

机械设备电气与数字控制

主 编：黄义源

主 审：孙 健

主 持：张学孚

编写人员：黄义源 张学孚 毛声镛 郭维杰

审稿人员：孙 健 陈忠信 李 坦 秦建球 邓星钟 王启民 柳震乾

责任编辑：曹葆华

目 录

第一章 机械设备电气自动控制概况	(1)
§ 1-1 机械设备电气自动控制的基本概况	(1)
§ 1-2 机械设备中的电气自动控制	(2)
一、继电器—接触器控制	(2)
二、可编程控制器	(2)
三、数字控制	(3)
§ 1-3 数控技术的应用和发展	(4)
一、数控技术在机械设备中的应用	(4)
二、数控技术的发展	(5)
第二章 机械设备的继电—接触控制	(7)
§ 2-1 机械设备继电—接触控制基础	(7)
一、电气控制线路的基本概念	(7)
二、电动机的典型控制线路	(10)
§ 2-2 普通车床的控制线路	(25)
一、概述	(25)
二、C650 车床的控制线路	(26)
§ 2-3 铣床的控制线路	(32)
一、概述	(32)
二、X62W 型铣床的电气控制	(32)
§ 2-4 组合机床的控制线路	(46)
一、概述	(46)
二、DU 型组合机床电气控制线路概况	(46)
三、DU 型组合机床电气控制线路的分析	(47)
思考题与习题	(60)
第三章 机械设备继电接触控制系统设计基础	(62)
§ 3-1 电气控制线路设计的基本内容	(62)
一、设计步骤与一般内容	(62)
二、技术条件的拟定	(62)
三、电气传动形式的选择	(63)
四、电气控制方案的确定	(65)
§ 3-2 电动机的选择	(66)
一、电动机结构形式的选择	(66)
二、电动机类型的选择	(67)
三、电动机转速的选择	(67)
四、电动机容量的选择	(67)

§ 3-3 继电器控制线路的设计	(69)
一、经验设计法	(69)
二、逻辑设计法	(72)
三、继电器控制线路的设计规律	(74)
四、继电器控制线路设计的一般问题	(75)
§ 3-4 常用控制电器的选择	(80)
一、按钮、刀开关等元件的选择	(80)
二、熔断器的计算与选择	(81)
三、交流接触器的选择	(82)
四、继电器的选择	(83)
五、控制变压器的计算与选择	(86)
§ 3-5 继电器控制系统设计实例	(88)
一、机床传动的总体方案	(88)
二、电气控制线路的设计	(88)
三、电器元件的选择	(90)
四、制定电器元件明细表	(93)
五、绘制电气控制线路图	(93)
思考题与习题	(95)
第四章 可编程控制器及应用	(97)
§ 4-1 PLC 的基本原理	(97)
一、PLC 的硬件组成	(97)
二、PLC 的工作过程	(103)
三、PLC 的内部等效继电器电路	(104)
§ 4-2 PLC 的指令系统和编程	(108)
一、PLC 的基本指令	(108)
二、PLC 的编程	(117)
§ 4-3 PLC 在机械设备中的应用	(127)
一、PLC 控制系统开发的一般方法	(127)
二、PLC 应用举例	(131)
思考题与习题	(138)
第五章 数字控制系统的硬件组成	(141)
§ 5-1 数控技术的基本概念	(141)
一、数控设备的组成	(141)
二、数控设备的分类	(142)
三、数控系统的基本功能	(145)
四、微机数控系统的特点	(146)
§ 5-2 经济型数控的硬件系统	(147)
一、概述	(147)
二、单片机数控硬件系统	(148)
§ 5-3 STD 总线数控系统	(159)

一、STD 总线	(159)
二、STD 总线数控系统	(161)
§5-4 全功能型 CNC 系统的硬件结构	(165)
一、全功能型 CNC 系统的特点	(165)
二、PLC 在数控机床中的应用	(165)
三、全功能型数控系统简述	(167)
第六章 数控系统的软件控制原理	(172)
§6-1 系统软件概述	(172)
一、系统软件的组成	(172)
二、系统软件的常见结构	(173)
§6-2 插补方法	(174)
一、逐点比较插补法	(174)
二、数字积分法插补原理	(185)
§6-3 进给速度的控制	(190)
一、进给速度的给定	(190)
二、进给速度的控制方法	(191)
三、步进电机的升降速控制	(193)
§6-4 输入和数据处理	(196)
一、系统的输入	(196)
二、数据处理	(198)
§6-5 误差补偿和自诊断	(201)
一、误差补偿	(201)
二、自诊断	(202)
§6-6 系统实例分析	(203)
一、主程序	(203)
二、编辑程序	(203)
三、运行程序	(205)
四、手动程序	(205)
五、回零程序	(206)
思考题与习题	(207)
第七章 伺服驱动系统	(209)
§7-1 伺服驱动系统的组成和工作原理	(209)
一、伺服系统的基本概念	(209)
二、伺服系统的组成和工作原理	(210)
§7-2 步进电动机开环伺服系统	(211)
一、步进电动机开环伺服系统	(211)
二、步进电动机	(212)
三、脉冲分配器	(214)
四、步进电机驱动电路	(217)
§7-3 伺服系统中的位置检测	(222)

一、用微动开关进行位置检测	(222)
二、旋转位置的检测	(223)
三、直线型位置检测	(225)
§ 7-4 闭环伺服驱动系统	(228)
一、概述	(228)
二、直流电机伺服驱动系统	(230)
三、交流电机伺服驱动系统	(236)
§ 7-5 闭环伺服驱动系统应用举例	(241)
思考题与习题	(243)
第八章 数控编程	(244)
§ 8-1 数控标准	(244)
一、程序段格式	(244)
二、功能字	(246)
三、坐标系和方向的规定	(250)
§ 8-2 数控系统的功能	(252)
一、JWK 系统功能	(252)
二、JWK 数控编程	(254)
三、全功能型数控系统的功能	(258)
§ 8-3 手工编程	(261)
一、工艺过程分析	(261)
二、坐标值的计算	(263)
三、编程实例	(265)
四、菜单式编程介绍	(272)
§ 8-4 自动编程	(273)
一、概述	(273)
二、ATP 语言简介	(275)
三、编程举例	(279)
思考题与习题	(281)
第九章 机械设备的数控化改造	(283)
§ 9-1 机械设备数控化改造的一般方法	(283)
一、数控化改造的意义	(283)
二、改造的一般步骤	(284)
三、方案的选择	(285)
四、方案制定实例	(285)
五、数控系统的选择	(291)
§ 9-2 进给伺服系统的设计计算	(292)
一、进给伺服系统的设计计算	(292)
二、伺服系统结构设计特点	(296)
§ 9-3 机床改造技术	(297)
一、车床改造技术	(297)

二、数控系统的安装与调试	(303)
三、抗干扰措施	(304)
§ 9-4 数控车床改造举例	(306)
一、改造方案的确定	(306)
二、改造步骤	(310)
三、调试	(314)
§ 9-5 数显设备在机械设备改造中的应用	(314)
一、光栅尺和磁尺的规格型号及应用范围	(314)
二、数显装置的安装和应用	(316)
思考题与习题	(318)
第十章 柔性制造系统(FMS)简介	(319)
§ 10-1 概述	(319)
§ 10-2 FMS 的构成	(320)
一、关于柔性的基本概念	(320)
二、FMS 的基本构成	(320)
§ 10-3 FMS 实例介绍	(322)
一、TC-500 卧式加工中心	(322)
二、物流子系统	(325)
三、信息流子系统	(327)
四、FMS 具有的经济效益	(327)
附录	(329)

第一章 机械设备电气自动控制概况

§ 1 - 1 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 1 - 1 中，以简单的钻床为例，说明了机械部分的组成。

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

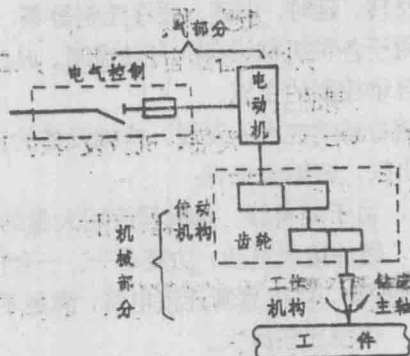


图 1 - 1 钻床示意图

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、计算机自动化的方向在发展。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。

§ 1 - 2 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。从二十世纪二十年代开始,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、控制要求比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,六十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

六十年代末七十年代初,首先采用的是由逻辑电路组成的、称为可编程逻辑控制器,简

称 PLC^①，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。

七十年代后期，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。采用微处理器的 PLC 正式命名为可编程控制器，简称 PC^②。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、通讯、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^③。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^④。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的数据，算出（称插补）理

① Programmable Logic Controller

② Programmable Controller

③ Numerical Control

④ Computer Numerical Control

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检,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它计算机联结,组成更大的系统。这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。

§1-3 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

机器人是随着数控机床一起发展起来的。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，到六十年代初，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上，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。

第二章 机械设备的继电—接触控制

在先修课“电工技术”中已经讲述了电气控制线路中常用的低压电气及基本控制环节。这一章我们将在复习基本控制环节的基础上,对生产机械的电气控制进行分析和研究。本章从常用机床的电气控制入手,以期学会阅读、分析机床控制线路的方法,加深对典型控制环节的理解,熟悉机床上机械、液压、电气三者的配合,为今后从事机床电气控制,及其它生产机械电气控制设计、安装、调整、运行等打下一定基础。

§ 2-1 机械设备继电—接触控制基础

本节内容主要是复习、总结“电工技术”中所学的有关机械设备继电接触控制的基本知识,并适当加以补充和加深,其具体线路工作过程将在分析典型机床控制线路时讲解。

一、电气控制线路的基本概念

机械设备的电气控制系统是由许多电器元件按一定要求联接而成的。为了表达机械设备电气控制系统结构、原理等设计意图,同时也为了便于电器元件的安装、调整、使用和维修,将电气控制系统中各电器元件的联接用一定的图表示出来。常用的图有电气原理图和电气接线图。在绘制电气控制线路图时,必须使用国家统一规定的图形符号和文字符号来表示各种电器元件及其用途。为了查找方便,在本章附录中列出了 GB4728—85 和 GB4159—85 所规定的电气控制线路图常用图形符号和文字符号。

(一) 电气原理图

电气原理图可用来说明电气控制线路的工作原理、各电器元件的作用和相互关系。因此,它应包括所有电器元件的导电部分和接线端头,而不考虑各元件的实际安装位置和联接情况。

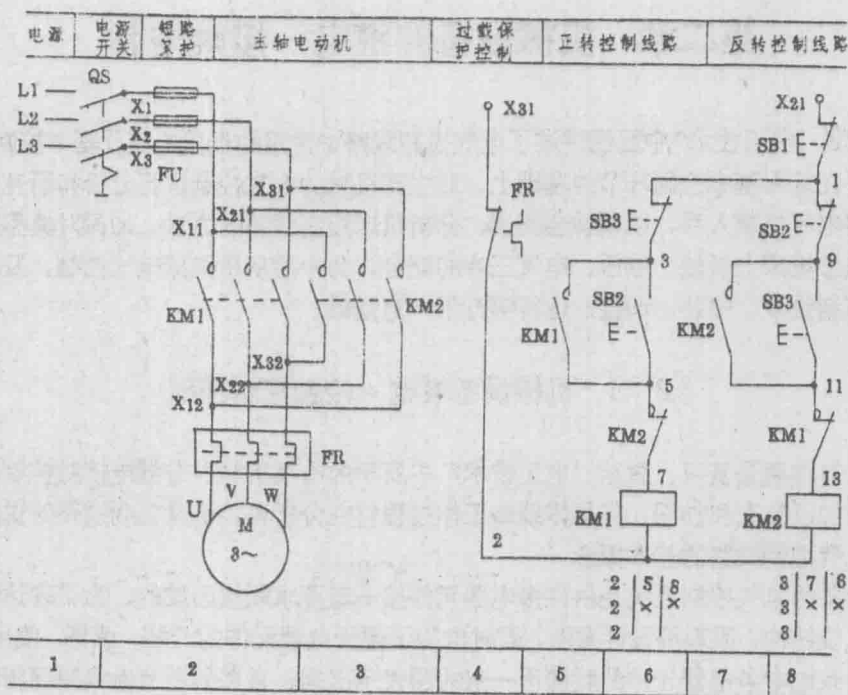
电气原理图示例见图 2-1 (a),其一般绘制原则是:

1. 将电气原理图分为主电路和辅助电路两个部分:

主电路是将电能转变成其他能量(如机械能)形式的电路,也可以说,主电路是电气控制线路中强电流通过的部分,在原理图中可用粗实线绘制,且一般画在图的左侧;辅助电路包括控制电路、照明电路、信号电路及保护电路等,在原理图中用细实线绘制,一般画在图的右侧。

2. 为使电气原理图层次分明,绘制时可根据电路性质、作用和特点(如交流主回路、交流控制回路、交流辅助回路、直流控制回路等)依次由左向右或由上至下排列。并将各电器或元件按纵向排列画在水平电源线之间,每一条纵向线路为一个线路单元(或称一个图区)。在其下方用数字标号,在其上方可标明此线路作用。

3. 为了阅读、查找方便,在含有接触器、继电器线圈的线路单元下方,可标注出该接触器或继电器各触点分布位置所在的区号码,如在图 2-1 (a) 中 KM1 的三个主触点都在“2”



(a)

(a) 电气原理图

图 2-1 电动机可逆运行电气控制线路图

区，一个常开触点在“5”区，一个常闭触点在“8”区，“×”表示备而未用触点。

4. 在电气原理图中，各电器的触点都应按未工作时的原始状态绘制，如接触器、继电器的触点按其线圈未接通电源的状态绘制；按钮、行程开关的触点按未受外力时的位置绘制；主令控制器的触点按手柄置于“零位”时的位置绘制。

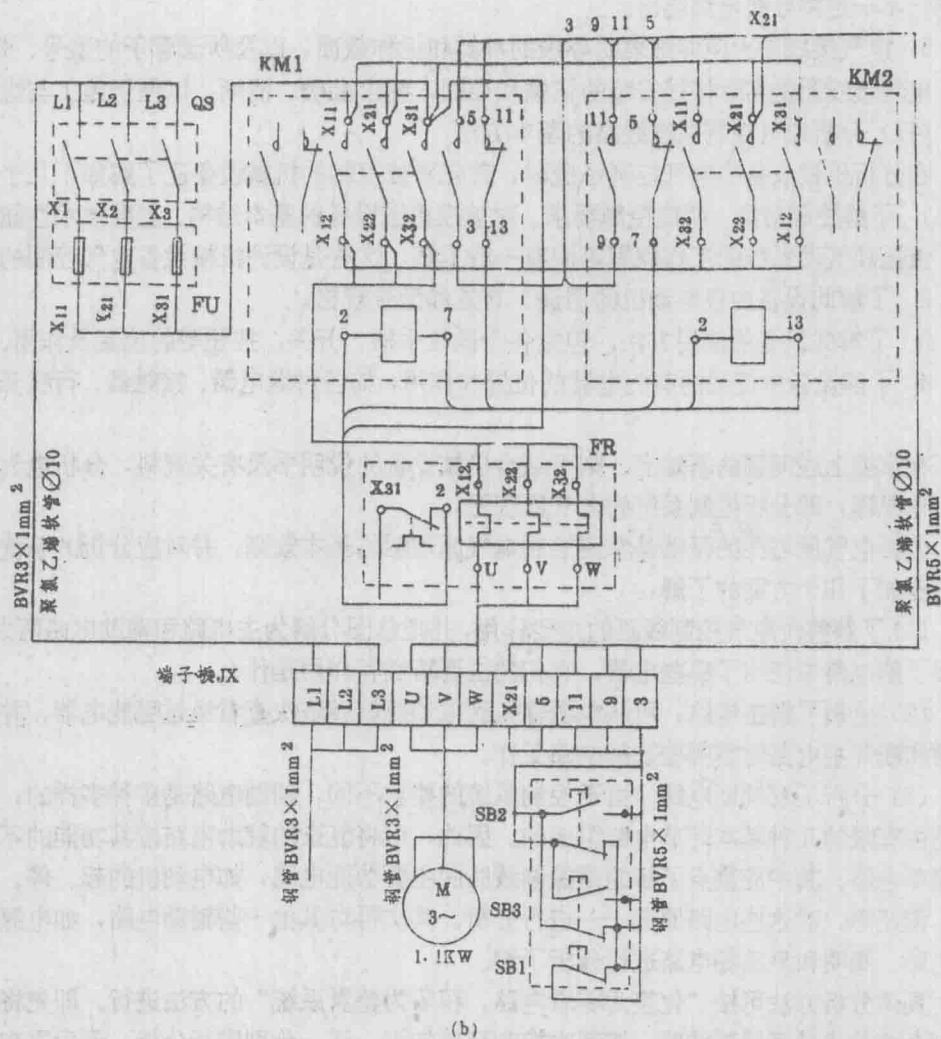
5. 在电气原理图中，每一电器的各导电部分常常是不画在一起的，但是应以同一电器代号标明。图中若有多个同类电器，应在该类电器的文字代号之后加上数字编号以示区别；对于继电器、接触器等有多组触点的器件，必要时可在该器件代号之后用一短线隔开，再以数字表示不同触点组。

(二) 电气接线图

电气接线图是用来表示电机及各电器设备之间的实际接线情况与接线要求的。按控制系统的复杂程度不同，可将接线图分为总体接线图、部件接线图、组件或插件接线图等，并分别绘制。

电气接线图示例如图 2-1 (b)，它应根据电气原理图及接线技术要求按下列规则绘制：

1. 各电机、电器的图形符号、文字符号和接线编号均应与电气原理图一致，以便查对。



(b) 电气接线图

图 2-1 电动机可逆运行电气控制线路图

2. 电气接线图应清楚地表示各电器的相对位置和它们之间的电气连接。因此，绘制时应将同一电器的各导电部分（如线圈和触点）画在一起，且应尽可能符合彼此间的实际情况，但对尺寸和比例不作严格要求。如图 2-1 (b) 中，每个电器都用虚线框起来，其中接触器 KM1、KM2 均是将线圈、主触点、常开及常闭辅助触点画在一起；热继电器的三个发热元件和常闭触点画在一起……。

3. 不在同一控制箱内或不在同一块配电屏上的各电器之间的联接导线，必须通过接线端子进行（见图中端子板 JX），不得直接相连。

4. 成束的电线可用一条实线表示。电线很多时，可在电器的接线端只标明导线的线号 and

去向,不一定将导线全部绘出。

5. 电气接线图上应详细表明导线的种类和标称截面,以及所套管子的型号、规格等。电气接线图是实际接线安装的依据和准则,要求准确、清晰,以便于施工与维护。

(三) 分析电气控制系统线路的基本方法

在分析机械设备的电气控制系统时,首先对被控制的机械设备应了解如下几个问题:

1. 了解控制对象,明确控制要求。对被控机械设备的基本结构、主要技术性能及机械传动、液压和气动系统的工作原理等应有一般了解,这些是设计机械设备电气控制的依据。
2. 了解此设备内各电动机的用途、布置和型号规格。
3. 了解此设备的使用方法,包括各个操纵手柄、开关、按钮等的位置及作用。
4. 了解设备中使用的有关电器的位置和作用,如各种继电器、接触器、行程开关和撞块等。

在掌握上述问题的基础上,则可结合机械设备的说明书及有关资料,分析电气控制系统的工作原理,即分析控制系统的电气原理图。

分析电气原理图的基础是掌握绘制电气原理图的基本规则,并对应分析的系统。电气原理图作如下几个方面的了解:

(1) 了解整个电气控制线路的主要作用,并把总图分解为主电路和辅助电路两大部分。进一步了解电路中使用了哪些电器,它们的主要特性和作用是什么。

(2) 分析了解主电路,可从电源输入到电动机旋转依次查看经过哪些电器,并注意它们接通和断开主电路时需哪些控制电路工作。

(3) 分析了解辅助电路。由于控制系统的要求不同,辅助电路是多种多样的,但它们又都是由有限的几种基本环节电路组成的。因此,可将复杂的辅助电路按其功能的不同分成若干简单电路。其中应重点了解的是控制线路的主要功能电路,如电动机的起、停、反向、制动、调速等,对这些电路原理——进行分析。其次再对其他一些辅助电路,如电源电路、保护电路、照明和显示等电路进行分析了解。

具体分析方法可按“化整为零看电路,积零为整看系统”的方法进行。即先将整个电气控制系统分成若干局部线路,按基本控制环节知识,逐一分别进行分析,最后再在各个分析的基础上综合,统观整个控制系统。

分析各电路时,应特别注意各局部控制电路之间的联锁关系。

此外,对控制电路的分析,一般方法是从操作主令电器(如控制按钮、行程开关等)开始查对线路。注意查看各电器的触点是如何动作及如何控制其它器件的。接着查看被控器件的触点又如何动作和起何作用。这样步步深入直到看懂执行元件如何驱动被控机械为止。

查对线路时应记住各电器的原始状态,注意各器件间的相互联系和制约关系,耐心细致地看懂全部线路,并理解被控机械的运行过程。

二、电动机的典型控制线路

现代机械设备几乎都是由电动机驱动的。

笼型异步电动机因具有结构简单、坚固耐用等优点而被广泛使用。本节将以此为例研究