳定运行。由于定子电路中串入的电阻（一般为铸铁电阻）要消耗电能，所以大、中型电动机常采用串联电抗器的起动方法。

串联电阻（电抗器）起动控制电路如图 6-8 所示。图中各种电器分别为：电源开关 QS、熔断器 FU、交流接触器 KM_1 和 KM_2 、热继电器 FR、三相异步电动机 M 、时间继电器 KT、停止按钮 SB_1 ，以及起动按钮 SB_2 。

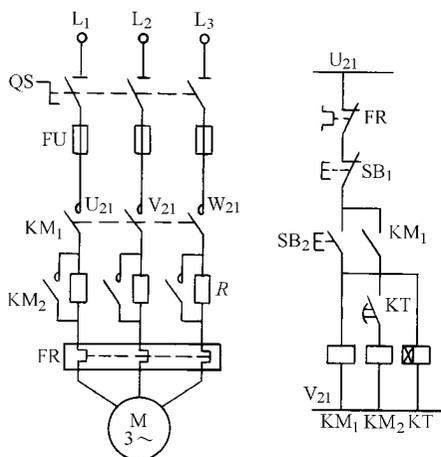


图 6-8 串联电阻起动控制电路

2. 自耦变压器降压起动控制电路

在自耦变压器减压起动的控制线路中，电动机起动电流的限制是依靠自耦变压器的降压作用来实现的。电动机起动的时候，定子绕组得到的电压是自耦变压器的二次电压，一旦起动结束，自耦变压器便被脱开，额定电压通过接触器直接加于定子绕组，电动机进入全电压下正常工作。

图 6-9 为自耦变压器减压起动的控制线路。起动时，合上电源开关，按下起动按钮 SB_2 ，接触器 KM 的线圈和时间继电器 KT 的线圈通电， KT 瞬时动作的常开触头闭合自锁，接触器 KM 的主触头闭合，将电动机定子绕组经自耦变压器接至电源，这时自耦变压器接成星形，电动机减压起动。时间继电器经过一定延时后，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，于是电动机直接接到电网上运行，完成了整个起

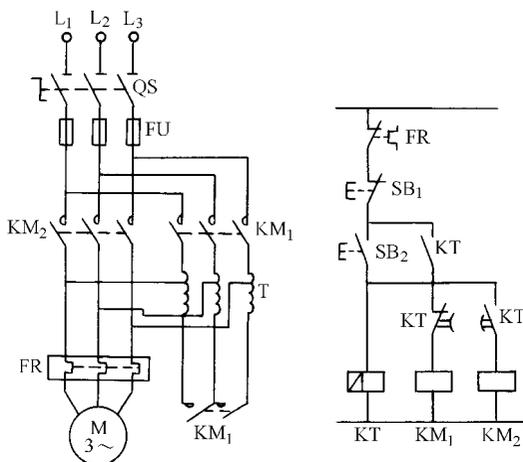


图 6-9 自耦变压器减压起动控制电路

动过程。

自耦变压器减压起动方法适用于起动较大容量的正常工作接成星形或三角形的电动机，起动转矩可以通过改变自耦变压器抽头的连接位置得到改变，它的缺点是自耦变压器价格较贵，而且不允许频繁起动。

一般工厂常用的自耦变压器起动方法是采用成品的补偿降压起动器。这种成品的补偿降压起动器包括手动、自动操作两种形式。手动操作的补偿器有 QJ3、QJ5 等型号，自动操作的补偿器有 XJ01 型和 CJZ 系列等。

3. 星形—三角形起动控制电路

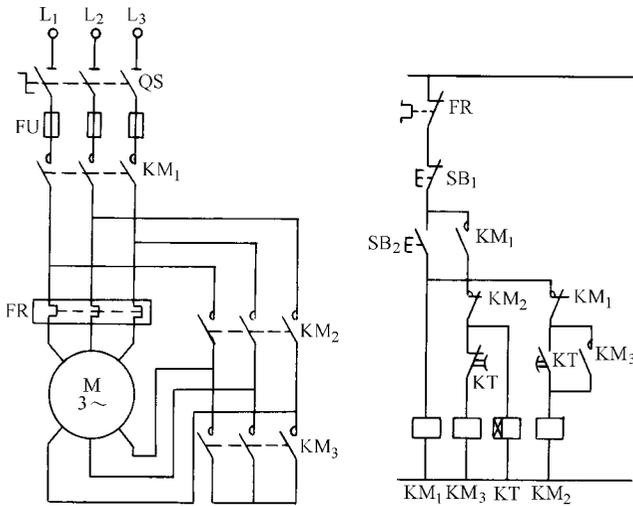
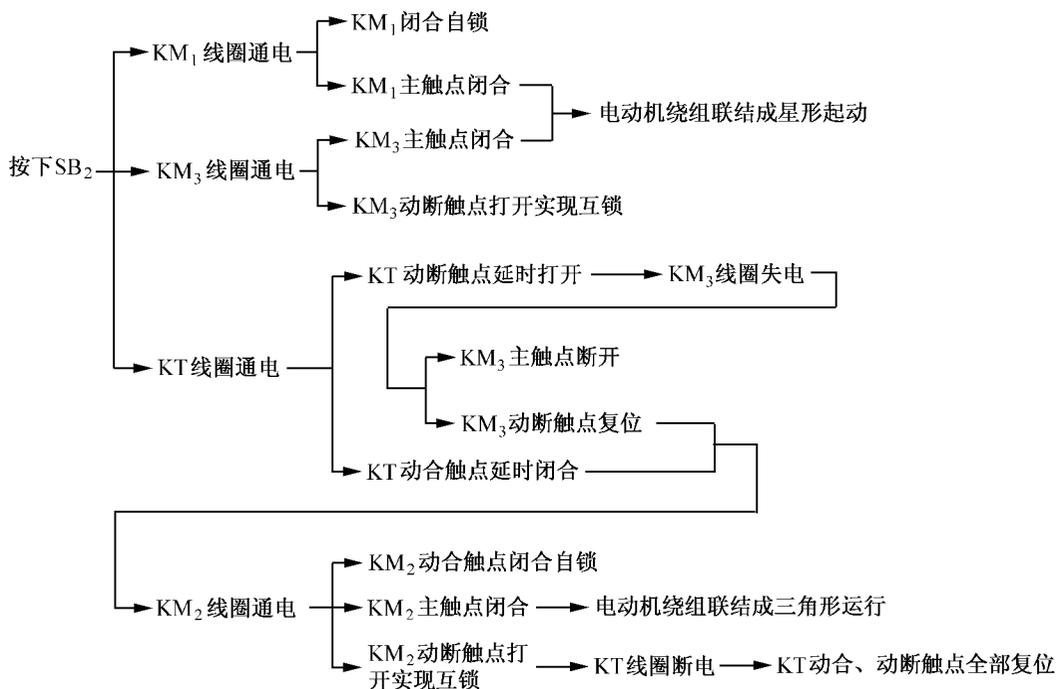


图 6-10 星形—三角形起动控制电路

凡正常运行时三角形联接的，容量较大的电动机，可采用星形—三角形起动法。即起动时定子绕组为星形联接，待转速升高一定程度时，改为三角形联接，直到稳定运行。采用这种方法起动时，可使每相定子绕组所受的电压在起动时降为电路电压的 $1/\sqrt{3}$ ($0.577U$)，其线电流为直接起动时的 $1/3$ 。由于起动电流的减小，起动转矩也相应减小到直接起动的 $1/3$ ，所以这种起动方法只能用于空载或轻载起动的场合。这种起动方法可采用自动星形—三角形起动器直接实现。起动器由按钮、接触器、时间继电器组成，自动星形—三角形起动控制电路，如图 6-10 所示。

在主电路中，除熔断器和热元件外，另由三个接触器的动合主触点构成，其中 KM_1 位于主电路的前段，用于接通和断开主电路，并控制起动接触器 KM_2 和运行接触器 KM_3 电源的通断， KM_2 闭合时使电动机绕组联接成星形，实现降压起动， KM_3 则是在起动结束时闭合，将电动机绕组切换成三角形，实现全压运行。其控制电路是以三个接触器线圈和一个时间继电器线圈为主体，配合按钮和接触器辅助触点形成的四条并联支路，并利用时间继电器的动断触点对起动接触器 KM_2 的控制电路进行联锁。

该电路的起动过程如下：



三、正反转控制电路

在生产实践中，许多设备都要求电动机能正、反两个方向旋转。如金属加工机床的进刀、退刀，建筑施工设备，起重机的提升、下降等。在本章第一节已经介绍，要使电动机改变旋转方向，只要改变通入电动机定子绕组中电流的相序即可实现，通常改变三相电源中任意二相接线的位置即可。

1. 电动机正—停—反控制电路

在小容量、不经常正反转的场合，如台钻，我们可以利用倒顺开关作为改变电源相序的电源开关。该开关有顺、停、倒三个位置。使用倒顺开关来操纵电动机进行正、反转方向变换时，最好在停的位置略微停顿一下，避免定子绕组因电流过大产生过热而损坏。

利用具有“前”、“停”、“后”三个按钮的按钮开关以及二个接触器组成的三相异步电动机的正、反转控制电路如图 6-11 所示。

正转起动：按正转起动按钮 SB_2 ，正转接触器 KM_1 。线圈通电动作，主

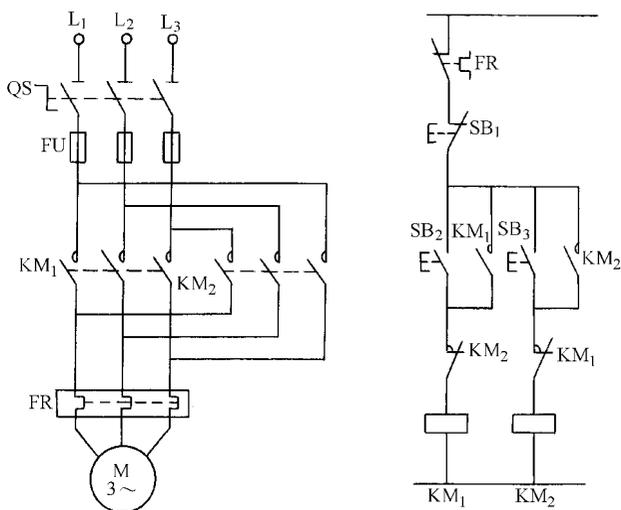


图 6-11 电动机的正—停—反控制电路

触点闭合，使电动机 M 按 U 、 V 、 W 的相序接通电源起动，电动机正转。这时辅助触点中的常开触点 KM_1 闭合自锁 SB_2 ，常闭触点 KM_1 断开，断开反转接触器 KM_2 的线圈通电回路，

防止按下反转按钮 SB_2 时 KM_1 与 KM_2 同时通电而造成电源短路，这种作用叫做“联锁”保护作用。

停止转动：按下停止按钮 SB_2 ，接触器线圈 KM_2 失电，即使电动机停止转动。当从正转—反转或从反转—正转，都必须先使电动机停转后，才能进行改变转向的操作。

反转起动：按反转起动按钮 SB_3 ，反转接触器 KM_2 的线圈通电并自锁，主触点闭合，使电动机按 W、V、U 的相序接通电源起动，电动机反转。 KM_2 的常闭辅助触点串联在 KM_1 线圈通电回路中，亦起联锁保护作用。

利用 KM_1 与 KM_2 的常闭辅助触点分别串联在对方线圈通电回路中，以防止两个接触器同时通电而造成电源两相短路，这种联锁保护作用亦可称为“互锁”。

2. 电动机正—反—停控制电路

在生产实践中为了提高劳动生产率，减少辅助工时，有时需要直接实现正反转的变换控制。电动机正—停—反控制电路操作时不太方便，电动机的转向改变操作中，必须先按下停止按钮 SB_1 。如果把上图中串在线圈 KM_1 与 KM_2 回路中常闭辅助触点 KM_2 与 KM_1 ，换上按钮 SB_2 与 SB_3 的常闭触点，就实现了利用按钮联锁来控制电动机正反转的要求，并且可利用按钮 SB_2 和 SB_3 直接进行正反转控制，不必先按下停止按钮，利用按钮开关常闭先断开，常开后闭合的特点，来保证 KM_1 与 KM_2 不会同时通电，避免短路。实践应用时，为了增加工作可靠性，电动机还可利用按钮、接触器双重联锁的正反转控制电路，如图 6-12 所示。

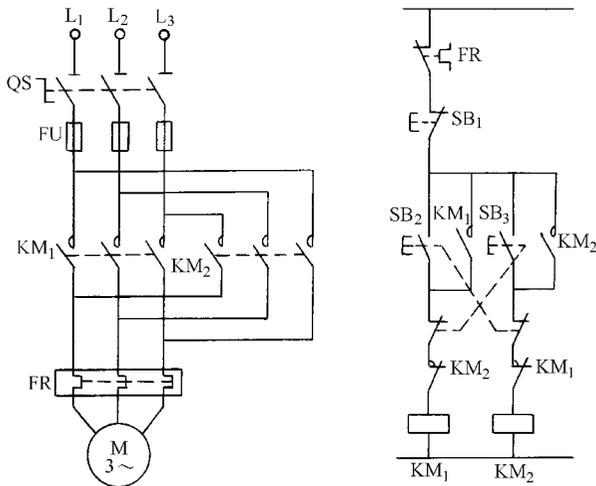


图 6-12 电动机正—反—停控制电路

四、限位控制电路

某提升机械的限位控制电路如图 6-13 所示。与电动机正反转控制电路比较，只是多了两个行程开关的常闭触点 SQ_1 和 SQ_2 。 SQ_1 与正转接触器线圈 KM_1 串联， SQ_2 与反转接触器线圈 KM_2 串联。接通电源后，按下正转按钮 SB_2 ，正转接触器线圈 KM_1 通电，电动机正转并带动提升机械上升，机械上的撞块碰撞行程开关后，使它的常闭触点断开，也将线圈 KM_1 断电，电动机停转，不能继续正转。这时只能按反转按钮 SB_3 ，反转接触器线圈 KM_2 通电，电动机反转带动提升机械离开极限位置向下运动，撞块离开行程开关后， SQ_1 自动复位到闭

合位置。反之，机械下降到极限位置，由于行程开关 SQ_2 的作用，同样切断反转接触器线圈 KM_2 的电源，电动机立即停止转动。只能按正转按钮 SB_2 ，使电动机正转，行程开关 SQ_2 得到复位。如果提升机械运动的位置是在上、下极限位置之间，机械碰不到行程开关，就可以随意控制的电动机正反转运行。

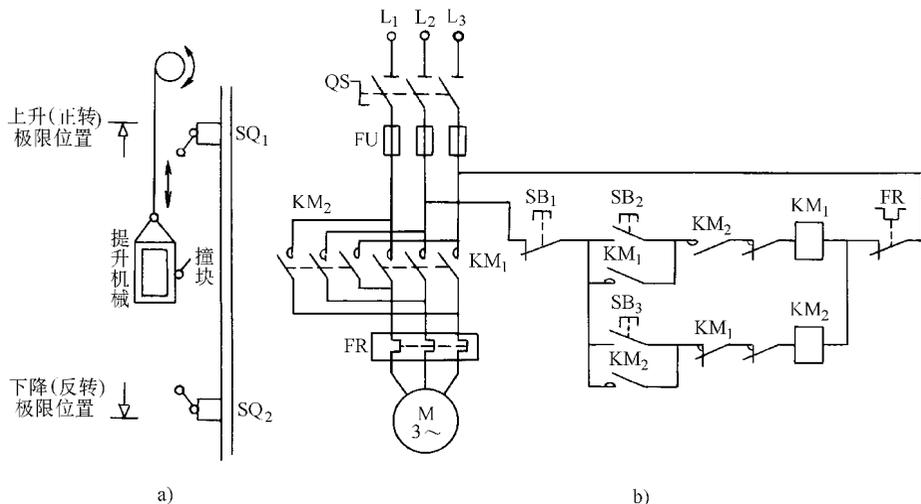


图 6-13 限位控制电路

a) 工作示意图 b) 控制电路

本章小结

电气图是指用来指导电气工程和各种电气设备、电气线路的安装、接线、运行、维护、管理和使用的图样，电气控制系统图是由许多电气元件按一定要求联接而成的，可表达机床及生产机械电气控制系统的结构、原理等设计意图，便于电气元件和设备的安装、调整、使用和维修。本章介绍了电气图的一般特点、电气图的图形符号及文字符号、基本电气图的绘制原则以及电气图的读图方法，并在此基础上，详细介绍了三相异步电动机直接起动控制、降压起动控制、正反转控制等一些基本控制线路。

第七章 万用表的安装、检验和调试

第一节 概 述

万用表是万用电表的简称，在国家标准中称复用表。一般万用表都可以用来测量直流电流、直流电压、电阻等，而且有多种量程。有的万用表还可以测量交流电流、电容、电感、音频电平及晶体三极管的放大倍数等。因此，万用表是一种多用途的电工仪表，在电子和电工测量中被广泛地应用。

万用表是由磁电系测量机构（又称表头）和测量电路相配合来实现各种电量的测量的。它实质上是由多量程的直流电流表、多量程的直流电压表、多量程整流式交流电压表及多量程的欧姆表所组成的，但它们合用一只表头，并在表盘上绘出几条相应被测电量的标尺。根据测量的需要，用转换开关来换接，达到测量的目的。

虽然随着电子技术的发展，数字式万用表以其高性能指标等许多优点而被广泛应用。但是指针式万用表也以其自身独特的优点仍然继续得到广泛使用。数字式万用表与指针式万用表的比较见表 7-1。

表 7-1 数字式万用表与指针式万用表的比较

| 种类 比较项目 | 数字式 | 指针式 |
|-----------------|--------------|-------------|
| 无电源或电源电压不足 | 丧失全部功能 | 丧失欧姆档等少数功能 |
| 电源开关 | 每次用后必关，否则多电费 | 不存在开关和多电费问题 |
| 规则变化趋势 | 不太直观形象 | 非常直观形象 |
| 检测极大电阻 | 困难，读数不稳定 | 容易测出，读数稳定 |
| 是否易受环境或被测对象脉冲干扰 | 相对容易，特别是高阻档 | 相对不容易 |
| 价格 | 较高 | 较低 |

虽然万用表形式繁多，但都是由表头，转换开关（量程开关）和测量电路等三部分组成。下面分别对这三部分的结构和工作原理加以说明。

一、万用表及表头的主要参数

万用表的参数与表头的参数是两个不同的概念。万用表的主要参数有“精度”、“灵敏度”、“电流档内阻”等。“精度”又称“准确度”。按国际 GB776—1976 规定，共有 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 七级，它反映了测量时“基本误差”的大小，是万用表最重要的一个参数。“灵敏度”分交直流两种，均指测量时该档内阻与量程之比。灵敏度的数值越大越好，这是因为用大内阻表测电压时对电路电流分流小，对被测电路的影响也就小，从而测量会更准确。“电流档内阻”是指测电流时该档的内阻。其值越小，串联进电路测量时对被测电路的影响也越小，测量会更准确，表的功耗也小。

万用表表头有两个主要参数。一是内阻 R_g 。它是指表头内线圈及上下两盘游丝直流电

阻之和，一般有表头灵敏度越高电阻越大的基本规律，但灵敏度相同或大致相同时，也可有不同的内阻。万用表的表头内阻多为几百至几千欧；二是灵敏度。它是指表针转到表面上刻度最右端（即满量程）时流过表头的电流值 I_g ，取决于磁钢、线圈、指针、轴承、游丝五个因素。灵敏度多以微安为单位，值越小灵敏度越高，万用表性能越好。

二、表头的构造和工作原理

图 7-1 为万用表常用的表头结构。它和电动机的工作原理一样，当磁铁中间的线圈通电时，这个线圈就会旋转起来。通过的电流越大旋转的力矩越大。线圈轴上装的游丝是有弹性的，当通电线圈旋转时，游丝产生的反作用力矩使线圈就转动到一定位置上停下来。在圈上装一个指针，可以看出偏转角度的大小。通过线圈的电流越大，偏转的角度也越大。指针偏转角度的大小，表示电流的强弱。凡是用这个原理制造的表头，如常见的直流电压表、电流表、万用电表等的表头，都称为磁电式表头。

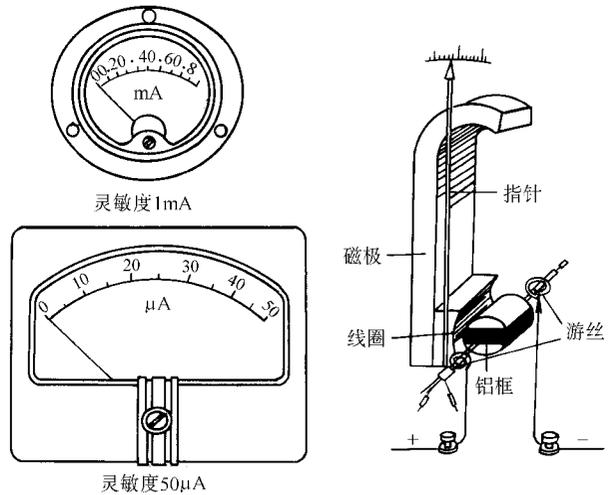
由图 7-1 可以看到磁电式表头机构由固定的磁路系统和可动部分组成。固定部分由永久磁铁、极掌及圆柱形铁心组成；活动部分包括铝框架及绕在铝框上的线圈、前后两根半轴、游丝和指针等。框架的两端分别固定着半轴，半轴的另一端通过轴尖支承于轴承中，指针安装在前半轴上，两游丝也安装在半轴上。圆柱形的铁心是固定不动的，而线框套在它的外面，能自由地转来转去。线框上线圈的两个头，分别接在两根游丝的一头。就是说，每根游丝的一头焊上线圈的一个头，另一头焊到固定架子的焊片上。通过这两头焊片把要测量的电流送进去。

磁电系测量机构，在极掌和圆柱形铁心的气隙中，磁场呈均匀的辐射分布，当被测电流通过引入线圈时，在均匀辐射磁场（如图 7-2a）的作用下，产生恒定电磁力矩，使指针随着线圈一起偏转，电磁力矩与线圈中通过的电流成正比，与偏转位置无关。当活动部分偏转的同时，游丝将产生反作用力矩，反作用力矩与偏转角成正比。当电磁力矩与反作用力矩相等时，活动部分就停留在这一平衡位置，这时的偏转角与被测电流成正比，于是仪表指针指出被测出被测电流的大小。反作用力矩还起着仪表调零机构的作用。

表头的电路符号由图 7-2b 所示。图中 R_g 为动圈电阻， I_g 为表头的满偏转电流。 $U_g = I_g R_g$ 为满偏转电压。 R_g 和 I_g 是表示表头特性的重要参数。 I_g 越小，表头的灵敏度就越高。如 MF—30 表头的 I_g 为 $37.5\mu\text{A}$ ， R_g 为 1750Ω ；MF—27 表头的 I_g 为 $100\mu\text{A}$ ， R_g 为 680Ω 。

表头断点的“+”、“-”的标记则用来判别被测电流及电压的方向或极性。被测电流的实际方向由“+”流向“-”端，或被测电压的实际极性是“+”高于“-”端时，表针顺时针偏转，从而可判定被测电流、电压的方向或极性。

三、转换开关



两种表头的外形

图 7-1 磁电式仪表结构

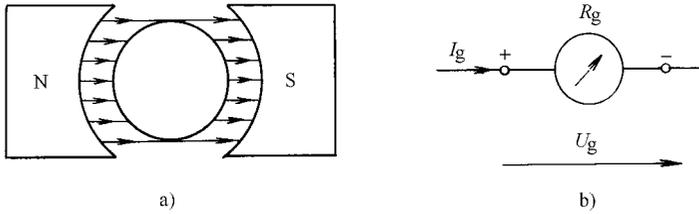


图 7-2 磁电系测量机构

a) 辐射状磁场 b) 表头的电路符号

万用表中各种被测量及量程的选择是靠转换开关来实现的。转换开关里有固定接触点和活动接触点，当固定接触点和活动接触点闭合时可以接通电路。活动接触点通常称为“刀”，固定接触点通常称为“掷”（档位）。万用表中的转换开关通常是多刀多掷的，各刀同步联动，旋转刀的位置可使某些档位的触点与固定连片接通，从而相应地接通有关测量电路。

MF27—2 型万用表采用的是单层三刀十五掷转换开关，如图 7-3 所示，它有十五个固定触点呈圆周形分布，等于十五个档位。每个档位与一定量程的被测量相对应。在圆周内有两排共五个圆弧状固定连片。转轴上装有一块分成三片的活动触点（即三刀）。当转动旋转时，两个刀便在两排固定连片上滑动，另一刀同时与不同档位的固定触点相接触，从而构成了不同的测量电路。

四、万用表的使用原则

使用万用表遵循的原则应从保证人体安全、仪表安全、元件安全和测量准确四方面考虑。

1) 使用万用表时为保证人体安全，必须遵守“单手操作”原则，即单手用握筷姿势握住两笔测量。这样，即使不慎触电，也可避免电流经心脏流向另一支手。测量间隔远的两个点时，可用鳄鱼夹固定一支表笔，单手持另一笔。

2) 保证仪表安全应遵守“临测检查”原则。为保证仪表安全，不但要求使用者对所测对象是哪一类、应用哪一档、怎样插入表笔插头和接入表笔要有清楚的认识，而且要熟悉表的转换开关、旋钮、多个插孔的功能等。更重要的是要在每次临测前坚持检查是否“孔插对、档拨对、笔接对”。其中“孔插对”有两个意思，一是两表笔插头是否插进该插的孔，二是笔与孔的正负不应颠倒。有多个孔的表（如有的孔专测大电流、高压），在表笔插进很少用的孔后，往往容易忘记换回，测时只注意了档次，造成烧表。“档拨对”，是指测电路中的什么参数，就应对应什么档位。若拨错档极易烧表（如错用电流档测电压，低电压档测高电压）。“笔接对”指笔的正负与被测电路的电位高低应相对应（红笔接高电位，黑笔接低电位）。

3) 保证仪表安全还应遵守“测不换档”原则，这是指在测高电压或大电流时不能换档（换档要断开被测物后才能进行）。这是为了防止换档瞬间电弧烧坏转换开关的触点，也是为

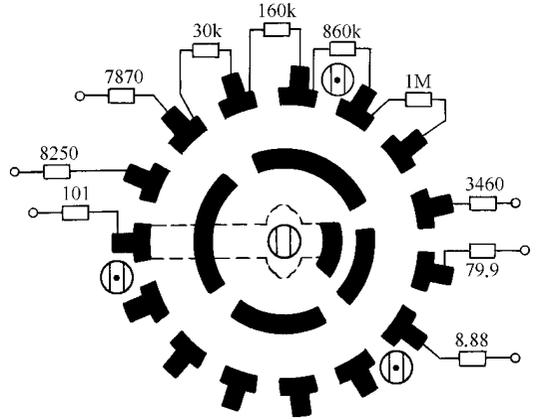


图 7-3 MF27—2 型万用表转换开关

了防止有时旋过头而旋到邻近档而烧表。虽不是每档都必须“测不换挡”，但应养成这个好习惯。

4) 所谓“未知用大”，是指在不知道电流、电压的大致范围时，应用最大的档次测量。这时，如指针偏转很小，再换用较小的档次测量；如发现指针猛偏，则应立即断开。“未知用大”可避免烧表。有条件时，最好在大致估算后再心中有数地进行测量。

5) 对被测元件的安全应遵守“不超极限”原则。

6) “指针偏中”的含义是“指针偏中或偏右”，即所使用的档次应尽量使指针指在刻度中区或中区偏右边的区域，这时测量更准确些。

此外，仪表暂不使用时，应拨在最大交流电压档或短路档，如 500 型表有“.”标志，电池长期不用时应取出。

第二节 万用表的工作原理

一、直流电流测量电路

万用表中直流电流档测量电路是由转换开关切换不同的分流电阻，配合表头使其在不同的档位上具有不同的满刻度电流，组成多量程的直流电流表。分流电阻的接法是将各个分流电阻与表的内阻串接成一个闭合的环路，各档量程的切换是在分流电阻间的抽头上进行。

万用表中的直流电流测量电路，实际上是一个多量程环形分流器。图 7-4 是 MF27—2 万用表的分流电路。图中 R_1 为具有负温度系数的热敏电阻，用来补偿具有正温度系数的动圈电阻 R_g 因受周围温度的变化而产生的影响。此外， R_g 由于受制造工艺的限制，具有离散性，即 R_g 的值近似等于 680Ω ，为此在表头等内阻中串入可调电阻器 $R_{11} = 3.30k\Omega$ ，称为直流校正电位器，用来保证等效表头内阻能调到所需的阻值。 R_{10} 为欧姆表测量电路中的调零电位器， R_{12} 为交流电压测量中的校正电位器。

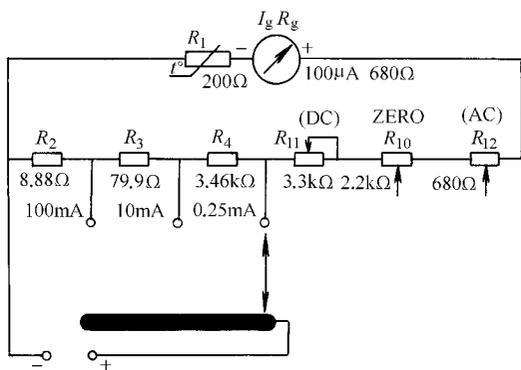


图 7-4 MF27—2 直流电流档的测量电路

R_2, R_3, R_4 是对应 100mA, 10mA, 0.25mA 量程所需的分流电阻。如 100mA 量程的分流电阻为 $R_2 = 8.88\Omega$ ，10mA 量程的分流电阻则为 $R_2 + R_3 = 88.8\Omega$ 。可见被测电流的量程越大则分流电阻值越小。从减小测量误差的角度来讲，分流电阻越小则测量精确度越高。从图中亦可见分流电阻中包含了转换开关中“刀”与“掷”之间形成的两个接触电阻，而转换开关的质量主要表现在相应接触电阻的稳定性上，而且也成为减小分流电阻值的主要制约条件。而且大量程的分流电阻 R_2 (100mA)，亦是小量程分流电阻的一个组成部分，如 10mA 的分流电阻为 $R_2 + R_3$ 。

综上所述，万用表直流电流的环形分流器设计应从大量程算到小量程，对 MF27—2 万用表最大直流电流量程为 100mA，而对应的分流电阻 R_2 应根据转换开关接触电阻的稳定性来考虑，现在选定为 $R_2 = 8.88\Omega$ 。从而可确定环形分流器的环路总电阻

$$R_{\text{总}} = R_2 + R_3 + R_4 + R_{10} + R_{11} + R_{12} + R_g + R_1$$

下面进一步讨论设计计算的步骤和方法。图 7-5 所示为环形分流器的等效电路。 I_{n1} 为所需扩大的电流量程，设 I_{n1} 为 100mA (最大量程)。等效表头电阻 $R'_g = R_3 + R_4 + R_{10} + R_{11} + R_{12} + R_g + R_1$ ； I_g 为表头满度电流， $I_g = 100\mu A$ ； $R_{\text{总}} = R_2 + R_3 + R_4 + R_{10} + R_{11} + R_{12} + R_g + R_1$ ； R_{p1} 为最大电流量程 100mA 的分流电阻，按转换开关接触电阻稳定性的工艺质量选定为 $R_{p1} = R_2 = 8.88\Omega$ 。

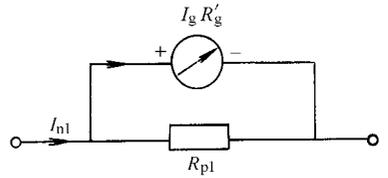


图 7-5 电流表分流电阻等效电路

按分流公式

$$I_g = I_{n1} \cdot \frac{R_{p1}}{R_{p1} + R'_g} = I_{n1} \cdot \frac{R_2}{R_{\text{总}}}$$

则
$$R_{\text{总}} = \frac{I_{n1}}{I_g} \cdot R_2 = \frac{100 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-6}} \times 8.88\Omega = 8.88k\Omega$$

在算出环形分流器总阻值 $R_{\text{总}}$ 后，就可由大量程到小量程分步算出各量程的分流电阻值，如 $I_{n2} = 10mA$ ，则分流电阻

$$R_{p2} = \frac{I_g}{I_{n2}} \cdot R_{\text{总}} = \frac{100 \times 10^{-6}}{10 \times 10^{-3}} \times 8.88 \times 10^3 \Omega = 88.8\Omega$$

而 $R_{p2} = R_2 + R_3$ ，则

$$R_3 = R_{p2} - R_2 = (88.8 - 8.88)\Omega = 79.9\Omega$$

R_4 可按同理算得。

二、直流电压测量电路

万用表的直流电压档是由表头和各档量程的附加电阻串联组成的，由转换开关进行切换，附加电阻的串联方式是将各档的附加电阻串联起来，各低量程的附加电阻是高量程的附加电阻的组成部分，这样各个量程的附加电阻容易得到整数值，而且在某种程度上减少了高量程附加电阻的阻值。图 7-6 直流电压档的等效电路。图 7-7 所示，为 MF27—2 型，万用表的直流电压档的测量电路。

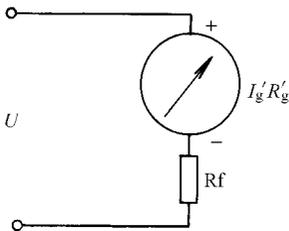


图 7-6 MF27—2 直流电压档的等效电路

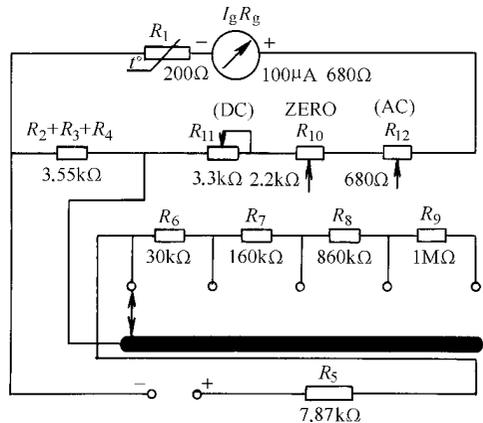


图 7-7 MF27—2 直流电压档的测量电路

从图 7-5a 可见，构成电压表的基本原理是在等效表头中，串联一直附加电阻 R_f ，当端口施加额定电压 U 时，由于 R_f 的作用使流过等效表头的电流恰好等于等效表头的等效满度电流 I_g ，而 $R_f + R'_g$ 则为等效表头的内阻，其关系式分别表达如下

$$I_g = \frac{U_n}{R_f + R'_g}$$

图 7-5b 为 MF27—2 型万用电表的直流电压档的测量电路，等效表头的满度电流 $I_g = 0.25\text{mA}$ ，等效表头内阻 R'_g 为 $R_2 + R_3 + R_4$ （串联）与 $R_{11} + R_{10} + R_{12} + R_g + R_1$ （串联）的并联电阻，即 $R'_g = (R_3 + R_4 + R_4) // (R_{11} + R_{10} + R_g + R_1) = 2.13\text{k}\Omega$ ，而电阻 R_5 、 R_6 、 R_7 、 R_8 、 R_9 是对应直流电压 2.5V、10V、50V、250V、500V 档的附加降压电阻。而且，小量程的附加电阻是大量程附加电阻的组成部分。因此，设计计算的步骤是由小量程到大量程逐级进行，现设计举例如下：

对应直流电压 2.5V 档，即计算当 $U_{n1} = 2.5\text{V}$ 时电阻 $R_{n1} = R_5$ 的值。

由 $I_g = 0.25\text{mA}$ ； $R'_g = 2.13\text{k}\Omega$

根据关系式
$$I_g = \frac{U_{n1}}{R_{n1} + R'_g}$$

可得
$$R_{n1} = \frac{U_{n1}}{I_g} - R'_g = \frac{2.5\text{V}}{0.25\text{mA}} - 2.13\text{k}\Omega = 7.87\text{k}\Omega$$

同理计算 $U_{n2} = 10\text{V}$ 时， R_6 的值

$$R_{n2} = \frac{U_{n2}}{I_g} - R'_g = \frac{10\text{V}}{0.25\text{mA}} - 2.13\text{k}\Omega = 37.87\text{k}\Omega$$

$$R_{n2} = R_5 + R_6$$

$$R_6 = R_{n2} - R_5 = 30\text{k}\Omega$$

三、交流电压测量电路

由于磁电系测量机构只适用于测量直流电压。当被测电压随时间变化时，电磁力矩也是随时间变化的，但是表头动圈的机械惯性较大，所以表头活动部分的偏转角只与电磁力矩的平均值成正比。

由于正弦交流电压的平均值为零，所以测量交流时必须经过整流。万用表一般采用半波整流电路如图 7-8 所示。其中 VD_1 为整流二极管， VD_2 为保护二极管。

因为表头有极性区别，在测量交流电压时附加两个整流二极管 VD_1 和 VD_2 ，当电压正半周期时，电流由万用表正端流入，二极管 VD_1 由于受反压而不通，所以电流的一部分经过表头和二极管 VD_2 ，一部分经过分流器和 VD_1 。然后经过倍压电阻由负端输出。当电压负半周时，电流由负端经过倍压电阻和 VD_1 从正端流出，电流不经过表头，即通过表头的电流是个单方向的脉动电流，此电流的平均值与交流有效值成正比，而测量机构的可动部分的偏转角又和脉动电流的平均值成正比，所以标尺可以按照交流电压的有效值刻度。由于正弦交流电压都用有效值表示，而半波整流后的平均值与正弦电压有效值之间的关系

$$U_{\text{半波平均}} = \frac{1}{2.2} U_{\text{有效}}$$

这就是说，在测量交流电压时，拟共用直流电压测量时的降压电阻（MF27—2 万用表就

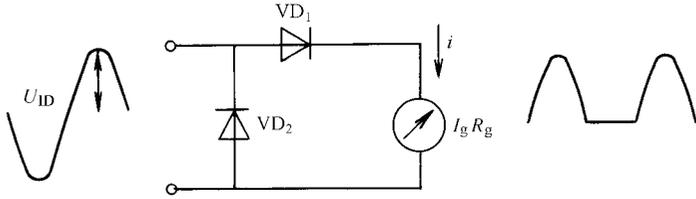


图 7-8 万用表半波整流电路

是如此), 则必须提高等效表头的灵敏度。为此, 在 MF27—2 万用表中半波整流电压, 由 R_{12} 的活动接点引入, 从而提高等效表头的灵敏度。而且, MF27—2 万用表的交流电压量程与测直流电压时相同共用一套刻度。只是在测量交流低电压时 (2.5V 档), 考虑到整流二极管死区的影响, 其刻度特性与直流电压不同 (用红色标记)。

图 7-9 为 MF27—2 交流电压档的测量电路。为了调试方便, R_{12} 采用可调电位器, 在交流电压校正时, 可调 R_{12} 使其灵敏度符合测量要求, 故 R_{12} 亦称交流 (AC) 校正电位器。

四、电阻测量电路

测量电阻的仪表亦称欧姆表。万用表中电阻测量电路就是一个多档的欧姆表电路。电阻是无源元件, 所以测量电阻的电路中必须有一个恒压电源 E , 如图 7-10 所示。若接上待测电阻 R_x , 可得流过表头的电流

$$I = \frac{E}{R + R_g + R_x}$$

由上式可知, 当 E 不变, 则 I 与 R_x 的值一一对应。因此, 可由表头偏转大小来确定 R_x 的值。若 $R_x = 0$ 则 I 最大, 其可能的指示值就是表头满度电流 I_g , 为此串入限流电阻 R , 使 $R_x = 0$ 时 I 恰等于 I_g 。

由于, 磁电系仪表表针的偏转角与流过表头的电流成正比, 而被测电流又与被测电阻 R_x 的大小有关, 所以指针偏转角与被测电阻 R_x 也有相应的关系, 而电流与被测电阻之间不是简单的正比关系, 所以被测电阻 R_x 的值与偏转角也不成正比, 因此电阻档的刻度是不均匀的。

在实际使用过程中, 作为恒压源的电池电压从 1.5V 可能会下降到 1.2V 以下, 此时如 $R_x = 0$, 电流可能达不到满度值。为了达到零值校正的目的。方法之一就是减小限流电阻值, 但在一般万用表中都是靠改变等效表头的灵敏度来达到零值校正的目的, 如图中 R_{10} 即为调零电位器。

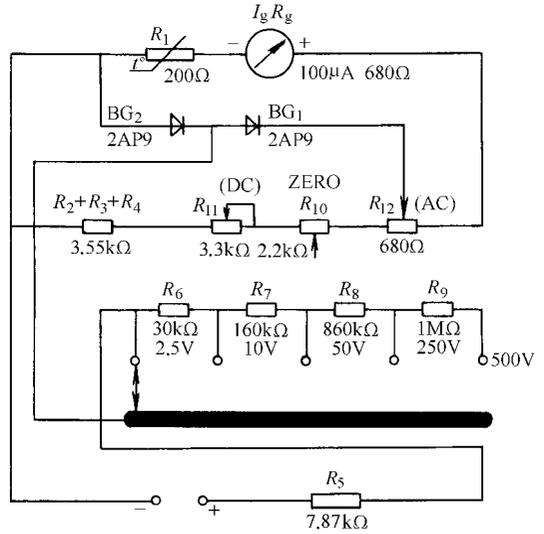


图 7-9 MF27—2 交流电压档的测量电路

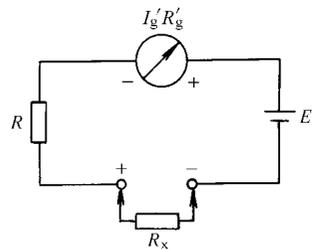


图 7-10 欧姆表原理图

图 7-7 从“+”、“-”两端看进去,可得欧姆表的总内阻 $R_0 = R + R'_x$, R_0 又称为中值电阻。因为当 $R_x = 0$ 时,流过表头的电流是满度偏转电流 $I_x = E/R_0$,则当 $R_x = R_0$ 时,流过表头的电流

$$I = \frac{E}{R_0 + R_x} = \frac{1}{2} I_g$$

此时,电表指针的偏转为满偏转的一般,指在刻度盘的正中。如 MF27—2 的欧姆表电路具有两种倍率。

$R_x 10\Omega$ 档 中值电阻为 100Ω

$R_x 1k\Omega$ 档 中值电阻为 $10k\Omega$

倍率与中值电阻之比称为相对中值,如 MF27 其相对中值为 10。MF30 万用表相对中值为 26,相对中值越大,刻度越均匀,精度亦高。但要求相对中值增大,则所用的表头灵敏度亦必须提高,所以相对中值的高低,可作为评价万用表质量好坏的一个指标,如 MF30 万用表其相对中值为 26,表头的灵敏度则为 $37.5\mu A$ 。

图 7-11 为 MF27—2 欧姆档的测量电路。由图 7-11 在 $R_x 1k\Omega$ 量程上可见,调零电位器 R_{10} ,其作用是通过改变等效表头灵敏度来实现调零(亦称零值校正)。 R_{13} 则为限流电阻,而 R_{13} 和等效表头内阻 R'_g 串联,其阻值为 $10k\Omega$,形成中值电阻。在 $R_x 10$ 档时, R_{10} 仍起调零作用,则主要是起限流作用,而并联的 R_{14} 约等于 101Ω ,则起中值电阻的作用。

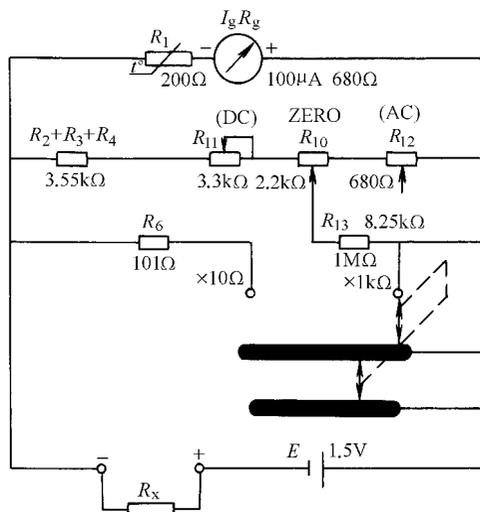


图 7-11 MF27—2 欧姆档的测量电路

第三节 万用表的安装与调试

万用表的安装步骤如下:

- 1) 将转换开关上的元器件焊好。
- 2) 按布线图先连通直流电流测量电路,并检查质量和调整直流校正电位器使其符合测量误差的要求。
- 3) 按直流电压、交流电压、欧姆表次序分步连通并调试检查。

万用表的原理图见图 7-12。

下面以直流电流测量电路为例,介绍用万用表为检查工具如何判断联结电路正确与否。

选好万用表欧姆档的量程如,测“-”端,到转换开关第一掷的电阻应为 8.88Ω ,到转换开关的第二掷的电阻应为 88.8Ω ,到转换开关的第三掷的电阻应为 2.13Ω 左右。如此时,测出电阻接近 3.46Ω ,则说明环形分流电路没有形成闭路,如开路点在 R_2 、 R_3 、 R_4 分流电阻部分,则万用表在通电测试时,表现为超程。因为没有分流作用。如开路点在其他地方则

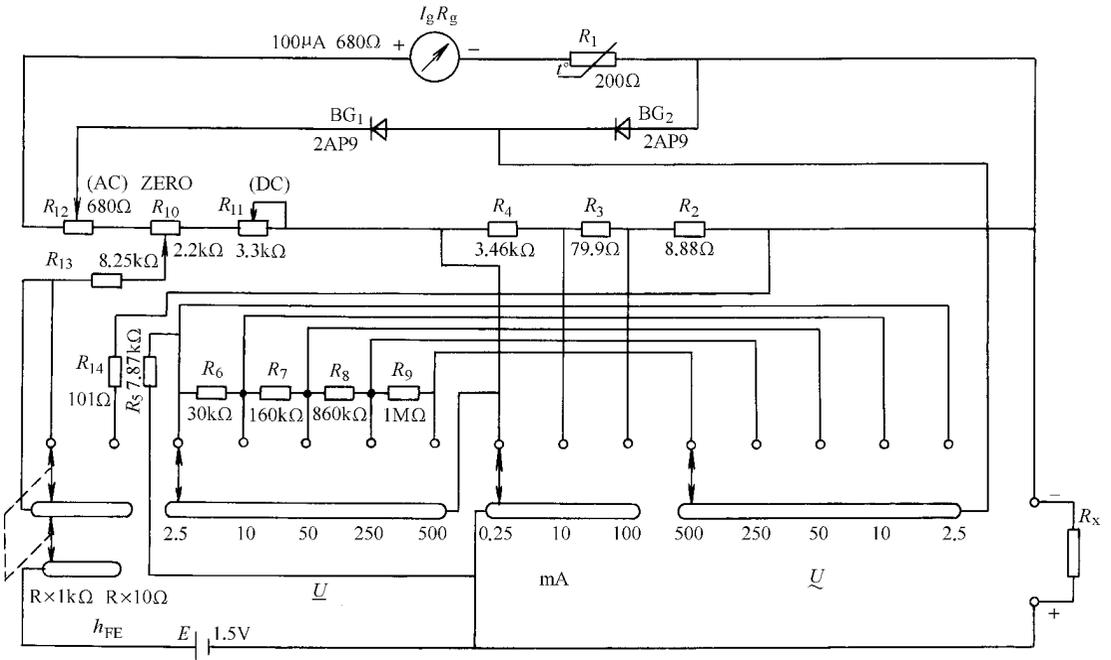


图 7-12 MF27—2 型万用表的原理图

万用表因表头不通而不偏转。

本章小结

万用表是由表头、转换开关和测量电路三部分组成。万用表是由磁电系测量机构（又称表头）和测量电路相配合来实现各种电量的测量的。万用表中各种被测量及量程的选择是靠转换开关来实现的。本章在对直流测量电路、交流电压测量电路、直流电压测量电路以及电阻测量电路作了较为详细地介绍的基础上，说明了如何根据万用表的原理图绘制其安装接线图并据此进行万用表的安装与调试的具体步骤。

第八章 常用低压电器的分类、用途及选用原则

第一节 电力系统简介

一、电力系统的组成

电力系统是由发电、变电、输电、配电和用电这几个方面组成的，电力系统示意如图 8-1 所示。电力系统具有很大的优越性：如能源变换灵活、供电可靠、负荷分配合理、设备利用率高。区域性电力系统的电压一般为 110kV、220kV、330kV 及 500kV 等；地区性电力系统的电压一般为 35kV、110kV 及 220kV 等；用户变压器的供电电压一般为 6kV、10kV 及 110kV 等；用电设备的电压一般为 380V/220V 以及 3kV 和 6kV 等。

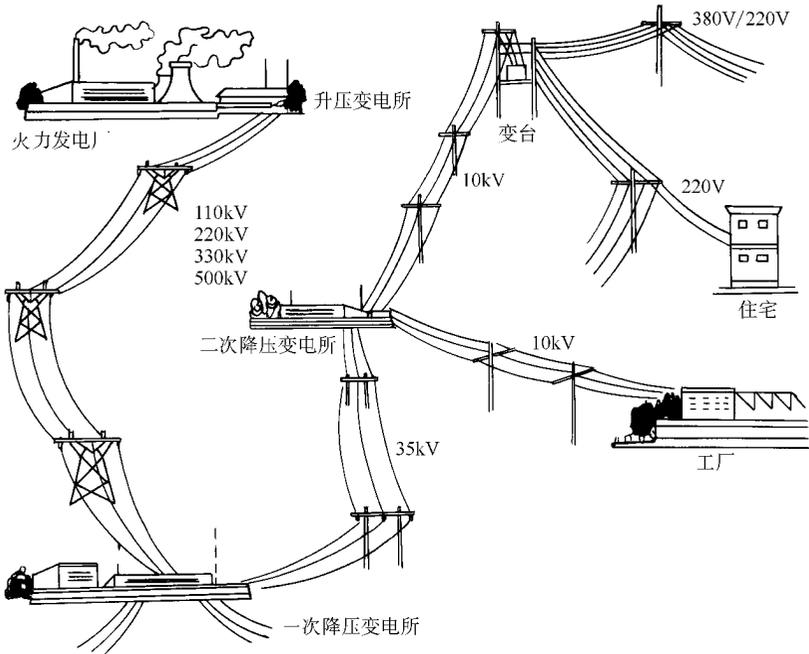


图 8-1 电力系统示意图

1. 发电厂

发电厂是将其他形式的能量（如热能、水位能、风能、原子能等）转成电能，按其转换的能源不同，发电厂可分为热力（火力）发电厂、水力发电厂、原子能发电厂等等。热力发电厂在我国主要以燃煤为动力，通过锅炉产生高压蒸汽来推动汽轮机，再带动发电机工作，通常称这种发电机为汽轮发电机。热电厂最好建在燃料产地和交通方便的地方，以减少燃料的运输；同时它也需要大量的水，所以应建在水源充沛的地方。水力发电厂的水轮机依靠水力推动带动发电机，通常建立在河流，峡谷及水库旁边，例如正在建造的三峡水电站。水力发电厂的发电成本要比热力发电厂低得多，而且可以节约许多燃料。原子能发电基本上与热

力发电相同，只是以原子反应堆代替了燃煤锅炉，以少量的“原子燃料”代替了巨量的煤炭。

2. 输电线路

由于大型发电厂一般都建立在能源蕴藏地，而大城市及大工矿企业等用户可能离这些地方很远，所以一般大中型发电厂发出的电能都要经过升压变压器变压，由输电线路送至用电地区，再经过降压变压器降压后接入用户，构成电能的生产、输送、分配、消费的完整过程。发电厂输送三相总功率为

$$S = \sqrt{3} UI$$

由此式可知，如果输送的总功率 S 不变，则输电线路的电压 U 越高，线路的电流 I 就越小。这样就可减小输电导线的截面，减少线路电压降和电能的损耗，从而提高输送电能的经济性。为此就需要将发电厂生产的电能经变压器升压（如 110kV、220kV、330kV、500kV 等）后，再由高压输电线路输送到用电地区。

3. 变电所

为考虑经济性，发电机的电压一般为 6kV 或 10kV，而用电设备的电压一般为 380/220V（大型设备也有采用 3kV 和 6kV）。所以发电厂出来的电压要经过变压器升高后远距离输送到用电地区，再经过用电地区的变压器降低电压后分配到各用户。由变压器或其他电能转换机、配电设备、操作设备及辅助设备等组成的变配电装置的场所，称为变电所。变电所是联系发电厂和用户的中间环节，起着变换和分配电能的作用。变电所根据它在电力系统中的地位，可以分为枢纽变电所、中间变电所、地区变电所、终端变电所和用户变电所等。

4. 配电系统

配电系统有时也称供电系统，它是将高电压变成低电压，再经重新分配后直接供给用电设备用电。一般多采用 380/220V 三相四线制低压供电系统，既可供三相负荷（如电动机等），也可供单相负荷（如照明，家用电器等）；如是高压电动机则由高压母线直接供电。

5. 电力用户

电力用户又叫电力负荷，是指一切消耗电能的用电设备。它们有工业上的电动机、电炉、电焊，农业上的电力灌溉、电力照明等。目前我国各类电能用户的用电量占总电量的百分比为：工业 72.9%，农业 13.7%，生活 7.8%，市政及商业 4.4%。可见工业是电力系统中最大的电能用户。随着现代化的到来，家用电器增加，生活用电及市政商业用电的比例将会上升。

现实中，各电厂并不是孤立的向用户供电，而是将各类电厂的发电机、变电所的变压器、输电线路、配电设备以及电能用户等联系起来，组成一个整体，称为电力系统。组成这样的电力系统具有以下优点：

1) 不会因个别发电机故障而导致用户停电，并可有计划地进行定期大检修，以确保发电机的安全运行，从而提高供电的可靠性。

2) 合理调配各发电厂的负荷，以便根据季节不同，充分发挥水电和火电的作用，节省燃料；并可使发电厂的负荷变化减少，效率提高；还可减少线路损耗，实现最经济的运行。

3) 提高设备利用率。因为将发电、供电设备联成一个系统，使在同系统内的设备可以互为备用，这比电厂独立供电可大大减少备用设备的容量，因而节省了大量的设备投资。

二、一次电路与二次电路

变配电所中担负输送和分配电能任务的电路，一般称为一次电路，或称主电路。一次线路中的所有电气设备，称为一次设备或一次元件。例如各种开关电路、电力变压器、母线、电力电缆、高压电容器等电气设备。凡用来控制、指示、测量和保护一次设备运行的电路，称为二次电路或二次回路，二次回路通常接在互感器二次侧。二次回路中的所有电气设备，称为二次设备或二次元件。例如继电保护装置、自动装置、控制装置、信号装置、测量仪表装置。避雷器虽然也属一种保护设备，但它直接接在一次电路中，也归在一次设备之列。同样地，电流互感器和电压互感器也属一次设备。

三、功率因数

由于异步电动机和变压器等感性用电负载的大量使用，供电系统除供给有功功率外，还需供给大量的无功功率，以致功率因数 $\cos\alpha$ 降低，发电、配电设备的能力不能充分利用，输电线路中的电压和电能损耗增加。

我国电力部门的《供电规则》规定，“用户必须提高自然力率（力率即功率因数）。高压供电的用户必须保证力率在 0.9 以上，其他用户应保证在 0.85 以上。经过努力达不到以上规定者，应安装必要的补偿设备”。

电容器并联在电网中具有补偿无功功率的作用。如图 8-2 所示，电量 I_C 与 I_L 正好相反，从而抵消一部分感性电流，则功率因数角 α' 较补偿前的 α 角减小， $\cos\alpha$ 得到提高，且可看到其输入电流 I 也较 I 减小了。

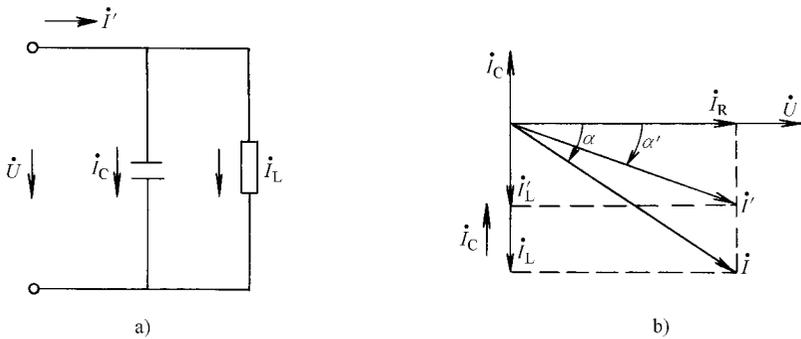


图 8-2 并联电容补偿接线图

a) 接线图 b) 矢量图

在变电所中通常设有装置移相电容器组的电容柜，采用补偿方式来提高功率因数。变电所中装有功率因数表，其读数应在 0.9 ~ 1 范围内，当功率因数小于 0.9 时，合上控制开关即可将电容器柜投入电网进行补偿。

四、保护装置

在供电系统中装有一定数量和不同类型的保护装置，包括：熔断器保护、自动开关保护和继电器保护。

熔断器保护和自动开关保护都能在过负荷和短路时动作，断开电路，以切除过负荷和短路部分，而使系统的其他部分恢复正常运行。继电保护装置在过负荷时动作，一般只发出报警信号，以便及时处理；而在短路时动作，就要使相应的高压断路器跳闸，将故障部分切除。对保护装置有下列基本要求：

(1) 选择性 当供电系统发生故障时, 只使离故障点最近的保护装置动作, 切除故障, 而供电系统的其他部分仍然正常运行。如果供电系统发生故障时, 离故障点近的保护装置不动作 (拒动作), 而离故障点远的保护装置动作 (越级动作), 则为“失去选择性”。

(2) 速动性 为了防止故障扩大, 减轻其危害程度, 并提高电力系统运行的稳定性, 在系统发生故障时, 保护装置应尽快地动作, 切除故障。

(3) 可靠性 保护装置在应该动作时, 就应该动作, 不应该拒动作; 而在不应该动作时, 就不应误动作。

(4) 灵敏度 这是表征保护装置对其保护区内故障和不正常工作状态反应能力的一个参数。如果保护装置对其保护区内极轻微故障都能及时地反应动作, 就说明保护装置的灵敏度高。

第二节 常见电力设备和检测设备

一、高压电力设备

1. 户外高压跌落式熔断器

户外高压跌落式熔断器如图 8-3 所示, 用作 10kV 线和变压器的短路保护, 在一定条件下, 可直接用高压绝缘钩棒 (俗称令克棒) 来操作熔管的分合, 以断开或接通小容量的空载变压器、空载线路和小负荷电流, 操作时不带 (较大) 负荷。当线路发生故障时, 熔丝熔断, 熔管回转跌落, 可见明显断开间隙。

2. 高压开关柜

高压开关柜是将有关一、二次电力设备按一定要求成套组装的一种高压配电装置。主要

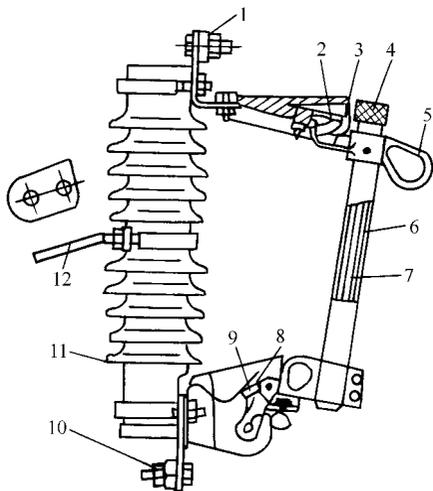


图 8-3 RW4—10 型跌落式熔断器

- 1—上接线端 2—上静触头 3—上动触头
4—管帽 5—操作环 6—熔管 7—熔丝
8—下动触头 9—下静触头 10—下接线端
11—绝缘子 12—固定安装板

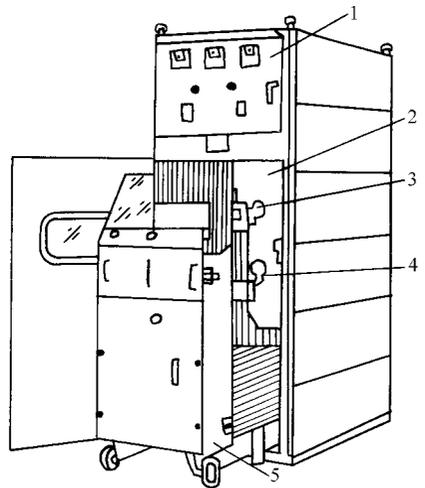


图 8-4 GC—1 型高压开关柜

- 1—仪表门 2—手车室 3—上动触头
4—下动触头 5—断路器手车

用来控制和保护电力变压器与高压线路。高压开关柜有固定式和手车式两大类，现在配电房大都用手车式，其特点是高压断路器等主要电气设备装在可以拉出和推入的手车上。需要对其检修时，可随时拉出，然后推入同类手车即可恢复供电，具有检修方便而安全，大大缩短停电时间等优点。图 8-4 为高压开关柜的外形图。

3. 高压负荷开关

高压负荷开关是用在高压装置中通断负荷电流，也能在过负荷的情况下（装有热脱扣器时）自动跳闸。其结构如图 8-5 所示。它能通断负荷电流或过负荷电流，具有简单的灭弧装置。但它不能断开短路电流，线路的短路故障只有借助与它串联的高压熔断器来予以切除。当负荷开关断开时，具有明显可见的断开间隙，可起隔离电源保证安全检修的作用。

4. 高压隔离开关

高压隔离开关是用来隔离高压电源，以保证其他电气设备的安全检修。由于它没有专门的灭弧装置，所以不能带负荷操作。但是可用来通断一定的小电流，如激磁电流不超过 2A 的空载变压器、电容电流不超过 5A 的空载电路以及电压互感器和避雷器回路等。因此，高压隔离开关在结构上要有明显可见的断开间隙，而且断开间隙的绝缘及相间绝缘都是足够可靠的，能够充分保证人身和设备的安全。其结构如图 8-6 所示。

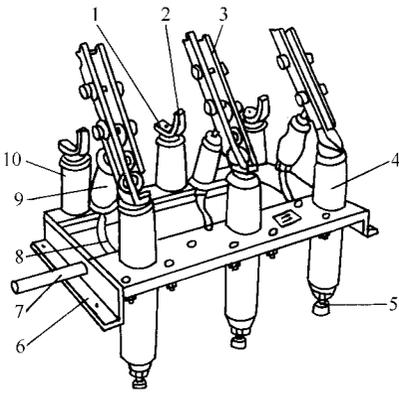


图 8-5 高压负荷开关

- 1—上接线端 2—静触头 3—刀闸
4—套管绝缘子 5—下接线端
6—框架 7—转轴 8—拐臂
9—升降绝缘子 10—支柱绝缘子

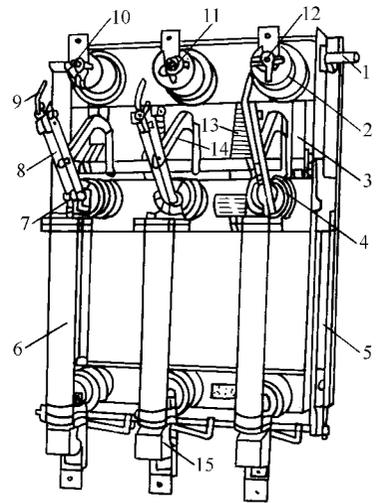


图 8-6 高压隔离开关

- 1—主轴 2—上绝缘子兼气缸 3—连杆
4—下绝缘子 5—框架 6—高压熔断器
7—下触座 8—闸刀 9—弧动触头
10—灭弧喷嘴 11—主静触头
12—上触座 13—断路器弹簧
14—绝缘拉杆 15—热脱扣器

二、变压器

变压器是利用电磁感应的原理，将某一数值的交流电压转换成频率相同的另一种或几种不同数值交流电压的电气设备。电力变压器、电压互感器、电流互感器是电力系统中的常见设备。

1. 电力变压器

电力变压器是电力系统中的关键设备之一，有单相和三相之分，容量从几千伏安到数十万伏安。按其作用可分为升压变压器，降压变压器和配电变压器。

电力变压器的用途：

(1) 输电方面 在电力系统中，把发电厂生产的电能远距离输送到用电区域，需要采用升压变压器，把电压升高后向远处输送。这是因为输送的电功率 $P = UI\cos\alpha$ （ U 是输电电压， I 是输电线路中的电流， $\cos\alpha$ 是输向负载的功率因数）及其 $\cos\alpha$ 一定时，输电电压 U 越高，则输电线路中的电流 I 就越小，这就可以减小输电线的截面积，节省导线所用的有色金属材料，同时可使输电线路上的功率损耗减小。

(2) 用电方面 为了降低用电设备的造价和保证使用者的安全，用电设备的使用电压要比高压输电电压低得多。因此，当电能由高压输电到用电区域后，要用降压变压器把电压逐级降下来，降到适合于使用所需电压。通常，大型电动机的额定电压为 3kV 或 6kV；中小型电动机、照明设备的额定电压为 220V 或 380V。民用建筑使用的变压器通常是降压变压器，把高压降为 380V/220V 的低压。

2. 电压互感器

互感器是电力系统中供测量和保护用的设备。在测量高电压、大电流时，使测量仪表和测量人员与其隔离，以保证人员与仪表的安全，并且扩大测量仪表的量程范围。它们也是利用电磁感应原理工作的，可分为电压互感器和电流互感器两种类型。

电压互感器相当于一台降压变压器，将高压线路的电压转换为低电压进行测量或作为控制信号。图 8-7 为电压互感器的原理电路。由于电压互感器二次侧的负载通常是高阻抗的电压表或继电器的电压线圈，因此电流很小，接近空载状态，即电压互感器的工作情况相当于变压器的空载运行。电压互感器外形如图 8-8。

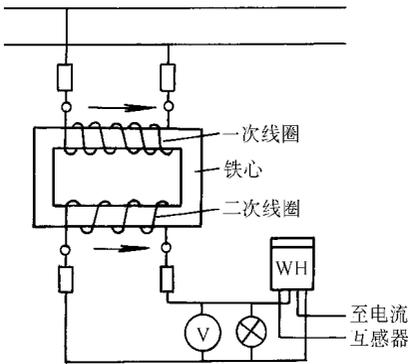


图 8-7 电压互感器的原理电路

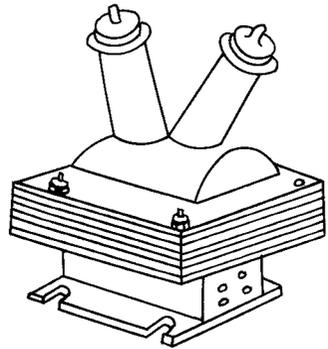


图 8-8 电压互感器外形

电压互感器一、二次侧电压的关系为

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

其中电压比 K_u 为常数已知，由电压表测得二次电压就可知被测线路的电压值为 $U_1 = K_u U_2$ 。一般电压互感器的二次侧额定电压设计为 100V。

在使用电压互感器时的注意事项：

(1) 电压互感器二次侧不能短路。电压互感器二次侧短路时，将产生很大的短路电流，会把互感器烧坏。

(2) 应将二次线圈的一端可靠接地。以防止高压绕组的绝缘损坏时，在低压侧出现高电压。

3. 电流互感器

电流互感器又叫变流器。在测量高电压线路的电流时，为了测量人员的安全要使用电流互感器，将电流表与高压隔离开。在测量大电流时，使用电流互感器将大电流变为小电流后进行测量或保护。

图 8-9 为电流互感器的原理电路。一次线圈串联在被测电路内，二次线圈与阻抗很小的电流表或继电器的电流线圈串联。由于一次线圈的匝数很少，阻抗很小，对被测量或被保护线路的电流没有显著影响。而接入二次电路中的阻抗很小，接近于短路状态，这就是电流互感器与电压互感器的主要不同之处。电流互感器外形如图 8-10。

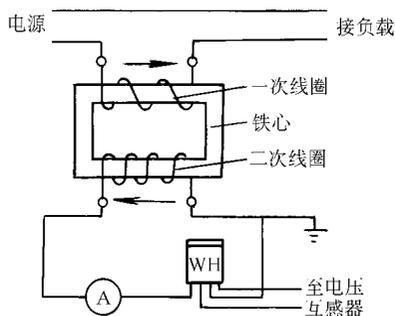


图 8-9 电流互感器的原理电路

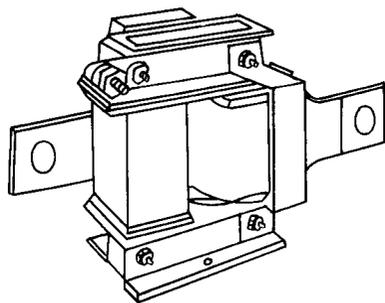


图 8-10 电流互感器外形

电流互感器一、二次侧电流的关系为

$$K_i = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

如果已知电流比 K_i ，由电流表测得二次电流的数值就可知被测线路的电流值为 $I_1 = K_i I_2$ 。一般电流互感器的二次侧额定电流设计为 5A。

在使用电流互感器时的注意事项：

(1) 电流互感器二次侧不能开路。否则二次侧感应产生极高的电压，危及测量人员和设备的安全；

(2) 应将二次线圈的一端可靠接地，以保证安全。

三、电力电缆

电力电缆是用来输送和分配大功率电能的专用导线，即在一个绝缘软套内裹有多根相互绝缘的电线。电力电缆一般由电缆线芯、绝缘层和保护层三部分组成，常用的电力电缆按其采用的绝缘介质分为油浸纸绝缘和塑料绝缘两大类。油浸纸绝缘电缆具有耐压强度高（最高工作电压可达 66kV）、耐热能力好（同一截面下允许载流量较大，短路时热稳定性较好）和使用年限长（一般可达 30~40 年）等优点，因此它应用最为普遍。但是它工作时，其中的

浸渍油会流动，因此它两端的高度差有一定的限制；否则电缆低的一端可能因油压很大使端头胀裂漏油，而高的一端则可能因油流失而使绝缘干枯，耐压降低，甚至击穿损坏。塑料绝缘电缆是后来发展起来的，它没有上述油浸纸绝缘电缆的缺点，而且具有抗酸碱、防腐蚀和重量轻等优点。看来它有逐步取代油浸纸绝缘电缆的趋向，这样可以节约大量的铅（或铝）；它特别适用于有化学腐蚀的及高度差较大的场所敷设。目前生产的塑料绝缘电缆有两种：一种是聚氯乙烯绝缘及护套电缆，已生产至 6kV 电压等级。另一种是交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电缆，其电气性能更优越，目前已生产至 35kV 电压。

四、电工仪表

1. 兆欧表

兆欧表俗称摇表，是一种测量电气设备绝缘电阻的仪表，它的刻度是以兆欧为单位，符号为 $M\Omega$ ， $1M\Omega = 1\,000\,000\Omega$ 。兆欧表是由一台手摇发电机和一个磁电比率表组成。手摇发电机是一个直流发电机或为一个交流发电机与整流电路结合的装置，它的容量很小但电压很高，根据被测试设备工作电压的不同，兆欧表按其额定电压分为 50V、100V、250V、500V、1000V、2500V、5000V、10000V 等八种，电压越高能测量的绝缘电阻也越大。以下是兆欧表的正确使用：

(1) 表的选择 选择兆欧表主要是选择它的电压等级及其使用范围，表 8-1 列出部分参考。

表 8-1 兆欧表的选择

| 被测对象 | 被测设备的额定电压/V | 所选兆欧表的电压/V |
|--------------------|-------------|-------------|
| 弱电设备、线路的绝缘电阻 | 100 以下 | 50 或 100 |
| 线圈的绝缘电阻 | 500 以下 | 500 |
| 线圈的绝缘电阻 | 500 以上 | 1000 |
| 发电机线圈的绝缘电阻 | 380 以下 | 1000 |
| 电力变压器、发电机、电动机的绝缘电阻 | 500 以上 | 1000 ~ 2500 |
| 电气设备绝缘电阻 | 500 以下 | 500 ~ 1000 |
| 电气设备绝缘电阻 | 500 以上 | 1000 ~ 2500 |
| 绝缘子、母线、刀闸的绝缘电阻 | | 2500 以上 |

(2) 测量前的准备 a. 测量前必须切断被测设备或线路的电源，并接地短路放电，确实证明设备上无人工作后方可进行。b. 有可能感应出高电压的设备，应作好安全措施。c. 被测物表面应擦干净。

(3) 检查兆欧表 兆欧表应放在平稳的地方，接线端开路，摇发电机至额定转速，指针应指在“∞”位置；然后将“线路”(L)与“接地”(E)两端短接，缓慢摇动发电机手柄，指针应指在“0”位。上述两点每次使用都要检查，如不合格，则可以认为该兆欧表有故障，需维修合格后方可使用。

(4) 接线端的使用 一般电动机电器或线路的绝缘电阻测量，只用“线路”和“接地”两个接线端，“接地”端为兆欧表电源的“+”极，应接到被测设备的金属外壳，在测量过程中“线路”端引线与地面接触时指示值偏小，这是由于该引线绝缘电阻较低，应将此线架空，使用将得到改善。

(5) 泄漏影响 测量绝缘电阻因受外界温度、湿度等影响而造成测量误差极易被忽视。绝缘材料电阻值 R_x 与温度成 $R_x = f(t)$ 的关系，随不同温度可换算成相应的电阻值；环境空气湿度会在被测绝缘材料表面形成一个泄漏电阻，从而影响测量结果。一般在 500V 以上兆欧表装有屏蔽端钮 (G) 以消除这种影响。

(6) 测量 a. 发电机摇手柄速度规定为每分钟摇 120 转，允许有 $\pm 20\%$ 的变化。b. 准确读出指示数，作好记录。c. 在做完具有大电容设备的实验时，应先撤离接线，然后停止摇手柄转动，这主要是为了防止电容放电而打坏兆欧表的指针。在兆欧表未停止转动或被测物未放电前，不可用手触及被测物和拆线。对大电容试品应充分放电。

2. 钳形电流表

钳形电流表是由电流互感器和整流系电流表组成。电流互感器的铁心在捏紧扳手时张开窗口，使被测电流通过的导线不必切断就可进入铁心的窗口，然后放松扳手，使铁心闭合。这样，通过电流的导线相当于互感器的一次绕组，而二次绕组中感应出二次回路电流与二次绕组连接的整流系电流表指示出被测电流值。它与电流表的不同在于，电流表测量电路电流时，需要切断电路，将电流表或电流互感器的一次侧串接到被测电路中，而用钳形电流表则可在不切断电路的情况下测量电流，使用很方便。

钳型电流表使用方便，但准确度较低，通常只用在不便于拆线或不能切断电路的低压回路中进行测量。钳形电流表外形如图 8-11 所示。

如何正确使用钳形电流表：

(1) 估计被测电流的大小，将量程开关置于适当位置，或先将开关置于最高档，根据读数大小逐次向低量程切换，使读数超过刻度的 $1/2$ ，而得到较准确的读数。但不应在测量过程中切换量程。

(2) 测量低压可熔保险器或低压母线电流时，测量前应将邻近各相用绝缘板 (布) 隔离，以防钳口张开时引起相间短路。

(3) 有些型号的钳形电流表附有交流电压量限，测量电流、电压时应分别进行，不能同时测量。

(4) 如果被测电流较小时，为了得到较准确的读数，可将导线同一方向多绕几圈后放进钳口进行测量。这时所测电流实际值等于电流表读数除以放进钳口中的导线根数。

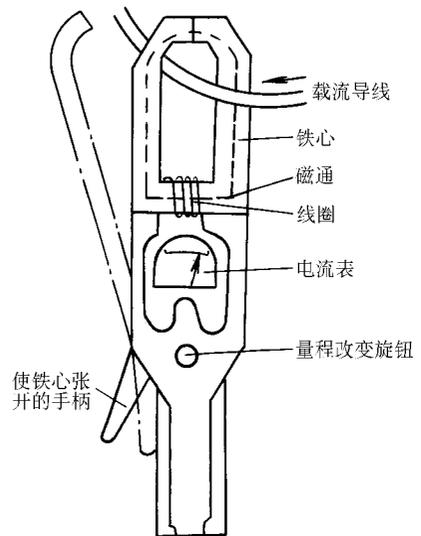


图 8-11 钳形电流表

第三节 合理供电与用电管理

电力生产的特点是发电、供电、用电三者同时完成，其间不能有任一瞬间的中断。因为电能没有半成品，也不能大量存储，所以电力的供应不仅决定于电力生产部门，还与广大的电力用户密切相关。正是由于这一特点，电力的生产和供应必须采取高度集中的计划管理，使产、供、用三方面始终保持平衡。

一、合理供电

1. 供电质量及用电负荷对其的影响

对电力用户而言，衡量供电质量的主要指标为：供电的可靠性、频率质量、电压质量以及电压波形质量。供电的可靠性指不无故停电。一般以全年平均供电时间占全年时间的百分数来表示，例如，全年时间为 8760h，用户全年平均停电时间为 87h，即停电时间占全年的 1%，则供电可靠性为 99%。

频率质量 我国交流电力网的额定频率规定为 50Hz。供电频率不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$ 。频率偏离额定值将影响电力用户的工作，例如电网频率由 50Hz 降至 48Hz 时，电动机转速将降低 4%，使工厂的产品产量下降，产品质量也降低。

电压质量 供电部门必须按规定的标准额定电压供电，电压应稳定。供电电压不正常时，往往会造成用户设备出力不正常；温升过高，影响寿命，甚至烧毁设备。如当端电压下降 10% 时，白炽灯的发光效率下降 30% 以上，灯光变暗；而当端电压升高 10% 时，发光效率将提高 30%，但灯泡的使用寿命将缩短 2/3。因此国家规定：10kV 及以下的电力用户，受电端的电压变动幅度不得超过额定电压的 $\pm 7\%$ ；低压照明用户的电压变动幅度不得超过额定电压的 $+5\%$ 或 -10% 。

我国额定供电电压：

低压 380/220V

高压 3kV、6kV、10kV、35(63)kV、110kV、220kV、330kV、500kV

电压波形质量 电力系统中三相发电机发出的电压，可认为其波形基本上是正弦形，即波形中应基本上无直流和高次谐波分量。如产生高次谐波，将引起电压波形畸变，使其他用电设备的损耗增大、特性恶化、出力下降，甚至控制失灵。另外还会对广播、通信产生干扰。按规定，谐波电压最大值在 380V 系统中不得超过 5%。

引起上述电压不正常的原因除可能供电电压不正常外，可能是用户负载造成的。

负荷的急剧变动引起电压波动。如电动机的起动，特别是电动机的满负荷起动，电焊机的工作，特别是大型电弧炉和大型轧钢机等冲击性负荷的工作，都会引起电力系统电压的波动。当出现严重电压波动时，可减少或切除引起电压波动的负荷；对负荷变动剧烈的大型电气设备，采用专线或专用变压器单独供电，设法增大供电容量，减少系统阻抗（如由单回路供电改为双回路供电等），以降低系统的电压损耗，从而减少负荷变动时引起的电压波动。

高次谐波的产生是由于新技术、新工艺的发展和应用，不少设备中有冲击负荷、不对称或非线性的大电力负荷，例如电弧炉，晶闸管整流装置等引起的。对这类负荷应限定其采取必要的措施，如安装滤波装置等，以抑制其产生高次谐波。

2. 负荷分类与供电方式

供电部门向用户供电时，应根据用户负荷的重要性、用电需要量及地区供电条件等几方面来考虑、确定供电方式，以保证供电质量，并合理地分配用电指标。

根据用户对供电的可靠性要求不同，电力负荷分为三类：

第一类负荷 当电网停电时，会引起人身伤亡、设备损坏、或生产混乱等严重事故；可能造成巨大的经济损失或造成重大政治影响的负荷。例如重要的交通枢纽、医院等以及电信、电视中心等。这类电力负荷一般需用两个独立的电源系统供电，以确保供电的可靠性，有的甚至配有发电动机组以备急用。

第二类负荷 当电网停电时，将产生大量的废品，造成严重减产；或可能造成公共场所的秩序严重混乱的部门，如某些化工厂、炼钢厂，大型影剧院等。这类电力负荷一般应采用两组电源线进行供电，或采用专线供电。

第三类负荷 不属于上述一、二类负荷的用户。当短时停电，所造成的损失不太大。如一般的机械加工工业和一般的民用建筑。其供电方式一般只采用单回路供电，当然随着电力工业的发展，供电的可靠性也越来越高。

二、用电管理

1. 合理用电

电厂的生产最好与企业或单位实际需求相同，这样生产效率最高，浪费最少。不论是电力生产大于需求还是电力生产小于需求对电网本身都是不利的。但实际用电负荷是很难准确计算的，这时只能根据一个假设的电力负荷来计算，称为计算负荷。它的算法有多种。

我们将用电负荷随时间变动的情况用曲线描绘出来。在直角坐标中，用纵坐标代表负荷，横坐标表示时间，便可绘制日负荷曲线、月负荷曲线和年负荷曲线。其中日负荷曲线是最基本的负荷曲线。图 8-12 是日负荷曲线。图中 P_{\max} 是日最大有功负荷， P_{av} 是日平均负荷，它等于全日用电量（kWh）除以时间（24h）。

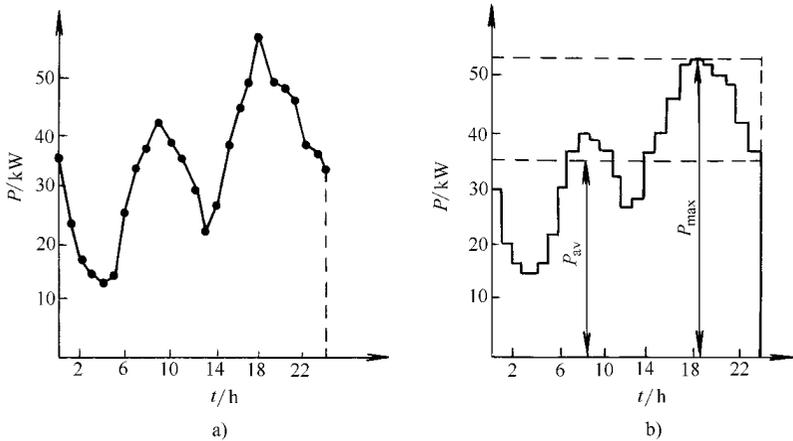


图 8-12 日负荷曲线图

a) 依点制成的日负荷曲线图 b) 阶梯形日负荷曲线图

根据负荷曲线可以看出电网的负荷是不均衡的。有时形成了高峰负荷，有时形成了低谷负荷。高峰负荷越高，则要求按此负荷配置的发电与供电设施的投资越大。而在低谷时，其供电能力又未能充分利用，因此需要调整负荷，使用户的用电负荷与发电厂的发电能力相适应，使电网的负荷尽可能均衡。即尽可能减少高峰期的用电，而在低谷期则鼓励多用电，如采取错开企业的公休日和上班时间、实行两班制或三班制生产等措施。调整负荷只是调整用户的负荷量和用电时间，而绝不是限制用电量。

2. 主动交纳电费

电力工业的发展与电力用户支持是紧密相联的，只有广大用户的支持，电力工业才会得到发展，但我国有些地方收电费难却时有发生。许多用户法律观念淡薄，拖欠电费，使电力工业的发展受到很大影响。改革抄表计费的方式，减少收费难的情况。目前我国抄表计费的几种方式：

(1) 手工抄表方式 抄表员携带纸和笔到现场根据用户电度表的读数计算电费。这种方式在我国还很普遍,尤其在农村地区,主要是这种抄表方式。

(2) 本地自动抄表方式 采用携带方便、操作简单可靠的抄表设备到现场完成自动抄表功能。它通过在配有相应模件的电度表和手提电脑之间加入无线通信手段,达到非接触性完成数据传输的目的。依据所采用的无线通信种类的不同又可分为,红外线就地自动抄表,无线电自动就地抄表和超声波就地自动抄表等几类。

(3) 移动式自动抄表方式 利用汽车装载收发装置和 900MHz 无线电技术以及电度表上的模件,不必到达用户现场,在附近一定的距离内能自动抄回电能数据。

(4) 预付费电能计费方式 通过磁卡或 IC 卡和预付费电度表相结合,实现用户先交钱购回一定电量,当用完这部分电量后自动断电的管理方法。

(5) 远程自动抄表方式 采用低压配电线、电话网、无线电、RS-485 或现场总线等多种通信媒体,结合电表上的软件和局内计算机系统,不必外出就可抄回用户电度表数据。

三、节约用电

经过多年的电力设施建设,我国缺电状况有了很大改观,有的地方出现电力过剩。但是我们提倡节约用电,合理用电还是有重要意义。

目前企业用电过程中的能量损耗相当惊人,其中相当一部分是由于供用电不合理造成的浪费。只要采取有效的技术措施,完全可以降低损耗,提高效率。可以说潜力是很大的。当然节约用电仅仅是节能的一个重要方面,企业还需从各方面的综合效益来全面考虑,做好节能工作。

1. 企业节约用电首先应从企业供电合理化方面来考虑,其中主要有以下几方面:

1) 合理选择供电电压等级和变、配电所的位置。企业内部变、配电所,一般应设在负荷中心地区,以缩短厂内低压配电线路的长度,减少线路损耗。

2) 电力负荷尽可能均衡,使三相负荷分配对称,并且使全日负荷均衡。

3) 提高变压器的运行效率,还可从以下几方面着手:①合理确定投入变压器的运行台数。例如变电所中的两台变压器,白天或晚上时负荷较集中,这时可采用两台变压器同时运行,两段母线分别供电;而在夜晚及节假日,负荷较少,这时只须投入一台变压器运行,另一台暂停,并将两段母线经母线开关连接在一起,同时供电。②尽量使变压器在最佳负载状态下运行。

4) 选用节能型变压器。

2. 提高用电功率因数

(1) 提高用电设备的自然功率因数 自然功率因数是指用电设备没有人工补偿措施时功率因数。交流电器设备的功率因数低的原因,主要是感性负载的空载励磁电流造成的。例如空载时变压器功率因数仅 0.01 左右,异步电动机空载功率因数也只有 0.1~0.2 左右。

(2) 适当控制运行电压,减少无功电耗 在实际运行中,负载的端电压最好不要超过额定值,并且电压幅度偏移值应取在负值区域。这是因为交流含铁心线圈的电器设备中,其无功励磁电流几乎随电压平方关系增大。设备过电压运行时,功率因数会严重降低。

另外,变电所应根据地区电网供电电压的大小,正确选择变压器电压分接开关的额定电压接点。如果供电电压超过电压分接点的额定电压值(输入端额定电压值),变压器的无功励磁电流就会增大,使变电所总功率因数下降。一般情况下,配电变压器所取用的无功功率

是变电所总无功功率的主要成分，所以降低配电变压器本身的无功励磁电流，是提高企业用电功率因数的重要措施。

3. 要节约用电，还必须提高设备效率，降低电耗及节约照明用电。

本章小结

1. 由各类电厂的发电机、变电所的变压器、输电线路、配电设备以及电能用户等联系起来，组成一个整体，称为电力系统。通过学习使读者对由发电厂到电能用户的电能传输过程有个整体概念，对一次电路与二次电路、功率因数以及供电系统中的保护装置等基本概念有所了解。

2. 对部分高压电力设备、电力设施中的变压器、电力电缆以及电工仪表的介绍，使读者对常见电力设施有所了解。

3. 合理的供电与科学的用电以及供电部门与电能用户间的配合都是电力事业走向现代化的重要因素。

第九章 居室电气

第一节 配电箱和电能表

一、配电箱及安装

建筑物内所有用电的地方，均需要安装合适的配电箱。配电箱是接受和分配电能的装置，用它来直接控制对用电设备的配电。用电负荷较小的建筑物内只设一个配电箱就可以满足要求，而用电负荷较大或建筑面积大的建筑物，则应设置总配电箱与分配电箱。配电箱的种类很多，根据用途不同可分为电力配电箱、照明配电箱、计量箱、控制箱等。

1. 电力配电箱

常用的电力配电箱主要有：XL(F) —14，XL(F) —15，XL(R) —20，XL—21 等型号。XL(F) —14，XL(F) —15 型电力配电箱外形见图 9-1b。

电力配电箱内部，主要有刀开关（为箱外操作）、熔断器等。刀开关额定电流一般为 400A，适用于交流 500V 以下的三相系统电力配电。

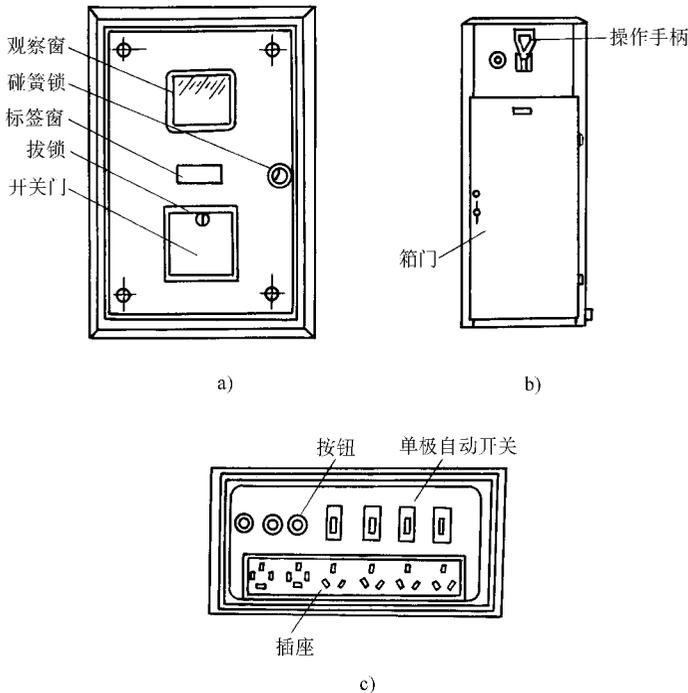


图 9-1 配电箱外形图

a) 计量配电箱 b) 电力配电箱 c) 插座配电箱

2. 插座箱

插座箱适用于交流 50Hz，电压 500V 以下的单相及三相电路中，它具有多个电源插座。广泛应用在学校、科研单位以及用电设备较为集中的地方。

插座箱也分为明挂式和嵌入式两种。箱体四周及底部均有敲落孔以供进出线用，箱体备有工作零线端子板及保护零（地）线端子板，外形示意图见图 9-1c。箱内主要装有自动开关和插座，还可根据需要加装 LA 型控制按钮，XD 型信号灯等元件。

3. 计量箱

计量箱适用于各种住宅、旅馆、车站等处用来计量频率为 50Hz 的单相和三相有功电度。箱内主要装有电度表、自动开关或熔断器、电流互感器等。计量箱分为封闭挂式和嵌入暗装式两种。箱体由薄钢板焊制成，上下箱壁均有穿线孔，箱的下部设有接地端子板。箱体的表面布置见图 9-1a 所示。

4. 配电箱在安装过程中应注意事项

- 1) 安装高度除施工图上有特殊要求外，暗装时底口距地面为 1.4m；明装时为 1.2m，但对明暗电度表板均为 1.8m。
- 2) 在安装配电箱时所需木砖、金属盒等均需在土建砌墙时预埋入墙内。
- 3) 配电箱上装有计量仪表、互感器时，二次侧的导线使用截面不应小于 1.5mm^2 。
- 4) 为了加强盘后布线的绝缘性和便于维修时辨认，导线均需按相位颜色套上软塑料管，A 相用黄色、B 相用绿色、C 相用红色和零线用黑色。
- 5) 配电箱上的闸刀、熔断器等设备，上端接电源，下端接负荷。横装的插入式熔断器的接线，应面对配电箱的左侧接电源，右侧接负荷。
- 6) 配电箱尽可能靠近负荷中心，即用电量多、用电量大的地方。
- 7) 配电箱应设在操作方便，易于检修的地方，一般多设在门厅、楼梯间。

二、电磁感应式电能表及安装

电能表俗称电度表或火表，是专门用来测量交流电能的，它将电功率和时间的乘积累加起来，反映电能的数量。计量电能的常用单位是 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，简称为“度”，电能表因此而得名， $1\text{度}(\text{电}) = 1\text{kW}\times 1\text{h}$ 。电能表因为种类很多，我们先介绍单相电磁感应式电能表。

电磁感应式电能表的结构如图 9-2 所示。电磁铁 A、B 和永久磁铁 C 都固定不动。轴和铝盘可以转动。当铝盘带动轴转动时，轴上的蜗轮转动计数器，在计数器上积算出负载消耗掉的电能。

电磁铁 A 和 B 的铁心系用硅钢片叠成。电磁铁 A 的线圈匝数少，导线粗，与负载串联，称为电流线圈。当交流电流分别流过电磁铁 A 和 B 的线圈时，便产生了两个交变磁通 ϕ_A 和 ϕ_B 。这两个交变磁场通穿过铝盘，分别在铝盘中产生涡流 I_A 和 I_B 。涡流 I_A 与磁通 ϕ_B 以及涡流 I_B 与磁通 ϕ_A 相互作用，产生电磁转矩 M ，使铝盘转动。

铝盘转动时，又切割永久磁铁 C 的磁通，在盘内产生涡流。此涡流与永久磁铁的磁场相互作用，产生了同铝盘旋转方向相反的制动转矩 $M_{制}$ 。当 $M = M_{制}$ 时，铝盘以恒速旋转。铝盘转过的转数与负载消耗的电能成正比，通过计数器可直接读出耗电的度数。一般在电能表铭牌上都注明每度电（ $1\text{kW}\cdot\text{h}$ ）的转数。例如：“ $2400\text{r}/\text{kW}\cdot\text{h}$ ”表示一千瓦小时的电能对应的铝盘转数为 2400r。这一数值称为电能表常数，国产表的“电能表常数”约为 75

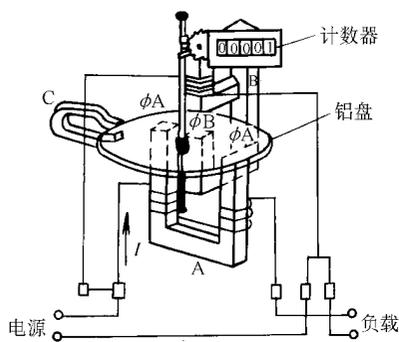


图 9-2 感应式电度表的结构图

~ 5000r/kW·h。单相电能表的接线图如图 9-3 所示。

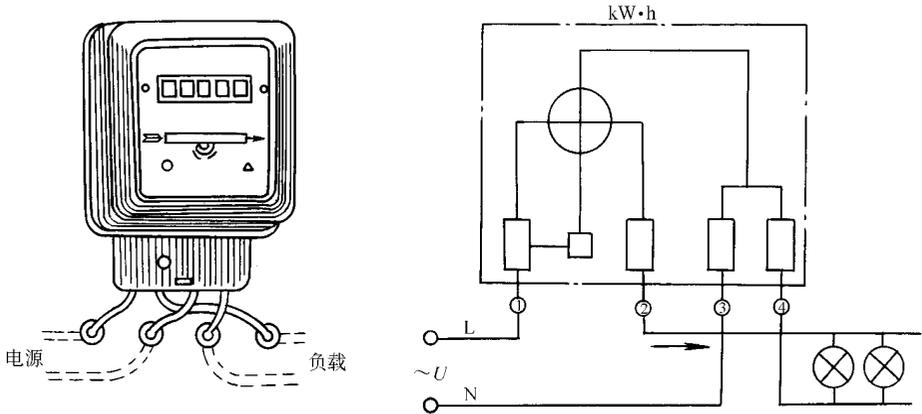


图 9-3 单相电度表的外形和接线图

图中①为电源火线经串联的电流线圈由②输出作为用户的火线。③、④分别为电源中线和用户中线。电压线圈并在火线和中线上，即①和③端。特别要注意电压线圈是经连接钩由①端接入火线。如此连接钩脱落则电压线圈失电，电能表不会转动。故接线盒盖应由供电部门加封铅印，用户严禁私自拆开。

电能表安装和选用还应该注意：

- 1) 电能表装好后，开亮灯泡，圆盘应从左向右转动。
- 2) 关灯后，如圆盘微微转动，不超过一整圈是正常现象。如超过一整圈，请拆去②，④二根线，转动停止，则说明用户线路有毛病。如仍转动不停，是电能表不正常请检修。
- 3) 电能表每月自身耗电量约一度左右。
- 4) 用户应根据最大的实际使用电量，合理选择规格，才能正确记录用电量。选用规格过大，当用电量过小，会造成计度不准；选用规格过小，可能造成发热烧毁事故。

三、电子式电能表

随着电子技术的发展，电子式电能表正逐渐取代传统的机械式电能表（电磁感应式电能表）。电子式电能表与机械式电能表相比，除具有测量精度高、性能稳定、功耗低、体积小和重量轻等优点外，它还可以实现更丰富的功能，如复费率、最大需量、有功电能和无功电能记录、失压记录、事件记录、负荷曲线记录、功率因数测量、电压合格率统计和串行数据通信等。

目前电子式电能表在国外的使用已比较普遍，特别是在英、美、德、瑞士等发达国家非常普及，年销量已超过电磁感应式电能表。在国内，随着观念的转变和制造技术的日趋完善，电子式电能表的可靠性有所提高，目前已有相当数量的各种类型的进口和国产电子式电能表投入电网运行，并产生显著的效益。电子式电能表和电磁感应式电能表的性能比较如表 9-1 所示。

IC 卡电能表作为电子式电能表的一种，在城市有着广泛的应用。下面以 IC 卡电能表为例，介绍其工作原理。图 9-4 是 IC 卡电能表的原理框图。

其中电能测量部分完成电度采集，它将测量的功率转换成脉冲形式。它实际上是一个模拟乘法器，电压信号经片内厚膜电阻分压，电流信号由片内锰铜电阻取样，然后与分压后的

电压信号相乘，就得到与功率成正比的信号，再经 V-F 交换后，就得到一个与被测功率成正比的脉冲信号，该脉冲信号经分频后输出提供给微处理机的计数部分。

表 9-1 电子式电能表和电磁感应式电能表的性能比较

| 性能 | 感应式电能表 | 电子式电能表 | 性能 | 感应式电能表 | 电子式电能表 |
|------|-----------|------------|-------|---------------|--------|
| 准确度 | 0.5~3.0 级 | 0.01~2.0 级 | 外磁场影响 | 较大 | 较小 |
| 频率范围 | 45~55Hz | 40~1000Hz | 安装要求 | $\pm 3^\circ$ | 无特殊要求 |
| 过载能力 | 4 倍 | 5~10 倍 | 价格 | 低 | 高 |
| 功率消耗 | 大 | 小 | 维护 | 简单 | 复杂 |
| 电磁兼容 | 好 | 差 | 功能扩展性 | 差 | 好 |

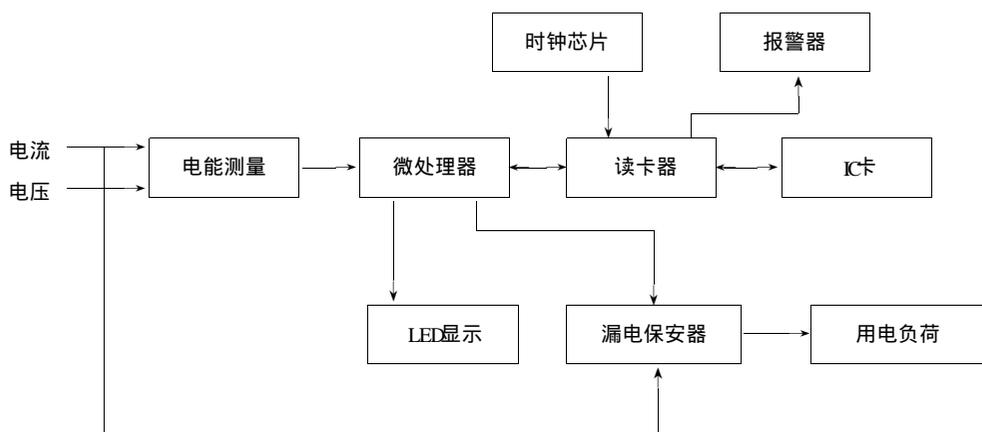


图 9-4 IC 卡预付费复费率电能表的原理框图

微处理器是电能表的核心，它主要完成脉冲计数，并与 E^2 PROM 中存入的 IC 卡电量信息进行比较和相减得出剩余电量。当剩余电量不足 10kWh 时，发出警告信号，提醒用户及时购买，在剩余电量为 0 时，即用户所购电量用完时，发出跳闸信号，通过表内的漏电保安器自动断电。

IC 卡由 5 个功能模块组成，即

- 1) 微处理器 (CPU)。
- 2) 工作缓冲器，是用户存储中间数据的 RAM。
- 3) 程序存储器 (ROM)。
- 4) 数据存储器，是采用存放用户数据的 E^2 PROM。
- 5) 通信单元，用来实现卡与外部读写装置的串行异步通信。

当 IC 卡插入读卡器时，液晶显示器会显示“读卡”字样，读卡正确后将 IC 卡中的电量信息存入串行 E^2 PROM 中，并消除卡上的电量数据。

IC 卡采用软、硬件加密技术，比如可采用准 DES 随机加密算法，每张卡的密码不同，有的 IC 卡还具有“自锁”功能，即密码尝试错误发生一定次数后，读卡就永远无法读写（即“锁死”了）。

采用 IC 卡电能表后，还须一套电能计费系统与之配套。该系统包括售电终端和售电管理系统，此处不作介绍。

第二节 居室供电线路

一、电线截面的选择

室内导线截面的选择应从以下三方面考虑：第一，导线的允许载流量，即安全电流。第二，导线的机械强度。第三，线路所允许的电压损失值。

按安全电流来选择导线时，导线的截面积要根据安全工作电流选择。因为导线的外层绝缘有规定的允许最高温度，橡皮绝缘与聚氯乙烯长期允许最高温度为 65℃；铜芯橡皮绝缘护套电线为 55℃。超过这个规定的温度，导线的绝缘层就会加速老化，甚至变质损坏而引起火灾。所以规定在一定环境温度（25℃）下，不超过最高允许温度时所传输的电流，称为允许载流量，又称安全电流。表 9-2 列出在环境温度为 25℃，空气中明设时导线线芯温度为 65℃时的安全电流。表 9-3 列出在环境温度为 25℃，导线线芯温度为 65℃时穿管敷设的安全电流。适用于 BX，BLX，BXF，BLXF 电线。

表 9-2 500V 单芯橡皮、聚氯乙烯绝缘电线长期允许载流量 （单位：A）

| 导线截面 /mm ² | 橡皮绝缘电线 | | 聚氯乙烯绝缘电线 | |
|--------------------------|-------------------|-----------------|---------------|-----------|
| | 铜线 BX ,BXF ,BR | 铝线 BLX ,BLXF | 铜线 BV ,BVR | 铝线 BLV |
| 0.75 | 18 | | 16 | |
| 1.0 | 21 | | 19 | |
| 1.5 | 27 | 19 | 24 | 18 |
| 2.5 | 33 | 27 | 32 | 25 |
| 4.0 | 45 | 35 | 42 | 32 |
| 6.0 | 58 | 45 | 55 | 42 |
| 10 | 85 | 65 | 75 | 59 |
| 16 | 110 | 85 | 105 | 80 |
| 25 | 145 | 110 | 138 | 105 |
| 35 | 180 | 138 | 170 | 130 |
| 50 | 230 | 175 | 215 | 165 |
| 70 | 285 | 220 | 265 | 205 |
| 95 | 345 | 265 | 325 | 250 |
| 120 | 400 | 310 | 375 | 285 |
| 150 | 470 | 360 | 430 | 325 |
| 185 | 540 | 420 | 490 | 380 |
| 240 | 660 | 510 | | |
| 300 | 770 | 600 | | |
| 400 | 940 | 730 | | |
| 500 | 1100 | 850 | | |
| 630 | 1250 | 980 | | |

如果环境温度变化时或要求导线工作温度变化时,表 9-2、表 9-3 中所列允许载流量应乘以温度校正系数,见表 9-4。

表 9-3 500V 橡皮绝缘电线穿管敷设长期允许载流量

(单位:A)

| 导线截面 /mm ² | 穿二根 | | 穿三根 | | 穿四根 | |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 铝 芯 | 铜 芯 | 铝 芯 | 铜 芯 | 铝 芯 | 铜 芯 |
| 1 | | 15 | | 11 | | 12 |
| 1.5 | 15 | 20 | 14 | 18 | 11 | 17 |
| 2.5 | 21 | 28 | 19 | 25 | 16 | 23 |
| 4 | 28 | 37 | 25 | 33 | 23 | 30 |
| 6 | 37 | 49 | 34 | 43 | 30 | 39 |
| 10 | 52 | 68 | 46 | 60 | 40 | 53 |
| 16 | 66 | 86 | 59 | 77 | 52 | 69 |
| 25 | 86 | 110 | 76 | 100 | 68 | 90 |
| 35 | 106 | 140 | 94 | 122 | 93 | 110 |
| 50 | 133 | 175 | 118 | 164 | 105 | 137 |
| 70 | 165 | 215 | 150 | 193 | 133 | 173 |
| 95 | 200 | 260 | 180 | 235 | 160 | 210 |
| 120 | 220 | 300 | 210 | 270 | 190 | 245 |
| 150 | 260 | 340 | 240 | 310 | 220 | 280 |
| 185 | 295 | 385 | 270 | 355 | 250 | 320 |

表 9-4 环境温度变化时载流量的校正系数(K)

| 导线工作 温度/°C | 不同环境温度下载流量校正系数(K) | | | | | | | | |
|---------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 5 °C | 10 °C | 15 °C | 20 °C | 25 °C | 30 °C | 35 °C | 40 °C | 45 °C |
| 80 | 1.17 | 1.13 | 1.09 | 1.04 | 1 | 0.954 | 0.905 | 0.853 | 0.798 |
| 65 | 1.22 | 1.17 | 1.12 | 1.06 | 1 | 0.935 | 0.865 | 0.791 | 0.707 |
| 60 | 1.25 | 1.2 | 1.13 | 1.07 | 1 | 0.926 | 0.845 | 0.756 | 0.655 |
| 50 | 1.34 | 1.25 | 1.18 | 1.09 | 1 | 0.895 | 0.775 | 0.663 | 0.477 |

例 20kW 电动机,额定电流 40A,选择塑料铜芯导线截面。

在 25 °C 环境温度,明设导线时,查表,使 $I_{安} > I_{工作}$,从表中查得 $I_{安} = 42A$ 的铜芯导线截面为 4mm²,故可选用。若环境温度为 35 °C,要求导线工作温度为 60 °C 并三根导线穿于一管敷设时,按 $I_{安} \geq (I_{工作}/K_{温})$,查表 9-4 得温度校正系数 $K_{温} > 0.845$,则 $I_{安} \geq (40A/0.845) = 47.3A$,查表 9-3,得 10mm² 导线 $I_{安} = 60A$,故可选用。

按机械强度选择导线截面时,必须保证导线不至因机械损伤而折断,允许导线的最小截面见表 9-5。

在选择导线截面时,除满足以上条件外,如果供电线路距离过长,则应考虑线路上的电压损失,对动力线路规定不能超过额定电压的 10%,照明线路不能超过 5%。

表 9-5 根据机械强度允许导线的最小截面

| 敷 设 方 法 | 支柱间距离/m | 截面/mm ² | |
|------------------------|---------|--------------------|-----|
| | | 铜导线 | 铝导线 |
| 室内灯具所用的引线 | | 0.5 | |
| 室外灯具所用的引线 | | 1.0 | |
| 软线,供吊灯及台灯用,以及移动灯具及家用电器 | | 1.0 | |
| 移动设备用的中型及轻型软电缆 | | 1.0 | |
| 双芯软线,当装于瓷柱上 | | 1.0 | |
| 双芯软线,当装于瓷柱上 | 最大 0.8 | 0.75 | |
| 建筑物内,装于瓷柱、瓷瓶上的导线 | 最大 1.0 | 1.0 | |
| 建筑物内,装于瓷柱、瓷瓶上的导线 | 最大 1.0 | 1.0 | 2.5 |
| 建筑物内,装于瓷柱、瓷瓶上的导线 | 最大 2.0 | 1.5 | 2.5 |
| 建筑物内,装于瓷柱、瓷瓶上的导线 | 最大 6.0 | 2.5 | 4.0 |
| 建筑物内,装于瓷柱、瓷瓶上的导线 | 最大 12 | 4.0 | 10 |
| 建筑物内的裸导线 | 超过 12 | 5.0 | 16 |
| 建筑物内的裸保护导线 | | 2.5 | 4.0 |
| 外部敷设用绝缘导线及裸保护导线,沿墙敷设 | | 2.5 | 4.0 |
| 外部敷设用绝缘导线及裸保护导线,用在其他场所 | | 4.0 | 10 |
| 装于管中及木槽板中的导线 | | 1.0 | 2.5 |
| 架空引入线 | 最大 25 | 1.0 | 10 |

二、室内布线

电源由屋外进入屋内,而在屋内布设的导线及其附属装置,称为屋内布线。屋内布线按使用性质,主要分为屋内动力线(如家中的冰箱、空调、洗衣机、电炊具)和屋内照明布线两种。

屋子内布线有明、暗之分。明线是指沿墙壁和天花板表面、杵架、屋柱等处敷设的导线;暗线是在墙内、地板下、顶棚上等处敷设的导线。

屋内布线的方式常用下列几种:

(1) 瓷夹板布线 导线用瓷夹板固定,适用于负荷小和干燥的场所。

(2) 塑料护套线路敷设 比瓷夹线路更适用于室内、外的一般场所使用。线路比较整齐而且美观、抗腐蚀性和耐潮性能强。

(3) 槽板布线 导线敷设在槽板内,适用于小负荷、干燥的民用建筑里的一般照明线路。

(4) 钢管布线 导线穿在钢管内,适用于潮湿、容易引起火灾和爆炸的场所。

屋内布线的要求:

(1) 所选用的布线方式应与布线的环境相适应。

(2) 所选取绝缘导线的额定电压应与线路的工作电压相适应。

(3) 导线截面按发热条件选择,且根据不同的布线方式,导线的最小截面应满足表 9-5 的规定。

- (4) 敷设时应尽可能减少接头，布线路程尽可能的短。
- (5) 检修维护方便，开关、插座等的安装位置应考虑操作方便。
- (6) 线路应尽可能避开热源和可能损坏导线的地方。
- (7) 注意避免损坏建筑物的美观。

屋内线路的安装：

(1) 瓷夹板布线 瓷夹板有双线及三线两种，每种又有不同的规格，可根据导线的粗细选用。瓷夹板只能敷设绝缘线，敷设的导线不应在夹板内滑动，在夹紧时不允许损坏绝缘层。相邻两瓷夹板的距离一般是 0.6~0.8m，线路水平敷设时离地面高度不得小于 2.5m，垂直敷设时最下端离地不小于 2m，若接至开关和插座时允许减至 1.30m，导线离建筑物表面距离不应小于 10mm。

(2) 护套线布线 塑料护套线是一种具有塑料保护层的双芯绝缘导线，具有防潮、耐酸和耐腐蚀性能，可直接在空心楼板、墙壁及建筑物上敷设，以铝片卡支持导线。固定铝片卡之间间隔为 150~300mm，此外距开关、插座、灯具木台 50mm 处和导线转弯两边 80mm 处，都应设置铝片卡的固定点。施工时应注意整齐美观，要横平竖直，护套线的接头最好不要外露。要穿墙或通过楼板时均需穿管保护。

(3) 槽板布线 槽板有木槽与塑料槽板两种，其规格也有两线与三线之分。由底板和盖板组成。安装时每槽内只允许敷设一根线，在槽内不准有接头。如需接头，应使导线穿过盖板在外面联接，或在分支处使用接线盒。导线与开关，插座接头处，应稍留余量。

(4) 钢管布线 钢管布线，一般用于易燃物品和爆炸性气体的厂房，要求较高的建筑物内以及不许有架空线路的广场等处。由于敷设后检修比较困难，所以安装要求比较严格。在敷设时应注意以下事项：钢管的弯曲半径不得小于该管直径的 6 倍；管内所穿导线的总面积不得超过管内面积的 40%；管内导线不允许有接头和扭拧现象；管子进出端应套护圈，以免穿线时损坏导线绝缘；钢管要安放牢固；全部钢管要可靠接地，安装后要先用摇表检查绝缘电阻合格以后才允许接通电源。

第三节 室内照明

一、照明灯具

1. 白炽灯

白炽灯是目前应用最广泛的电光源之一。它由灯头、灯丝和玻璃壳等组成，其结构见图 9-5。灯丝用熔点高和不易蒸发的钨制成。灯头有螺口和插口两种形式，灯泡可拧进灯座中。对于螺口灯泡的灯座，相线应接在灯座中心接点上，零线接到螺口端接点上。灯丝由钨丝制成，当电流通过时加热钨丝，使其达到白炽状态而发光。一般 40W 以下的小灯泡内部抽成真空，60W 以上的大功率灯泡内部抽真空后，充以惰性气体，如氩气、氮气等，以使钨丝蒸发缓慢和提高发光效

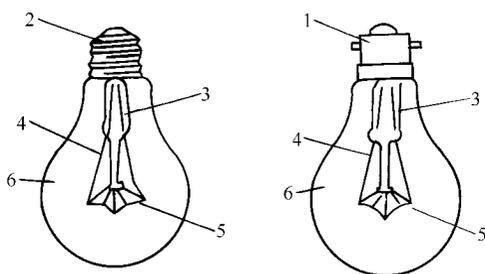


图 9-5 白炽灯的结构

- 1—卡口灯头 2—螺口灯头 3—玻璃支架
4—引线 5—灯丝 6—玻璃壳

率。

白炽灯构造简单，价格便宜，使用方便。在交流电场合使用时白炽灯的光线波动不大，如能选配合适的灯具使用对保护眼睛较有利。除普通白炽灯泡外，玻璃外壳可以制成各种形状，玻璃壳可以透明、磨砂和涂白色、彩色涂料，以及镀一层反光铝膜的反射型照明灯泡。由于各种用途形式的现代灯具出现，白炽灯仍得到广泛采用。它的主要缺点是发光效率很低，只有 2% ~ 3% 的电能转换为可见光，其余都以热辐射形式损失了。

2. 荧光灯

荧光灯人俗称日光灯，其发光效率较高，约为白炽灯的四倍，具有光色好、寿命长、发光柔和等优点。荧光灯由灯管、镇流器、起辉器等组成。荧光灯管的构造如图 9-6 所示，起辉器的构造如图 9-7 所示，镇流器的构造如图 9-8 所示。

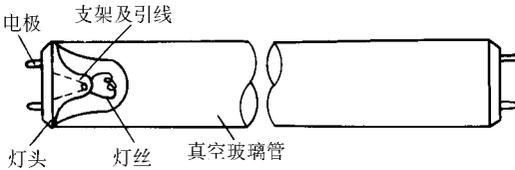


图 9-6 荧光灯管的构造

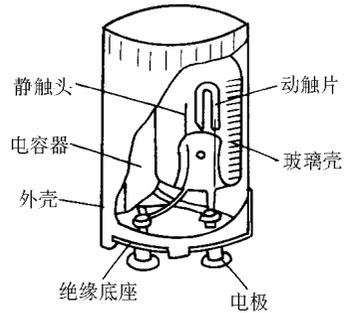


图 9-7 起辉器的结构

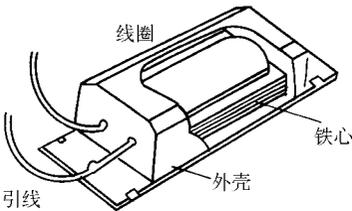


图 9-8 镇流器的构造

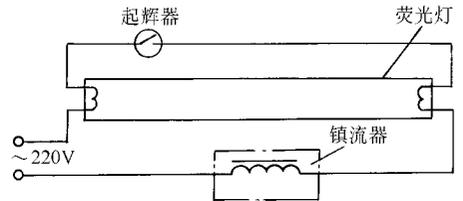


图 9-9 荧光灯的接线图

荧光灯的接线原理如图 9-9 所示。当荧光灯接入电路后，电压（经镇流器、灯丝）加在起辉器的 U 型双金属片和静触头之间，使之起辉放电。放电时产生的热量使双金属片膨胀变形与静触头相碰，电路接通，灯丝得到预热（理想温度为 850 ~ 900 °C，时间为 1 ~ 3s）而发射电子。与此同时，由于双金属片与静触头接触后，辉光放电消失，双金属片因冷缩又与静触头断开。在此电路断开的瞬间，可在镇流器两端产生一个比电源电压高得多的感应脉冲电势，这个电势加在已经被预热的两灯丝之间，使管内惰性气体电离，形成弧光放电。弧光放电使管内温度升高，继而使灯管内充有的微量液态水银气化游离放电，辐射出波长为 $0.2537\mu\text{m}$ (2537Å) 的不可见紫外线，紫外线激发灯管内壁荧光粉后，发出可见光。

3. 灯座

因为白炽灯泡的灯头有插口和螺口式两种，所以其灯座也有插口和螺口两大类，见图 9-10 和图 9-11。插口式灯座使用比较安全，100W 以下的灯泡和灯座宜采用插口式；100W 以上灯泡较重，电流较大，为了保持接触良好和固定牢靠，所以灯泡和灯座宜采用螺口式。

灯座按安装方式可分为平灯座（俗称矮触灯座）、悬吊式灯座（俗称木轧灯座）、管子灯座等几种。按其外壳材质可分为胶木、金属、瓷质三种。灯泡容量大于 100W 时，一般采用瓷质灯座。若 100W 以上灯泡采用较大灯座，连续使用时间过长时，胶木灯座将因大电流的烘烤而使绝缘老化、胶木破损，当人体触及时就可能发生触电事故。

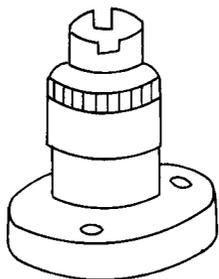


图 9-10 插口灯座

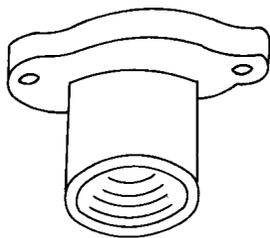


图 9-11 螺口灯座

4. 特种荧光灯

特种荧光灯也叫节能灯，一支 9W 的 H 灯的照度与 60W 的白炽灯相当，与普通的 40W 日光灯相当。因为具有尺寸紧凑，单端引出，电耗很低，节约用电，光效高、光线柔和、光色好、寿命也较长等优点，所以这种灯具已被广泛应用于宾馆、饭店、医院、剧场、商场、机场、车站、办公楼、住宅楼等民用建筑的室内顶棚照明、局部照明和装饰照明。是 20 世纪 80 年代以来逐渐发展起来的一种新型高效荧光灯。它用细玻璃管做成各种形状，如双曲灯、H 灯、双 D 灯等，这种荧光灯的不足之处就是一次性成本较高、价格较贵；对环境有一定要求，不宜在潮湿和腐蚀性气体环境中使用，否则寿命会大为缩短。图 9-12 为节能灯的外形、结构、接线图，在特种荧光灯灯座中装有电子式镇流器，灯管、起辉器、镇流器紧凑装在一起，可直接替换白炽灯。

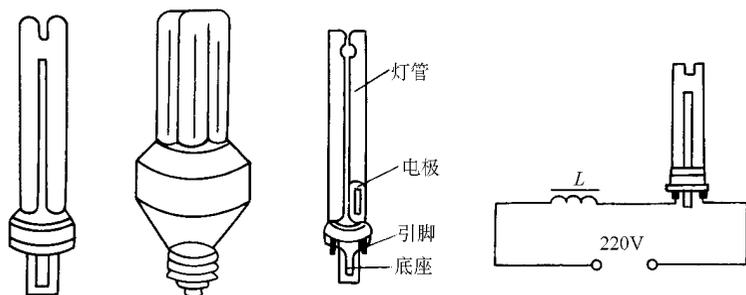


图 9-12 节能灯的外形、结构、接线图

5. 开关

开关的作用是用来接通和断开电路的。常用的电灯开关按其安装方式可分为明装式和暗装式两种。明装式的有扳把开关、拉线开关和转换开关；暗装式的是按钮开关。按其结构可分为单联、双联和三联开关。开关的规格是以额定电流和工作电压来表示，应根据所控制回路的最大工作电流和额定电压选择。

6. 插座

插座的作用是供给移动式照明灯或其他用电设备（如电风扇、电视机等）接通电路的。

从结构上分有双极两孔和双极三孔（一孔做接地用）；按其安装方式，可分明装和暗装两种。其规格以额定电流和工作电压表示，应根据用电设备的最大工作电流和额定电压来选择。

二、照明线路

1. 电气照明基本线路

电气照明的基本线路，一般应具备电源、导线、开关及电灯四项基本条件，否则就不能成为完整的照明线路。电气照明的基本线路有以下几种：

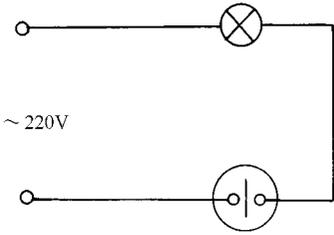


图 9-13 单联开关控制

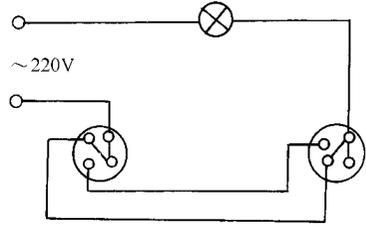


图 9-14 双联开关控制

(1) 一只单联开关控制一盏灯 其接线如图 9-13 所示。这是最常用的一种接线方式。

(2) 两只双联开关在两个地方控制一盏灯 其接线如图 9-14 所示。这种控制方式通常用于楼梯电灯，在楼上下都可控制；也可用于走廊的电灯，在走廊的两头都可控制。

(3) 36V 及以下的局部照明灯（安全灯） 接线如图 9-15 所示。安装时用降压变压器将电压降到 36V 及以下。

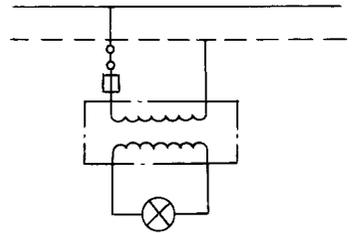


图 9-15 局部安全灯接线

2. 照明线路的布置

照明供电线路一般由进户线、配电箱、干线、支线及开关、插座、灯具等部分组成。在建筑物内照明线路的布置，应在满足功能要求的条件下，尽量做到线路最短、安装方便、美观大方。

从总配电箱到分配电箱的供电线路称为干线，干线的布置方式有放射式、树干式和混合式三种。从分配电箱到灯具的供电线路称为支线。布置支线前，应先进行负荷分组，将灯具、插座和其他用电设备等负荷尽可能均匀地分成几组，每一组由一条支线供电。然后再将各个支线分别接入三相电的 A、B、C 三个相线路中，分组时应尽量使各相的负荷平衡。每一条支线都是独立的，当发生过负荷、短路等故障时，应不影响其他支线的工作。例如六层民用住宅的某一个单元，其 1、2 层接入 A 相线路供电，3、4 层接入 B 相线路供电，5、6 层则接入 C 相线路供电。这样负荷相对比较平衡。一般每条支线上，灯具和插座数不超过 20 个，负荷不超过 15A。

对于室内装设的电源插座较多时，或者用电设备负荷较大（如空调器等），可单独专设支线供电，以保证照明可靠供电。图 9-16 为一般住宅室内的配电方式。

照明电器接在供电线路上工作，需要用开关对照明电器进行控制。应该注意，为了保证安全用电，不论哪种控制方式，开关都应该接在相线上。

三、灯具的安装

1. 悬吊式灯具的安装

此方式可分为吊线式（软线吊灯）、吊链式（链条吊灯）、吊管式（钢吊灯）。其安装如

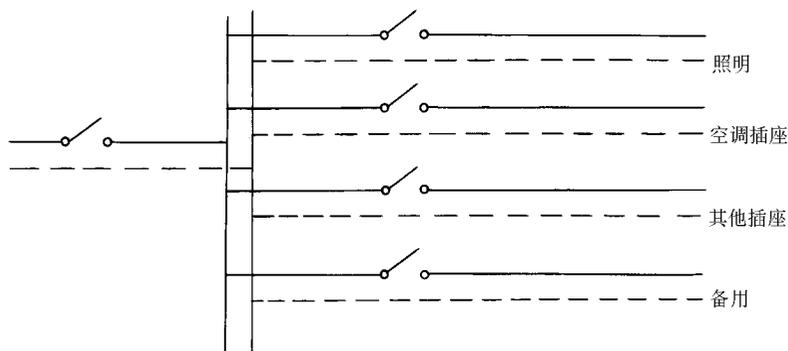


图 9-16 室内配电方式

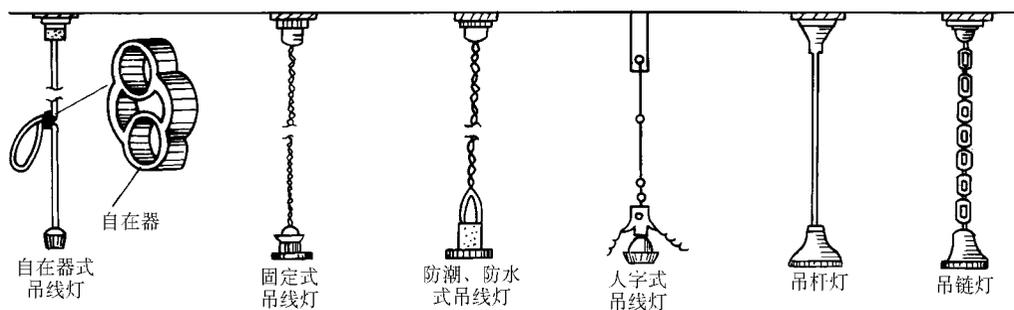


图 9-17 悬吊式灯具的安装

图 9-17 所示。

(1) 吊线式 直接由软线承重。但由于挂线盒内接线螺钉承重较小，因此安装时需在线内打好线结，使线结卡在盒盖的线孔处。有时还在导线上采用自在器，以便调整灯的悬挂高度。软线吊灯多采用普通白炽灯作为照明光源。

(2) 吊链式 其安装方法与软线吊灯相似，但悬挂质量由吊链承担。下端固定在灯上，上端固定在吊线盒内或挂钩上。

(3) 吊杆式 当灯具自重较大时，可采用钢管来悬挂灯具。

2. 嵌顶式灯具的安装

吸顶式是通过木台将灯具吸顶安装在屋面上，其做法如图 9-18 所示。

3. 壁式灯的安装

壁式灯具一般称为壁灯，通常安装在墙壁或柱上，安装前应埋设木台固定件，如预埋木砖、焊接铁件或安装膨胀螺栓等。其做法如图 9-19 所示。

4. 暗开关和暗插座的安装

先将开关盒按图样要求的位置预埋在内。埋设时可用水泥砂浆填充，但要埋平正，不能偏斜。铁盒口面应与墙的粉刷层平面一致。待穿完导线后，即可将开关或插座用螺丝固定在铁盒内，接好导线，装上开关或插座板。

5. 明开关和明插座的安装

明开关和明插座的安装方法是先将木台固定在墙上，然后在木台上安装开关或插座。在安装扳把开关时，无论是明开关还是暗开关，装好后的位置应该是往上扳电路接通，电灯点

亮；往下扳电路切断，电灯熄灭。

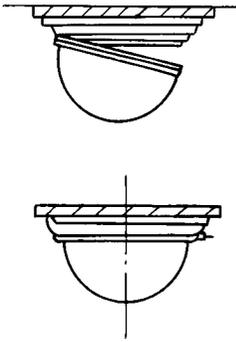


图 9-18 吸顶式灯具的安装

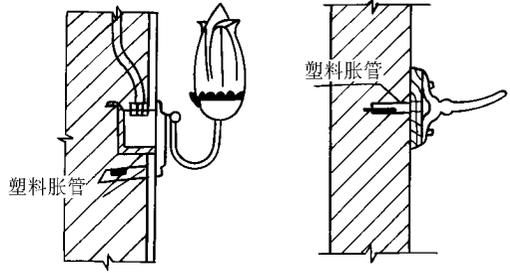


图 9-19 壁式灯灯具的安装

在安装插座时，插座接线孔要按一定顺序排列：单相双孔垂直排列时，相线孔在上方，零线孔在下方；单相双孔水平排列时，相线在右孔，零线在左孔；单相三孔插座，保护接地在上孔，相线在右孔，零线在左孔。

第四节 室内弱电系统

随着社会的进步和科技的创新，民用建筑事业得到了迅速发展。民用住宅内的弱电设备也越来越多，电话、有线电视、防盗与保安系统等。为让大家对此有些了解，下面将简要介绍一下民用建筑内的弱电系统。

一、电话通信

随着通信事业的蓬勃发展，住宅电话已越来越多地进入百姓人家。城市住宅电话普及率已达 85%，有些家庭已安装两部电话，电话已经成为人们生活的重要组成部分。

电话通信从贝尔发明电话到现在，经过一百多年的发展，技术上已有很大的进步，现代电话通信正朝着数字化、智能化、综合化、个人化的方向发展。

电话通信的初始阶段属于模拟通信，模拟通信就是指信号以模拟方式进行处理和传输。图 9-20 为甲、乙之间模拟通信示意图。甲讲话的声波由发话器变为模拟信号，传至乙的受话器后还原成声波给乙方收听。实际上通话为双向的，即乙讲话至甲也要经过同样过程。

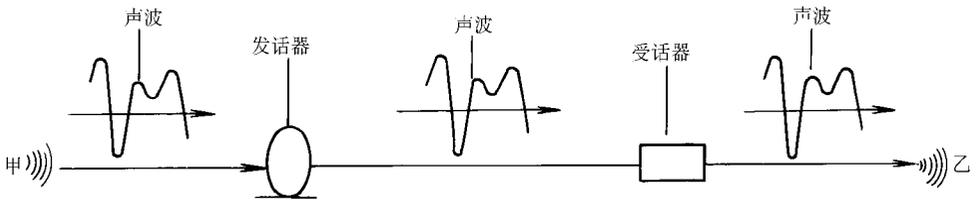


图 9-20 模拟通信示意图

从 1960 年以后，逐渐出现数字通信。数字通信，是指将模拟电信号转换为数字信号，即由一系列的“0”和“1”组成的数字信号，用这些“0”和“1”组成的信号来进行通信。图 9-21 为甲、乙两方数字通信的示意图。图中的模数转换设备和数模转换设备是实现数字

信号和模拟信号相互转换功能的设备。因为数字通信实现起来方便，同时具有处理信号精确性高，保密性强等优点，当今世界已普遍采用数字程控交换机，随着经济的发展，数字电话技术将会最终代替模拟电话通信技术。

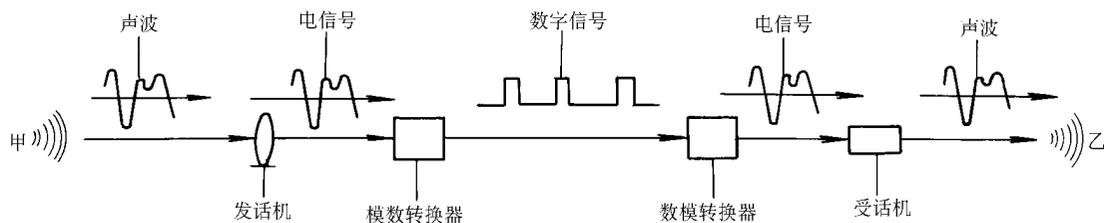


图 9-21 数字通信示意图

1. 现代电话通信网的功能

现在人们除了可应用电话进行交流外，还开拓了多种新业务，更多地满足了人们的需要，更方便了信息交流，极大地推动了社会的发展。现代电话通信网的主要功能如下：

(1) 语音信箱系统 (VMS) 语音信箱系统是将公用电话网的语音信号经过频带压缩，再经模数转化后，存储于计算机中，以供用户提取语音信号。这种系统可以提高接通率，充分利用线路和设备资源。

(2) 传真信箱系统 (FMS) 传真信箱系统的工作原理与语音信箱系统相似，区别仅在于传真信箱存储的是经过数字化和压缩处理的传真文件。

(3) 公用电话网上的计算机通信系统 还可利用计算机在公用电话网上进行信息流。随着计算机技术和计算机通信技术的飞速发展，通过电信局的电话网络进行网上通信正被广泛应用。在家用个人计算机上安装上调制解调器，利用当地电信系统的电话通信网络进行拨号上网，即可实现全球各用户之间的通信。

2. 室内电话安装

从电话用户的角度来说，室内电话安装主要考虑装潢房屋时，注意布置室内电话线路以及提供交流电源插座和电话通信的插座。

(1) 电话机 室内电话安装电话机除了具有受话功能和发话功能外，还具有发送呼叫、应答、挂机信号以及接收振铃和各种信号音的功能。现在广泛使用的是电子式电话机。除了上述功能外，各生产厂家为电话机又开发了许多新的功能，如自动存储、音量调节、脉冲/双音频拨号和定时等，电话机越来越方便了人们的生活。

(2) 电话出线盒 用户电话一般通过电话出线盒与外部线路进行连接。电话出线盒按安装法式可分为墙式和地式两种，常用的电话出线盒面板如图 9-22 所示。

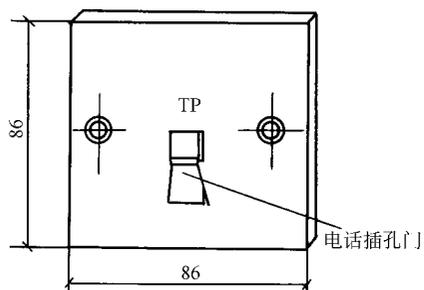


图 9-22 室内电话通信的插座

二、CATV 系统

1. CATV 的作用与功能

电视是现代生活中传播信息的有力工具，为人们提供政治、经济、交通、科教等信息和丰富多彩的文艺节目。收看电视已成为人们生活中的一项重要内容。

电视信号以电磁波的形式在传播过程中，由于山峦、森林、建筑物的吸收和阻挡，环境空间的气流和各种射线的影响，将使接收点的信号强度大大降低。因此，远离电视台的郊区和农村，由于信号弱，无法收看到满意的广播电视节目。

电视频道的频率范围为 $48 \sim 958\text{MHz}$ ，由于频率高，波长短，遇到障碍物将发生明显的反射，直射波和反射波的相位差将造成电视接收机的重影。在城市，高层建筑越来越多，影响了电视信号的传播。由于“高楼重影”现象，无法收看高质量的电视图像。

为了解决上述问题，用户可以各自将天线竖立在建筑的制高点上，并选用各种高性能的前端设备和接收天线。但是，由于各种条件的限制，并不一定能够得到良好的效果。加上建筑物上天线林立，引下电缆纵横交错，严重影响建筑外表的美观。

目前，在电视机集中使用的宾馆、住宅和楼群，选用一套共用的天线。将高质量、高性能的天线安装在最佳位置，通过传输和分配网络送至各个电视机用户。距离电视发射台较远、信号较弱的地区还可增加放大器等构成共用系统，大大改善收视效果。这样的系统称为共用天线电视系统（Community Antenna Television）简称 CATV 系统。

近几年来，我国共用天线电视系统正在迅速地发展，规模越来越大，内容越来越丰富。除了按建筑楼群的几百个用户共用天线系统工程外，已经发展为几万户、几十万户规模的市、省有线电视台及大规模的闭路电视系统。节目内容除了几路开路信号的电视频道节目外，还通过录像机、摄像机、调制器播放自办节目；通过卫星接收天线、放大器、调制器等转播卫星的电视节目。

2. CATV 系统的组成

CATV 系统由前端系统、传输系统和分配系统等部分组成，该系统组成框图如图 9-23 所示。

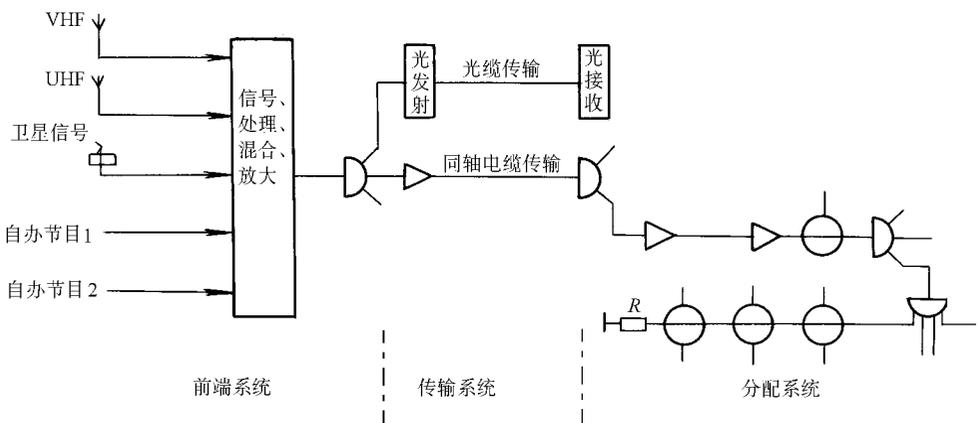


图 9-23 CATV 系统的组成框图

(1) 前端系统 由信号源部分和信号处理部分组成。信号源部分是系统提供视频和音频信号等多种信号源。信号源部分的主要设备有电视接收天线、卫星电视接收机、光缆信号、各类摄录放像设备、多媒体计算机设备等。信号处理部分是对系统提供的信号进行必要的处理和控制的设备，其主要器件有天线放大器、宽带放大器、卫星接收器、频道变换器、制式转换器、衰减器、混合器、解调器、调制器等。

(2) 传输系统 是把前端输出的高质量信号尽可能保质保量地送给用户分配网络。传输

系统的质量对整个系统有直接的影响。其主要器件有干线放大器、光缆或同轴电缆、均衡器、电源等。

(3)分配系统 是将干线的信号能量尽可能均匀地分配给每台用户电视机并保证其信号质量。一般包括分配器、分支器、馈线和线路放大器、用户终端(即电视出口插座)等部分组成。

通常在一幢建筑楼或一个楼群采用的小型共用天线系统,它的区域小,规模也较小和传送距离较短,只需采用用户分配系统,而不需干线传输系统。

三、电气保安系统

随着科学技术的发展和人民生活水平的提高,人们对于防止意外不安全因素,保障生命财产的要求愈来愈高。现代高层大型建筑,如办公大楼、酒店宾馆、商业大厦及银行大厦等更要求有严密的保安系统。这里介绍常用的几种电气保安系统装置。

1. 对讲机—电锁门保安系统

现代多层、高层住宅常采用对讲机—电锁门保安系统。在住宅大楼的入口常设有电锁门,上面设有电磁门锁,平时门总是关闭的。在入口的门边外墙上嵌有大门对讲总按钮盘。来访客人须依照探访对象的层次和单元号按动盘上相应按钮,此时被访户主家中的对讲机铃响。主人通过对讲机与门外访客对话,大门外的总按钮箱内也装有一部对讲机。当主人问明来意,同意探访时,即可按动附设在话筒上的按钮,此时入口电锁门的电磁铁通电将门打开,来客即可推门进入。反之,如果对来访的人素不相识或有疑虑,可以不按电锁按钮,拒之门外。

2. 可视—对讲—电锁门保安系统

如果住户要求除了能与来访者直接对话之外,还希望能够看到来访者的面貌及当时入口的现场动态,则可以在入口门外墙的适当部位安装电视摄像机,摄像机的视频输出经同轴电缆接入调制器。由调制器输出的射频电视信号通过混合器进入大楼的共用天线电视系统。调制器的输出电视频道应调制在 CATV 系统的空闲频道上,并将调定的频道通知住户。在住户通过对讲系统与来访者通话的同时,可开启电视机的相应频道观看来访者和入口处的情况。可视—对讲—电锁门保安系统如图 9-24 所示。

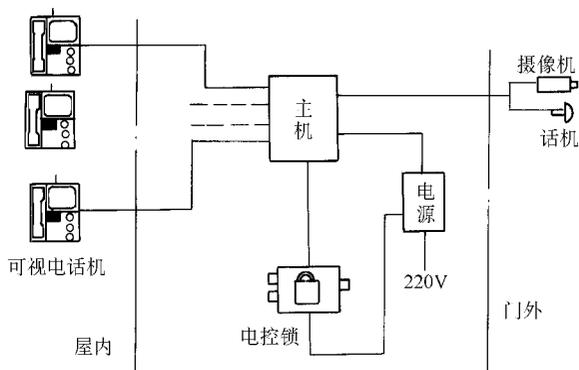


图 9-24 可视—对讲—电锁门保安系统图

可视—对讲—电锁门保安系统如图 9-24 所示。

3. 闭路电视监视保安系统

对于要求较高的办公大厦、宾馆酒店、超级商场、银行或金融交易所等场所,常设有保安中心。通过闭路监视电视随时观察入口、重要通道和重点保安场所的动态。闭路电视监视保安系统由摄像、控制、传输和显示部分组成。当有监听功能的需求时,应增设伴音部分。该系统如图 9-25 所示。只需在一处连续监视一个固定目标时,可选单机电视监视系统。也可在一处集中监视多个目标;在进行监视的同时,可以根据需要定时起动的录像机、伴音系统和时标装置,记录监视目标的图像、数据、时标,以便存档分析处理。

4. 电子保安系统

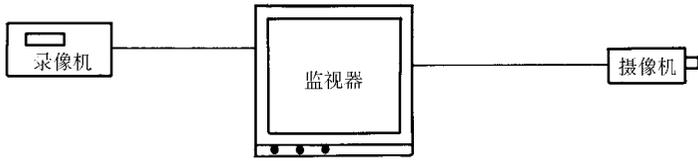


图 9-25 简单的电视监视保安系统

电子保安系统是利用安装现场的各种检测器件提供的信号，进行综合分析，一旦发现非法侵入、盗窃等情况时立即产生报警输出的系统。

常用的检测器件有门窗电磁开关，检测破坏玻璃或者墙外力撞击的振动传感器，检测人体散发热量的红外线传感器，检测人体和物体运动变化的光电、超声波和微波传感器等。常用的报警输出为报警发声器、警号、警灯和可集中或分散打开的灯光。

对于要求更高的重要场合，专门设置功能齐全的保安中心和电子保安警卫系统。该系统由微型计算机、录像机、闭路电视和检测系统等组成。保安中心应设专人值班。

另外要注意的是，对于任何保安系统都必须注意安全保密。检测传感器和报警器都应该隐蔽安装，线路采用暗敷方式，系统具有自动防止故障的特性。使用交流电源供电时，还应配备备用电源。

本章小结

1. 配电箱与电度表是室内电器与外部连接的重要环节。居室内的配电箱可分为：电力配电箱、照明配电箱、计量箱、控制箱等；电能表分为老式的感应电表和新式的电子电表，电磁感应电度表和 IC 卡式电度表目前使用较为普遍，是本书的主要介绍内容。

2. 居室供电线路中，必须使用正确的导线型号和导线截面，根据要求选择正确的敷设方法。

3. 常用的照明灯具有白炽灯、日光灯、节能灯、开关、插座等，它们有不同的特性和不同的安装方法。

4. 现代的民用建筑除了有强电系统外，一般还需要有弱电系统。民用弱电系统有：电信系统、CATV 系统、电气保安系统等。

第十章 印制电路

第一节 电路设计与制版——Protel 99

一、Protel 99 的组成与设计步骤

Protel 99 主要由两大部分组成：原理图设计系统（Schematic 99）和印制电路板设计系统（PCB 99）。

电路板的设计过程主要是先绘制电路原理图，然后由电路原理图文件生成网络表，最后在 PCB 设计系统中根据网络表完成自动布线工作。也可以根据电路原理图直接进行手工布线而不必生成网络表。完成布线工作后，可以打印输出。

二、启动 Protel 99

可以直接双击 Windows 桌面上 Protel 99 的图标来启动应用程序。或直接单击 Windows [开始] 菜单中的 Protel 99 图标。

启动 Protel 99 应用程序后，接下来便进入图 10-1 所示的 Protel 99 主窗口。

图 10-1 所示菜单栏主要包括 3 个下拉菜单：[File]、[View] 和 [Help]。

其中 [File] / [Exit] 为退出 Protel 99。



图 10-1 Protel 99 主窗口

三、窗口及窗口管理

设计管理器窗口位于工作窗口的左边如图 10-2 所示。设计管理器窗口为项目浏览器（Explorer）和当前运行的编辑器的浏览器所共有，如原理图浏览器（Browse Sch）。

（1）打开或关闭设计管理器的方法 执行菜单命令 [View] / [Design Manager]，或按  按钮。

（2）浏览器之间的切换 可以通过单击设计管理器窗口上部相应的标签来实现。

（3）状态栏（Status Bar）的打开和关闭 执行菜单命令 [View] / [Status Bar]。状态栏打开后如图 10-2 所示。

（4）工作窗口的切换 工作窗口又称为设计窗口。它除包括项目管理窗口外还可以为多个编辑器所共有。各个工作窗口之间的切换是通过单击工作窗口上部相应的标签来实现的。当在各个工作窗口之间进行切换时，其左侧的设计管理器窗口也随之相应地改变，同时主窗口中的菜单栏也会发生相应的变化。

（5）命令行（Command Status）的打开与关闭 执行菜单命令 [View] / [Command Status]。命令行打开后如图 10-2 所示。



图 10-2 各种窗口、工具栏、命令和状态栏均处于打开时的屏幕

四、文件管理

在 Protel 99 中，所有与设计有关的各种信息都存储在一个设计数据库（Design Data Base）中，并保存在一个或几个文件夹中。该数据库以 * . ddb 为后缀名保存在用户的硬盘上或其他存储介质上，用户在计算机中只能查找到相应的设计数据库文件。

1. 新创建一个设计文件

执行菜单命令 [File] / [New]。在 [New Design Database]（创建设计数据库文件）对话框中，单击 按钮选择文件的存储位置。Protel 99 默认文件名为“ MyDesign. ddb ”，也可以在相应位置改变文件名。单击 按钮。Protel 99 主窗口改变如图 10-3 所示。



图 10-3 设计数据库文件主窗口

2. 打开数据库文件夹

双击 Documents 图标。

3. 启动原理图编辑器

选择 [File] / [New] 命令，会出现如图 10-4 所示的选择文件类型对话框，单击  图

标, 选中原理图编辑器图标。单击 **Ok** 按钮或双击该图标即可完成新的原理图文件的创建, 如图 10-5 所示。

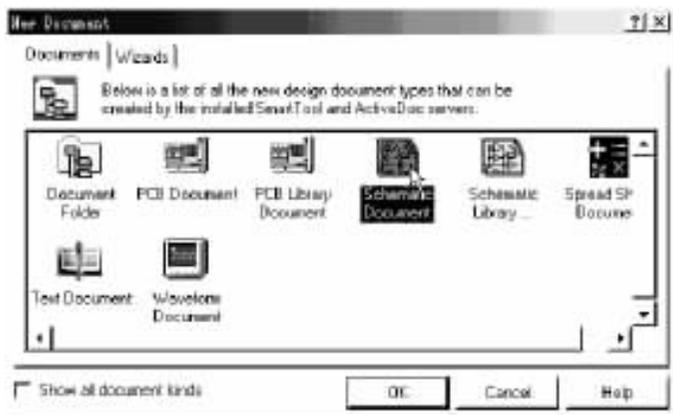


图 10-4 选择文件类型对话框

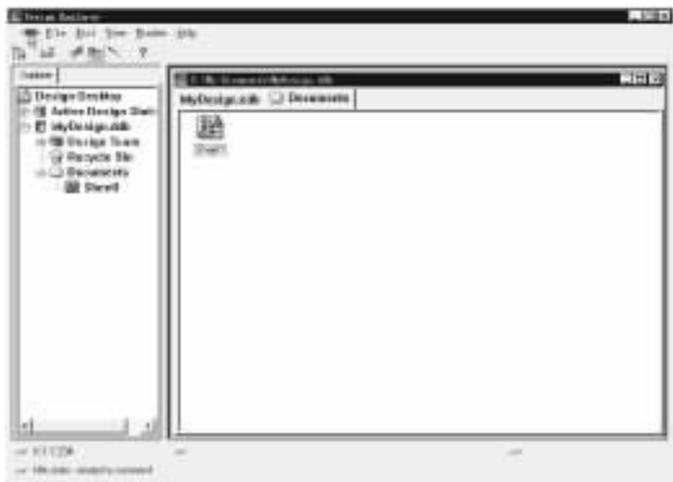


图 10-5 创建新的原理图文件

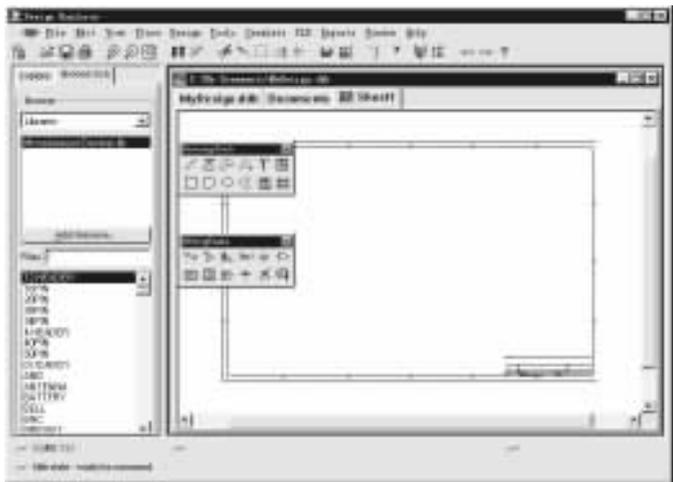


图 10-6 原理图编辑器界面

4. 打开原理图文件

双击工作窗口中的原理图文件图标即可在工作窗口中打开该文件。也可通过 [File] / [Open] 命令或单击工具栏中的打开文件按钮来打开一个原理图文件，原理图编辑器界面如图 10-6 所示。

5. 关闭一个文件

在工作窗口为该原理图窗口的情况下，执行菜单命令 [File] / [Close] 即可。如果用户在关闭该图形文件之前，对文件做了修改，则系统会提示用户是否保存。

6. 关闭设计数据库文件

关闭当前的设计数据库文件，执行菜单命令 [File] / [Close Dsgn] 即可。

7. 保存一个文件

保存当前处于工作状态的一个文件，执行菜单命令 [File] / [Save] 即可。

第二节 原理图设计系统

电路原理图的设计过程可分为：设置图样参数及相关信息—装入所需要的元件库—放置元件—布线画图—调整、检查和修改—保存和打印输出。

一、画原理图

1. 画面基本操作

打开原理图文件后，各种窗口工具栏等处于打开时的屏幕如图 10-2 所示。

(1) 工具栏的打开与关闭 通过执行菜单命令 [View] / [Toolbars] 下面的 [Main Tools] 主工具栏，[Wiring Tools] 画原理图工具栏，[Drawing Tools] 画图形工具栏，[Power Objects] 电源及接地符号工具栏，[Digital Objects] 常用器件工具栏，[PLD Tools] 可编程逻辑器件工具栏，[Simulation Sources] 模拟仿真信号源工具栏，可分别打开其相应的工具栏，如图 10-2 所示。

(2) 放大与缩小按钮  和 ，每按一次，工作区域相应放大或缩小一次。

(3) 绘图区填满工作区 当需要查看整张电路图样时，可执行菜单命令 [View] / [Fit Document]，或单击主工具栏的按钮。

(4) 所有对象显示在工作区 当需要在工作区中查看电路原理图上的所有对象（不是整张图纸），可执行菜单命令 [View] / [Fit All Objects]。

(5) 放大显示用户选定区域 对选定区域对角线上的两个顶点，执行菜单命令 [View] / [Area]，再将十字光标移到目标区域对角线的某一点，拖动鼠标，将光标移到对角线的另一个顶点位置，单击确认。

(6) 刷新画面 设计时用户会发现，在滚动画面、移动元件等操作后，有时会出现画面显示残留的斑点、线段或图形变形等问题，虽不影响正确性但不美观，这时可以通过执行菜单命令 [View] / [Refresh] 来刷新画面。

2. 装入元件库及放置元件



图 10-7 原理图管理浏览器窗口

(1) 打开原理图管理浏览器 在工作窗口为原理图编辑器窗口的状态下, 单击设计管理器顶部的 **Browse Sch** 标签即可打开, 如图 10-7 所示。

(2) 装入原理图所需的元件库 单击原理图管理浏览器窗口中的 **Add/Remove** 按钮, 出现如图 10-8 所示的对话框, 用以装入所需的元件库或移出不需要的元件库。单击选择所需的库文件 (文件后缀名为 .ddb), 例如 “Miscellaneous Devices. ddb”, 然后单击 **Add** 按钮, 被选中的库文件即出现在 [Selected Files] 列表框中, 成为当前活动的库文件。然后单击 **Ok** 按钮就可以将上述库文件装入原理图管理浏览器中。此时, 被装入的元件库 (* . ddb) 以及该元件库所包含的所有元器件就会出现在原理图管理浏览器中, 如图 10-9 所示。



图 10-8 改变当前元件库设置对话框



图 10-9 装入元件库

Protel 99 原理图元件库文件的位置在 Protel 99 安装目录下的 “Library h Sch” 子目录中, 共有 118 个库文件。库文件通常是按照不同公司的产品进行分类的。

(3) 在原理图管理浏览器中选定元件所需的元件库 如在图 10-9 中 [Browse] 选项的下拉式选框中, 先选中 [Libraries] 选项, 再选中 [Miscellaneous Devices] 项, 单击。

(4) 在该元件库中选定所需元件 如电阻 RES2。在元件列表选框中找到并将光标移至 RES2 处, 单击左键选定。

(5) 放置元件到工作平面上 单击 **Place** 按钮或直接双击 RES2, 将光标移至工作平面的适当位置, 此时元件 RES2 亦随光标一起移动至此, 单击鼠标左键即可将元件放置到当前位置。此时系统仍处于放置元件状态, 单击鼠标左键一次就会在工作平面的当前位置放置另一个相同的元件。按 **Esc** 键或单击鼠标右键, 即可退出该命令状态。

3. 元件的删除

(1) 删除一个元件 ① 执行菜单命令 [Edit] / [Delete] 或使用快捷键 E/D。② 当光标变为十字形状后, 将光标移至需要删除的元件上, 单击左键即可将该元件从工作平面上删除。

此后程序仍处于命令状态。重复第②步操作可依次删除其他元件。单击鼠标右键或按 **[Esc]** 键即可退出命令状态。

(2) 一次删除多个元件 选中所要删除的多个元件。按住鼠标左键不放, 然后拖动鼠标, 用拖出的选框框住所要删除的多个元件。然后松开鼠标左键。执行菜单命令 **[Edit] / [Clear]**, 或按快捷键 **Ctrl/Del**, 即可从工作区中删除选中的多个元件。

4. 移动元件

(1) 移动单个元件 将鼠标箭头移到需要移动的元件上, 然后按住鼠标左键不放, 此时在元件上方出现以鼠标箭头为中心的十字光标, 同时元件的名称、序号消失而代之以虚线框, 这样便选中了该元件。按住鼠标左键不放, 移动十字光标, 元件会随光标的移动而移动。将元件随光标移动到适当的位置, 松开鼠标左键即完成了移动工作。

(2) 同时移动多个元件 同时选中多个元件。按住鼠标左键不放, 移动鼠标在工作区内拖出一个适当的虚线框将所要选择的所有元件包含在内, 然后松开左键即可选中虚线框内的所有元件或图件。移动选中的元件。选中元件后, 单击被选中的元件组中任意一个元件并按住鼠标左键不放, 出现十字光标后即可移动被选中的元件组到适当的位置, 然后松开鼠标左键, 元件组便被放置在了当前位置。这时元件仍处于选中状态, 须取消元件选择。元件选择的取消可通过执行 **[Edit] / [DeSelect]** 菜单中的对应命令取消元件的选中状态。

5. 元件的旋转

单击元件并按住鼠标不放, 选中该元件。

Space 键 (空格键): 每按一次, 被选中的元件逆时针旋转 90° 。

X 键: 使元件左右对调。

Y 键: 使元件上下对调。

6. 编辑元件属性

用鼠标左键双击元件, 弹出图 10-10 所示对话框, 根据要求, 在对话框的各栏中设置元件的各种属性:

[Lib Ref]: 元件库中的型号 (不允许修改)。

[Footprint]: 元件的封装形式。

[Designator]: 元件序号。

[Part]: 元件型号。

[Sheet]: 图纸号。

设置结束后, 单击 **[Ok]** 按钮确认即可。

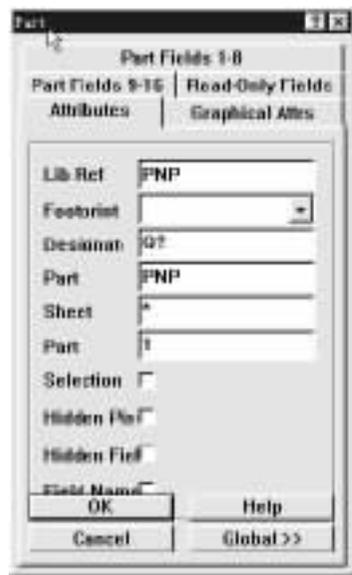


图 10-10 元件属性编辑对话框

示例 对以下几个元件的序号、型号、封装形式设定如下:

普通电容 1: C1、60pF、RAD0.2

电解电容 1: C2、22 μ F、RAD0.3

电阻 1: R1、1K、AXIAL0.4

复位键: S1、SW—PB、RAD0.4

单片机: U1、DS80C320、DIP—40

7. 画导线

单击画原理图工具栏 (Wiring Tools) 中的画导线  按钮, 出现十字光标。移动鼠标位置, 单击确定起始点。画导线至另一点, 单击确定其终点 (如导线需转折, 再移动鼠标至另一点, 单击确定, 如此可多次转折), 单击鼠标右键即完成一条导线的绘制。这时仍处于画导线的命令状态, 重复上述步骤可继续绘制其他导线。单击鼠标右键或按 **[Esc]** 键, 退出此命令状态, 十字光标消失。在绘制过程中, “T” 型线路的节点是程序自动放置的。

此外还可以执行菜单命令 **[Place] / [Wire]** 或按快捷键 **P/W**, 按上述方法画导线。

如果对绘制的某段导线外观不满意, 可以双击该段导线, 在弹出的设置导线属性对话框 (图 10-11) 中设定该段导线的有关参数, 如线宽、颜色等。

8. 放置电源及接地符号

单击画原理图工具栏 (Wiring Tools) 中的  按钮, 或单击电源及接地符号工具栏 (Power Objects) 中的任意按钮。出现十字光标, 电源或接地符号会“粘”在十字光标上, 拖动光标将电源或接地符号放置在所需位置, 单击鼠标左键确认即可。双击已放置的电源或接地符号, 弹出设置其属性对话框, 进行设定。

Net (网络名称): 如“VCC”、“GND”等, 此处字母的大小写将具有不同的含义。



图 10-11 设置导线属性对话框

9. 放置电路节点

单击画原理图工具栏上的  按钮 (或执行菜单命令 **[Place] / [Junction]**), 出现十字光标, 将其移至两导线交叉点处, 单击鼠标左键即可。放置完节点后, 单击鼠标右键或按 **Esc** 键退出命令状态。

1) 双击该节点, 在弹出的线路节点属性对话框中对节点的位置、大小、颜色等进行设置。

2) 执行菜单命令 **[Tools] / [Preferences]**, 在弹出的 **[Preferences]** 对话框中选中 **[Auto-Junction]** 选项, 可在连接完导线后, 自动在“T”形导线交叉点处放置一个节点。

图件的删除: 选中所要删除的图件, 执行菜单命令 **[Edit] / [Clear]**, 即可删除所有被选中的图件。

二、打印输出原理图

执行菜单命令 **[File] / [Setup Print]**, 弹出打印机设置对话框, 设置好打印机后, 执行菜单命令 **[File] / [Print]**, 打印输出原理图。

第三节 生成网络表文件

由原理图生成网络表: 执行菜单命令 **[Design] / [Create Netlist]**, 出现图 10-12 所示的生成网络表对话框, 对有关选项进行设置。

[Output Format]: 输出格式, 可设置成 **[Protel]** 格式。

[Sheets to Netlist]: 生成网络表的图样, 设定为 **[Active sheet]**, 即当前处于激活状态的图样。

设置完毕后, 单击 **[Ok]** 按钮即可生成与原理图文件同名的网络表文件, 工作窗口和设计

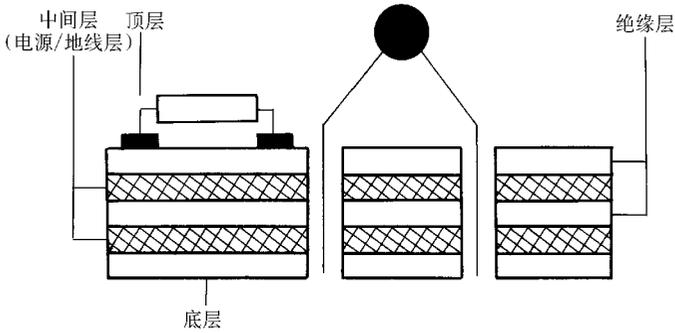


图 10-14 4层 PCB 板剖面图

从图中可看出，除了顶层和底层外，还有两个中间层，这两层一般都是整片铜膜的电源层或接地层，此外还有顶层覆盖层、底层覆盖层及阻焊层等非铜膜走线层。图中示意了两类元件：一类是表面贴装元件（SMD），随着元件集成度的提高，器件日益小型化，而且 SMD 元件不仅仅局限于阻容元件，也包括了多种集成电路（IC），SMD 元件的特色是不需要另外钻孔，利用铜膜和半熔状锡膏可以直接粘贴在 PCB 表面；另一类为插针式元件，安装时要在 PCB 上先钻孔，再将元件引脚插入，然后进行焊接。PCB 上的连接孔（Via），也常被称作导孔或贯孔。导孔的形式主要分为以下几种类型：从顶层到底层的导孔称为贯通式导孔（Through）；从顶层到中间层或从中间层到底层的导孔称为半隐藏式导孔（Blind）；从中间层到中间层的导孔称为隐藏式导孔（Buried）。

二、PCB 设计流程

典型的 PCB 设计流程为：开始—定义板框—装入网络表文件定义元件—元件布置—设置布线规则—自动布线—手工调整—比较网表文件及电路图—输出打印—结束。

1. 定义板框

在 Protel 99 主窗口上，点击 File（文件）菜单上的 New（新文件）选项后，将出现如图 10-4 所示的窗口。

用鼠标点击 Document Wizard（文本向导）标签，窗口将变为图 10-15 所示。在该窗口中双击 Printed Circu... 图标，即可启动板框向导（Board Wizard），如图 10-16 所示。

按下 Next 按钮，界面将变为如图 10-17 所示。



图 10-15 文本类型选择之二



图 10-16 板框向导之一

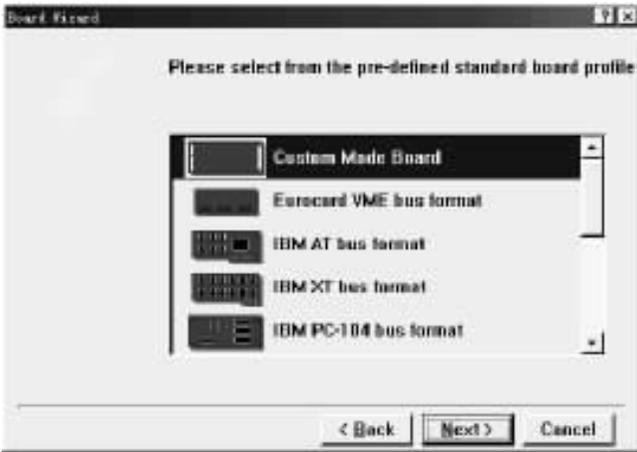


图 10-17 板框向导之二

在窗口中选择 Custom Made Board (自定义板框) 项, 按 Next 按钮进入下一步, 如图 10-18。

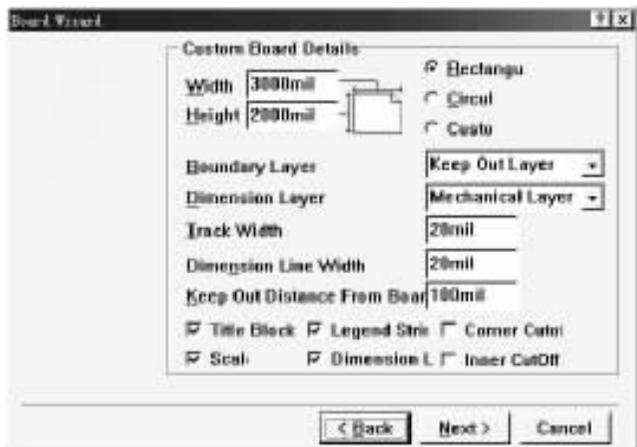


图 10-18 板框向导之三

将参数修改为所需数值后, 按 Next 按钮进入下一步, 如图 10-19 所示。填写完毕后, 按 Next 按钮进入下一步, 如图 10-20 所示。

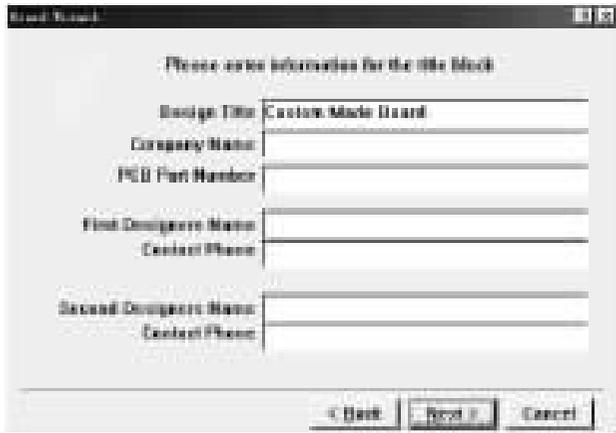


图 10-19 板框向导之四

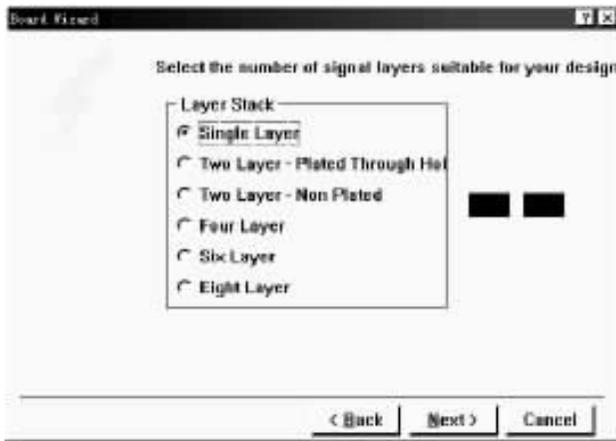


图 10-20 板框向导之五

选中 Single Layer（单面板）后，按 Next 按钮进入下一步，如图 10-21 所示。



图 10-21 板框向导之六

按图中所示选择后，按 Next 按钮进入下一步，如图 10-22 所示。

按图中所示选择后，按 Next 按钮进入下一步，如图 10-23 所示。

如不需要做修改，则按 Next 按钮进入下一步，如图 10-24 所示。



图 10-22 板框向导之七



图 10-23 板框向导之八



图 10-24 板框向导之九

按 Finish 按钮，在工作区中将出现一块电路板，如图 10-25 所示。

2. 装入 PCB 元件库

在 PCB 浏览器 (Browse PCB) 窗口中 [Browse] 选项的下拉列表框中选择 [Libraries] 选项，如图 10-26 所示。

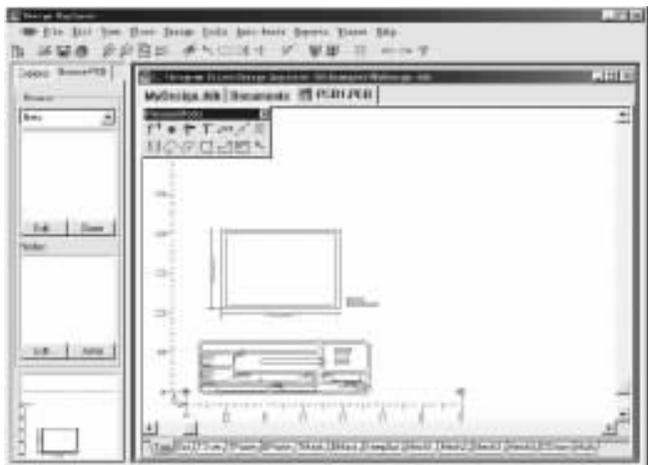


图 10-25 生成电路板



图 10-26 选择
[Libraries] 选项

单击 PCB 浏览器 (Browse PCB) 中的 **Libraries** 按钮, 弹出如图 10-27 所示的添加/移去元件库对话框。

选择 Protel 99 安装目录下 “Library h Pcb” 中的 “Generic Footprints” 文件夹, 在搜索选项下的文件列表框中选中 Advpcb. ddb、General IC. ddb、Miscellaneous. ddb 文件, 然后单击 **Add** 按钮 将选中的文件添加到 [Selected Files] 选框中。单击 **OK** 按钮, 将所选中的文件装入到 PCB 编辑器中。

3. 装入网表文件

板框定义完成后, 就可以装入网表文件, 在这里用的是图 sheet1 (见图 10-28) 生成的网表文件 sheet1.net。选择 Design (设计) 菜单上的 Netlist (网表) 选项, 屏幕上将出现 Load/Forward Annotate Netlist 对话框。

按 Browse (浏览) 按钮, 查询并选择所需装入的网表文件的路径及文件名后, 装入的网

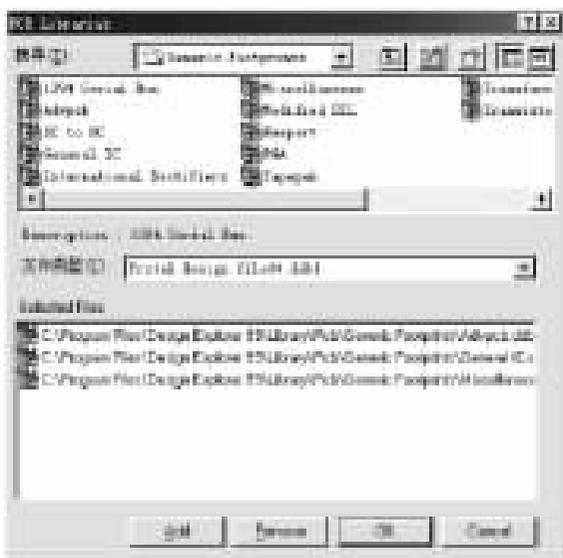


图 10-27 添加/移去元件库对话框

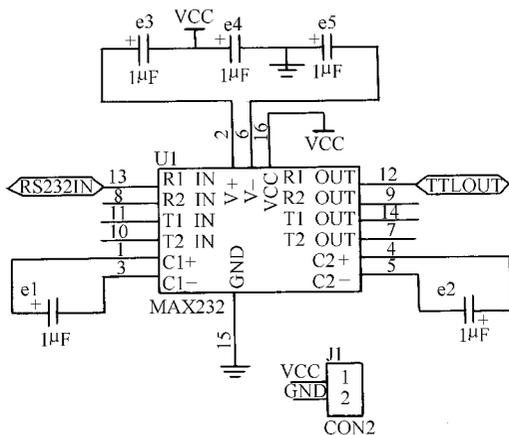


图 10-28 sheet1.sch

表如图 10-29 所示。

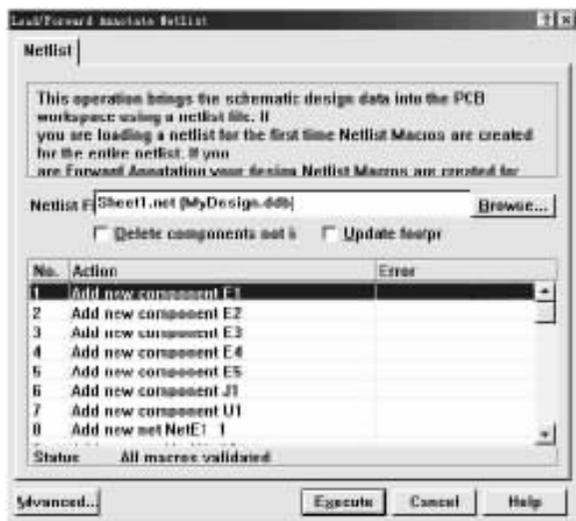


图 10-29 装入网表

按 Execute (执行) 按钮后, 屏幕将变为如图 10-30 所示。为了便于观察, 可选择 View (视图) 菜单上的 Fit Board 命令, 使印刷板的板面大小与工作区大小相同。

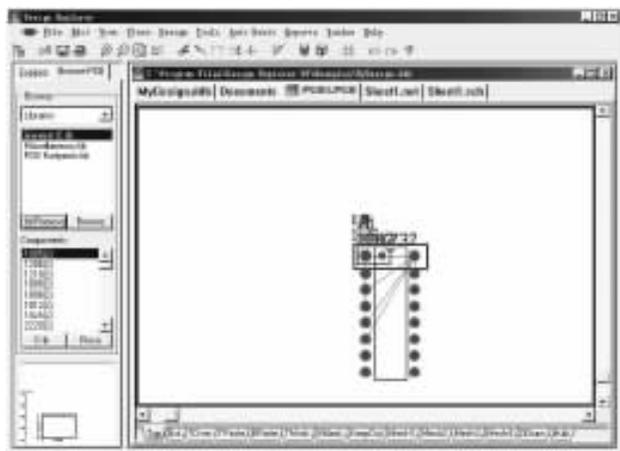


图 10-30 装入元器件

4. 元件布置

此时看到的元器件都是重叠在一起的。利用 PCB 99 提供的 Shove (推齐) 功能, 可轻易快速地将重叠在一起的元器件展开。

首先, 要设置元器件的推齐深度, 即需要推齐的次数。单击 Tools 菜单上 Align Components 选项中的 Set Shove Depth 命令, 屏幕上将出现如图 10-31 所示的对话框。



图 10-31 设置推齐深度

由于此例所用电路的元器件不多, 所以将该值设置为 2 即可。接着在同一个菜单上选择 Shove 命令, 这时屏幕上鼠标箭头将变为十字形, 将其指向某一个元件, 单击鼠标左键就可

以将元器件推开了。

如图 10-32 所示的一样，元器件虽然被推开了，但位置不太理想，这时就只能手工进行调整了。推曳元器件十分简单，只需用鼠标箭头指向需要移动的元器件（一定要指向元器件的内部），按住左键，将其拖到所需的位置即可。按 Space（空格）键可使元器件改变方向（逆时针旋转）。图 10-33 所示的为手工调整后的元器件布置图。

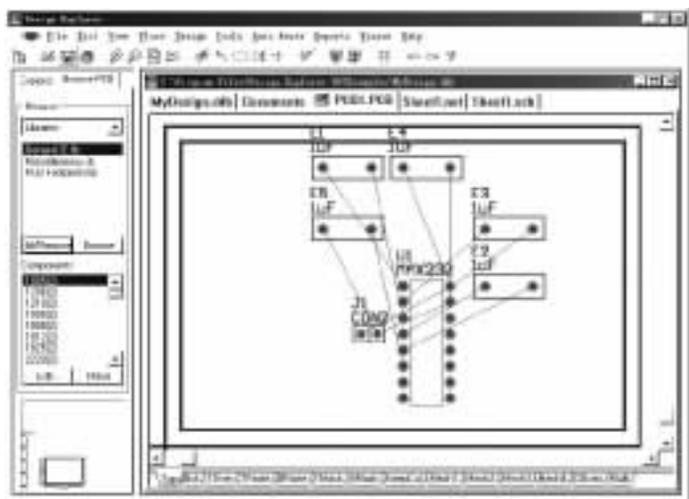


图 10-32 推开元器件

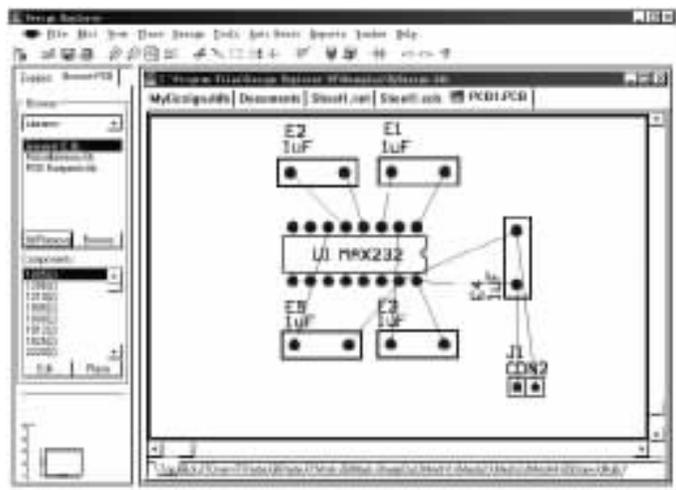


图 10-33 人工调整元器件位置

5. 设置布线规则

选择 Auto Route（自动布线）菜单上的 Setup 命令，屏幕上将出现如图 10-34 所示的对话框。

在该对话框中，有多种布线策略可供选择，还可以设置测试点（test point）。根据本课程的要求，在这里只需用其缺省设置。

6. 自动布线

只需选择 AutoRoute 菜单上的 All（全部）选项，即可进行自动布线。自动布线的结果

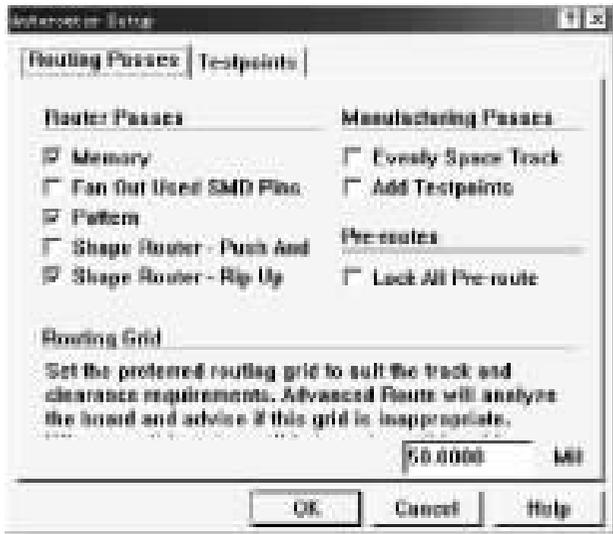


图 10-34 设置布线规则对话框

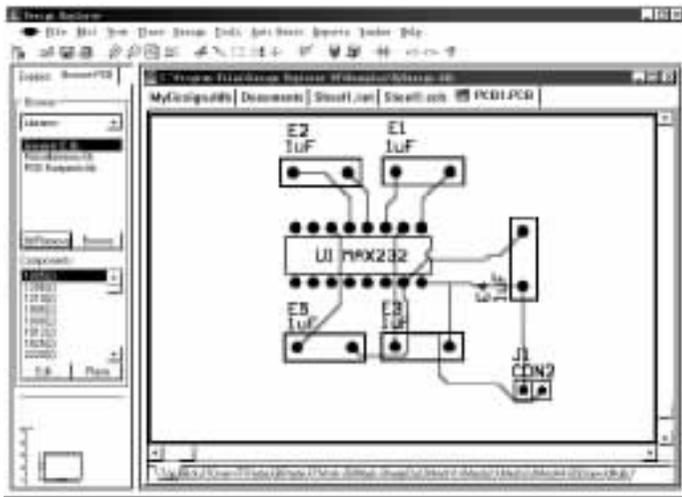


图 10-35 自动布线

如图 10-35 所示。

7. 手工调整

自动布线完成后，如果觉得不太满意，可以手工对其进行调整。

拆除原有布线：执行菜单命令 [Tools] / [Un-Route] / [Connection]，光标变成十字形状。将光标移到所要拆除的导线上，单击确认，即可将该布线拆除。也可以直接利用菜单命令 [Edit] / [Delete] 或快捷键 E/D 删除导线。

手工布线：单击放置工具栏 (Placement Tools) 中  按钮或执行菜单命令 [Place] / [Track]，然后手工将上述三个元件引脚连接起来。手工调整后的结果如图 10-36 所示。

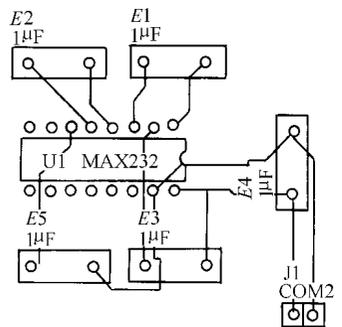


图 10-36 调整布线后的结果

三、保存及输出打印

布线后要及时保存，如果没给电路板命名的话，系统给定的缺省文件名为 PCB1. PCB、PCB2. PCB 等等，若需另取文件名，则使用 Save As (另存为) 命令。

在输出打印电路板图时，建议选用 File (文件) 菜单中的 Setup Printer (打印设置) 选项，选择打印机、输出格式以及所需打印的板层等等。设置好打印机后，执行菜单命令 File/Print 或直接单击主工具栏中的  按钮即可打印输出。

本章小结

本章介绍了如何用 Protel 99 绘制一张单面印制电路板的一般过程，它包括三个基本设计步骤：原理图的设计、由原理图生成网络表、印制电路的设计，内容涉及各种常用工具的使用、各种命令的执行方法、各种设置的功能，以及相关操作的具体步骤。

- 启动 Protel 99：认识 Protel 99 各种窗口包括菜单栏、工具栏和状态栏及命令指示，启动各种编辑器，如原理图编辑器 (Schematic Document)、印制电路板编辑器 (PCB Library Document) 等。

- 画面管理：画面管理主要是指各种窗口的打开、关闭和切换，各种工具栏的打开、关闭，绘图过程中工作区域的显示状态等。掌握了画面管理的方法将对设计工作带来很大方便。

- 文件管理：介绍了 Protel 99 中文件管理方法，包括原理图、PCB 文件的创建、打开、关闭、保存、删除等操作。

- 绘制电路原理图：1. 装入元件库。2. 放置元件，包括在工作平面上放置元件以及对元件进行删除、编辑、移动、旋转等操作。3. 绘图，利用 Protel 99 提供的各种绘图工具，绘制具有电气意义的线段、符号等图件的方法。

- 生成网络表文件：简略介绍了生成方法。网络表文件是原理图与印制电路板之间的一条联系纽带，它将直接影响到后面设计印制电路板中自动布线的成败。

- 单面板印制电路的绘制：介绍了如何生成电路板，装入网表文件前，应装入 PCB 元件库，再在电路板中装入元器件，对元器件进行推开、移动、旋转等操作，调整好各元器件的位置，再进行自动布线、手工调整等，即可基本完成一张印制电路板图。

第十一章 机械设备电气自动控制概况

第一节 机械设备电气自动控制的基本概念

机械设备一般由机械本体和动力机构两部分组成。

动力机构包括原动机及其控制两大部分。现代机械设备一般以电能为动力，电动机即为原动机。电动机及其控制电器组成了动力机构。

电动机的作用是将电能转换成机械能，带动机械本体的运动部件工作。控制部分的作用是控制电动机的运行，也就是控制机械设备的运行。从简单的开关，到复杂的计算机控制系统，都属于这里所说的控制部分。

机械部分是机械设备的主体，也叫机械本体。机械设备的运动部件，可归纳为传动机构和工作机构两部分。传动机构的作用是将电动机输出的机械能传递给工作机构，同时根据需要改变转速和运动方式。例如用齿轮传动，可使转速升高或降低；用卷筒-钢绳传动，能将旋转运动转换成直线运动。齿轮和卷筒-钢绳都是常见的传动机构。工作机构是机械设备中直接进行工作的部分，如车床的主轴系统和进给系统。在图 11-1 中，以简单的钻床为例，说明了机械部分的组成。

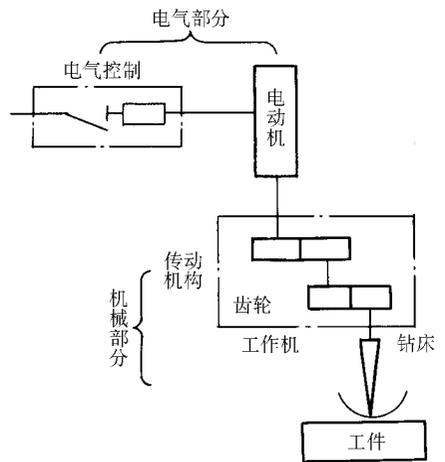


图 11-1 钻床示意图

由上图可知，在机械设备中，机械部分和电气部分是紧密结合在一起的，共同决定机械设备性能的好坏。机械部分是本体，但它的各运动部件的起动、制动、运动的方向、速度的调节等，都是受电气控制系统控制的。因此，电气系统是机械设备正常工作的保证。

在稍复杂一点的电气控制系统中，能对被控对象进行一定程度的自动控制。具有自动控制功能的电气控制系统，称为电气自动控制系统或自动控制系统。

电气自动控制系统由各种电动机、电气元件、电子元件、检测元件以及计算机等设备，按照一定规律组成。各类机械设备采用自动控制技术后，操作者按动电钮，发出加工指令，设备就能按预先规定好的程序进行加工。例如，在机床上装上数控系统后，机床就能依据计算机发出的指令，自动按预定的轨迹进行加工。如果再配上自动装卸工件的机械手，则在机床加工完一个工件后，机械手自动将工件卸下，并装上新的工件，开始下一个工件的加工。如此不断循环，自动加工出成批的工件。加工过程中，不需要人工参与。

生产的发展和技术的进步，必须要求实现机械设备的自动化。机械设备的自动化水平，对提高生产率，提高产品质量，扩大设备的功能，减轻操作人员的劳动强度，都起着极为重要的作用，直接影响着现代工业的发展。

机械设备自动化的程度，决定于电气控制系统的发展。二十世纪后，机械设备电气控制

系统沿着电器自动化、电子自动化和计算机自动化的方向发展。在工业发达国家，计算机控制已经占有很大的比例。在我国，大量的还在使用传统的电器控制，但电子控制与计算机控制也在迅速地发展。

随着自动控制技术和微机的应用，电气自动化控制系统日趋复杂，而机械部分则日趋简化。机械设备中，凡能用电气系统实现的功能，正逐步为电气系统所取代。一种机、电高度结合的机电一体化设备，正在迅速发展，成为机电设备发展的一种必然趋势。

第二节 机械设备中的电气自动控制

机械设备的电气自动控制系统，类型很多，主要的有继电器-接触器控制系统、可编程控制器组成的控制系统和计算机数字控制系统。

一、继电器-接触器控制

以继电器、接触器以及开关、按钮等为主要器件组成的控制系统，称为继电器-接触器控制系统，简称继电接触控制系统。它能对机械设备的各种运动进行控制，如起动、停止、正转、反转、延时、调速、顺序控制等等。它的控制方法简单、直接，工作稳定，成本低廉，广泛应用于各种机械设备的自动控制。从20世纪20年代开始，长期以来，一直是机械设备电气自动控制的主流。

随着科学技术的发展，机械设备的自动化水平越来越高。继电接触控制的固有缺陷日益暴露出来，归纳起来有：

1) 由于继电器、接触器使用大量的机械触点，响应速度慢，可靠性不高。

2) 硬件接线复杂，功能单一。一台控制装置只能针对某一固定程序的设备，一旦工艺流程有所变动，就得重新连接电路，满足不了程序经常变动、控制要求较复杂的系统的需要。

3) 体积比较庞大。

这些缺陷限制了它在现代机械设备中的应用。人们迫切需要一种比继电接触控制更可靠、功能更齐全、响应速度更快、使用灵活方便的自动控制装置。在这种形势下，随着电子技术和计算机技术的发展，20世纪60年代末期开发出可编程控制器。随后，各工业发达国家竞相发展，可编程控制器逐渐成为实现工业自动化的一大支柱。

二、可编程控制器

20世纪60年代末70年代初，首先采用的是由逻辑电路组成的可编程逻辑控制器，简称PLC，用来替代继电接触控制。PLC的最大特点是采用了存储器技术，将控制过程编成程序，存入存储器中，运行时，从存储器中一条一条地取出程序，依次执行。修改存储器中的程序，即可改变生产工艺的控制过程，使用灵活方便。

70年代后期，微处理器被应用到PLC中，使得PLC的功能更强，更多的具有计算机的功能，而且做到了小型化和超小型化。将采用微处理器的PLC正式命名为可编程控制器，简称PC。为了避免与普通使用的个人计算机的简称PC混淆，我们把可编程控制器仍简称为PLC。

PLC是在传统的继电接触控制的基础上，结合先进的微机技术发展起来的新型工业控制装置，PLC把计算机的功能完善、通用、灵活等特点与继电接触控制的简单、直观、价格便

宜等优点结合起来，形成以微机为核心的电子控制设备。

PLC可以取代传统的继电接触控制，而且具备继电接触控制所不具备的无可比拟的优点。

1) 控制程序可变，具有很好的柔性 在生产工艺流程改变或被控设备更新的情况下，不必改变 PLC 的硬件设备，只需改变程序就可以满足要求。因此，除单机控制外，PLC 在自动生产线上也被大量采用。

2) 具有高度的可靠性，适用于工业环境 PLC 是专为工业环境应用而设计制造的自动控制装置，在硬件和软件上采取了一系列的有效措施，以提高设备的可靠性和抗干扰能力，并有较完善的自诊断和自保护能力，能够适应恶劣的工业环境。PLC 的平均无故障工作时间可达数万小时，这是其他的自动控制装置所无法比拟的。

3) 编程简单，使用方便 目前大多数 PLC 采用“梯形图”的编程方式。梯形图类似于继电接触控制的电气原理图，简单明了。使用者不需要懂得计算机知识。梯形图就是控制程序，使用者通过编程器将梯形图输入 PLC 即可。因此，这种编程方式容易掌握，便于应用，很受欢迎。

4) 功能完善 现代 PLC 具有开关量和模拟量输入输出、逻辑运算、定时、计数、顺序控制、功率驱动、通信、人机对话、自检、记录和显示等功能，使设备控制水平大大提高。

5) 体积小、重量轻，易于装入机械设备内部，实现机电一体化。

总之，PLC 技术代表了当前电气程序控制的先进水平，应用广泛，发展迅速。它将与数字控制技术一起，成为机械设备自动控制的主要手段和重要的基础控制设备。

三、数字控制

数字控制是指以数字量形式发出指令并实现控制的一种技术，简称 NC。早期数控装置的控制逻辑由硬件电路实现，其逻辑功能是固定的，随着计算机技术的发展，计算机取代了硬件逻辑电路，这就是计算机数控，简称 CNC。现代的数控技术都是使用 CNC 技术。

数字控制技术是一种程序控制系统。它根据输入程序中提供的数据，算出（称插补）理想的运动轨迹，输出给伺服系统，驱动执行机构，加工出所需要的零件。因此数控系统都包括输入、轨迹插补、伺服驱动三个基本部分。

数控技术首先在机床行业获得广泛的应用。各种数控机床门类齐全，品种繁多。数控机床的占有量是衡量一个国家机电工业发展水平的重要标志。

数控系统的核心是计算机。在数控设备中，各种操作指令和工艺过程，都编成程序存放在计算机的存储器中，运行时依据程序对各种动作的顺序、位移量、运动速度等实现自动控制。因此，数控设备的工作过程，就是按照程序的规定自动进行操作的过程。改变一下程序，就能改变它的操作功能。

通常，机械是不灵活的代名词，数控技术赋予机械设备以相当的“灵活性”或“柔性”，使机械设备能够方便地实现各种较复杂的功能。以机床为例，数控机床的应用，较好地解决了形状复杂、精度要求高的工件的自动化加工问题，特别是为占机械加工总量 80% 的小批量工件的加工，开辟了广阔的前景。概括起来，使用数控设备（以数控机床为例），有下列好处：

1) 较高的加工精度和稳定的加工质量。数控机床由程序控制自动完成加工，可以避免操作者人为的误差，有利于提高加工精度，提高同批零件的一致性，使产品质量稳定。更重

要的是数控机床的加工精度不受零件形状复杂程度的影响，一些普通机床上无法保证精度、甚至无法加工的复杂零件，在数控机床上同样可以高效率、高精度地加工出来。

2) 对零件的适应性强。改变加工零件时，只需改变加工程序即可。

3) 提高生产效率。数控机床的加工，是在程序控制下自动进行的，每道工序都可选择最佳的切削用量和进给速度，以节省加工时间；数控机床一般都有自动换刀、变速和快速走空行程等功能，缩短了加工的辅助时间；数控机床在加工零件时，一般只作首次检验及过程中的抽验，减少了停车检验的时间。所以与普通机床相比，数控机床的生产效率可提高 3 ~ 5 倍，数控加工中心则可提高 5 ~ 10 倍。

4) 减轻工人的劳动强度，改善劳动条件。

5) 有利于生产管理。用数控机床加工，能准确计算加工工时；简化检验工作；减少工夹具、半成品的管理工作；减少了因误动作而出废品及损坏刀具的可能性，这些都有利于生产管理。特别是数控机床容易与其他计算机连接，组成更大的系统，这便是现代化的计算机控制和计算机管理的基础。

由于数控机床具有上述特点，其应用日益广泛，在各种应用领域都取得了明显的效益，获得了迅速的发展。

第三节 数控技术的应用和发展

一、数控技术在机械设备中的应用

目前，数控技术已应用于各种机械设备中，特别是在下述几种机械设备的位置控制中，得到了日益广泛的应用。

1. 金属切削机床

数控技术最初是随金属切削机床发展起来的。现在数控技术已成功地应用于车床、镗床、钻床、铣床、磨床、锯床上，提高了机床的性能，并在原有功能上，扩充了许多新的功能。除了上述单功能的机床外，还发展了一些具有复合功能的数控加工中心机床。它将多台机床的功能集中到一台设备上，从而减少了工件的搬运和装卸。加工中心本身具有刀库，能自动换刀，在工件一次夹装后，能自动完成多种工序的加工。

2. 机器人

机器人是随着数控技术一起发展起来的。由于飞机制造技术的需要，美国麻省理工学院于 1953 年研制出了第一台数控铣床，到 60 年代初，就研制出了第一台机械手，与数控铣床配套使用。这种机械手只能作一维方向的简单运动，随着科学技术的发展，机械手发展成机器人，而且越来越高级，除了完成一定的动作外，还具有视觉、触觉等多种功能，以适应不同行业的需要。

机器人中的位置控制系统与数控机床中的一样，也是由专用的数字控制系统控制，伺服系统和执行机构以及传感器也大致相同，只是在结构上有些区别。

3. 自动绘图机

自动绘图机实质上是一种两坐标的轮廓描绘装置。在这里，绘图笔代替了数控机床上的刀具。数控系统用来控制绘图笔的运动轨迹，以便在图纸上绘出所需要的图形。绘图机通常是计算机辅助设计（CAD）中心机的输出设备。

4. 数控编织机和数控剪裁机

这是在纺织行业使用的数控机械设备。数控编织机的数控系统，控制编针的配置，使其按照程序规定的色彩图案和服装式样进行编织。

数控剪裁机能按程序规定的尺寸和式样，将多层纺织品精确地裁剪下来。

5. 数控焊接机

数控焊接机的控制原理和多坐标数控机床相似。五坐标的焊接机已在宇航工业中用来沿曲面边缘进行焊接。由数控系统控制焊接的位置和速度，其编程方法与数控机床基本相同。

此外，模具制造中的线切割机，造船工业中的火焰切割机、弯管机，以及坐标测量机等，都普遍地应用数控系统进行控制，以提高生产效率和加工精度。

二、数控技术的发展

自 1953 年第一台数控机床研制出来后，四十年来，随着电子工业和计算机技术的飞速发展，数控机床，尤其是数控技术不断更新换代。

第一代数控系统：从 1952 年到 1959 年，采用电子管元件。

第二代数控系统：从 1959 年开始，采用晶体管元件。

第三代数控系统：从 1965 年开始，采用集成电路。

第四代数控系统：从 1970 年开始，采用大规模集成电路及小型通用计算机。

第五代数控系统：从 1974 年开始，采用微处理器或微型计算机。

随着系统的更新换代，系统的功能越来越高，价格日益降低，使用也愈加灵活方便。此外，伺服驱动系统和测量元件的性能也在不断改善。

数控技术的发展动向，下述几个方面值得注意：

1. 自适应控制

数控机床是按预先编制好的程序进行加工的。在编程时，有些因素本身就难以精确预料，加工过程中又会受到现场实际因素的干扰，如工件、材料的变化，机床的振动，刀具的磨损等，都可能偏离程序中设置的情况，从而使加工偏离最佳状态，影响了加工的效果。如果有一种控制系统，能及时地将现场的各种干扰因素检测出来，并反馈给控制系统，自动调节有关加工参数（如进给速度、切削深度、主轴转速等），使加工过程达到或维持最佳状态，这种系统就是自适应控制系统。

根据调节参数的不同，自适应控制可分两类：工艺自适应控制和几何自适应控制。

工艺自适应控制调节的参数是工艺参数，如切削用量等。主要目的是为了提高加工效率，防止机床过载和刀具的过度磨损，充分发挥机床的性能，使加工稳定地进行。这种系统主要用于粗加工。

几何自适应控制调节的参数是几何参数，用以提高加工的几何精度。因此要有位置检测和误差补偿等环节。这种系统主要用于精加工。

2. 自动编程

数控机床应用中的突出问题之一是数控程序的编制。对于简单零件，程序不太多，计算和编程的工作量不算太大，出错的机会也少，用手工编程还能胜任；对于复杂零件，特别是对于不是由直线和圆弧组成的任意曲线型面，用手工逐段计算和编程就十分复杂，而且，在计算、书写、纸带穿孔时都容易出错，出了错不易校对。因此，早在 1953 年数控机床刚问世时，美国麻省理工学院就开始了自动编程的研究，1955 年公布了自动编程语言 APT 系统。

以后，不断完善，不断发展。一些国家又先后推出了一些变型的 APT 系统，使用更加灵活方便。

自动编程的过程是：用某种简单的语言（如 APT）来描述工件的几何形状和加工过程，这称为编写源程序。然后，将源程序输入到通用计算机中，计算机根据指定的要求对源程序进行翻译、计算，并最后处理成数控机床适用的加工纸带（称为目标程序）。

在自动编程过程中，通常用图形显示刀具轨迹的方法，来确认编程的结果，发现差错，及时进行必要的修正，然后再自动制作穿孔纸带。应用时，将穿孔纸带放入数控机床的光电阅读机，就可控制数控机床进行加工，因此它比手工编程要简单得多，可靠得多。

3. 经济型数控（或简易数控）

为了降低成本，适应传统产业技术改造的需要，机床数控发展的另一个动向是简易数控。简易数控保留了自动加工的基本功能，而去掉那些用简单操作即可实现的自动机能，从而具有价廉、可靠、操作维修方便、便于掌握等优点，适应于技术改造中量大面广的需要。基于上述特点，简易数控近年来在我国得到了飞速的发展。

第四节 步进电动机开环伺服系统

一、步进电动机开环伺服系统

步进电动机是一种把电脉冲信号转换成直线位移或角位移的执行元件，也可以说是一种机械式的数模转换器。每输入一个脉冲，步进电动机就前进一步，因此，也称作脉冲电动机。步进电动机的种类很多，但主要分为三大类：反应式步进电动机、永磁式步进电动机以及永磁感应子式步进电动机。反应式步进电动机结构最简单，是应用最广泛的一种。按控制绕组的相数分有三相、四相、五相、六相等，但是，无论哪一种步进电动机，它们的工作原理都有相同之处，那就是数字式脉冲信号控制定子磁极上的控制绕组，按一定顺序依次通电，在定子和转子的气隙间形成步进式的磁极轴旋转。

步进电动机能成为现代数字控制系统重要的执行元件，是因为步进电动机本身也在不断发展，性能不断改善，概括起来它具有许多优点：

(1) 可直接实现数字控制 输入脉冲经环形分配器和功率放大后，就直接驱动步进电动机；完成其控制作用，不需要其他的数模转换中间环节。

(2) 控制性能好 步进电动机的位移量或角位移量与输入步进电动机的脉冲的个数成正比，步进电动机的位移速度或角位移速度（转速），与输入脉冲的频率成正比，可以在宽广的范围内实现步进电动机的均匀调速，并能方便地实现快速起动、反转和制动。

(3) 为无接触式元件 没有电刷和换向器，运行平稳可靠，在步进电动机的负载范围内，步距值不受电源电压的大小、负载大小、波形及周围环境温度变换的影响，抗干扰能力强，能保持运行精度。

(4) 误差不长期积累 步进电动机运行一步所转过的角度或移动的距离，与理论步距值均有一定误差，每一步和其他任一步均会产生积累误差，但步进电动机运行一周积累误差为零。

(5) 反应式步进电动机在一相绕组通电的情况下，具有自锁能力；永磁式步进电动机在不通电的情况下，也能保持转矩。

由于上述优点，步进电动机主要用于开环系统，当然也可以用于闭环系统。

步进电动机开环伺服系统由以下几部分组成：

(1) 脉冲信号源 它是一个脉冲发生器，通常脉冲频率在工作范围内连续可调，送到脉冲分配器的脉冲个数和脉冲频率由控制信号进行控制。

(2) 脉冲分配器 将脉冲按一定顺序送到功率放大器进行放大，驱动步进电动机工作。

(3) 功率放大器 将脉冲分配器送来的脉冲进行放大，使步进电动机获得必要的功率。

(4) 步进电动机 伺服系统的执行元件，它带动工作机构，如减速装置、丝杠、工作台。

二、步进电动机

图 11-2 所示为反应式步进电动机工作原理图。步进电动机的定子具有均匀分布的六个磁极，磁极上装有绕组，两个位置相对的磁极组成一相，图中 A、A'、B、B'、C、C' 共有三相。为了简化分析，转子上只画出了均匀分布的四个齿。

当 A 相通电，B 相 C 相不通电时，电机铁心中产生 A、A' 轴向磁通，在磁拉力的作用下，转子 1、3 齿与 A、A' 极对齐（图 11-2a）。在 A 相通电的情况下接通 B 相，此时 A 相和 B 相同样产生磁拉力，转子顺时针方向转过一定角度（图 11-2b）。如果 A 相断电 B 相继续通电，在磁拉力作用下转子又向前转动一定角度（图 11-2c），这样继续下去通电方式按 A—AB—B—BC—C—CA... 顺序轮流通电，则转子按顺时针方向一步一步转动。电流换接一次，电动机转动一步，每一步称为一拍，图 11-2 例子中经过六次电流换接，转子转动一周，称这种工作方式三相六拍制。

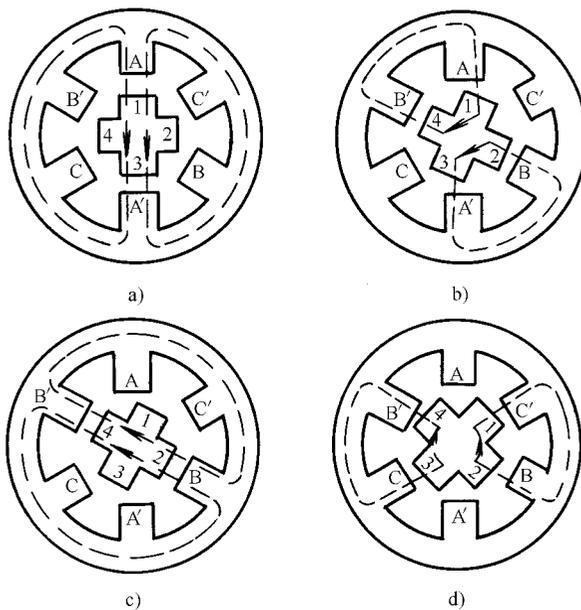


图 11-2 六拍通电方式时转子的位置

显然，本例中转子有四个齿，转子每走一步转过的角度称为步距角 θ ，此时 $\theta = 60^\circ$ 。而实际上，转子齿数不只四个，若为 40 个，则步距角 $\theta = 1.5^\circ$ ，因此步距角可按下式计算：

$$\theta = 360^\circ / (m \cdot Z \cdot K)$$

式中 m ——步进电动机的相数；

Z ——步进电动机转子的齿数；

K ——与通电方式有关的系数，相邻两次通电相数相同时 $K=1$ ，不同时 $K=2$ ，本例 $K=2$ 。

要改变步进电动机旋转方向，只需改变通电的顺序，如通电方式按 $A-AC-C-CB-B-BA-A$ 则电动机将反时针方向转动。

三相步进电动机除上述六拍工作外，还有双三拍方式，通电顺序为 $AB-BC-CA-AB$ 。若通电顺序为 $A-B-C-A$ ，则称为单三拍方式。显然双三拍和单三拍，相邻两次通电相数相等 $K=1$ ，步距角比六拍方式增大一倍。单三拍工作方式有一缺点，换相时工作不稳定，易失步，通常很少采用。步进电动机的控制绕组除有三相外，还有四相、五相、六相等多种结构形式。

三、脉冲分配器

步进电动机各相绕组是按一定的节拍，依次轮流通电工作的。为此，需将控制脉冲按规定的通电方式分配到各相，该分配可由硬件来实现。完成脉冲分配的逻辑电路称为环形分配器。在微机控制系统中，脉冲的分配一般通过软件来进行。

1. 硬件脉冲分配电路

一些集成电路厂家，生产有系列的专用的脉冲环形分配器，可优先选用，也可用中小规模集成电路组成所需要的环形分配器。

2. 软件控制脉冲分配电路

图 11-3 所示为 51 系列单片机组成的步进电动机控制电路原理图。8031 单片机的 P1 口作为输出口，由软件实现环形分配器的功能，P1.0，P1.1，P1.2 三位分别输出时序脉冲，经光电隔离，驱动放大，使步进电动机运转。通过外部开关 S_1 、 S_2 控制电动机起动、停止、正转、反转。P3 口 P3.0 为 1 时电动机起动，为 0 时电动机停止。P3.1 为 1 时电机正转，为 0 时反转。

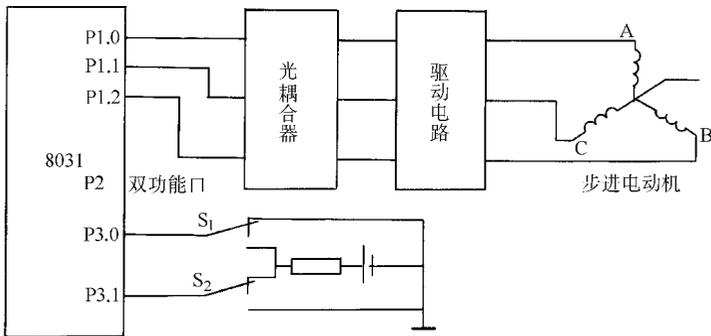


图 11-3 步进电动机的微机控制电路

由 P1 口输出控制信号的状态字可以实现对步进电动机的正反转控制。从表 11-1 中可以看出电动机第一个状态字为 01H，从上到下输出状态字电动机正转。在正转状态字之后加上反转的第一个状态字 01H，从下而上输出状态字，电动机就反转，这样状态字就只占用了七个存储单元。

表 11-1 状态字表

| 转向 | 通电线圈 | D7 | D6 | D5 | D4 | D3 | D2 | D1 | D0 | 状态字 |
|--------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 正 转 | A | | | | | | 0 | 0 | 1 | 01 |
| | AB | | | | | | 0 | 1 | 1 | 03 |
| | B | | | | | | 0 | 1 | 0 | 02 |
| | BC | | | | | | 1 | 1 | 0 | 06 |
| | C | | | | | | 1 | 0 | 0 | 04 |
| | CA | | | | | | 1 | 0 | 1 | 05 |
| 反 转 | A | | | | | | 0 | 0 | 1 | 01 |
| | AC | | | | | | 1 | 0 | 1 | 05 |
| | C | | | | | | 1 | 0 | 0 | 04 |
| | CB | | | | | | 1 | 1 | 0 | 06 |
| | B | | | | | | 0 | 1 | 0 | 02 |
| | BA | | | | | | 0 | 1 | 1 | 03 |

控制程序如下：

```

START：MOV    A， P3          ; 读 P3 口状态
        JNB    ACC.0， STOP    ; P3.0 为零转移停机
        JNB    ACC. 1， REV    ; P3.1 为 0 反转
        MOV    R0， # 50H      ; 指针指向正转状态字存储单元
        MOV    R2， # 06H      ; 定六拍输出
LOOP1：MOV    A， @R0        ; 取正转控制状态字
        MOV    P1， A          ; 输出控制信号给步进电动机
        CALL   TIME           ; 调延时子程序，一拍延时
        INC    R0            ; 指针加 1
        DJNZ   R2， LOOP1     ; 循环送出状态字，六拍
REV：   AJMP   START          ; 六拍送完，返回查询
        MOV    R0， # 56H      ; 反转控制状态表指针
        MOV    R2， # 06H      ; 六拍输出
LOOP2：MOV    A， @R0        ; 取控制状态字
        MOV    P1， A          ; 输出控制信号给步进电动机
        CALL   TIME           ; 调延时子程序，一拍延时
        DEC    R0            ; 指针减 1
        DJNZ   R2， LOOP2     ; 循环送状态字，六拍
        AJMP   START          ; 六拍送完，返回查询
STOP：  MOV    A， # 00H      ; 控制信号为 0，停机
        MOV    P1， A

```

AJMP START ; 返回查询, 等待命令

执行上述程序步进电动机将恒速运行。此程序还需说明两点:

1) 程序中调用的延时子程序没有列出, 延时的长短决定了步进电动机运行一拍的时间, 也就决定了步进电动机的转速。

2) 程序中输出的状态控制字是存放在单片机内部寄存器中, 如果状态字是存放在程序存储器中, 则需要用到查表指令 $\text{MOVC } A, @A + \text{DPTR}$ 或 $\text{MOVC } A, @A + \text{PC}$, 程序也要相应的作一些改动。

为了更清晰起见, 图 11-4 表示了上述程序的流程图。

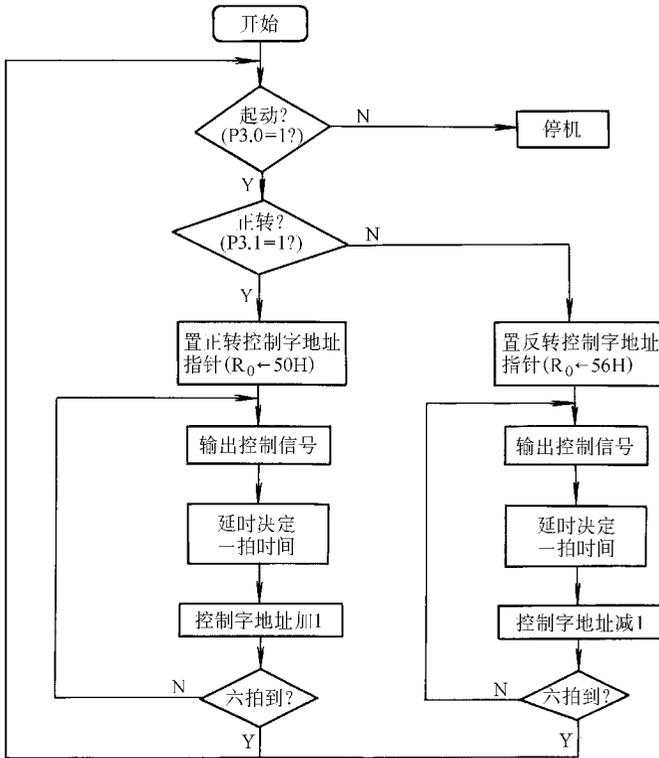


图 11-4 步进电动机恒速控制流程图

第五节 交流电动机伺服驱动系统

交流电动机无论在数量上、装机容量上或应用范围方面, 在拖动系统中一直占据着主导地位。这是因为交流电动机具有结构简单、维修方便、工作可靠、价廉等优点。但在调速性能方面却让位给直流拖动系统。直流拖动系统的速度调节很容易用调压、调磁来实现, 并已有成熟的理论和完善的控制系统。这并不是说交流调速具有无法弥补的缺陷, 而是过去的科技发展水平还不足以显示交流电动机调速的优越性。随着功率半导体的出现, 微电子技术、微机技术的迅速发展, 现代控制理论的应用, 使交流电动机与变频调速系统的理论和实践更加完善。进入 20 世纪 80 年代以后, 交流调速系统迅速地取代了直流调速系统而占据主导地位。据统计, 1975 年直流调速系统占可调速系统的 80%, 交流调速系统仅占 20%。到 1985

年，交流调速系统占 80%，而直流调速系统仅占 20%。十年间这一数字的颠倒，说明了交流调速系统的迅速发展和应用的日益广泛。

一、交流异步电动机的调速方法

异步电动机转速的基本关系式：

$$n = 60f(1 - s) / p = n_0(1 - s)$$

式中 n ——电动机转速 (r/min)；

f ——电源电压频率 (Hz)；

p ——电动机极对数；

n_0 ——定子旋转磁场转速或称同步转速 (r/min)， $n_0 = 60f/p$ ；

s ——转差率， $s = (n_0 - n) / n_0$ 。

由上式可见，改变异步电动机转速的方法有三种：

(1) 改变磁极对数 p 调速 一般所见的交流电动机磁极对数不能改变，磁极对数可变的交流电动机称为多速电动机。通常，磁极对数设计成 4/2、8/4、6/4、8/6/4 等几种。显然，磁极对数只能成对的改变，转速只能成倍的改变，速度不可能平滑调节；

(2) 改变转差率 s 调速 这种方法只适用于绕线式异步电动机，在转子绕组回路中串入电阻，使电动机机械特性变软，转差率增大。串入电阻越大，转速越低，调速范围通常为 3:1；

(3) 改变频率 f 调速 如果电源频率能平滑调节，那么速度也就可能平滑改变。目前，高性能的调速系统大都采用这种方法设计出了专门为电机供电的变频器 VFD。

二、变频调速器

三相异步电动机定子电压方程

$$U_1 \approx E_1 = 4.44f_1 W_1 K_1 \Phi_m$$

式中 U_1 ——定子相电压；

E_1 ——定子相电动势；

W_1 ——定子绕组匝数；

K_1 ——定子绕组基波组系数；

Φ_m ——定子与转子间气隙磁通最大值。

在此方程中， $W_1 K_1$ 为电机结构常数。改变频率调速的基本问题是必须考虑充分利用电机铁心的磁性能，尽可能使电机在最大磁通条件下工作，同时又必须充分利用电机绕组的热容量，尽可能使其工作在额定电流下，从而获得额定转矩或最大转矩。在减小 f 调速时，由于铁心有饱和，不能同时增加 Φ_m ，增大 Φ_m 会导致励磁电流迅速增大，使产生转矩的有功电流相对减小，严重时损坏绕组。因此，降低 f 调速，只能保持 Φ_m 恒定，要保持 Φ_m 不变，只能降低电压 U_1 且保持

$$U_1 / f_1 = \text{常数},$$

这种压（电压）频（频率）比的控制方式，称为恒磁通方式控制，又称压频比的比例控制。

如果用频率升高来进行调速（ $f_{\text{工作}} > f_{\text{额定}}$ ），由于电机的工作电压 U_1 不能大于额定工作电压 U_c ，只能保持电压恒定。

$$U_1 \propto \Phi_m \propto f_1 \text{ 即 } \Phi_m \propto 1/f_1$$

此种控制方式称为弱磁变频调速。

进一步分析得出如下结论：低于电动机额定频率（基频）的调速是恒转矩变频调速， $U_1/f_1 = \text{常数}$ ，高于电动机额定频率的调速， $U_1 = \text{常数}$ ，为恒功率调速。参看图 11-5。

我国电网频率为 50Hz，是固定不变的，而电力拖动的能源大多数是取自交流电网，因此，设计一个价格便宜，工作可靠，控制方便的变频器已成为拖动系统中的一个重要研究课题。目前国内主要采用晶闸管和功率晶体管组成的静止变频器。将工频交流电压整流成直流电压，经过逆变器变换成可变频率的交流电压，这种变频器称为间接变频器或称交-直-交变频器。另一类变频器没有中间环节，直接从电网的电压变换成频率、电压可调的交流电压，称为直接变频器，或称为交-交变频器、循环变频器、相控变频器。

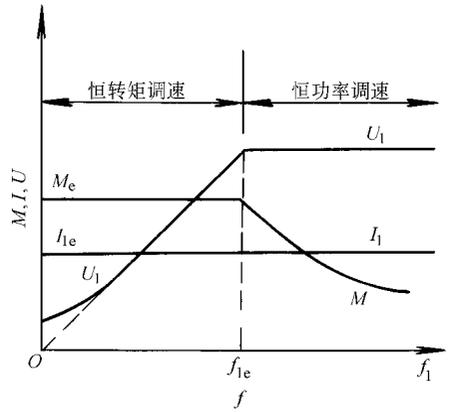


图 11-5 异步电动机变频调速性质

交-直-交变频器根据中间滤波环节的主要储能元件不同，又分成电压型（电容电压输出）和电流型（电感电流输出）两类。图 11-6 所示为交-直-交电压型变频器原理框图。由于电流型变频器输出电流中含高次谐波分量较大，很少采用脉宽调制方法，通常仅用于低频段，输出波形为方波、多重阶梯波或脉冲调制波。交-交变频器也分为电压型和电流型两种，输出方波或正弦波。

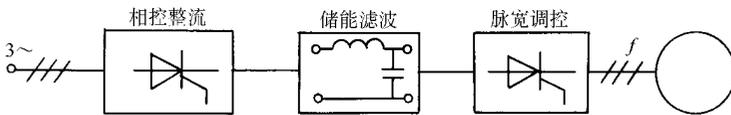


图 11-6 交-直-交电压型变频器主回路框图

三、脉宽调制 (PWM) 原理

交-直-交变频器输出都有矩形波，含有较大的谐波分量。用矩形波给电机供电，效率将降低 5% ~ 7%，功率因数下降 8% 左右，电流增大 16% 左右。若用交流滤波去消除谐波分量，这不仅不经济，而且使变频器的输出特性变坏，目前广泛采用脉宽调制技术。PWM 变频器输出的是一系列频率可调的脉冲波，脉冲的幅值恒定，宽度可调。根据 U_1/f_1 的比值，在变频的同时改变电压，如按正弦波规律调制，就得到接近于正弦波的输出电压，从而使谐波分量大大减小，提高了电机的运行性能。

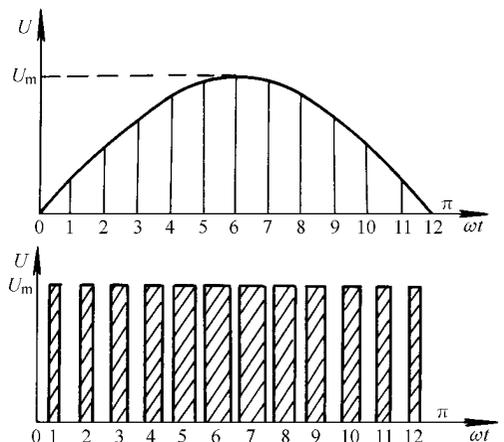


图 11-7 与正弦波等效的矩形脉冲波

PWM的工作原理如图 11-7 所示。图中，将正弦波正半周等分成十二等份，每等份可用一矩形脉冲来等效。所谓等效是指在相对应的时间间隔内，正弦波每等份所包含的面积与矩形脉冲的面积相等，系列脉冲波就等效于正弦波。这种用相等时间间隔正弦波的面积来调制脉冲宽度，称为正弦波脉宽调制（SPWM）。显然，单位周期内脉冲数越多，等效的精度越高，谐波的成分越小，输出越接近于正弦波。输出脉冲的频率受到变频器开关元件开关速度和开关损耗的限制。

脉宽调制分为单极性和双极性两种。图 11-8 为单极性调制脉冲的方法。图中， u_r 为正弦波基准信号， u_T 为等幅等距的三角波信号， u_r 、 u_T 两波曲线的交点，即为相应变流器件换流的开关点。交点间隔为被调制脉冲的宽度。可以看出，随着幅值和频率的变化，调制出的脉冲波，也会在宽度上和频率上相应的变化，从而保证 $u_1/f_1 = \text{常数}$ 。为了获得正弦波的负半周输出，在 u_r 波形的 $\pi \sim 2\pi$ 时间内输出需进行倒相。应注意在整个调制区间内 $u_r < u_T$ 这样才能得到正确的开关点。这种在每半个周期内输出脉冲只有一种极性的脉冲波称为单极性调制。

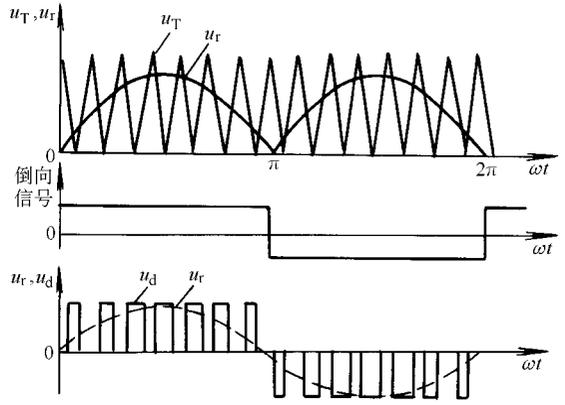


图 11-8 单极性 SPWM 波形

图 11-9 表示了三相双极性波 SPWM 的波形图。图中： u_a 、 u_b 、 u_c 为三相正弦波基波信号， u_r 为三角波信号。正弦波与三角波的交点为变流器的开关点，调制原理与单极性 SPWM 相同。 u_r 、 u_T 均为对称的双极性波，故调制出的脉冲波也为双极性，不需要反相器。图中虚线为输出电压的等效正弦波 u_a 、 u_b 、 u_c 。如果三角波的频率 f_T 与正弦波基准电压的频率 f_1 的比例为一常数（常数为 3 的倍数），则在变频时，每半周中的脉冲数相等，且正负半周对称，这种调制方式称同步式 PWM。否则，称为异步式。如 $f_T = \text{常数}$ ， f_1 (u_r 的频率) 发生变化，

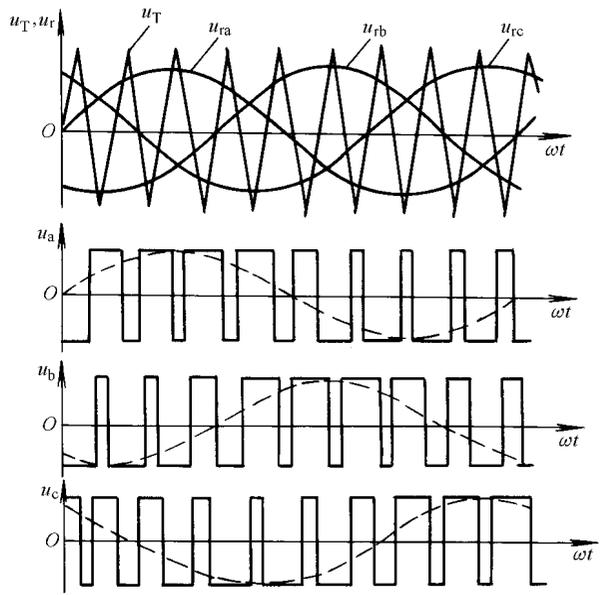


图 11-9 双极性 SPWM 波形

调制出的每周脉冲是变化的，即为异步式。同步式 PWM 波正负半周对称，没有偶次谐波，电机运行比较稳定。在高频时受开关频率限制应逐段减少每周脉冲数。额定频率以上，为提高电压利用率应采用矩形波输出。低频时谐波分量较大控制比较复杂。异步式 PWM，三角

波频率 f_r 不变, 随 u_r 的频率 f_i 升高, 自动减少每周脉冲数, 所以控制简单。由于正负半周不对称, 存在偶次谐波, 输出电压波形经常改变, 电机运行不够稳定。在设计中可采用多种组合的配合方案。如中频段采用同步式调制, 低频段采用异步式调制, 高于额定频率以上采用不调制输出方波。

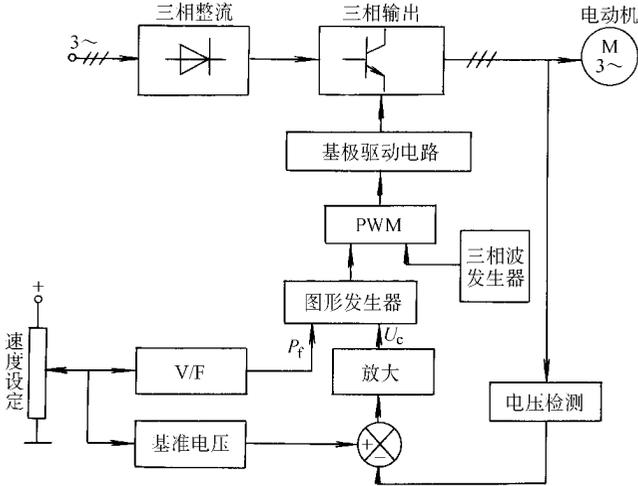


图 11-10 晶体管电压变频器控制系统

图 11-10 为 $u_1/f_1 = \text{常数}$ 时, 变频器控制系统框图。由三相整流器提供的直流电压, 采用大容量电容滤波后, 作为三相输出电路的电源电压。三相输出电路由大功率晶体管组成 PWM 控制基极驱动电路, 按调制规律开通或关断功率输出晶体管, 三相电机从而获得频率可调, 电压跟随变化的电源电压。PWM 的调制信号由三角波发生器和图形发生器提供。电位器的电压作为速度设定的电压输入, 一路通过电压频率转换器 (V/F) 输出 P_f , 作为图形发生器的频率信号输入, 另一路作为转换成的基准电压与电动机电压的反馈值进行比较, 经放大后作为图形发生器的控制电压输入。控制电压与输入脉冲频率成比例, 因为改变速度设定电压的大小, 就改变了图形发生器输出基准信号的信号幅值和频率, 通过 PWM 调制也就改变了三相输出电路各相脉冲的宽窄, 也就控制了电动机的转速。

本章小结

本章介绍了机械设备电气自动控制的基本概念。在机械设备中, 机械部分和电气部分是紧密结合在一起的, 共同决定机械设备性能的好坏。机械部分是本体, 但它的各运动部件的起动、制动、运动的方向、速度的调节等, 都是受电气控制系统控制的。因此, 电气系统是机械设备正常工作的保证。

机械设备的电气自动控制系统, 类型很多, 主要的有继电器-接触器控制系统、可编程控制器组成的控制系统和计算机数字控制系统。

数控技术已应用于各种机械设备中, 如金属切削机床、机器人、自动绘图机等。以下是值得注意的数控技术的发展动向: 自适应控制、自动编程和经济型数控。

本章还详细介绍了数字控制系统的重要执行元件——步进电动机的性能和步进电动机开环伺服系统、交流电机伺服驱动系统的工作原理。

通过本章的学习，要求了解机械设备电气自动控制基础和数字控制系统的应用和发展方向；理解步进电动机开环伺服系统和交流电机伺服驱动系统的工作原理，为以后进一步的学习打好基础。

第十二章 可编程序控制器

第一节 PC 的特点与基本结构

一、PC 的特点

可编程序控制器 (Programmable Controller) 简称 PC, 是以微处理器为基础的工业通用自动控制装置。PC 是微机技术和继电器常规控制概念相结合的产物, 它不仅具有继电器控制的简单、操作方便等优点, 还把计算机的编程方法加以简化, 使用人们易接受的编程方法实现其控制功能, 是实现机电一体化的重要手段。早期的 PC 在功能上只能进行逻辑控制, 因而又被称为 PLC (Programmable Logic Controller), 逻辑控制也是 PC 的最基本功能, 可用来代替继电器控制装置。PC 技术发展至今, 功能大大增强, 可以完成逻辑控制、计时控制、计数控制、数据处理 A/D、D/A 转换, 通信联网等功能。它以功能强、通用灵活、可靠性高、体积小等一系列优点成为生产过程控制的重要手段, 在工业上的应用越来越广泛。

PC 应用在工业环境下, 以用户需要为主, 又采用先进的微机技术, 具有以下主要特点。

(1) 可靠性高 在硬件方面, PC 采用了高可靠性元件 (如大量的开关动作由无触点的半导体电路来完成), 并采用了一系列隔离和抗干扰措施, 以及对电源的掉电保护, 使它适应工作环境。同时, 各类 PC 均采用了模块型或积木式的构成形式, 便于在整机出现故障时能很快更换模块, 保障修复时间。在软件方面 PC 采用软件滤波、软件自行诊断及故障报警等, 进一步提高了 PC 运行的可靠性。PC 控制系统平均无故障工作时间可达 2 万 h 以上。

(2) 编程简单, 使用灵活方便 PC 的编程有多种设计语言可以使用, 其中梯形图法与继电控制中的电气原理图较为接近, 用串联、并联、定时、计数等人们熟知的概念, 易于理解和掌握。

PC 的接线简单, 只需将输入设备 (如开关、按钮等) 与 PC 输入端子相连, 将执行输出控制的设备与 PC 输出端子相连即可。另外, 同一台 PC 只需改变软件及少量的硬件就可以实现不同的控制要求, 使用灵活方便。

二、PC 控制系统的组成

PC 的控制系统由主机、输入设备、输出设备和外围设备构成。

输入、输出设备用于完成 PC 与生产机械间的信息传递。外部输入设备的各种开关信号或模拟信号均为输入变量, 它们经输入单元寄存到 PC 内部的数据存储区, 而后经中央处理机处理后以输出变量的形式送到输出单元, 以控制输出设备。外围设备用于完成 PC 与人之间的信息交换。

1. 输入设备

输入设备的作用是产生输入控制信号送入 PC 主机。常用的输入设备有控制开关 (包括如按钮开关、限位开关、行程开关、接触器的触点等) 和传感器。图 12-1 所示。

2. 输出设备

PC 的输出控制信号直接驱动输出设备。输出设备有电动机、继电器开关、电磁阀等。

3. 可程序控制器 PC

可程序控制器是控制系统的核心。它读入输入设备产生的输入信号，将其按照预先设置的控制规律进行处理，然后产生输出控制信号，用输出信号驱动输出设备工作。

4. 外围设备

外围设备包括编程器、打印机、显示器等。

其中编程器是 PC 不可缺少的外围设备，用户用它实现程序的输入、编辑、调试和监视等。编程器与 PC 主机间采用插接线，当完成程序编制，并输入 PC 内部后，编程器就可以拔掉，以便给其他 PC 编程用。

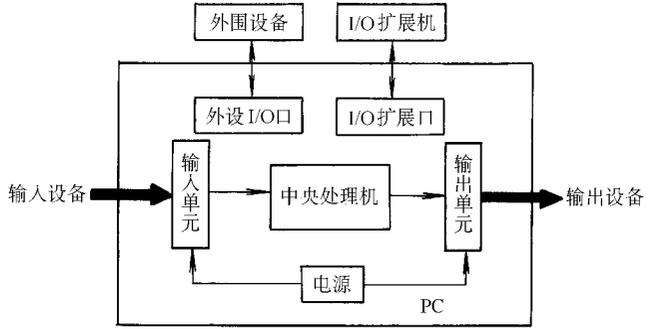


图 12-1 PC 控制系统的构成

三、可程序控制器的组成

可程序控制器由输入输出单元、中央处理单元、电源等构成。

1. 输入单元

输入信号经输入单元电路处理后转换成中央处理单元所能接受的信号。由于输入输出单元直接与现场信号相连，因此输入单元中要配有电平转换、光电隔离和滤波等电路，以使 PC 有很强的抗干扰能力。

根据不同现场的需求，PC 配置了各种类型的输入单元，其中常用的有开关量输入单元。开关量输入单元可分为直流输入型和交流输入型。

图 12-2 所示电路是对应一个输入点的直流输入型输入电路，各输入点的输入电路均相同，它们有一个公共端子 COM。

在直流输入单元中，电阻 R_1 、 R_2 构成分压器， R_2 与电容 C 构成滤波电路，发光二极管 LED 用于指示输入开关状态，二极管 VD 禁止反极性的直流输入。当现场开关闭合时，LED 亮，外部信号加到光耦合器的发光二极管上，光耦合器导通，光电二极管接收光信号，送给内部电路一个接通信号。

光耦合输入电路隔离输入信号，防止现场强电干扰。

输入端直流电源一般由 PC 内部电源供给，也有的 PC 要由用户提供。

每个输入单元电路都可以等效成一个输入如图 12-3 所示的输入继电器，它可以提供任意多个常开触点和常闭触点供 PC 内部控制电路编程使用。输入继电器的触点的通断状态保存在 PC 内部寄存器中，当现场开关闭合时，输入继电器接通，其常开触点闭合，常闭触点

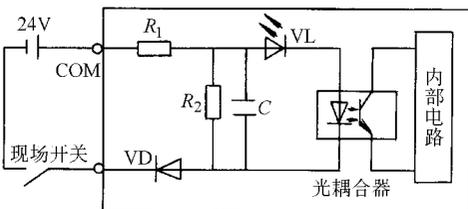


图 12-2 直流输入单元

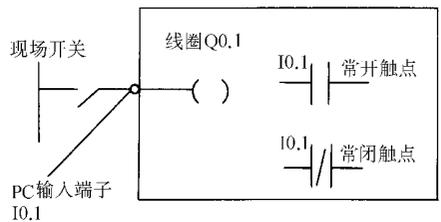


图 12-3 输入单元等效电路

断开。为与继电器接触器控制系统中真正的继电器相区分，把 PC 的继电器称为软继电器。

2. 输出单元

输出单元的作用是将 PC 输出信号转换为外部负载所需要的输出信号。PC 有继电器输出、晶体管输出和双向可控硅输出三种输出模式。

图 12-4 是以一个输出点为例的继电器输出方式。

在继电器输出方式中，电阻 R 和发光二极管 LED 构成输出状态显示。当内部电路输出一个接通信号时，LED 被点亮，输出继电器线圈通电，继电器触点闭合，使负载回路接通。负载所需电源由用户提供，视负载需要，可选直流电源，也可选交流电源。从该电路可以看出，继电器既是开关器件又是隔离器件，以防止干扰和保证 PC 不受意外强电的侵袭。

继电器输出方式的特点是：既可以控制交流负载，又可以控制直流负载。但机械触点寿命较短，触点断开时易产生电弧。

晶体管输出方式可用于驱动直流负载，是无触点输出，使用寿命长，可靠性高，通断速度快，但过载能力差。

晶闸管输出方式可用于驱动交流负载，是无触点输出，使用寿命长，可靠性高，通断速度快，但过载能力差。

每个输出单元都可以等效成一个如图 12-5 所示的输出继电器，继电器的常开触点、常闭触点以及线圈的状态保存在 PC 内部寄存器中。为内部控制电路提供编程使用的常开触点和常闭触点可以有无数个，但只有一个常开触点与输出接线端子相连，用于驱动外部元件。

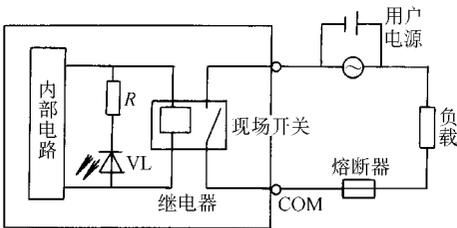


图 12-4 继电器输出方式

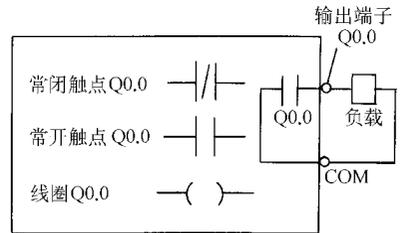


图 12-5 输出单元等效电路

3. 中央处理机

中央处理机包括微处理器（CPU）和存储器等。

微处理器简称 CPU，是 PC 的运算和控制核心，协调控制系统内部各部分的工作。它的运行是按照系统程序所赋予的功能接收并存储由编程器键入的用户程序和数据，监视和接收现场输入信号，从存储器中逐条读取执行用户程序，并根据运行结果实现输出控制。同时诊断电源、PC 内部电路工作状态和编程过程中出现的语法错误等。存储器是 PC 存放系统程序、用户程序和运行数据的单元。它包括只读存储器 ROM 和随机存储器 RAM。ROM 存储系统程序，其内容是在其制造过程中确定的，是不能改变的。RAM 存储用户程序，用户程序在 RAM 中经过调试、修改达到设计要求。由于 RAM 中的内容在电源关掉后会消失，所以 PC 一般要用锂电池为 RAM 提供备用电源，使 RAM 中的信息在掉电后仍能保存。锂电池的使用寿命为 3~5 年。若长期使用，可将调试好的用户程序固化到 EPROM 中，替代 RAM 工作。S7—200CPU 提供了一个超级电容器，在系统掉电时，保存 RAM 存储器中的内容，可达几天之久。为了永久保存，可将用户程序等写入到 EEPROM 中。

为了便于程序执行，PC 中还设置了一些内部存储区用来存放程序运行时需要读写的逻

辑变量。这些内部存储区可分为 I/O 区、内部辅助寄存器区、特殊功能寄存器区、数据区。PC 给每个区配有一定数量的寄存器，每个寄存器通常有 16 个可存放数据的单元（称为寄存器的“位”），寄存器的“位”就是一个软继电器。如 I/O 区即输入状态表寄存区和输出状态表寄存区，用来保存程序执行前各输入端的状态和程序执行中及程序执行结果的状态。其中输入继电器、输出继电器的状态，以寄存器位的“0”和“1”分别代表“断”和“通”。内部辅助寄存器区用来存放中间变量。特殊功能寄存器区为用户提供特殊信号，如定时器/计数器等。为了对这些软继电器进行编程，PC 按照不同的区进行了编号，不同的 PC 其编号也不同。PC 内部寄存器的种类越多，PC 的硬件功能越强。

4. I/O 扩展口

当用户所需要的输入输出点数超过 PC 的输入输出点数时，可以通过 I/O 扩展口来扩展输入输出点数。

5. 电源

PC 配有开关式稳压电源的电源模块，用来给 PC 内部电路供电。

第二节 可编程序控制器的工作原理

用户编制好程序后，将其输入到 PC 的存储器中寄存，PC 是靠执行用户的程序来实现数量控制要求的。PC 是以扫描方式工作的，其工作过程可分为三个阶段：输入采样阶段、程序执行阶段和输出刷新阶段。

一、输入采样阶段

输入采样阶段是 PC 工作的第一阶段，PC 以扫描方式按顺序读取所有输入端（不论输入端是否接线）的状态，并将其保存在存储器的输入状态寄存区中。之后进入程序执行阶段。

二、程序执行阶段

在此阶段，PC 对程序顺序扫描，并根据输入状态及其他参数执行程序。前面执行的结果马上就可以被后面要执行的任务所用。PC 将执行的结果写入存储器的输出状态表寄存区中保存。

三、输出刷新阶段

当执行完程序后，将输出状态表寄存区中的所有输出状态送到输出锁存电路，以驱动输出单元把数字信号转换成现场信号输出给执行机构。

PC 重复地执行上述三个阶段，每重复一次，即从读入输入端状态到发出输出信号所用的时间就是一个扫描周期（或工作周期）。

顺序扫描的工作方式简化了程序设计，并为 PC 可靠运行提供了保证。一方面，在同一个扫描周期内，前面指令执行的结果马上就可以被后面要执行的指令所用；另一方面，PC 内部设有扫描周期监视定时器，监视每次扫描时间是否超过规定的时间，若超过，PC 将停止工作并给出报警信号。

这种工作方式的显著不足是输入输出响应滞后。由于输入状态只在输入采样阶段读入，在程序执行阶段，即使输入状态变化，输入状态表寄存区中的数据也不会改变。输入状态的变化只能在下一个扫描周期才能得到响应，这就是 PC 输入输出响应滞后现象。一般来说，最大滞后时间为 2~3 个扫描周期，这与编程方法有关。

第三节 PC 的编程语言

PC 采用多种编程语言，有梯形图、指令语句表、逻辑代数和高级语言等。不同的 PC 产品可能拥有其中一种、两种或全部的编程方式。

一、两种常用的编程语言

1. 梯形图

梯形图在形式上类似于继电器控制电路，是 PC 的主要编程语言。它沿用了继电器、触点、串联、并联等图形符号，图 12-6 给出了梯形图与继电器原理图中几种元素的比较。梯形图如图 12-7 所示（图 12-8 是相应的接线图），图中每一触点和线圈都对应一个编号。每一个继电器线圈为一个逻辑行，每一行起始于左母线，然后从左到右是各触点的连接，最后终止于继电器输出线圈，有的还加上一条右母线。图 12-7 实现的功能为，当按下 SB₁ 按钮，常开触点 I0.0 闭合，输出继电器线圈 Q0.0 接通，继电器 KM₁ 线圈带电。

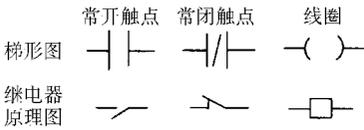


图 12-6 梯形图与继电器原理图元件比较

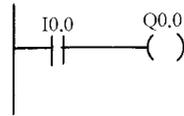


图 12-7 梯形图

必须指出，梯形图与继电器控制电路有着严格的区别。

(1) 梯形图中的继电器不同于继电器控制电路中的物理继电器，如前所述，它是 PC 内部的一个存储单元，以存储单元的状态“0”和“1”分别表示继电器线圈的“断”、“通”。故称为“软继电器”。由于触发器的状态可读取任意次，软继电器的触点可以认为有无数个，而实际继电器的触点是有限的。

(2) 梯形图中只出现输入继电器的触点，而不出现其线圈，因为输入继电器是由外部输入驱动的，而不能由内部其他继电器的触点驱动，输入继电器的触点只受相应的输入信号控制。

(3) PC 工作时，按梯形图从左到右，从上到下逐一扫描处理，而不存在几条并联支路同时动作的因素。而继电器控制电路中各继电器均受通电状态的制约，可以同时动作。

2. 指令语句表

指令语句表是用特定的指令书写的编程语言，也是应用得很多的一种 PC 编程语言。PC 指令语句的表达形式为

地址 指令 数据

地址是指令在内存中存放的顺序代号。指令用助记符表示，它表明 PC 要完成的某种操作功能，又称编程指令或编程命令。数据为执行某种操作所必须的信息，对某种指令也可能无数据。

各种型号的 PC 由于功能不同，其编程指令的数目、数据也不同。PC 具有的指令种类越多其软件功能越强。

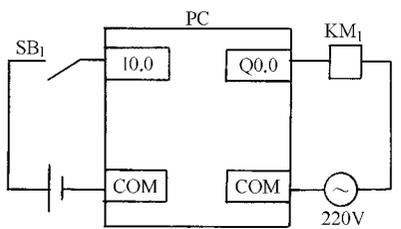


图 12-8 接线图

二、PC 的基本指令

PC 的指令系统可分为基本指令和功能指令两部分，基本指令是进一步学习和开发 PC 的基础，以 SIMATIC S7—200 系列的 PC 的部分基本指令为例。

1. 逻辑取 LD、逻辑取反 LDN 和输出指令 =

LD——逻辑操作开始指令，用于常开触点与左母线连接。

LDN——负逻辑操作开始指令，用于常闭触点与左母线连接。

=——输出指令，将逻辑行的运行结果输出。

例 12-1 将梯形图 12-9a 用指令表表示

2. 与 A、与非 AN、或 O、或非 ON

A——与指令，用于常开触点的串联，完成逻辑与运算。

AN——与非指令，用于常闭触点的串联，完成逻辑与非运算。

O——或指令，用于并联一个常开触点。

ON——或非指令，用于并联一个常闭触点。

指令用法见例 12-2。

例 12-2 写出图 12-10a 的指令表。

3. 定时器指令

接通延时定时器 TON 用于计时器的延时操作，其操作数包括定时器号 T_{xxx}、使能输入 IN 和延时设定值 PT，下面举例说明其用法。

图 12-11 中，当输入条件满足，即 I2.0 闭合，定时器号为 T33 的定时器启动，以 10ms 间隔进行计数。当定时器的当前值 T33 大于等于预设值 PT=3 时，即延时 30ms，该定时器位 T33 被置位，使 Q0.0 置位。此时定时器继续计数，直到最大值 32767。当使能输入 I2.0 断开时，清除定时器当前值，T33 复位，并使 Q0.0 复位。

指令用法见图 12-11。

4. 跳转及标号指令

例 12-3 将图 12-12a 梯形图用指令表表示。

上例中如果条件满足 (I0.3 断开)，则跳转到 LBL4。

5. 计数器指令

计数器指令 CTD——提供计数操作，其操作数包括计数器号 C_{xxx}、计数设定值 PV 和装载输入端 LD。计数器的设定值是指要计的脉冲个数。

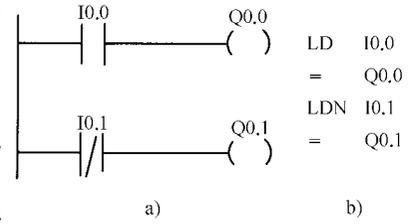


图 12-9 标准触点和输出指令的用法

a) 梯形图 (LAD) b) 指令表 (STL)

完成逻辑与非运算。

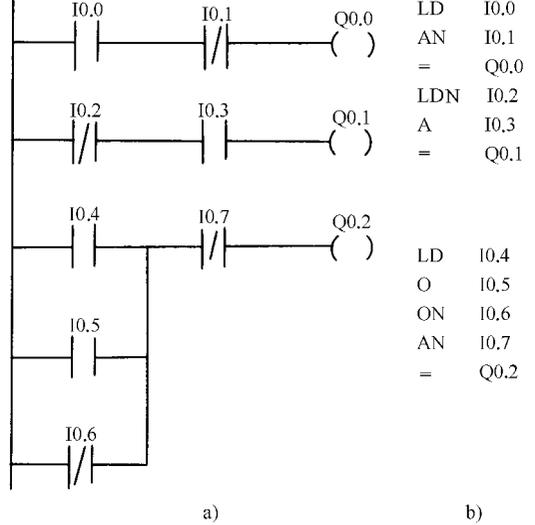


图 12-10 A、AN、O、ON 的用法

a) 梯形图 b) 指令表

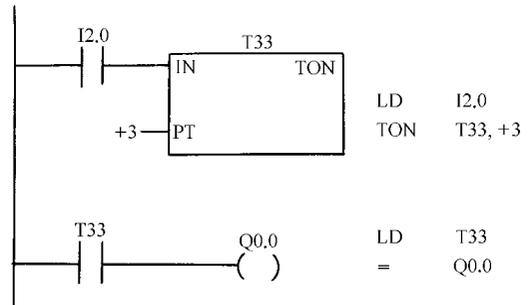


图 12-11 接通延时定时器指令的用法

下面以例 12-4 为例说明计数器指令 CTD 的用法。

例 12-4 将图 12-13a 梯形图用指令表表示。

当装载输入端 LD 接通时，计数器复位并把预设值 PV 装入当前值 C_{xxx}。计数器在每一个 CD 输入的上升沿从预设值开始递减计数。在当前计数值 C_{xxx} 等于 0 时，该计数器位被置位，并停止计数。因 C50 被置位，Q2.0 置位。

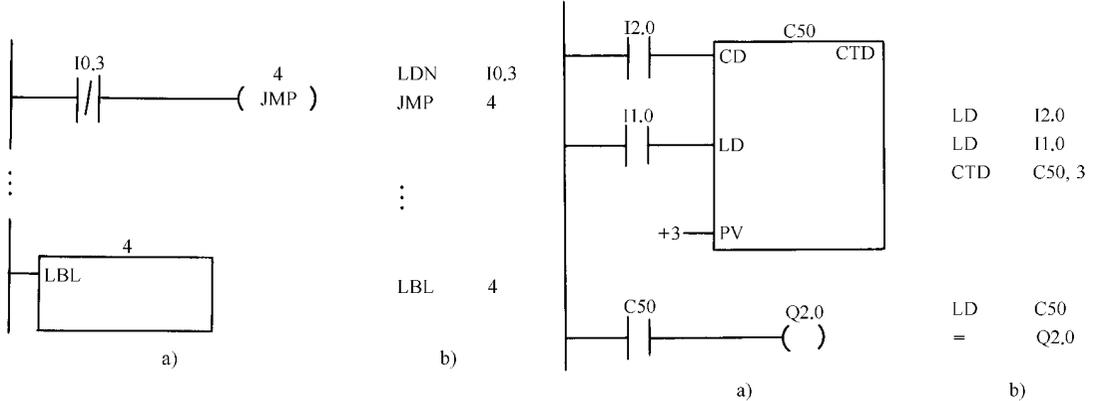


图 12-12 跳转及标号指令的用法

a) 梯形图 (LAD) b) 指令表 (STL)

图 12-13 CTD 指令的用法

a) 梯形图 (LAD) b) 指令表 (STL)

6. 空操作指令 NOP 和结束指令 END

NOP——CPU 执行该指令不做任何逻辑操作，该指令只占一程序行和时间。

END——是程序结束指令，当 PC 执行至该指令时停止程序执行阶段，进入输出刷新阶段。

指令格式如下：

| | | |
|----------|-----------------|--------|
| N | N: 常数 (0 ~ 255) | |
| —— (NOP) | | NOP N |
| a) LAD | | b) STL |
| —— (END) | | END |
| c) LAD | | d) STL |

有条件结束指令 (END)，可根据前面的逻辑关系，终止用户程序。

其余的指令，此处不再赘述了，有兴趣的读者可参阅相关书籍。

第四节 可编程序控制器的应用举例

一、三相异步电动机直接起动控制

直接起动控制电路中要用到起动按钮 SB₁、停止按钮 SB₂ 和热继电器的常闭触点 FR，它们须接到 PC 的输入端子上，分别是 I0.0、I0.1 和 I0.2。图 12-14 是异步电动机直接起动控制电路的外部接线图，图 12-15a 是梯形图。

在图 12-14 中将停止按钮 SB₂ 接成常开按钮，相应梯形图中用的是常闭触点 I0.1。因为 SB₂ 断开时，对应的输入继电器 I0.1 断开，其常闭触点 I0.1 依旧闭合，按下 SB₂ 时，才接通

输入继电器 I0.1，其常闭触点 I0.1 断开。若将接线图中 SB₂ 换成常闭按钮，则梯形图中相应改用 I0.1 常开触点。

控制过程分析如下：起动时按下 SB₁ 按钮，PC 输入继电器 I0.0 的常开触点闭合，输出继电器 Q2.0 接通，交流接触器 KM 接通，电动机开始运行，同时常开触点 Q2.0 闭合实现自锁。停止时按下 SB₂ 按钮，PC 输入继电器 I0.1 的常闭触点断开，输出继电器 Q2.0 断开，交流接触器 KM 断电，电动机停止转动。

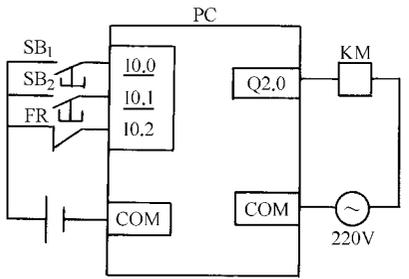


图 12-14 外部接线图

热继电器 (FR) 因某种原因使其辅助触点断开，则 I0.2 断开，Q2.0 断开，使 KM 断电，起到保护作用。

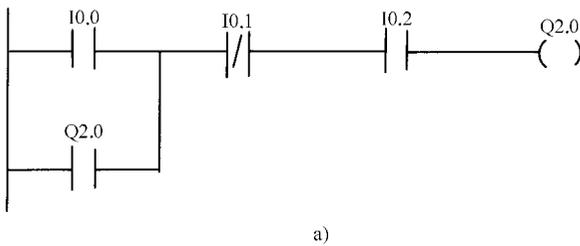


图 12-15 梯形图和指令表

a) 梯形图 (LAD) b) 指令表 (STL)

二、异步电动机的正反转控制

图 12-16 为异步电动机正反转控制的 PC 接线图、梯形图及相应的指令语句表。接线图

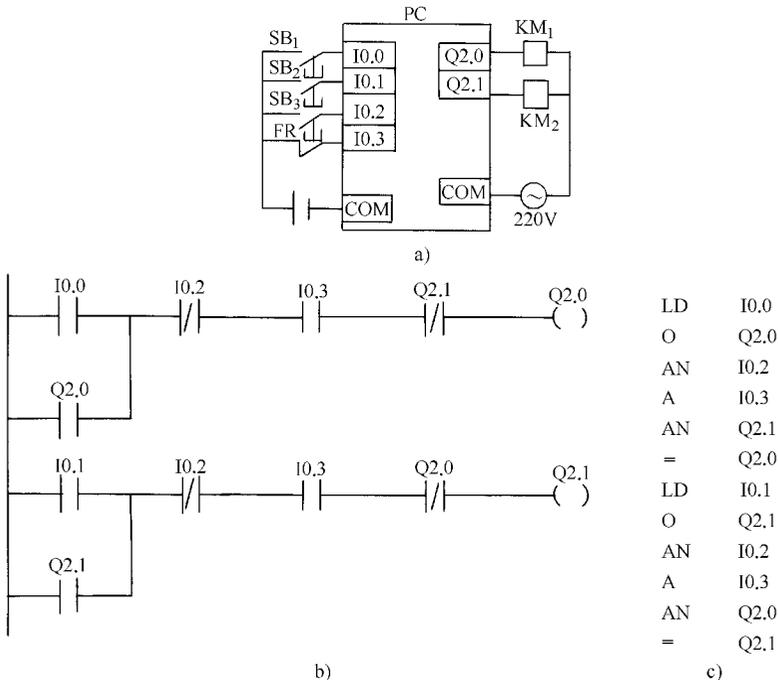


图 12-16 用 PC 实现电动机正反转控制的接线图、梯形图、指令表

a) 接线图 b) 梯形图 c) 指令表

表明输入继电器 I0.0、I0.1、I0.2、I0.3 分别反应外接输入按钮 SB₁、SB₂、SB₃、FR 的状态，继电器线圈 KM₁、KM₂ 的通断分别由输出继电器 Q2.0、Q2.1 的状态决定。

当输入按钮 SB₁ 闭合时，输入继电器 I0.0 置“1”，I0.0 常开触点闭合，则输出继电器线圈 Q2.0 被置“1”，Q2.0 常开触点闭合，实现自锁。由于 Q2.0 常闭触点断开，输出继电器线圈 Q2.1 不能被置“1”，因此只有继电器线圈 KM₁ 带电，电动机才能正转。

当输入按钮 SB₃ 闭合时，输入继电器 I0.2 置“1”，I0.2 常闭触点断开，则输出继电器线圈 Q2.0 和 Q2.1 均不能被置“1”，输出继电器线圈 KM₁、KM₂ 均不带电，电动机停转。

同理当再按下 SB₂ 按钮时，电动机反转。

若 FR 辅助常闭触点断开，Q2.0 或 Q2.1 均无输出，电动机停转，起到保护作用。

正反转控制电路的时序如图 12-17 所示。

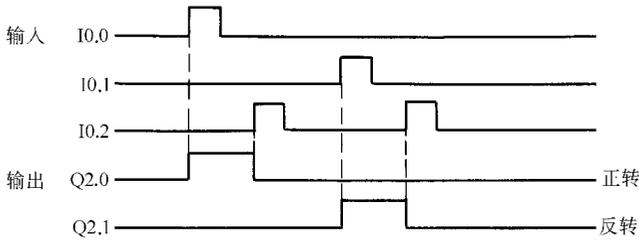


图 12-17 正反转电路时序图

三、异步电动机的 $\star-\Delta$ 起动控制

电动机控制电路的 PC 接线图如图 12-18 所示。PC 接线图表明输入继电器 I0.0、I0.1 分别反应外接输入起动按钮 SB₁ 和停止按钮 SB₂ 的状态，继电器线圈 KM、KM_L、KM_Δ 的通断分别由输出继电器 Q2.0、Q2.1 和 Q2.2 的状态决定。I0.2 为热继电器 (FR) 的常闭辅助触点。

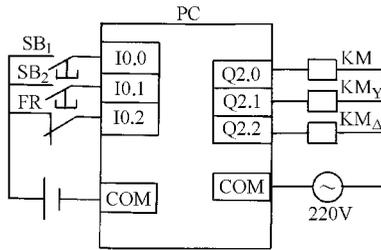


图 12-18 $\star-\Delta$ 起动接线图

由梯形图 12-19 可知，当起动按钮 SB₁ 闭合时，输入继电器 I0.0 置“1”，I0.0 常开触点闭合，则输出继电器线圈 Q2.0 被置“1”，Q2.0 常开触点闭合，实现自锁。同时输出继电器线圈 Q2.1 被置“1”，线圈 KM 和 KM_L 带电，输出继电器线圈 Q2.2 不带电，因此电动机处于起动状态星形运行。定时器 T37 开始计时，经过 4s 后，定时器 T37 常开触点接通、常闭触点断开并保持。

输出继电器线圈 Q2.1 被置“0”，KM_L 线圈断电，电动机脱离星形运行。定时器 T38 开始计时，再经过 1s 后，定时器 T38 常开触点接通，输出继电器线圈 Q2.2 被置“1”，KM_Δ 通电，电动机开始三角形运行，定时器 T37 和定时器 T38 均复位。图 12-19 为图 12-18 对应的梯形图和指令表。

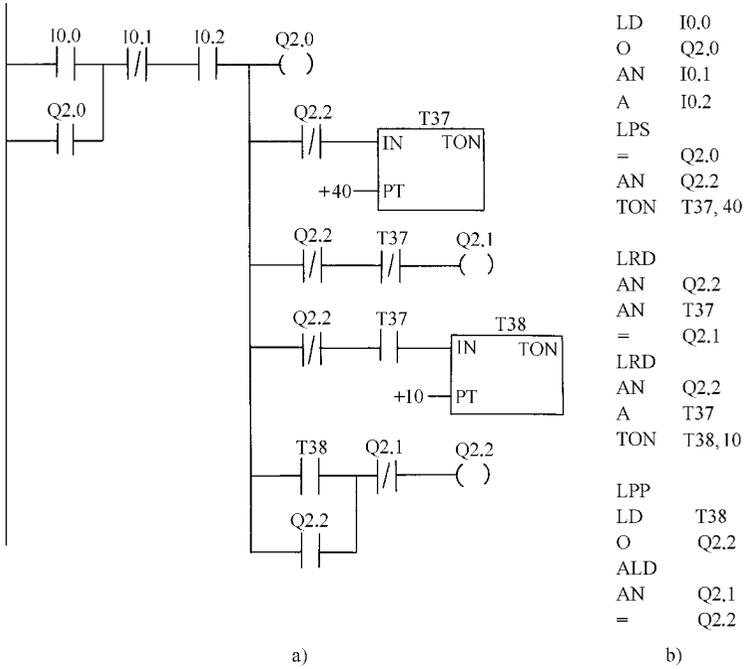


图 12-19 电动机启动控制的梯形图和指令表

a) 梯形图 b) 指令表

本章小结

可编程序控制器 PC 是微机技术和继电器常规控制概念相结合的产物，是实现机电一体化的重要手段。PC 应用在工业环境下，以用户需要为主，又采用先进的微机技术，具有可靠性高、编程简单、使用灵活方便的特点。

PC 的控制系统由主机、输入设备、输出设备和外围设备构成。输入、输出设备用于完成 PC 与生产机械间的信息传递，外围设备用于完成 PC 与人之间的信息交换。

PC 是靠执行用户的程序来实现数字控制要求的。PC 是以扫描方式工作的，其工作过程可分为三个阶段：输入采样阶段、程序执行阶段和输出刷新阶段。

PC 采用多种编程语言，有梯形图、指令语句表、逻辑代数和高级语言等。不同的 PC 产品可能拥有其中一种、两种或全部的编程方式。

通过本章的学习，要求了解 PC 的特点和基本结构；理解可编程序控制器的工作原理和编程方法。

参考文献

- 1 刘宝廷,程树康编著.步进电动机及其驱动控制系统.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1997
- 2 李新磷主编,徐德高修订.无线电工艺.北京:中国劳动出版社,1998
- 3 李桂安主编.电工电子实践初步.南京:东南大学出版社,1998
- 4 王林根主编.建筑弱电系统安装与维护.北京:中国劳动出版社,1998
- 5 王卫平等编.电子工艺基础.北京:电子工业出版社,1999
- 6 杜德昌主编.电工基本操作技能训练.北京:高等教育出版社,1999
- 7 黄义源主编.机械设备电气与数字控制.北京:中央广播电视大学出版社,1999
- 8 朱克编著.建筑电工.北京:中国建筑工业出版社,2000
- 9 曾祥富主编.电工技能与训练.北京:高等教育出版社,2000
- 10 柯南编著.非常电路图设计 Protel 99.北京:中国铁道出版社,2000
- 11 王岩,王祥珩编.电工技术.北京:中央广播电视大学出版社,2000
- 12 张小青编著.建筑物内电子设备的防雷保护.北京:电子工业出版社,2000
- 13 钟约先,林亨编著.机械系统计算机控制.北京:清华大学出版社,2001
- 14 胡国文,胡乃定编著.民用建筑电气技术与设计.北京:清华大学出版社,2001
- 15 刘健,倪建立,邓永辉编著.配电自动化系统.北京:中国水利水电出版社,2001