

## 绪 论

### 一、电气控制技术的发展概况

19 世纪末，在生产机械的拖动系统中，电动机逐渐代替了蒸汽机，出现了电力拖动。

在 19 世纪初，常以一台电动机通过天轴拖动多台生产机械（见图 0-1），或使一台机床的多个运动部件由一台电动机拖动，称为“成组拖动”或“集中拖动”。

随着生产发展的需要，20 世纪 20 年代，电力拖动由集中拖动（成组拖动）发展为单独拖动，即“单电动机拖动系统”，就是一台生产机械由一台单独的电动机拖动（见图 0-2）。这样，电动机与生产机械在结构上配合密切，可以用电气设备调节每台生产机械的转速，从而进一步简化机械结构，而且易于实现生产机械运转的自动化。

为了进一步简化机械传动机构，更好地满足生产机械各运动部件对机械特性的不同要求，在 20 世纪 30 年代出现了多电动机拖动，即机械的各运

动部件分别采用不同的电动机拖动。例如，具有四个主轴的龙门铣床用四台电动机拖动（见图 0-3）每台电动机拖动一个主轴运动。某些生产机械的生产过程长而连续，如造纸、印刷、纺织、轨制等机械，也都采用多电动机拖动系统。因为这些机械一般由多个部分组成，每一部分可由单独电动机拖动。这种多电动机拖动简化了机械结构，使机械的工作性能日趋完善，更为重要的是为机械的自动化控制创造了良好条件。此外，在生产过程中要求对影响产品质量的各种参数能自动检测与调整，反过来又促使电气自动控制技术迅速发展。

在电力拖动方式的演变过程中，电力拖动的控制方式由手动控制逐步向自动控制方向发展。最初的自动控制是用数量不多的继电器、接触器及保护元件组成的继电器—接触器控制系统。这种控制系统具有使用的单一性，即一台控制装置只适用于某一固定程序的生产机

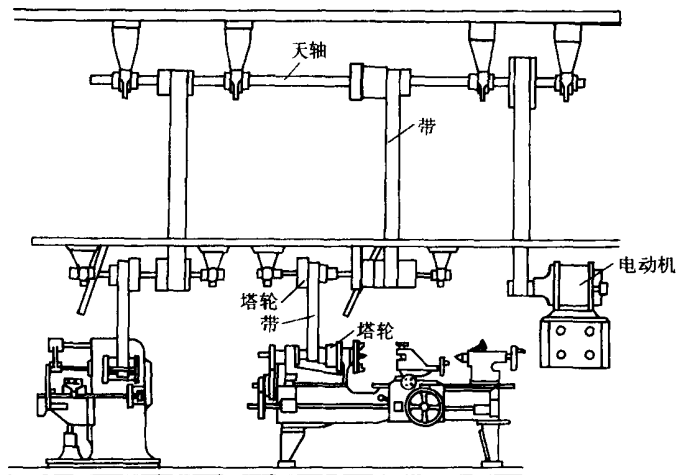


图 0-1 天轴、带、塔轮拖动生产机械

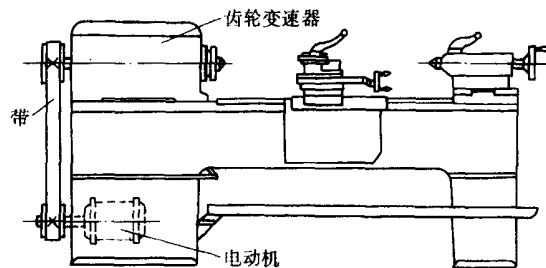


图 0-2 单独电动机拖动的卧式车床

械，若程序发生变动，必须重新接线，而且这种控制的输入、输出信号只有通和断两种状态，因而这种控制系统是断续的，不能连续反映信号的变化，故称为断续控制。

为使控制系统获得更好的静态与动态特性，完成更复杂的控制任务，常采用反馈控制系统。反馈控制系统由连续控制元件组成，它不仅能反映信号的通与断，而且能反映信号的大小和变化，这种由连续控制元件组成的反馈控制系统，称为连续控制系统。用作连续控制的元件有电机扩大机、磁放大器、晶闸管等，尤其是晶闸管控制系统，它的应用越来越广泛。

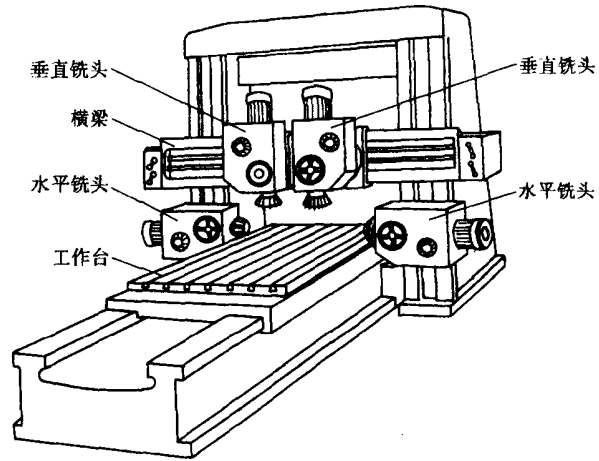


图 0-3 龙门铣床

20世纪60年代出现了一种能够根据生产需要、灵活地改变控制程序的顺序控制器，使控制系统具有较大的灵活性和通用性，但它仍然使用硬件手段，而且装置体积大，功能也受到一定限制。

20世纪70年代，出现了用软件手段来实现各种控制功能，以微处理器为核心的工业通用自动控制装置——可编程序控制器（PROGRAMMABLE CONTROLLER），简称PC（见图0-4）。它是将传统的继电器、接触器控制技术、计算机技术和通信技术融为一体，专门为工业控制而设计的一种新型的通用自动控制装置。它不仅充分利用微处理器的优点来满足各种工业领域的实时控制要求，同时也照顾到目前电气操作维护人员的技能和习惯，摒弃了微机常用的计算机编程语言的表达形式，独具风格地形成一套以继电器梯形图为基础的形象编程语言和模块化的软件结构，使用户程序的编制清晰直观、方便易学、且调试和查错容易。

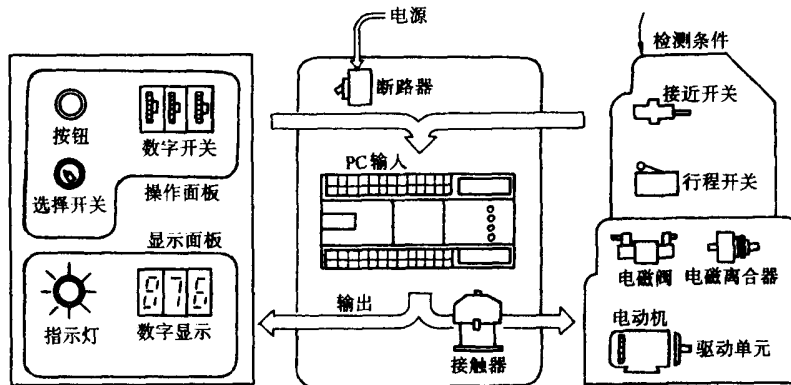


图 0-4 PC 控制系统图

国际电工委员会（IEC）在1987年2月颁发的可编程序控制器标准草案第三稿中对PC作了如下定义：“可编程序控制器是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下应用而设计。它采用了可编程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、

计数和算术运算等操作的指令，并通过数字式和模拟式的输入和输出，控制各种类型机械的生产过程。可编程序控制器及其有关外围设备，都按易于与工业系统联成一个整体、易于扩充其功能的原则设计。”

由于可编程序控制器具有功能强、通用灵活、可靠性高、环境适用性好、编程简单、使用方便及体积小、重量轻、功耗低等一系列优点，因此目前世界各国已将它作为一种标准化通用设备普遍应用于工业控制。

随着计算机技术的发展，20世纪50年代初，研制成了数控设备，它是由电子计算机按照预先编好的程序，对机床实现自动化的数字控制。随着微型计算机的出现，数控机床得到很快的发展，先后出现了硬件逻辑电路构成的专用数控装置 NC、小型计算机控制的 CNC 数控系统、计算机群控系统 DNC、自适应控制系统 AC、微型计算机数控系统 MNC。20世纪80年代又发展成柔性制造系统 FMS（见图 0-5）。最新发展起来的以数控机床为基本单元的计算机集成制造系统，即 CIMS，用以实现无人自动化工厂。

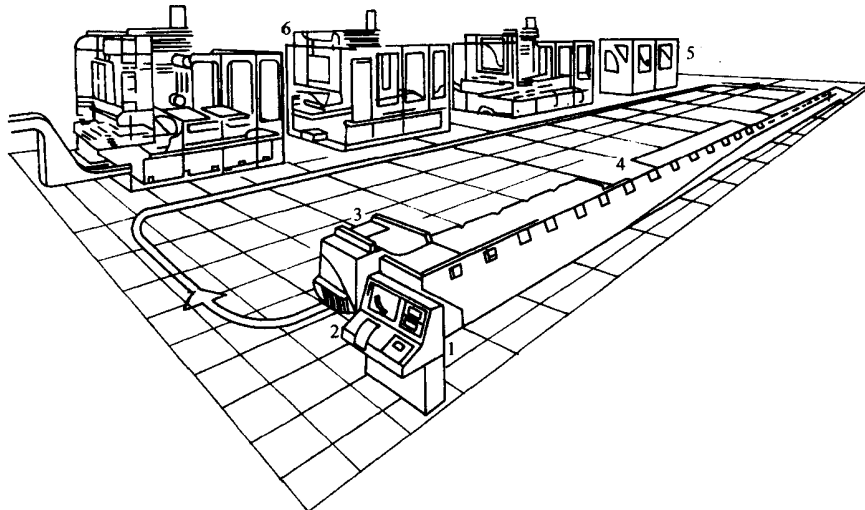


图 0-5 加工箱体零件的柔性制造系统

1—带有记录生产数据的主计算机控制系统与主计算机接口 2—生产数据记录打印  
3—感应式无轨小车 4—托盘与上、下工作站 5—零件清洗站 6—卧式镗铣加工中心

在工业发达的国家，可编程序控制器、机器人和数控机床已成为现代控制的三大支柱。

## 二、21 世纪电气化远景

当电动机、电话、电灯三大发明照亮人类实现电气化的道路时，混沌初开的世界便迅速踏上了现代化的旅程，一切与电相关的发明创造相继问世，完整的电气工业体系得到了建立，从而铸就了电气时代的辉煌，也铸就了电子信息时代的根基，人类工业文明史便翻开了新的一页。从此，曾经“脸朝黄土背朝天”的农耕文明开始慢慢褪色，曾经机器轰鸣、污染严重的“蒸汽工厂”被宁静整洁的“电气工厂”取而代之，曾经驿站相连的马车时代随着无线电的发明悠然隐没，更是在网络时代来临后成为遥远的回忆。整个人类社会的生产和生活面貌因电气时代的到来而彻底改变，生产走向自动化，生活走向便捷化。在 20 世纪，电气化成为工业经济时代的必要条件、基础设施，而今人类已步入信息和知识经济时代，但整个

世界仍将以电力为主要二次能源，电已是人们生活、生产、工作不可缺少的基本支撑。

21 世纪，新的电气技术将不断突破诞生，新的电气产业将不断延展分化。可以预料，由于高新技术的驱动和社会发展需要的拉动，电气高新技术的产业化道路将更加宽广。

### 1. 新能源发电技术

采用新型高效能源是电力建设和开发的方向。21 世纪，新的电力建设和开发技术将走向高峰，核聚变能、太阳能、燃料电池等技术的实用化将彻底解决人类共同面临的能源和环境危机。

人类自 1973 年以来，共向地球索取了 5000 亿桶（约合 800 亿吨）石油，剩下的石油按现有生产水平匡算，还可保证开采 44 年。天然气也只能持续开采 56 年，一些国家的煤炭资源已采掘殆尽。从长远来看，核能将是继石油、煤和天然气之后的主要能源，人类完全有可能从“石油文明”走向“核能文明”。继核裂变发电之后，更高能级的核聚变发电正在一些发达国家之中竞相开发应用，并被预言为“最终能源”，可以一劳永逸地解决社会发展出现的能源危机。科学家们估计，到 2025 年以后，示范型核聚变发电有可能出现；2050 年前后，受控核聚变发电有可能投入商业运营。

### 2. 输变电技术

无阻的、能传输高电流密度的高温超导材料的相继问世，将带动超导电力设备的全面进展，从而使超导电力技术登上 21 世纪电力工业的舞台。1997 年，美国 IGC 的创始人 Carl H. Rosner 根据科技界和产业界的估计，并结合目前超导技术的发展情况得出如下预测：高温超导限流器（SFCL）、超导变压器、超导电缆、超导电动机和超导发电机的商品化时间将分别是 1999 年、2002~2006 年、2002~2010 年、2010 年~2020 年和 2020 年。根据 Rosner 的预测，到 2010 年左右，除超导发电机外的其他超导电力设备都可达到商品化阶段，其中高温超导限流器将会达到大规模应用的程度。Rosner 非常肯定地说，21 世纪将是“超导技术时代”，超导技术对于 21 世纪将如同半导体技术对于 20 世纪一样具有重要的意义，21 世纪的超导材料将如同 20 世纪的铜一样被普遍使用。

电力电子技术是电力、控制和电子技术的集成，是在半导体问世后发展起来的，可以应用到发电、输电、配电和用电等各种领域。柔性交流输电技术就是输电系统的主要部分，它采用各种电力电子装置，对输电系统的重要参数（如电压、相位角、电抗等）进行调整控制，使输电能力提高，并且更加稳定可靠。

近年来，随着大量新型电力电子装置的出现（如新型静止无功发生器、可控串联电容补偿器、综合潮流控制器、固态断路器、故障电流限制器、有源滤波器等），使柔性交流输电技术和装置发展十分迅速。可以预测，21 世纪将会产生完全实时控制的柔性交流输电系统，它将以最低的成本为用户提供可靠和高质量的电力。

### 3. 电气传动技术

20 世纪 50 年代末，第一只晶闸管的问世标志着电气传动领域电力电子新技术的诞生。电力电子器件经过一代又一代的创新，特别是以绝缘栅双极晶体管（IGBT）为代表的第三代电力电子器件，正向复合化、模块化、智能化、高频化和功率集成化的方向发展，从而使电气设备的体积与重量大大减小，不仅使电气设备在制造时节约了大量材料，而且运行时节电明显，设备的系统性能亦大为改善，并且对航天工业也有着十分深远的意义。电力电子技术的发展与创新是 21 世纪可持续发展战略纲领的重要组成部分。随着新世纪现代电力电子技

术转化为生产力的速度的加快，必将形成一条高科技产业链，从而推动整个工业领域的技术创新向前发展。

#### 4. 电气控制和应用技术

目前前景看好的智能化、信息化产品有机顶盒、掌上电脑、手机和寻呼机、车载盒、工业控制产品等。机顶盒不仅可使模拟电视能接收数字电视节目和上网，还可能成为未来家庭的控制中心。掌上电脑是计算机微型化、专业化趋势的产物，由于掌上电脑易用、便携、低价，因此，未来几年将快速发展。从功能上看，掌上电脑还将扩充通信功能，甚至会具有手机和寻呼机的功能。车载盒用于汽车上的通信，随着全球定位技术的成熟和广泛应用，车载盒将会成为有汽车家庭的消费时尚。此外，信息电器还可广泛用于工业控制，如数控机床、电梯及其他工业控制设备和仪器都可采用芯片技术、嵌入式软件、通信技术等，以提高作业效率，促进企业技术改造，为企业带来新的活力。

#### 5. 电工材料技术

先进材料技术已成为世界各国科技竞争的焦点，高温超导、纳米和环保材料是电工材料的重要研究方向，是构成 21 世纪信息社会的基石和电气工业的支柱。新材料中最具活力的是信息功能材料，耐高温、高比强度、高比刚度的结构材料，高温超导材料，纳米材料，能源材料和环保材料等。信息功能材料指用于信息的获取、传输、存储、显示及处理有关事宜的材料，信息功能材料品种多、涉及面广。其中由于单晶硅片的直径愈来愈大（目前直径 300mm，2010 年将达到 450mm）、性能好、价格低，成为发展最快的先进信息材料，目前占硅集成电路中的 95%，21 世纪上半叶仍将占主导地位。高温超导体电缆在 2010 年前会达到工业化水平，2020 年在全世界的产值可达 1220 亿美元。纳米材料具有很多异乎寻常的特点，纳米技术已成为先进材料的前沿技术。例如，近年来发现的乙烯球，除材料本身外，还为新材料合成开辟了一条新途径；纳米碳管的强度比钢高 100 倍，密度仅为钢的 1/10，其导电性超过铜，有可能成为 21 世纪纳米级电子电路的主要材料。纳米技术有望在新世纪成为核心技术，从而引起新的产业革命，给人类带来无数的新产品和新工艺。还有被称为绿色材料的环保材料等，都将成为有发展前景的新型电工材料。

不难想象，正是由于有这五个方面的电气高新技术的突破及产业化道路的铺就，电气工业将继续演绎新世纪的辉煌。

### 三、课程的性质和任务

本课程是一门实践性很强的主要专业课程。其任务是：通过设备电气控制的基本知识、机械设备的电力装备、基本电路、控制系统及可编程序控制器等基本内容的教学，应使学生具备高素质劳动者和中初级专门人才所必需的设备电气控制与维修的基本知识和基本技能，初步形成解决实际问题的能力，逐步培养学生的职业技能，提高全面素质，增强适应职业变化的能力。

#### 1. 基本知识教学目标

- 1) 设备电气控制与维修的基本概念和基本分析方法。
- 2) 电气电路及电气设备的工作原理、结构及用途。
- 3) 常用低压电器的特性、结构、原理、主要参数及其选用、调整和故障维修方法。
- 4) 可编程序控制器的特性和应用范围。

#### 2. 能力目标

- 1) 能正确使用常用电工仪表。
- 2) 能阅读和分析简单的电气控制电路原理图及通用设备电气控制电路系统图。
- 3) 具有借助手册等工具书和设备铭牌、产品说明书、产品目录等资料，查阅低压电器元件及产品的有关数据、功能和使用方法的能力。
- 4) 初步具有装配和调试简单电气控制电路的能力。
- 5) 能处理一般通用设备电气控制电路的简单故障。

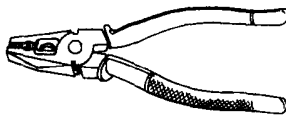


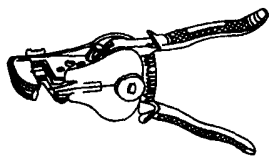

# 第一章 设备电气控制与维修的基本知识

## 第一节 电工基本工艺


### 一、电工常用工具

在机械电气设备的安装、维护和检修过程中，必须具备一些常用的电工工具并掌握其正确的使用方法，才能够顺利进行电气设备的安装、维护和检修工作。电工常用工具见表 1-1。

表 1-1 电工常用工具

工具名称	构造及用途	使用注意事项
钢丝钳 	由钳头和钳柄两部分组成，钳柄一般带绝缘套管。钢丝钳有多种用途。钳口用来夹持或弯绞导线线头；刀口用来剪切导线或剖切软导线绝缘层；侧口用来侧切电线的线芯和钢丝等较硬金属。钳柄有绝缘套管的钢丝钳可在有电的场合下使用，允许电压为 500V	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 握钳时，要握钳柄的后部，这样夹起来才有力</li> <li>2) 不要用钢丝钳松、紧螺母，否则螺母和钳口都会受到损伤</li> <li>3) 不要用钢丝钳代替锤子敲击或撬东西</li> <li>4) 带电作业时，不能一次剪断带电的双股胶线，否则会引起电源短路</li> </ol>
电工刀 	电工刀在电工装修工作中，用于割削电线电缆绝缘层、纸张、木片或软性金属。有普通式和三用式两种，三用式电工刀增加了锯片和锥子，用来锯小木板和锥孔	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 避免切割坚硬的材料，以保护刀口</li> <li>2) 刀口用钝后，可用油石磨</li> <li>3) 刀刃部分损坏严重，可用砂轮磨，但要防止退火</li> </ol>
活扳手 	活扳手的头部由定、动扳唇，蜗轮和轴销等构成，旋转蜗轮可调节扳口的大小	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 根据螺母的大小选用适当规格的扳手</li> <li>2) 松动和旋紧规格较大的螺母（或锈住螺母）时，必须将动扳唇放在用力方向的内侧</li> <li>3) 旋动螺母时，必须事先调节两扳唇，将螺母夹持得松紧适度</li> </ol>
剥线钳 	剥线钳用来剥削线芯截面为 $6\text{mm}^2$ 以下的塑料、橡胶电线的绝缘层。钳头部分由压线口和切口构成，切口上有直径 $0.5 \sim 3\text{mm}$ 的多个切孔，以适用于不同规格的线芯	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 剥线时，电线必须放在稍大于线芯直径的切孔上切剥，否则会切伤线芯</li> <li>2) 当需剥削较长一段绝缘层时，应分段进行</li> </ol>
试电笔 	试电笔能检查低压导体和电气设备外壳是否带电，其检测电压的范围为 $60 \sim 500\text{V}$ 。为了便于使用和携带，常做成钢笔状，前端是金属探头，内部依次装有安全电阻、氖泡和弹簧。弹簧与后端外部的金属部分接触。使用时，手应与笔尾的金属部分相接触	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 使用试电笔前，务必先在正常的电源上检查氖泡能否正常发光，以确认试电笔验电可靠</li> <li>2) 由于氖泡发光微弱，在明亮的光线下测试时，往往不易看清氖泡的辉光，所以应当避光检测</li> <li>3) 试电笔的金属探头一般都制成一字旋具形状，只能承受很小的转矩，不可随意做旋具使用</li> </ol>

(续)

工具名称	构造及用途	使用注意事项
电烙铁 	电烙铁是锡焊的电热工具,由手柄、套管、电热元件和铜头组成。按铜头受热方式分有外热式电烙铁和内热式电烙铁两种。电烙铁的规格以其消耗的电功率表示,通常为20~500W。常用的起清除污垢和抑制工件表面氧化作用的焊剂有松香、松香混合剂、焊膏、盐酸等	1) 电烙铁的金属外壳必须妥善接地,以防电烙铁漏电,发生意外 2) 当焊接弱电元件时,宜采用45W以下的电烙铁;焊接强电元件时,则需45W以上的电烙铁 3) 电烙铁一旦使用完毕,应随即断电,让其自然冷却

## 二、电工基本操作技术

电工基本操作技术的内容包括导线线头加工工艺、锡焊的方法、穿铁管布线和各种开关的操作方法等。

### 1. 导线线头加工工艺

(1) 导线分类和用途 机械电气设备常用的导线分电磁导线和绝缘导线两大类。

1) 电磁导线 按绝缘材料分为漆包线、丝包线、丝漆包线、纸包线、玻璃纤维包线和纱包线等多种。按截面几何形状分为圆形和矩形两种。导线的线芯又有铜芯和铝芯之分。机械电气设备常用的电磁线为漆包线和纱包线,多用于各种接触器、继电器的线圈,电机、电磁铁等的电感线圈。

2) 绝缘导线 按不同绝缘材料和不同用途,分为塑料线、塑料护套线和各种电缆等。机械电气设备中常用的为塑料线、塑料护套线等,多用于控制电盘配线或作盘外各电盘与电器之间的连线。

(2) 电磁导线线头绝缘层的去除 直径0.1mm以上的漆包线线头绝缘层的去除,宜用细砂布擦去绝缘层。直径0.6mm以上的线头,可用电工刀轻轻刮去绝缘层。直径0.1mm以下的线头(尤其是线圈抽头或断头)较难处理,可用细砂布轻轻擦去绝缘层,也可用火柴轻轻一烧,然后用细砂布擦去。采用后一种方法时,绝缘层去除得较为干净,但火烧时间要短,轻轻掠过即可,否则会将线头烧熔。

纱包线线头绝缘层的去除,是将纱层松散到所需长度,打结扎住,防止纱层继续散开,然后用细砂布擦去线芯表面的氧化层。

(3) 绝缘导线线头绝缘层的剥削 剥削塑料线绝缘层可用电工刀、钢丝钳或剥线钳进行。用剥线钳剥削塑料层,只限于线芯直径在3mm以下的导线,并且多在电盘集中配线时用。用钢丝钳剥削,适合于线芯截面为 $4\text{mm}^2$ 以下的塑料线。剥削时,根据线头所需长度,用钳头刀口轻切塑料层(不可切伤线芯),然后用右手握住钳子头部,用力向外勒去绝缘层。与此同时,左手握紧导线反向用力,如图1-1所示。如果所需线头较长,可分成两段或三段剥削。线径较粗的塑料线,可用电工刀剥削绝缘层。剥削时,根据所需的线端长度,将刀口以 $45^\circ$ 倾斜角

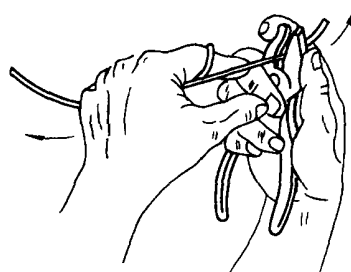


图 1-1 用钢丝钳剥离导线塑料层的方法

切入塑料绝缘层（见图 1-2a），不可切伤线芯。然后刀面与线芯保持 25°角左右，刀口向外削出一条缺口（见图 1-2b）。将绝缘层剥离线芯，用电工刀取齐切去（见图 1-2c）。

塑料护套线的护套层用电工刀剥削，方法是按所需长度用刀尖在线芯缝隙间划开护套层（见图 1-3a），然后剥离导线绝缘层，用刀口切齐（见图 1-3b）。其导线绝缘层的去除，与塑料护套层剥削法相同，但绝缘层的切口与护套层的切口间应留 5~10mm 的距离。

## 2. 锡焊的方法及注意事项

使用电烙铁锡焊时必须将焊点焊透、焊牢，以减小连接点的接触电阻。要注意焊锡的熔化温度，焊液必须充分渗透，锡结晶部位要细而光滑。

造成虚焊的原因是焊件表面不干净或使用焊剂太少，以致于焊件表面没有充分焊上锡层。另外，烙铁温度不够或烙铁留焊时间过短，焊锡未被充分熔化，也会造成虚焊。

焊接电子元件引出线头时，焊接时间一般不超过 2s，使用的电烙铁以 25W 为宜，焊头要修整得稍尖些，含锡量要适当，避免焊锡过多而使焊点粗大。焊接电子元件，忌用酸性焊剂，以防降低介质绝缘性能和加剧腐蚀。

## 3. 穿铁管布线的注意事项

在进行机械设备的电气安装和维修时，布线多采取穿铁管敷设的方法。操作不当，易造成导线间或导线与地短路的故障。铁管常埋于地下，一旦有故障，不易维修，因此，穿管时一定要注意以下问题：

- 1) 铁管内部及管口应光滑无毛刺，管口要加护口，以防伤线。
- 2) 铁管要有可靠的接地或接零，与接线盒连接处须用导线连接好，且有良好的接地保护。
- 3) 铁管内部导线的总面积要小于铁管截面积的 40%，铁管内不许有导线接头，两出口处的导线最好套上绝缘软管。
- 4) 铁管敷设的弯曲角应大于 90°，明管弯曲半径应大于管径的 4 倍，暗管弯曲半径应大于管径的 6 倍。
- 5) 铁管敷设在潮湿场所或地下时，应使用壁厚大于 2mm 的铁管，并在导线的出口、铁管的连接处采取防潮措施。

## 4. 各种开关的操作方法

1) 瓷底胶盖刀开关的分、合操作均应敏捷利落。若分断速度过慢，会产生强烈电弧，轻则烧伤触点，重则使动、静触点焊在一起。合闸时，要向上推到位，使动触点（刀片）完

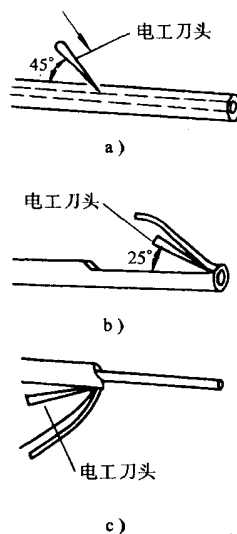


图 1-2 用电工刀剥剥导线塑料层的方法

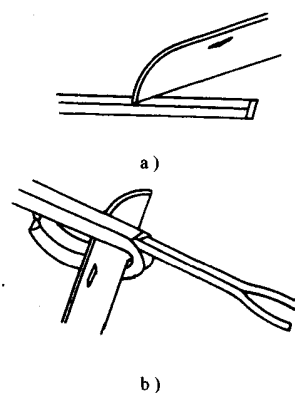


图 1-3 塑料护套层的剥离方法

全插入静触点中，上下胶盖要完整无损。

2) 负荷开关（即铁壳开关）一般不可开盖合闸，以防电弧灼伤人体。拉闸正常时，能听到弹簧的跳动声，否则说明动触点没有分断。

3) 手动自耦减压起动器合闸时用手柄操作，手柄的位置有三档，中间位置标“停”，是空位，外档是“起动”位，内档是“运转”位。开车时，应把手柄推向“起动”位，但不可松手，同时注意电动机的起动运转情况。待转速稳定、声音均匀时，再把手柄趁势拉到“运转”位置。手柄停在“起动”档的时间不可过短，否则达不到减压起动的目的，造成热继电器触点跳开或熔体熔断，对电动机运转会造成影响。停车时，只需按一下停止按钮，脱扣线圈失压，开关分断，电动机停转。

### 三、电工仪表

机械电气设备的电量指示和机械设备电气维修所用的仪表，主要用来测量电路的电流、电压、电阻及绝缘电阻等，借以了解电气设备的性能、运行情况以及发生故障时各种电量参数的变化。

#### 1. 电工仪表的分类

电工仪表的种类很多，按测量方法分，有直接测量和比较测量两类。采用直接测量方法的仪表称为直读式仪表，可从表盘上读出电量的数值。采用比较测量方法的仪表是将被测电量与“较量仪器”中的已知标准电量进行比较，从而确定电量的大小。直读式仪表使用比较方便，但测量的准确度不太高。较量仪器的测量可获得很高的准确度，但仪器笨重，测量不太方便，价格较贵，平时较少使用。

按工作原理的不同，电工仪表可分为磁电系、电磁系、感应系、整流系、静电系、热电系等类型。

按被测电量的名称（或单位）可分为电流表（千安表、安培表、毫安表、微安表）、电压表（千伏表、伏特表、毫伏表）、功率表（瓦特表）、兆欧表（摇表）、欧姆表、电能表等。

按使用方法的不同，电工仪表可分为开关板式和可携式仪表。开关板式仪表一般安装在机械设备电气箱（或电盘）外壳的前部。可携式仪表有万用表、兆欧表、钳形电流表等。

根据工作电流种类的不同，电工仪表还可分为直流表、交流表和交直流两用表。

#### 2. 电工仪表符号

电工仪表的表盘上面标有各种符号和文字，用以表示仪表的结构形状、测量对象、准确度等级、灵敏度、防磁防震度等。常用电工仪表表盘的标记符号见表 1-2。



















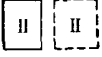


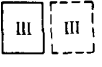

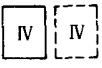












#### 3. 电工仪表的构造及工作原理

机械电气设备电量指示和维修常用的仪表有磁电系仪表和电磁系仪表。

(1) 磁电系仪表的构造和原理 磁电系仪表的构造由固定和可动两大部分组成，如图 1-4 所示。固定部分由一个马蹄形永久磁铁 1、磁极 6 及软铁铁心 2 组成。磁极为半圆形软铁，连接马蹄形磁铁的两极。软铁铁心呈圆柱形，固定在两磁极中间。由于软铁铁心的磁导率很高，与磁极间的空气隙很小，所以磁力线几乎全部穿过软铁铁心，并均匀地分布在空气隙中。可动部分主要由绕在铝框骨架上的活动线圈 7 和支承在轴承上的转轴 8 组成。线圈骨架与轴相连，轴的两端各装有一个盘形游丝 5，轴上还装有零点调节器 4 和指针 3，指针能随轴转动，在标度盘上指示出读数来。

磁电系仪表的工作原理是电流经过游丝流经线圈时，线圈受磁场力矩的作用带动指针向

表 1-2 电工仪表表盘的标记符号 (摘自 GB/T7676.1—1998)

测量单位符号		静电系仪表		端钮、转换开关、调零器和止动器符号	
名称	符号	名称	符号	名称	符号
千安	kA	被测量的性质和测量元件数		正端钮	+
安培	A	名称	符号	负端钮	—
毫安	mA	直流电路/或直流响应的测量元件	 (5031)*	公共端钮 (多量限仪表和复量用电表) 电源端钮 (功率表、无功功率表、相位表)	
千伏	kV	交流电路/或交流响应的测量元件	 (5032)*		
伏特	V	直流和/或交流电路和/或直流和交流响应的测量元件	 (5033)*		
毫伏	mV	三相交流电路 (通用符号)	3~**	调整器	
千瓦	kW	准确度等级符号		交流端钮	
瓦特	W	名称	符号	接地端钮 (螺钉或螺杆)	
兆欧	MΩ	等级指数 (例如 1), 基准值为标度尺长或指示值或量程者除外	1	止动器	止
千欧	kΩ	等级指数 (例如 1), 基准值为标度尺长		止动方向	
欧姆	Ω	等级指数 (例如 1), 基准值为指示值		电表按外界条件分组符号	
仪表工作原理符号		使用位置符号		名称	符号
磁电系仪表		名称	符号	I 级防外磁场 (如磁电系)	
磁电系比率表		标度盘垂直使用的仪表		I 级防外电场 (如静电系)	
电磁系仪表		标度盘水平使用的仪表		II 级防外磁场及电场	
电磁系比率表		标度盘相对水平面倾斜 (例如 60°) 的仪表		III 级防外磁场及电场	
电动系仪表		耐压水平		IV 级防外磁场及电场	
电动系比率表		名称	符号	A 组仪表 (工作环境温度为 0 ~ +40℃)	
动磁系仪表		不经受电压试验的装置		B 组仪表 (工作环境温度为 -20 ~ +50℃)	
动磁系比率表		试验电压高于 500V (例如 2kV)		C 组仪表 (工作环境温度为 -40 ~ +60℃)	
铁磁电动系仪表		高压闪络			
铁磁电动系比率表					
极化电磁系仪表					

一边偏转。线圈偏转时，游丝发生形变，它产生的反作用弹性力矩与偏转角的大小成正比，这个弹性力矩将阻止线圈的偏转。当磁场的力矩和游丝的弹性力矩相等时，线圈处于平衡状态，指针不再偏转，指示出读数。电流越大，磁场对线圈的力矩越大，指针偏转越大。当线圈转动时，铝框切割磁力线，在铝框上产生感应电动势。因铝框是个环形导体，于是在铝框中就产生感应电流，这个感应电流产生的磁场与原磁场相互作用，也产生一个力矩。这个力矩总要阻碍线圈的转动，而起到了阻尼作用。显然阻尼力矩的方向与铝框架的运动方向相反（见图 1-5），因此能够使指针平稳地停在读数位置上。待铝框静止时，感应电流消失，阻尼力矩也随之消失。

磁电系仪表具有如下使用特点：

1) 磁电系仪表磁铁产生的磁场很强，受外界磁场的影响不太大，线圈中通过的电流又很小，仪表的准确度和灵敏度比较高。

2) 磁电系仪表的极性是固定的，如果将交流电通入线圈，磁场对线圈的力矩大小和方向都是交变的。由于仪表可动部分的惯性，它不能随着迅速改变的力矩而迅速改变方向，所以指针不动。因此，磁电系仪表只能用于直流电的测量。

3) 磁电系仪表通常只作表头使用，其线圈导线很细，不能通过大电流，一般不单独使用。

4) 因指针偏转角与被测电流的大小成正比，所以标度盘上的刻度均匀。

(2) 电磁系仪表的构造和原理 电磁系仪表的构造如图 1-6 所示。由固定线圈 1 和装在线圈内的固定铁片 2、与轴相连的可动铁片 3、转轴 6、指针 8、空气阻尼器 4、平衡重物 7 和零点调节器 5 等组成。

电磁系仪表的工作原理是线圈通电后，线圈内就产生了磁场，固定铁片和可动铁片同时被磁化，成为两片磁铁。由于两片磁铁同一端的极性相同，相互排斥，铁片 2 是固定的，因此排斥力使可动铁片 3 绕转轴 6 顺时针转动，并带动转轴 6 和指针 8 一起转动，直至铁片的转矩与游丝的弹性力矩相平衡，指针静止，指示出读数。如果电流方向改变了，两铁片的磁性也同时改变，结果转轴仍向顺时针方向转动。它的转动方向不因电流方向改变而改变，所以这种仪表既可用于直流电路的测量，又能用于交流电路的测量。

电磁系仪表具有如下使用特点：

1) 电磁系仪表的偏转角度与电流有效值的平方成正比，因此标度尺的刻度是不均匀的。在正常使用条件下，仪表的误差都按最大绝对误差计算，所以被测值比仪表最大量程小得越多，测量的相对误差越大。因此，在选择仪表量程时，应当使被测值在仪表量程的一半至

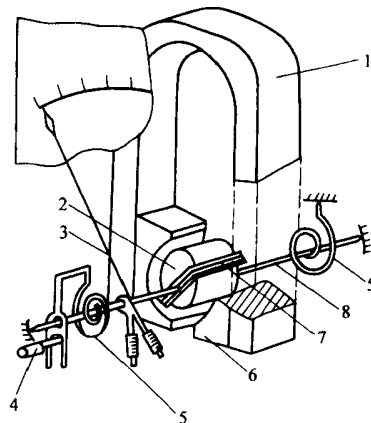


图 1-4 磁电系仪表的构造  
1—马蹄形永久磁铁 2—软铁铁心  
3—指针 4—零点调节器 5—盘形游丝  
6—磁极 7—活动线圈 8—转轴

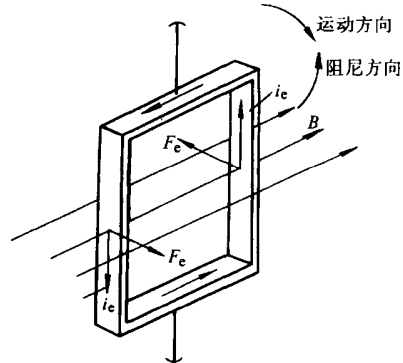


图 1-5 铝框产生的阻尼力矩

2/3的范围内。

2) 仪表线圈固定不动, 可以选择较粗的导线绕制, 所以能测量较大的电流。

3) 仪表本身的磁场较弱, 容易受外界磁场干扰, 可以用屏蔽罩将测量机构屏蔽起来。在测量交流电时, 动、定铁片受磁滞和涡流的影响, 准确度较低。

#### 4. 常用电工仪表简介

电工测量仪表的种类虽然很多, 但实际中最常见的是测量基本电量的仪表。常用的电工仪表见表 1-3。

#### 四、电气控制电路的图形符号及文字符号

电气控制电路由各种电器元件组成, 电气控制电路用图形符号和文字符号表示。我国于 1964 年、1985 年和 1975 年、1987 年分别制订和颁布了电气控制电路图的图形符号和文字符号的国家标准, 表 1-4 是常用电气图形符号及文字符号的新旧对照表。

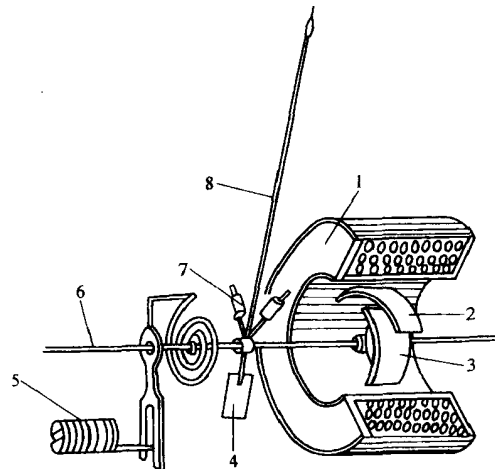
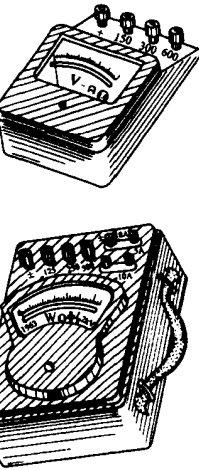
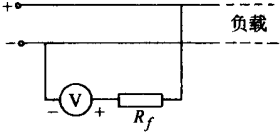
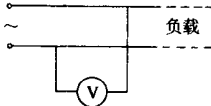
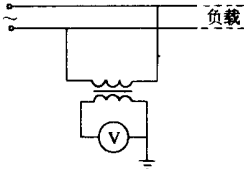

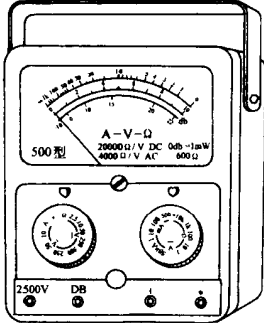


图 1-6 电磁系仪表的构造  
1—固定线圈 2—固定铁片 3—可动铁片  
4—空气阻尼器 5—零点调节器 6—转轴  
7—平衡重物 8—指针





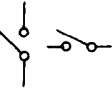
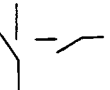
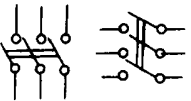
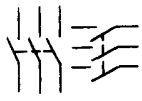
表 1-3 常用的电工仪表

仪表名称	使用 方法	
<p>电流表</p>	<p>直流电流的测量：测量直流电流时，要将电流表串联在被测电路中，并注意电流表的量程和极性。电流表直接接入电路的方法如下图所示</p> <p>电流表直接接入电路时，仪表本身的内阻会造成功率损耗，改变了电路的工作状态，影响测量的准确度。因此，电流表内阻越小，测量的准确度越高</p> <p>选用电磁系仪表作电流表时，其绕在铝框上的线圈导线很细，不能通过大电流。为了扩大量程，常用分流器和电磁系仪表并联后再串联在被测电路中，如下图所示</p> <p>分流器的电阻很小，大部分电流从分流器中流过，而仪表中流过的电流很小，不致于把线圈烧坏。分流器的电阻和仪表的内阻有一定的比例，通过计算便可得出被测电流的实际值</p>	<p>交流电流的测量：测量交流电流时，应选用电磁系仪表，其接法如下图所示</p> <p>当被测电流大于电流表量程时，应借助电流互感器来扩大量程，其接法如下图所示</p> <p>测量时，电路电流通过电流互感器的一次绕组，电流表串联在二次绕组中，电流表的读数应乘以电流互感器的变比，才是实际电流值。配套的电流表其表盘标度已按变比标出，可以直接读数。国产电流互感器，不论一次绕组电流多大，二次绕组侧的额定电流大部分都是 5A</p> <p>使用电流互感器时，它的二次绕组和铁心应可靠接地，严禁开路和加装熔断器</p>

仪表名称	使用 方 法	
<p data-bbox="319 427 382 450">电压表</p> 	<p data-bbox="487 427 859 658">直流电压的测量：测量直流电压，如选用磁电系仪表，应注意接线端钮的极性，把电压表并联在被测电路中，流过电压表的电流随被测电压大小而变化，便可获得电压读数。在测量大于或几倍于电压表量程的直流电压时，由于仪表线圈不能胜任较大电流，要在仪表线圈电路中串入一个较大电阻 <math>R_f</math>，这个电阻叫附加电阻（或倍压器），其接法如下图所示</p>  <p data-bbox="487 824 859 949">附加电阻有内附和外附两种。电压表的灵敏度，可用满偏转电流（最大允许通过的电流）<math>I_g</math> 的倒数 (<math>\Omega/V</math>) 表示。<math>\Omega/V</math> 的值越大，说明满偏转电流越小，灵敏度越高</p> <p data-bbox="487 954 859 1028">电压表本身的功率损耗会严重影响测量的准确度，故电压表的内阻应尽量大些。电压表的内阻越大，测量误差越小</p>	<p data-bbox="879 427 1292 501">交流电压的测量：测量交流电压，可将交流电压表直接并联在适当量程的被测电压两端，如下图所示</p>  <p data-bbox="879 636 1292 893">在附加电阻为外附的情况下，电压表和附加电阻先串联，再与被测电路并联。测量高电压，如 <math>6kV</math> 以上的电压时，一般电压表的量程和绝缘程度均不能胜任，需要借助电压互感器来扩大电压表的量程。将电压互感器的一次绕组并联于被测电压的两端，二次绕组连接适当量程的电压表，就可以将高电压变成低电压来测量。测量结果再乘以系数 <math>K</math> (<math>K</math> 为电压互感器变比)，就是被测电压的实际值，如下图所示</p>  <p data-bbox="879 1090 1292 1164">国产的电压互感器，不论一次绕组的电压多高，二次绕组的额定电压一般均设计为 <math>100V</math>，如 <math>6000/100V</math>、<math>35000/100V</math> 等</p> <p data-bbox="879 1169 1292 1346">在电压互感器运行中，若二次绕组发生短路，其电路的阻抗将立即下降，同时电流猛增，绕组因剧烈发热而烧毁。因此，必须注意防止二次绕组短路，并加装熔断器保护。电压互感器铁心及二次绕组的一端必须接地，防止一旦绝缘破坏，一次绕组的高压窜入二次绕组，造成人身和设备事故</p>
<p data-bbox="299 1364 401 1386">钳形电流表</p> 	<p data-bbox="487 1364 859 1541">在不断开电路而需要测量电流的场合，可用钳形电流表进行测量。钳形电流表由电磁系电流表、开口铁心（用硅钢片叠成）、胶木柄以及电流互感器二次绕组组成。使用时握紧手柄，打开铁心，将被测导线从铁心开口处置于铁心中间，再放松手柄，便可获得读数</p> <p data-bbox="487 1545 859 1722">测量交流的钳形电流表，实际上是由一个电流互感器和一个整流系仪表所组成。被测载流导体相当于电流互感器的一次绕组（只有一匝）。被测电流在铁心中产生磁通，这个磁通穿过二次绕组，产生一个与一次绕组成正比例的电流，从而间接测出一次绕组电流的大小</p> <p data-bbox="487 1727 859 1899">测量交、直流的钳形电流表，是一种电磁系仪表。放置在钳口中的被测载流导线作为励磁线圈，磁通在铁心中形成回路，电磁系仪表测量机构位于铁心缺口中间，在磁场的作用下，指针偏转，获得读数。因其偏转不受电流方向的影响，所以可测量交、直流电流</p>	<p data-bbox="900 1364 1193 1386">使用钳形电流表应注意以下事项：</p> <ol data-bbox="879 1391 1292 1794" style="list-style-type: none"> <li>1) 进行电流测量时，被测的载流导线应放在钳口中央处，以免产生误差</li> <li>2) 测量前应先估计被测电流的数值，选择合适的量程，或先选用较大量程测量，然后再视电流大小，减小量程</li> <li>3) 为使读数精确，钳口铁心的两个结合面应很好吻合。如有噪声，可将钳口重新开合一次。如果铁心仍有声音，可检查结合面上是否有污垢存在，擦净再量</li> <li>4) 测量后，一定要把调节开关放在最大电流量程位置，以免下次使用时，由于未选择量程而损坏仪表</li> <li>5) 测量小于 <math>5A</math> 以下的电流，为了得到较准确的读数，在条件许可时，可把导线多绕几圈放进钳口进行测量，但实际电流应为读数除以放进钳口内的导线根数</li> </ol>

仪表名称	使用 方 法	
<p>万用表</p> 	<p>万用表的构造及原理：万用表是电工经常使用的多用途仪表。它可用于测量直流电流、直流电压、交流电流、交流电压和电阻等。较高级的万用表还可以测量电感、电容、音频电平（输出）及晶体管的直流放大系数 <math>\beta</math> 值等</p> <p>万用表主要由表头、测量电路和转换开关三部分组成。表头是一个高灵敏度的磁电系微安表，通过指针和标有各种电量标度尺的表盘，用以指示被测电量的数值。表头的灵敏度用满偏转电流来衡量，电流越小，灵敏度越高，一般为 <math>40 \sim 200 \mu\text{A}</math>，最小的可到 <math>9.3 \mu\text{A}</math>。在测量电压时，灵敏度用偏转电流的倒数 <math>\Omega/\text{V}</math> 表示，<math>\Omega/\text{V}</math> 值越大，灵敏度越高</p> <p>表内测量电路的作用是把各种被测电量转换为适合表示测量范围的微小直流电流，来达到多用途、多量程的目的。它由多量程直流电流表电路、多量程直流电压表电路、多量程整流系交流电压表电路、多量程欧姆表电路等几种用途不同的电路组成。在测交流电流和电压时，电路采用了整流措施。转换开关用来选择各种电量的种类和量程</p>	<p>万用表的使用及注意事项：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 正确选择端钮（或接插孔）。在测量电流和电阻及 <math>500\text{V}</math> 以下的电压时，应将红色测试棒的连接线接到标有“+”号的端钮上，将黑色测试棒的连接线接到标有“-”号的端钮上。测量直流电流时，将两测试棒串联在被测电路中。在测量直流电压时，应将两测试棒并联在被测电路中，并注意被测电路的极性。有的万用电表有交流 <math>2500\text{V}</math> 测量端钮，在测量时黑色测试棒不动，将红色测试棒接到 <math>2500\text{V}</math> 的端钮上</li> <li>2) 量程转换开关必须拨在需测档位置，不能拨错或测量完一种电量后，忘记换挡就测另一种电量。如果测量电压时，转换开关在电流档或电阻档上，就会烧坏仪表</li> <li>3) 在测量时，如对某种电量的大小不清楚，应拨在最大量程上进行测试，然后根据所测读数的大小，选择合适的量程进行测量</li> <li>4) 在测量交流电压时，需考虑到被测电压的波形。因为万用表交流电压档的刻度，实际上是按正弦电压经过整流后的平均值换算到交流有效值来刻度的，它不能测量非正弦交流电量</li> <li>5) 万用表的欧姆 (<math>\Omega</math>) 档刻度线不均匀，测量电阻时应选择适当量程，使指针停留在刻度线较稀的部位。在测量电阻之前，应将两测试棒碰在一起，转动调零旋钮，使指针停在电阻刻度尺的零位上。每换一次电阻档，都必须重新调零</li> <li>6) 每次测量完毕后，应将转换开关拨到测量交流电压的最高档，以防他人误用，造成仪表损坏。也可避免由于将量程拨在电阻档上，测试棒又碰在一起，造成电池长期耗电</li> </ol>

1-4 常用电气图形符号及文字符号新旧对照表（摘录）

名称	GB312—1964 图形符号	GB1203—1975 文字符号	GB4728—1985 图形符号	GB7159—1987 文字符号
三相笼型异步电动机		JD		M 3~
三相绕线转子异步电动机		JD		M 3~
普通刀开关		K		Q
普通三相刀开关		K		Q

(续)

名称	GB312—1964 图形符号	GB1203—1975 文字符号	GB4728—1985 图形符号	GB7159—1987 文字符号
按钮动合触点 (起动按钮)		QA		SB
按钮动断触点 (停止按钮)		TA		SB
位置开关 动合触点		XK		SQ
位置开关 动断触点		XK		SQ
熔断器		RD		FU
接触器动合主触点		C		KM
接触器动合辅助触点				
接触器动断主触点		C		KM
接触器动断辅助触点				
继电器动合触点		J		KA
继电器动断触点		J		KA
热继电器动合触点		JR		FR
热继电器动断触点		JR		FR
延时闭合的动合触点		SJ		KT
延时断开的动合触点		SJ		KT

(续)

名称	GB312—1964 图形符号	GB1203—1975 文字符号	GB4728—1985 图形符号	GB7159—1987 文字符号
延时闭合的动断触点		SJ		KT
延时断开的动断触点		SJ		KT
操作器件一般符号 接触器线圈		C		KM
电磁离合器		CH		YC
电磁铁		DT		YA
照明灯一般符号		ZD		EL
指示灯 信号灯一般符号		ZSD XD		HL

## 五、电气控制电路原理图

电气控制电路原理图是为了便于阅读与分析控制电路，根据简单清晰的原则，将原理图采用电器元件展开的形式来绘制。它包括所有电器元件的导电部件和接线端头，但并不是按照电器元件实际布置的位置来绘制的。

原理图一般分为主电路和辅助电路两部分。主电路是电气控制电路中强电流通过的部分，如图 1-7 所示。CW6132 型卧式车床电气控制电路原理图的主电路，就是从三相电源经普通三相刀开关 Q、熔断器 FU1、接触器动合主触点 KM、热继电器的驱动器件 FR 到三相笼型异步电动机 M1。辅助电路包括控制电路、照明电路、信号电路及保护电路，由继电器和接触器的线圈、继电器的触点、接触器的辅助触点、按钮、照明灯、信号灯、照明变压器等电器元件组成。辅助电路是弱电流通过的部分。

在绘制电气控制电路原理图时应遵循如下原则：

1) 各个电器元件及其部件在控制电路中的位置，根据便于阅读的原则来安排。同一电器元件的各个部件可以不画在一起，通常主电路与辅助电路分开来画。如图 1-7 中接触器 KM 的主触点与线圈分别画在主电路与控制电路中。

2) 每个电器元件均用特定的国家标准图形符号和文字符号来表示，如图 1-7 中接触器 KM 的动合辅助触点用“ ”图形符号表示，线圈则用图形符号“ ”来表示，在其旁边都标有文字符号 KM，说明它们同属于接触器 KM。

3) 为了说明每种电器元件在电气控制电路中的作用，通常用一定的文字符号来表示，文字符号分为基本文字符号和辅助文字符号。

基本文字符号有单字母符号和双字母符号两种。单字母符号按拉丁字母顺序将各种电气设备、装置和元器件划分为 23 大类，每一类用一个专用单字母符号表示，如“C”表示电容器类，“R”表示电阻器类等。双字母符号由一个表示种类的单字母符号与另一个字母组成，