

中等职业技术教育规划教材

机械设备电气控制与维修

摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇主摇摇编摇摇朱鹏超

副摇摇编摇摇杨新斌

参摇摇编摇摇邓健平摇摇曾桂珍摇摇赵玉歧

摇摇摇摇摇摇邱文萍摇摇吴摇摇鸣摇摇戴明宏

摇摇摇摇摇摇廖兆荣摇摇李新华摇摇张培珍

主摇摇审摇摇钟兴均



机械工业出版社

前 摇 摇 言

在工业生产和科学研究中，电气控制技术的应用是非常广泛的。随着计算机技术在机械行业的应用越来越深入，机、电、计算机的结合越来越紧密，电气控制技术也有了较大发展，出现了可编程序控制器等新技术。许多职业技术学院在机械设备维修与管理、机械制造等专业的教学中越来越注重机电结合与应用，不少学校正在创办机电工程（机电一体化）专业，以适应机械行业新技术发展的大趋势，培养制造、调试、使用、维修机电一体化产品的技术人员。因此，学习和掌握电气控制技术对职业技术学院机械设备维修与管理、机械制造工艺及设备、机电工程等专业的学生来说是十分重要的。

本教材从适合机械类专业学生学习电气控制的角度出发，较详细地介绍了常用机械设备电气控制的工作原理，系统地分析了一些应用实例，主要包括：电气控制与机电一体化技术的发展、继电器—接触器控制系统分析、电动机无级调速控制系统、可编程序控制器原理及应用、设备电气系统故障处理等几个部分。本书既注重基础，又加强应用，力求反映本领域的新知识、新技术。文字叙述简明扼要、深入浅出，每章后均附有一定数量的思考与练习题，供读者思考与练习。教材中还包括实验指导书，供教师在教学中参考。

本教材由株洲铁道职业技术学院朱鹏超任主编，株洲铁路机械学校杨新斌任副主编，参加编写人员及分工如下：郑州铁路职业技术学院戴明宏（第一章）、金华铁路司机学校吴鸣（第二章、第三章第二节）、沈阳铁路机械学校赵玉歧（第三章第一节）、武汉铁路运输学校邱文萍（第四章第一节、第二节、第三节）、株洲铁路机械学校邓健平（第四章第四节、第五节、第六节、第七节、第八章）、株洲铁道职业技术学院廖兆荣（第五章）、南昌铁路机械学校曾桂珍（第六章）、济南铁道职业技术学院李新华（第七章、第九章第四节）、株洲铁路机械学校杨新斌（第九章第一节、第二节、第三节）、太原铁路机械学校张培珍（第十章），株洲铁道职业技术学院朱鹏超（实验指导书）。株洲铁路机械学校钟兴均担任主审，对教材提出了许多中肯和建设性意见。金华铁路司机学校金升、南昌铁路机械学校汤兆平、常州铁路机械学校谢忠敏、武汉铁路运输学校颜昌标等同志参加了审稿，对本书也提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

本教材图形符号、文字符号、术语等均采用最新国家标准，适用于中等职业技术学校机械设备维修与管理、机电工程、机械制造专业及相近专业，参考教学时数为 200~220 学时。本书亦可供机械、电气工程技术人员参考。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，恳请读者批评指正。

编者

圆 圆 年 缘 月

目 录

摇前摇言	
摇第一章摇绪论	员
第一节摇电气控制技术的发展概况	员
第二节摇机电一体化的涵义及发展趋势	圆
第三节摇设备电力拖动自动控制的基本概念	猿
第四节摇发电、输电、配电及安全用电	缘
第五节摇本课程的性质与任务	苑
习题	苑
摇第二章摇常用低压电器	苑
第一节摇概述	苑
第二节摇常用低压电器	苑
习题	苑
摇第三章摇电气控制基本环节	苑
第一节摇国家电气制图标准简介	苑
第二节摇电气控制线路的逻辑代数分析方法	猿
第三节摇三相异步电动机的起动、正反转、制动电路	猿
第四节摇双速电动机高低速控制电路	源
第五节摇电液控制	源
第六节摇其它基本控制电路	源
第七节摇电动机的保护	源
习题	缘
摇第四章摇典型设备电气控制线路分析	缘
第一节摇概述	缘
第二节摇摇湾式车床电气控制电路	缘
第三节摇载圆式铣床电气控制电路	缘
第四节摇栽圆式铣镗床电气控制电路	远
第五节摇在圆摇臂钻床电气控制电路	远
第六节摇桥式起重机电气控制电路	远
第七节摇组合机床电气控制电路	远
习题	远
摇第五章摇自动调速系统	远
第一节摇自动控制系统基础	远
第二节摇自动调速系统的性能评价	愿
第三节摇直流自动调速系统的组成及工作原理	愿
第四节摇交流自动调速系统简介	愿
习题	愿
摇第六章摇可程序控制器	愿
第一节摇概述	愿
第二节摇可程序控制器的工作原理	愿
第三节摇可程序控制器程序设计语言	愿
习题	愿
摇第七章摇云系列孕兑程序编制	愿
第一节摇云系列孕兑各类软继电器	愿
第二节摇云系列孕兑指令系统及编程方法	愿
习题	愿
摇第八章摇圆系列可程序控制器程序编制	愿
第一节摇各类软继电器及输入输出定义号	愿
第二节摇圆系列孕兑指令系统及编程方法	愿
习题	愿
摇第九章摇可程序控制器控制系统设计与应用	愿
第一节摇可程序控制器的系统设计	愿
第二节摇可程序控制器的程序设计	愿
第三节摇可程序控制器设计举例	愿
第四节摇可程序控制器应用程序分析	愿
习题	愿
摇第十章摇设备电气系统故障处理	愿
第一节摇电气设备的日常维护	愿
第二节摇设备电气故障的诊断方法及步骤	愿
第三节摇低压电器常见故障及维修	愿
第四节摇电气线路常见故障分析及维修	愿

习题	页码	实验六摇可编程序控制器综合应用	页码
摇实验	页码	摇附录	页码
实验一摇机床电气控制线路与维修实验 ...	页码	附录 粤	页码
实验二摇三菱 PLC 编程器的基本操作	页码	附录 月	页码
实验三摇基本逻辑指令的应用	页码	附录 悦	页码
实验四摇定时器、计数器指令的应用	页码	摇参考文献	页码
实验五摇移位寄存器指令的应用	页码		

第一章 绪 论

第一节 电气控制技术的发展概况

电气控制技术是以生产机械的驱动装置——电动机为控制对象、以微电子装置为核心、以电力电子装置为执行机构而组成的电气控制系统，按给定的规律调节电动机的转速，使之满足生产工艺的最佳要求，且又具有提高效率、降低能耗、提高产品质量、降低劳动强度的最佳效果。

现代机械设备之所以先进，除应用完备的电力拖动系统外，还在于电气控制技术的发展。最早的控制装置是手动控制器。在 20 世纪的 20 年代至 30 年代，借助继电器、接触器、按钮、行程开关等组成继电器—接触器控制系统，实现对机械设备的起动、制动、反转等自动控制。继电器—接触器控制的优点是结构简单、价格低廉、维护方便、抗干扰能力强，因此被广泛应用于各类机械设备。采用它不但可以实现生产过程自动化，而且还可以实现集中控制和远距离控制。目前，继电器—接触器控制，仍然是我国机械设备最基本的电气控制形式之一。继电器—接触器控制系统的缺点是：由于是固定接线形式，故在进行程序控制时，改变控制程序不方便，灵活性差；采用有触点开关，动作频率低、触点易损坏、可靠性差。到了 40 年代至 50 年代，出现了交磁放大机—自动控制，这是一种闭环反馈系统，当输出量与给定量发生偏差时就自动调整，系统的控制精度、快速性都有了提高。60 年代出现了晶体管—晶闸管电气控制系统。发展到 70 年代，由于单片微型计算机功能的不断加强，运算速度的不断提高，可靠性又较高，故目前趋向采用以单片微型计算机为核心的控制系统。这种系统的控制规律由软件实现，只需配备少量的接口电路（例如：主电路器件的驱动电路，电压、电流、转速等反馈电路）就能形成一个完整的控制系统。其硬件结构简单，可以通过容易更改的软件来实现不同的控制规律或不同的性能要求。目前，这种微型计算机控制系统已普遍地应用于各种机械设备的局部控制或整机控制，减少了机械部件，提高了生产效率，减轻了工人的劳动强度，成为机械设备电气控制技术的一个发展方向，其中数控机床就是一个典型的例子。数控装置最早出现在 50 年代，但直到 70 年代微处理器应用于数控装置，才真正产生采用数控装置的机床。它是一种具有广泛通用性的高效率自动化机床，它综合应用了电子技术、检测技术、计算机技术、自动控制和机床综合设计等各个技术领域的最新技术成就。目前又在一般数控机床的基础上，发展成为附带自动换刀、自适应等功能的复杂数控系列产品，称为加工中心。它能对多道工序的工件进行连续加工，节省了夹具，缩短了装夹定位、对刀等辅助时间，提高了工效和产品质量，成功地取代了以往依靠模板、凸轮、专用夹具、刀具和定程挡板来实现顺序加工的自动机床、组合机床和专用机床。

第二节 机电一体化的涵义及发展趋势

一、“机电一体化”的涵义

机电一体化不是“机”和“电”的混合或“机”和“电”的简单相加，而是“机械”和“电”融为一体的有机结合，是一门集机械技术（精密机械为主）、电子技术（包括微电子与电力电子）、信息技术（包括传感检测）、计算机及软件技术、自动控制系统以及其它技术为一体而成的多学科交叉的综合技术。

机电一体化的产品或设备，无论它的体积是大还是小，无论它的结构是复杂还是简单，也无论它的功能是多还是少，它们都是一个由机械零件和电子元器件组成的一个有机的整体，都是一个完整的“系统”。因此，应该从系统的角度来认识和理解机电一体化的涵义。

一般来说，机电一体化的系统是由机械本体、计算机控制部分、检测及传感器部分、执行机构等构成。它们也是构成机电一体化产品或设备的四个要素，如图 1-1 所示。

1. 机械本体

机械本体是机电一体化产品的一个重要组成部分。它可以简单地认为是在原来老式机械产品或机械结构的基础之上，添加了电子元器件而构成的。它包括机壳、机架、电动机、机械传动部件以及各种联接机构、凸轮机构、联轴器、离合器等。但是，作为机电一体化机械本体还应该有自己的特点，也就是说，并不是所有的机械都有资格装上电子元器件而成为机电一体化的产品。一般来说，机械产品经过与电子技术结合之后，它的技术性能、技术水平和功能都有明显的提高，这样的机械设备才能成为机电一体化产品。

2. 计算机控制部分

装在机器上的各种检测元件，将检测到的信号传递到计算机，计算机对这些信号进行分析、判断之后，发出执行命令，驱动执行机构动作。

计算机控制部分担负着信息处理和控制的功能。它包括计算机主机（或可编程序控制器、单片机、单板机和工业控制计算机）、输入输出设备、显示器、外部存储器（磁盘或光盘）等。

3. 检测与传感器部分

这部分主要由光电传感器、测量温度的电阻、热电偶、测量压力和测量液位的波纹管以及测量流速和流量的节流孔板、测量压力大小的霍尔元件等组成。检测元件把检测到的信号放大、变换、然后传送到计算机，作为计算机对情况进行分析和判断的依据。

4. 执行机构

它的作用是当计算机发出的控制信号传到执行机构之后，驱动伺服电动机正转、反转……

表面看，这四个部分是通过机械本体由螺纹等“硬”联接在一起的，实际上只有用计算机控制程序的“软”连接，才能把它们真正地融为一体，构成一个完整的控制系统。

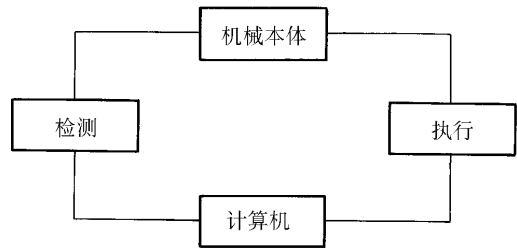


图 1-1 机电一体化系统的四大组成要素

二、“机电一体化”的发展趋势

机电一体化的产品起源于美国，“机电一体化”的术语产生于日本。20多年前，美国的科技人员发明了世界上第一台机器人，接着他们又发明了数控机床和用于小汽车的电子燃料喷射装置等产品和设备。这些产品和设备都是典型的机电一体化的产品和设备，但是美国的工程技术人员始终没有为自己发明的新技术取名字。

擅长引进、吸收和消化先进技术的日本工程技术人员，在推广机电一体化先进技术的同时还大力宣传机电一体化的技术，他们在机电一体化方面搞了许多专题研究，发表了许多论文和报告。在70年代初，他们还率先使用了“机电一体化”(Mechatronics)这个术语。

随后，日本在70年代创办了《机电一体化》月刊，并逐步在日本各地发行，为日本各界人士所欢迎。1971年到1978年，日本政府颁布并执行了“机电法——特定电子工业及特定机械工业临时振兴措施法”，并于1978年开始执行“机信法——特定的机械信息产业振兴临时措施法”。这些措施进一步推动了机电一体化的深入发展。进入80年代，机电一体化技术和产品如雨后春笋般不断涌现。现代化的机械将电子技术、自动化技术、计算机技术融为一体，从而使机电一体化进入了大发展时期。

经过20年的发展，机电一体化得到世界各国科技界的普遍重视，并逐渐取得了共识。机电一体化产品也由最初的机械+电子的机械电子化、机械+微机的机械电脑化进而发展到光机电一体化、机械智能化和微机机械化的阶段。

目前，机电一体化的发展主要有以下特点：

(1) 工业发达国家应用机电一体化技术已十分普遍。不仅在单机或单台设备上占有重要地位，而且在生产制造系统中也十分活跃。例如计算机集成制造系统(CIMS)、快速成型制造系统(RPM)、智能制造系统(IMS)等。因此，现在的机电一体化概念已从原来单机意义上的内涵延伸到制造系统。

(2) 机电一体化产品模块化的发展促进了产品开发，缩短了开发周期，增多了花色品种。例如，以驱动为核心的驱动模块(或单元)，以伺服为中心的运动控制模块，以各种控制器为中心的控制模块，以及连接各模块的系统总线，皆已形成了标准化产品。

(3) 机电一体化产品中的软件占重要位置，所占的技术比重越来越大，对信息的依赖程度也越来越高。专家系统、模糊逻辑控制和人工神经网络是当前机电一体化产品智能化的主要三大支撑技术。

(4) 智能制造技术是21世纪机电一体化的重点发展领域。智能制造技术最显著特点是制造智能的集成、制造过程的数值处理和数据处理、信息处理提高到知识处理的高度。在数控机床或加工中心上应用智能制造技术可实现智能加工、组成智能制造系统单元。应用智能制造技术可实现机电一体化产品的智能化，如智能机器人、智能医用机械、智能探测仪、智能家用电器、智能电动机等。

第三节 设备电力拖动自动控制的基本概念

在工业、农业、交通运输等各部门中，广泛地使用各种各样的生产机械。要使各种机械能正常地运转，必须有拖动机械的原动力。目前，已经利用的原动力，除了直接用人力、畜

力外，还有风力、水力、热力、电力、原子核动力等，但是，直接用于拖动生产机械的原动力主要是电力。现在，普遍应用各种类型的电动机来拖动生产机械。这种以电动机为动力来拖动生产机械的拖动方式就叫作电力拖动。为什么电力拖动得到了这样广泛的应用呢？这是因为电力拖动具有以下一系列的优点：

(1) 能量远距离传输简便、经济、方便。

(2) 电力拖动比其它形式的拖动（蒸汽、水力等）效率高，而且电动机与被拖动的生产机械联接简便。

(3) 电动机的种类和型式很多，具有各种各样的运行特性，可以满足不同类型生产机械的需要。

(4) 电力拖动具有很好的调速性能，起动、制动、反向和调速等控制简便而迅速，而且可以简单、完善地实现对它的保护。

(5) 易于通过各种电气仪表、仪器来检测和记录各种参数，如电流、电压、转速等，以便对生产过程进行检测和自动控制，使其达到生产工艺要求的最合理的工作状态。

(6) 可以实行远距离测量和控制，便于集中管理，实现局部工作自动化，乃至整个生产过程的自动化。

电力拖动由电动机、传动机构和控制设备等基本环节组成，如图 1-2 所示。

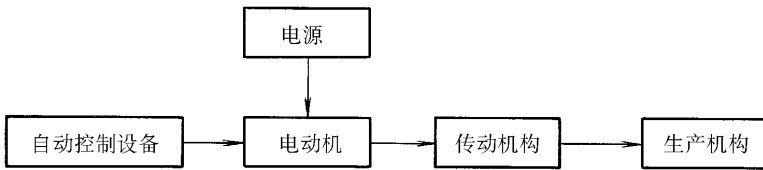


图 1-2 电力拖动的组成

1. 电动机

它是用来实现电能与机械能相互转换的机械。通常是把电能转换成为机械能，这时电动机处在电动状态下运行；有时也反过来把机械能转化成电能或热能，这时电动机处在制动状态下运行。这两种运行状态都是非常重要的。

2. 传动机构

它的主要作用是传递动力，并实现速度和运动方式的变换，如减速器、皮带、联轴器等等。

3. 控制装置

电力拖动的自动控制是采用各种自动元件来对电动机进行自动控制的，如继电器、接触器、电机放大机、磁放大器、半导体器件、控制计算机等都可以作为自动控制设备的元件。它们可根据生产工艺的要求，按照一定的线路组成控制系统，自动控制起动、制动、反转、同步、调速、自动恒速等，还可以按给定程序或事先不知道的规律改变速度、转向和工件机构的位置，使工作循环自动化。

由此可见，设备电力拖动自动控制就是采用各种自动元件组成的控制装置控制电动机拖动生产机械的方式。电力拖动系统是否为自动控制，设备控制的自动化程度如何，主要取决于控制装置的先进性。

第四节 发电、输电、配电及安全用电

一、发电、输电概述

电能由发电厂供给。发电厂是把其它形式的能量转换成电能的一种特殊工厂。发电厂根据所利用的能源种类可以分为水力、火力、风力、原子能、太阳能、沼气等几种。现在世界各国建造得最多的，主要是水力发电厂和火力发电厂。近二十多年来，核电站发展很快。

各种发电厂中的发电机几乎都是三相同步发电机。国产三相同步发电机的电压等级有 400/230V 和 3.15kV、6.3kV、10.5kV、13.8kV、15.75kV 及 18kV 等多种。

大中型发电厂大多建在产煤地区或水力资源丰富的地区附近，距离用电地区往往是几十公里、几百公里甚至一千公里以上。所以，发电厂生产的电能要用高压输电线送到用电地区，然后，再降压分配给各用户。电能从发电厂传输到用户，要通过导线系统，该系统称为电力网。

现在常常将同一地区的各种发电厂联合起来而组成一个强大的电力系统。这样可以提高各发电厂的设备利用率，合理调配各发电厂的负载，以提高供电的可靠性和经济性。

输电距离越远，要求输电线的电压越高。国家标准中规定输电线的额定电压为 35kV、110kV、220kV、330kV、550kV 等[⊖]。

图 1-3 所示的是输电线路的一例[⊖]

二、工业企业配电

从输电线末端的变电所将电能分配给各工业企业和城市。工业企业设有中央变电所和车间变电所（小规模的企业往往只有一个变电所）。中央变电所接受送来的电能，然后分配到各车间，再由车间变电所或配电箱（配电板）将电能分配给用电设备。高压配电线的额定电压有 3kV、6kV 和 10kV 三种。低压配电线的额定电压是 380/220V。用电设备的额定电压多半为 220V 和 380V，大功率电动机的电压是 3kV 和 6kV，机床局部照明的电压是 36V。

从车间变电所或配电箱（配电板）到用电设备的线路属于低压配电线路。低压配电线路的连接方式主要是放射式和树干式两种。

放射式配电线路如图 1-4 所示。当负载点比较分散而各个负载点又具有相当大的集中

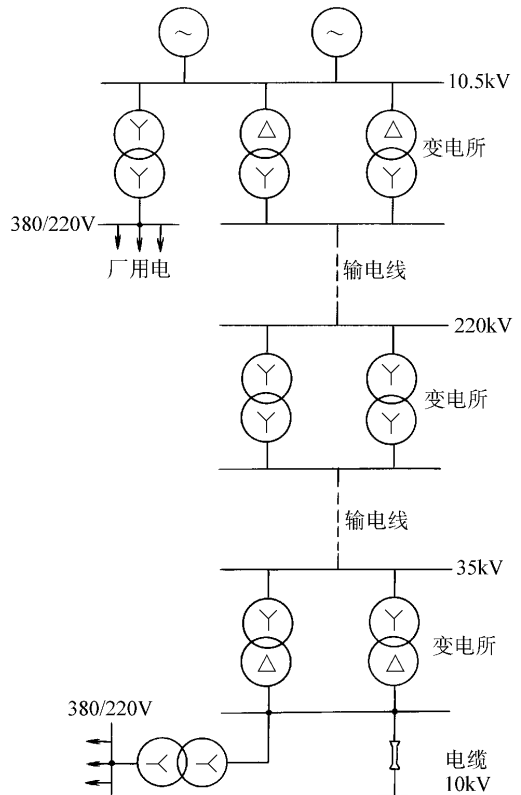


图 1-3 输电线路一例 工厂变电所

⊖ 此电压是指输电线末端的变电所母线上的电压，输电线始端的电压大约要高出 5%~10%。

⊖ 变电所内通常装有一台或几台变压器、配电设备（包括开关和电工测量仪器等）以及控制设备（包括控制电器、电工测量仪表和信号）。

负载时，则采用这种线路较为合适。

在下列情况下采用树干式配电线路：

(1) 负载集中，同时各个负载点位于变电所或配电箱的同一侧，其间距离较短，如图 1-5a 所示。

(2) 负载比较均匀地分布在一条线上，如图 1-5b 所示。

采用放射式或图 1-5a 所示树干式配电线路

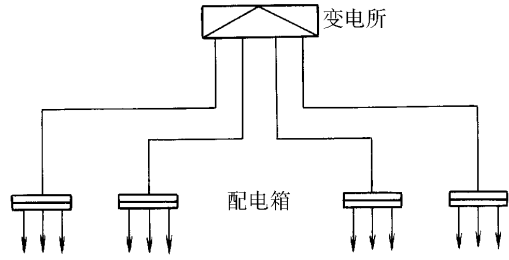
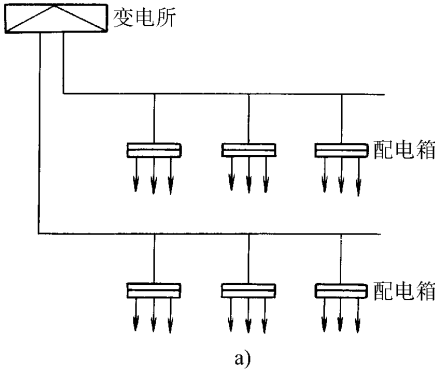
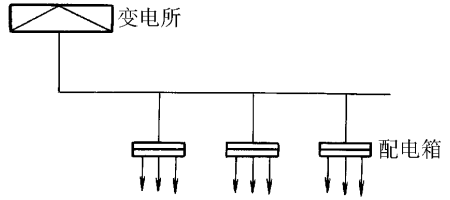


图 1-4 放射式配电线路



a)



b)

图 1-5 树干式配电线路

a) 负载集中的配电线路 b) 负载均匀的配电线路

时，各组用电设备常通过总配电箱或分配电箱连接。用电设备既可独立地接到配电箱上，也可连成链状接到配电箱上，如图 1-6 所示。距配电箱较远，但彼此距离很近的小型用电设备直接成链状，这样能节省导线。但是，同一链条上的用电设备一般不得超过三个。

车间配电箱是放在地面上（靠墙或靠柱）的一个金属柜，其中装有刀开关和管状熔断器。配电线路有 28 个不等。

采用图 1-5b 所示树干式配电线路时，干线一般采用母线槽。这种母线槽直接从变电所经开关引到车间，不经配电箱。支线经出线盒引到用电设备。

放射式和树干式这两种配电线路现在都有采用。放射式供电可靠，但敷设时导线较多，因此，投资较大。树干式供电可靠性较低，因为一旦干线损坏或需要修理时，就会影响连在同一干线上的负载，但是树干式灵活性较大。另外，放射式与树干式比较，前者导线细，但总线长，而后者则相反。

三、安全用电

安全用电是劳动保护教育和安全技术中的主要组成部分之一。在实际工作中必须注意安全用电，否则可能发生触电、烧坏用电设备甚至引起火灾。

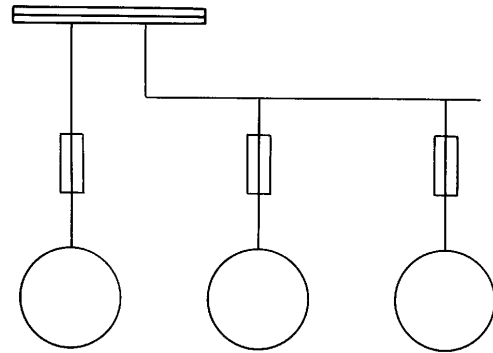


图 1-6 用电设备连接在配电箱上

下面介绍有关安全用电的几个问题。

(一) 电流对人体的作用

由于不慎触及带电体，产生触电事故，会使人体受到各种不同的伤害。根据伤害性质可分为电击和电伤两种。

电击是指电流通过人体，使内部器官组织受到伤害。如果受害者不能迅速摆脱带电体，则最后会造成人身死亡事故。

电伤是指在电弧作用下或熔断丝熔断时，对人体外部的伤害，如烧伤、金属溅伤等。

根据大量触电事故资料的分析和实验，证实电击所引起的伤害程度与下列各种因素有关。

1. 人体电阻的大小

人体的电阻愈大，通入的电流愈小，伤害程度也就愈轻。根据研究结果，当皮肤有完好的角质外层并且很干燥时，人体电阻大约为 $10^4 \sim 10^5 \Omega$ 。当角质外层破坏时，则降到 $800 \sim 1000 \Omega$ 。

2. 电流通过时间的长短

电流通过人体的时间愈长，则伤害愈严重。

3. 电流的大小

如果通过人体的电流在 0.05A 以上，就有生命危险。一般说，接触 36V 以下的电压时，通过人体的电流不超过 0.05A ，故把 36V 的电压作为安全电压。如果在潮湿的场所，安全电压还要规定得低一些，通常是 24V 和 12V 。

此外，电击后的伤害程度还与电流通过的路径以及与带电体接触的面积和压力等有关。

(二) 触电方式

1. 接触正常带电体

(1) 电源中性点接地的单相触电，如图 1-7 所示。这时人体处于相电压之下，危险性较大。如果人体与地面的绝缘较好，危险性可以大大减少。

(2) 电源中性点不接地的单相触电，如图 1-8 所示。这种触电也有危险。乍看起来，似乎电源中性点不接地时，不能构成电流通过人体的回路。其实不然，要考虑到导线与地面间的绝缘可能不良（对地绝缘电阻为 R' ），甚至有一相接地，在这种情况下人体中就有电流通过。在交流电的情况下，导线与地面间存在的电容也可构成电流的通路。

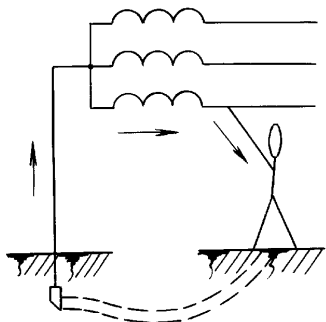


图 1-7 电源中性点接地的单相触电

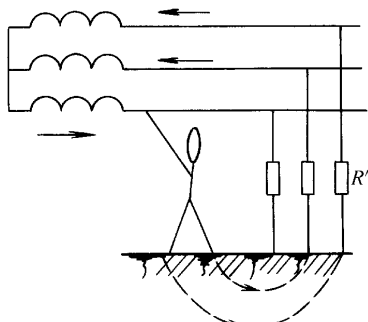


图 1-8 电源中性点不接地的单相触电

(3) 两相触电最为危险，因为人体处于线电压之下，但这种情况不常见。

2. 接触正常不带电的金属体

触电的另一种情形是接触正常不带电的部分。譬如，电机的外壳本来是不带电的，由于绕组绝缘损坏而与外壳相接触，使它也带电。人手触及带电的电机（或其它电气设备）外壳，相当于单相触电。大多数触电事故属于这一种。为了防止这种触电事故，对电气设备采用保护接地和保护接零（接中性线）的保护装置。

(三) 接地和接零

为了人身安全和电力系统工作的需要，要求电气设备采用接地措施。按接地目的的不同，主要可分为工作接地、保护接地和保护接零三种，如图 1-9 所示。图中的接地体是埋入地中并且直接与大地接触的金属导体。

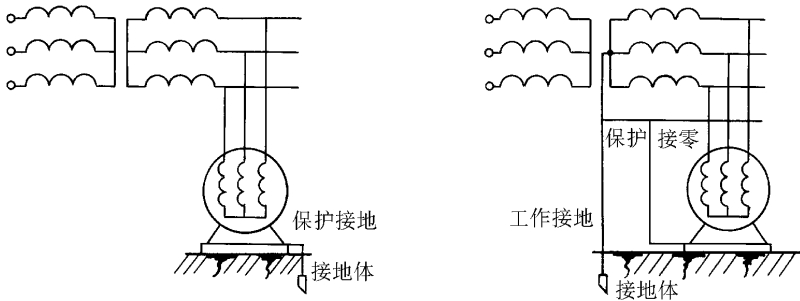


图 1-9 工作接地、保护接地和保护接零

1. 工作接地

电力系统由于运行和安全的需要，常将中性点接地（图 1-9），这种接地方式称为工作接地。工作接地有以下目的：

(1) 降低触电电压 在中性点不接地的系统中，当一相接地而人体触及另外两相之一时，触电电压将为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，即为线电压。而在中性点接地的系统中，则在上述情况下，触电电压就降到等于或接近相电压。

(2) 迅速切断故障设备 在中性点不接地的系统中，当一相接地时，接地电流很小（因为导线和地面间存在电容和绝缘电阻，也可构成电流的通路），不足以使保护装置动作而切断电源，接地故障不易被发现，若长时间持续下去，对人身不安全。而在中性点接地的系统中，一相接地后的接地电流较大（接近单相短路），保护装置迅速动作，断开故障点。

(3) 降低电气设备对地的绝缘水平 在中性点不接地的系统中，一相接地时将使另外两相的对地电压升高到线电压。而在中性点接地的系统中，则接近于相电压，故可降低电气设备和输电线的绝缘水平，节省投资。

但是，中性点不接地也有好处。第一，一相接地往往是瞬时的，能自动消除，在中性点不接地的系统中，就不会跳闸而发生停电事故；第二，一相接地故障允许短时存在，这样，以便寻找故障和修复。

2. 保护接地

保护接地就是将电气设备的金属外壳（正常情况下是不带电的）接地，宜用于中性点不接地的低压系统中。

图 1-10a 所示的是电动机的保护接地，可分两种情况分析。

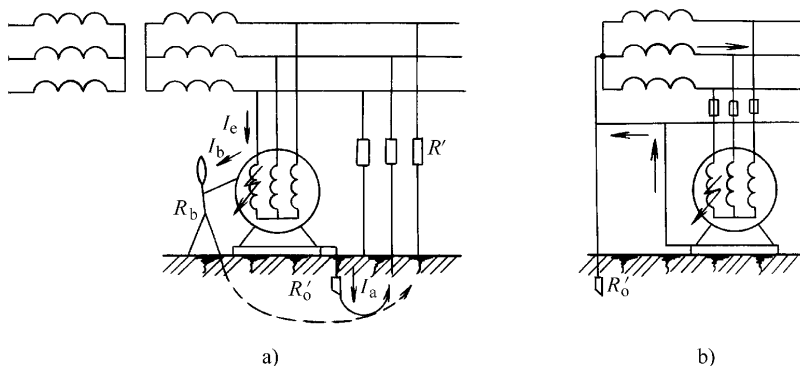


图 1-10 保护接地与保护接零

a) 保护接地 b) 保护接零

(1) 当电动机某一相绕组的绝缘损坏使外壳带电而外壳未接地的情况下人体触及外壳，相当于单相触电。这时接地电流 I_0 （经过故障点流入地中的电流）的大小决定于人体电阻 R_b 和绝缘电阻 R'_0 ，当系统的绝缘性能下降时，就有触电的危险。

(2) 当电动机某一相绕组的绝缘损坏使外壳带电而外壳接地的情况下，人体触及外壳时，由于人体的电阻 R_b 与接地电阻 R_0 并联，而通常 $R_b \gg R_0$ ，所以通过人体的电流很小，不会有危险。这就是保护接地保证人身安全的作用。

3. 保护接零

保护接零就是将电气设备的金属外壳接到零线（或称中性线）上，宜用于中性点接地的低压系统中。

图 1-10b 所示的是电动机的保护接零。当电动机某一相绕组的绝缘损坏而与外壳相接时，就形成单相短路，迅速将这一相中的熔丝熔断，因而外壳便不再带电。即使在熔丝熔断前人体触及外壳时，也由于人体电阻远大于线路电阻，通过人体的电流也是极为微小的。

为什么在中性点接地的系统中不采用保护接地呢？因为采用保护接地时，当电气设备的绝缘损坏时，接地电阻增加，接地电流相应减少，当电气设备容量较大时，接地电流小于继电保护装置动作电流或熔丝额定电流。这样，电气设备就得不到保护，接地电流长期存在，外壳也将长期带电，危及人身安全。

4. 保护接零与重复接地

在中性点接地系统中，除采用保护接零外，还要采用重复接地，就是将零线相隔一定距离多处进行接地，如图 1-11 所示。这样，在图中当零线在“×”处断开而电动机一相碰壳时：

(1) 如无重复接地，人体触及外壳，相当于单相触电，是有危险的（图 1-7）。

(2) 如有重复接地，由于多处重复接地电阻并联，使外壳对地电压大大降低，减少了危险程度。

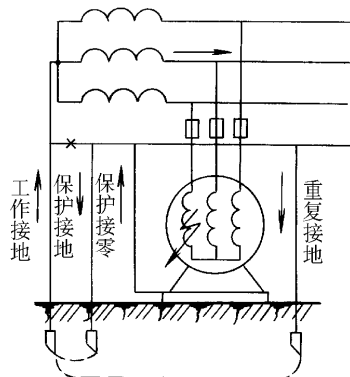


图 1-11 工作接地、保护接零和重复接地

为了确保安全，零干线必须连接牢固，开关和熔断器不允许装在干线上。但引入住宅和办公场所的一根相线应装有熔断器，以增加短路时熔断的机会。

5. 工作零线与保护零线

在三相四线制系统中，由于负载往往不对称，零线中有电流，因而零线对地电压不为零，距电源越远，电压越高，但一般在安全值以下，无危险性。为了确保设备外壳对地电压为零，专设保护零线，如图 1-12 所示。工作零线在进入建筑物入口处要接地，进户后再另设一根保护零线。这样就成为三相五线制。所有的接零设备都要通过三孔插座接到保护零线上。在正常工作时，工作零线中有电流，保护零线中不应有电流。

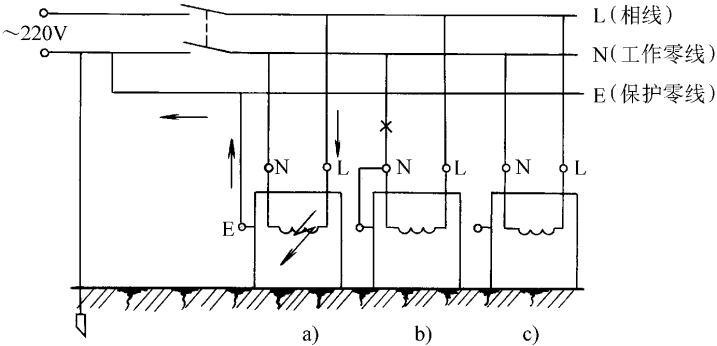


图 1-12 工作零线与保护零线

a) 接零正确 b) 接零不正确 c) 忽视接零

图 1-12a 是正确连接。当绝缘损坏，外壳带电时，短路电流经过保护零线，将熔断器熔断，切断电源，消除触电事故。图 1-12b 的连接是不正确的，因为如果在“×”处断开，绝缘损坏后外壳便带电，将会发生触电事故。有的用户在使用日常电器（如手电钻、电冰箱、洗衣机、台式电扇等）时，忽视外壳的接零保护，插上单相电源就用，如图 1-12c 所示，这是十分不安全的。一旦绝缘损坏，外壳也就带电了。

第五节 本课程的性质与任务

本课程是“机械设备维修与管理”专业、“机电工程”（机电一体化）专业的一门专业课。本课程从机械专业的学生学习电气控制的角度，介绍常用机械设备电气控制的原理、应用及维修，主要内容包括：电气控制与机电一体化技术的发展、继电器—接触器控制系统分析、电动机无级调速控制系统、可编程序控制器、设备电气系统故障处理等几个部分。本书既注重基础，又加强应用，力求反映本领域的新知识、新技术。

通过本课程的学习，学生应达到下列基本要求：

- (1) 了解电气控制与机电一体化的发展。
- (2) 熟悉机械设备常用电器的结构、工作原理及用途，并能正确选用。
- (3) 熟悉典型设备控制电路的基本环节。
- (4) 了解电动机无级调速的基本概念和性能指标，初步掌握直流电动机无级调速方法，了解交流电动机无级调速常用方法。
- (5) 初步掌握可编程序控制器（PLC）的基本工作原理、指令系统、编程特点和方法，

能根据生产工艺过程和控制要求，正确选用 PLC 和编制用户程序，经调试应用于生产过程控制。

(6) 初步掌握机械设备电气系统故障分析及维修方法。

习 题

- 1-1 电气控制技术大概经历了哪几个发展过程？
- 1-2 电气控制技术的现状如何？举例说明。
- 1-3 什么是机电一体化？机电一体化产品由哪些要素构成？
- 1-4 目前机电一体化发展有哪些特点？
- 1-5 什么是电力拖动？举例说明。
- 1-6 电力拖动系统由哪些基本环节组成？
- 1-7 什么是设备电力拖动自动控制？
- 1-8 为什么远距离输电要采用高电压？
- 1-9 在同一供电系统中为什么不能同时采用保护接地和保护接零？
- 1-10 为什么中性点不接地的系统中不采用保护接零？
- 1-11 区别工作接地、保护接地和保护接零。为什么在中性点接地的系统中，除采用保护接零外，还要采用重复接地？

第二章 常用低压电器

第一节 概 述

工作在交流电压 1200V、直流电压 1500V 及以下电路中起通断、保护、控制或调节作用的电器通称为低压电器，它是一类结构各异、品种繁多、用途广泛的基础配套元件。无论是在铁路的机车、车辆、电务、工务等部门的专用设备中，还是在通用的电力输电系统和电力拖动控制系统中，它们都承担着各自不同的作用。

低压电器分类方法很多，按用途可分为低压配电电器和低压控制电器两大类：低压配电电器包括刀开关、转换开关、熔断器和自动开关等；低压控制电器包括接触器、继电器、主令电器、控制器和电磁铁等。按动作方式可分为手动电器和自动电器，前者是用手直接操作进行电路的切换，而后者是由电器自身参数的变化或外来信号的作用自动进行电路切换。按执行机构中有无触点又可分为有触点电器和无触点电器。目前，有触点电器仍占多数，但随着电子技术的不断发展，体积小、重量轻、安全可靠、使用方便的无触点电器将不断得到推广应用，以适应电气控制系统电子化的现代化趋势。

本章主要介绍电气控制设备中几种常用的低压电器设备的结构、工作原理以及常用型号与使用、维修方面的内容。

第二节 常用低压电器

一、低压隔离器

低压隔离器包括刀开关和转换开关，是一种用来控制不频繁操作且分断容量不很大的手动电器，是工厂电气控制设备中一种结构简单且操作方便的低压电器。

(一) 刀开关

刀开关俗称闸刀开关，可分为不带熔断器式和带熔断器式两大类。它们用于隔离电源和无负载情况下的电路转换，其中后者还具有短路保护功能。常用的有以下两种。

1. 开启式负荷开关

开启式负荷开关又称瓷底胶盖闸刀开关，常用的有 QS1、QS2 系列。它由刀开关和熔断器组合而成。瓷底板上装有进线座、静触点、熔丝、出线座、带瓷质手柄的闸刀。其结构图与图形符号如图 2-1 所示。

这种系列的刀开关因其内部设有熔丝，故可对电路进行短路保护。常用作照明电路的电源开关或用于 5.5kW 以下三相异步电动机不频繁起动和停止的控制开关。

在选用时，额定电压应大于或等于负载额定电压，对一般的电路，如照明电路，其额定电流应大于或等于最大工作电流；而对于电动机电路，其额定电流应大于或等于电动机额定电流的 3 倍。