

 高等专科教育

机床电气控制技术

焦振学 主编



北京理工大学出版社

机床电气控制技术

焦振学 安献民 李德化 编

北京理工大学出版社

(京)新登字149号

内 容 简 介

本书系统地介绍了机床的继电接触式电气控制、调速控制和可编程序控制器 (PC)。主要内容有: 基本电气控制线路、典型设备电气控制系统、电气控制线路设计、电动机速度控制、可编程序控制器 (PC)。本书的电气控制线路图的图形符号和文字符号, 均按国家和机械电子工业部颁发的最新标准绘制。

本书突出了机床电气控制技术的基本理论、基本知识和基本技能方面的培养。

本书为高等专科机械制造专业的教材。它同时可作为电大、函大、夜大和职工大学有关专业教材, 还可供工程技术人员参考。

机床电气控制技术

焦振学 安献民 李德化 编

*

北京理工大学出版社出版发行

各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 17印张 410千字

1992年6月第一版 1992年6月第一次印刷

ISBN 7-81013-519-8/TH·50

印数: 1-13400册 定价: 8.05 元

出版说明

在机械电子工业部教育司的组织和指导下，由二十二所高等院校的百余名专家、教授编写和审定的高等专科机械制造专业系列教材即将由国防工业出版社、机械工业出版社和北京理工大学出版社陆续出版。这套教材是根据机电部教育司领导制定的《高等专科机械制造专业人才培养规格》的总要求，按照相应的《教学计划和课程大纲》编写的。参加教材编写的人员都具有丰富的教学经验，并且经过申报和严格审批。各门课程的教材编写大纲，课程之间的衔接和配合，都经过专家、教授集体讨论和审议。在编写过程中，各课程编写组在主编负责下对书稿进行了反复讨论和修改，最后经具有高水平的专家教授审查定稿。这就保证了这套教材具有相当的水平 and 较高的质量。这套系列教材适用于高等专科教育机械制造专业，亦适合成人高等专科教育，体现出为生产第一线培养德、智、体全面发展的应用型高级技术人才的总要求。各教材在保证基本内容的系统性和科学性的同时，注意理论联系实际和能力的培养，适当反映现代科学技术的新成就。这套教材中的基础课和技术基础课教材，也适用于其他有关专业。

这套教材的编写和出版，在机电部教育司的关心和领导下，在机械工业出版社、国防工业出版社和北京理工大学出版社的大力支持下，依靠全体编审人员的辛勤工作和有关院校的协助，得以顺利完成。在此，谨向他们表示衷心的感谢。

我们奉献的这套教材，希望能够得到读者的欢迎。但是，由于组织这样的系列教材编写工作尚属首次，这套教材难免有不足之处，欢迎广大师生和其他读者批评指正。

机电部高等专科机制专业教材编委会

1989年9月

前 言

在机械电子工业部教育司的组织和指导下,机电部高等专科机制专业教材编委会审定出机制专业系列教材编写大纲。本书就是根据其审定的《机床电气控制技术》教材编写大纲编写的。

本书共分五章:基本电气控制线路、典型设备电气控制系统、电气控制线路设计、电动机的速度控制、可编程序控制器(PC)。

本书在内容上,着重阐述机床的电气控制原理、典型控制线路及其设计。考虑到培养生产第一线应用型技术人才的教育特点,本书特别注意到内容与生产实际紧密联系,选材上尽量选用先进的、典型的线路和实例,处理好最新技术与传统内容的关系,使读者能获得实用的知识。本书还突出了机床电气控制技术的基本理论、基本知识和基本技能方面的培养;在文字叙述上,力求通俗易懂。为便于自学和自检,每章都有小结、思考题和习题。

书中机床电路图形符号、机床电路原理图的绘制以及有关术语等均贯彻《GB5226-85》、《JB2740-85》、《JB2739-83》等新标准。

本书由焦振学任主编。其中,第一、四章由湖南大学李德化副教授编写,第二、三章由太原机械学院安献民副教授编写,绪论和第五章由北京理工大学焦振学副教授编写。

本书的第五章《可编程序控制器》参考资料主要有:张曙、陈炳森编写的《可编程序控制器》;中国科学院计算所新技术发展公司编写的《可编程序工业控制器EX20/40/40H使用手册》;游珂编写的《MPC-001A可编程序控制器用户手册》;中国科学院计算中心鹭岛公司编《可编程序控制器—C20P/C28P/C40P》。

本书由燕山大学慈春令副教授主审。他提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于我们的学识水平有限,书中难免有错误和不妥之处,殷切期望读者批评指正。

绪 论

一、《机床电气控制技术》课程的性质、内容和任务

《机床电气控制技术》课程是高等专科机制专业的一门专业必修课程(教学计划 40 学时)。

《机床电气控制技术》的主要内容是介绍机械制造过程中,所用机床设备的电气控制原理、线路及设计等有关知识。机械制造中应用的机械设备虽然种类繁多,功能各异,但从所采用的电气控制技术来说,其控制原理、线路和方法等方面均类同。因此,本课程内容涉及面较广,不单纯局限于金属切削机床,也适用于其它机械设备。

机床是机械制造业中的主要加工设备。它的质量、自动化程度以及应用先进技术的状况,直接反映了机械工业的发展水平。机床自动化对提高生产率、改进产品质量和减轻体力劳动等都起着重要的作用。现代科学技术的发展,为机床与生产过程自动化的进一步发展创造了有利条件。控制技术、微电子技术和计算机技术等领域中的一些最新研究成果,在机床控制设备中都首先得到了迅速的应用。从所采用的电控技术的先进性、复杂性来看,机床是机械制造业中各类机械设备最典型的代表。本课程的任务是讲授机床电气控制系统原理及典型控制线路、电气控制线路的设计方法、机床调速系统原理与控制线路、可编程序控制器(PC)的工作原理和编程方法以及在机床控制上的应用(不包括机床的数控系统)。

机床一般由四个基本部分组成:主机部分、驱动部分、控制部分、检测和显示部分。

驱动部分包含有原动机、传动机构等。原动机包括有电动机、液压装置、气压装置等。但最主要的动力设备为各类电动机。由电动机通过传动机构带动主机的工作机构进行工作,这种拖动方式称为电力拖动。控制部分的作用在于使系统中驱动、主机、检测与显示部分准确、协调工作,由此也可看出控制部分是非常重要的。

二、机床电气控制技术的发展概况

随着科学技术的不断发展,机床的电气控制装置亦不断更新。在控制方法上,其发展过程主要是从手动到自动;在控制功能上,则是从简单到复杂;而在操作上,是由笨重到轻巧。生产工艺上不断提出新要求,是促使电气控制技术发展的动力,而新型电器、电子器件的出现,又为电气技术的发展开拓了新的途径。

机床电气控制系统与机床拖动方式有着密切的关系。在电力拖动的初期,一般把用一台电动机拖动若干台机床,称为成组拖动。此种拖动弊大于利,主要是能量传递路径长、损耗大、操作不方便、而且不安全。为此,出现了一台电动机拖动一台机床方式,称为单独拖动。

随着生产的发展,在机床功能增多及自动化程度提高的情况下,为了简化机械传动机构,又出现了机床主运动、进给运动、辅助运动等分别由不同电动机拖动方式,叫做分立拖动。此时,电气控制系统亦相应地进行了改进,除控制功能方面的基本要求外,还需要具有各电动机动作的配合、联锁、顺序、切换、协调、显示等性能;同时各种行

程、时间、速度、温度、压力、电流等基本控制线路已形成规范，而且机床电气控制技术本身也已形成了独立的体系。

电力拖动由于使用电动机的不同，可分为直流拖动和交流拖动两大类。直流拖动是以直流电动机为动力的拖动，交流拖动是以交流电动机为动力的拖动。直流电动机虽然不如交流电动机结构简单、制造方便、维护容易、价格便宜等，但是由于直流电动机具有良好的启动、制动性能和调速性能，可以方便地在很宽的范围内平滑调速，所以直流电动机广泛地应用于自动控制要求较高的机床和机械设备。近 20 多年来，由于半导体变流技术的发展，使得交流电动机的调速技术有很大的突破。交流调速有许多优点，单机容量可以大大超过直流电动机，转速也可高于直流电动机，能用于带有腐蚀性、易爆性、含尘气体等特殊环境中。与直流电动机相比，交流电动机还具有体积小、重量轻、转动惯量小、制造简单、结构牢固、工作可靠以及易于维修等优点。

电力拖动的自动控制方式可分为开环控制和闭环控制两大类。开环控制一般是断续的有级控制，而闭环控制一般是连续的无级控制。机床自动控制系统的发展，经历了一个从断续控制到连续控制又到断续控制的过程。最早的自动控制是断续控制，在本世纪的 20~30 年代，借助继电器、接触器、按钮、行程开关等组成继电接触式控制系统，实现对机床的启动、停车、有级调速等控制。继电接触式控制系统的优点是结构简单、价格低廉、维护方便、抗干扰强，因此广泛应用于各类机床和机械设备。采用它不仅可以方便地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，在我国的继电接触式控制仍然是机床和其它机械设备最基本的电气控制型式之一。继电接触式控制系统的缺点是：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；采用有触点的开关动作，工作频率低，触点易损坏，可靠性差。简而言之，断续控制系统的灵活性差、控制速度慢、控制精度低和可靠性差。到了 40~50 年代，出现了交磁放大机—电动机控制，使控制系统从断续控制发展到连续控制。连续控制系统能随时随地检查被控对象的工作状态，当输出量与给定量发生偏差时，就自动调整。连续控制的快速性、控制精度和可靠性都超过了断续控制。60 年代出现晶体管—晶闸管控制，以及发展到 70 年代的集成电路放大器—晶闸管控制，这些都属于连续控制系统。

在实际生产中，由于大量存在一些以开关量控制为主的不复杂的中小型程序控制设备和程序控制过程，并且生产工艺及流程经常变化，则需灵活地改变控制程序，以使机床或生产过程按预定的条件和顺序自动地运行或执行。这种以预先规定好的时间或条件为依据，按预先规定好的动作次序，对控制过程各阶段顺序地进行自动控制，称为顺序控制。能完成顺序控制的装置称为顺序控制器。继电接触式顺序控制器满足不了程序经常改变的控制要求。由于电子技术的发展，出现了矩阵式顺序控制器和存储式可编程顺序控制器。它们的特点是：通用性强，编程容易，程序可变，可靠性高，使用与维护方便。小型计算机在 60 年代已出现，为什么不用计算机进行顺序控制呢？国外曾试图用小型计算机代替较复杂的顺序控制器，但由于成本高，输入输出电路不匹配，编程技术复杂及存在“大材小用”等原因，一直没能得到推广应用。60 年代末期，美国的汽车制造业很发达，汽车型号不断更新，若修改设计，必然要求加工生产线随之改变，而整个控制系统也要重新配置。为此，1968 年美国通用汽车 GM 公司针对汽车部件生产线提出

开发工业控制器的招标条件。美国 DEC 公司中标后,于 1969 年将计算机中的程序存储技术引入顺序控制器,研制出世界上第一台可编程序逻辑控制器 PDP-14,简称为 PLC,在 GM 公司汽车生产线上试用获得成功。至此,开发面向单机和过程控制的工业控制器才打开局面,各工业发达国家竞相研制和生产。随着微电子技术和微型计算机的迅速发展,70 年代末期,各厂家又将微电脑技术和大规模集成电路引入可编程序逻辑控制器 (PLC),发挥了计算机软件的优势,因此由 PLC 发展为当今的可编程序控制器 (PC)。经历 10 余年的发展,PC 进入实用阶段。国外许多著名厂家都在开发和生产本公司的 PC 系列化产品。可编程序控制器已获得了广泛的应用,而且推动了工业技术革命的进程。

为解决占机械总加工量 80% 左右的单件和小批生产中的自动化,50 年代,出现了数控机床。它综合应用了电子技术、计算技术、自动控制、测试和机床结构设计等各个技术领域内的最新技术成就,使之成为通用性强的高效率自动化机床。数控机床在改变加工对象时,除重新选择相应刀具外,仅需要更换一下控制介质(如穿孔带、穿孔卡、磁带等),或改变一下控制介质的内容(如拨码盘、开关等),即可进行新的零件加工。数控机床特别适宜形状复杂和加工精度要求高的零件加工。

数控机床经过 40 来年的发展,品种日益增多,性能不断完善,其中以轮廓控制的数控机床和带有自动换刀装置和工作台能自动转位的数控加工中心的发展更为迅速。近年来又发展了自适应控制机床,即一种能按照加工过程所发生的变化,自动调整到最佳切削条件的数控机床,使数控机床能达到最佳的技术经济效益。

尤其是随着计算机技术的迅速发展,数控机床的应用日益广泛,进一步推动了数控系统的发展,由此而产生了自动编程系统、计算机数控系统 (CNC)、计算机群控系统 (DNC) 和柔性制造系统 (FMS)。FMS 即是把一群数控机床与工件、刀具、夹具等用自动传送线连接起来,并在计算机的统一控制下形成一个管理和制造相结合的生产整体。这就组成了计算机群控自动线,或称为柔性制造系统。当今兴起了计算机集成制造系统 (CIMS)。设计制造一体化 (CAD/CAM),是机械制造自动化的高级阶段,CAD/CAM 是计算机辅助设计和计算机辅助制造的简称,CAD/CAM 是 CAD 与 CAM 的结合,形成了产品设计与制造一体化的完整系统,从而可实现产品从设计到制造的全部自动化。

数控系统分为开环、半闭环、闭环系统。数控闭环系统又使控制系统、控制理论发展到一个新阶段——采样控制。采样控制也是一种断续控制,但是和最初的断续控制不同,它的控制间隔——采样周期,比控制对象的变化周期短得多。因此,尽管是断续控制,却能无失真地恢复控制对象的本来面目,在客观上完全等效于连续控制。

目 录

绪论	VI
第一章 基本电气控制线路	1
第一节 组成电气控制线路的基本电路	1
第二节 三相异步电动机的启动控制线路	5
第三节 三相异步电动机的正反转控制线路	11
第四节 三相异步电动机的制动控制线路	15
第五节 双速和三速鼠笼型异步电动机的变速控制线路	24
第六节 其它典型控制线路	28
本章小结	31
思考题与习题	32
附录1.1 电气控制线路原理图的绘制原则	33
附录1.2 电气技术中的文字符号	34
附录1.3 常用机床电路图图形符号 (摘自JB2739-83)	36
第二章 典型设备电气控制系统	42
第一节 车床电气控制系统	42
第二节 镗床电气控制系统	48
第三节 组合机床电气控制系统	55
第四节 工业机械手电气控制线路	69
第五节 起重机电气控制系统	76
本章小结	86
思考题与习题	88
第三章 电气控制线路设计	90
第一节 电气设计的一般原则	90
第二节 电气控制线路设计	94
第三节 常用电器元件的选择	106
本章小结	114
思考题与习题	115
第四章 电动机的速度控制	116
第一节 速度控制的基本概念和指标	116
第二节 直流电动机的速度控制	119
第三节 交流电动机的速度控制	137
本章小结	148
思考题与习题	149
第五章 可编程序控制器 (PC)	150
第一节 PC的发展	150
第二节 PC的基本工作原理和特点	157
第三节 EX 系列可编程序控制器	172

VI

第四节 MPC-001A可编程序控制器.....	209
第五节 PC的程序编制	227
第六节 可编程序控制器应用举例	243
本章小结	257
思考题与习题.....	257
附录5.1 国外常用通用型PC的主要规格性能.....	258
主要参考文献	259

第一章 基本电气控制线路

内容提要 现代化的生产机械大部分是由电动机拖动，电动机又以三相异步电动机结构简单、维护方便、价格低廉而称著。所以一般的金属切削机床和机械设备都用异步电动机作为原动机。因此，本章重点讲述异步电动机的启动、停止、制动、正反转、调速等控制线路。这些线路是构成电气控制线路的基础，故称为基本电气控制线路。此外，还讲述一些常用的其它基本电路（或环节）。

第一节 组成电气控制线路的基本电路

在机床和其它机械设备的电气自动控制系统中，一般要应用继电器、接触器、电动机及其它电器元件。这些元件在系统中都按一定的要求和方法联接起来，实现电气的自动控制。为了便于对控制系统进行设计、分析、安装和使用，控制系统中的各种元件，必须使用国家规定的统一的文字和图形符号来表示（见附录 1.1、1.2 和 1.3）。而这种

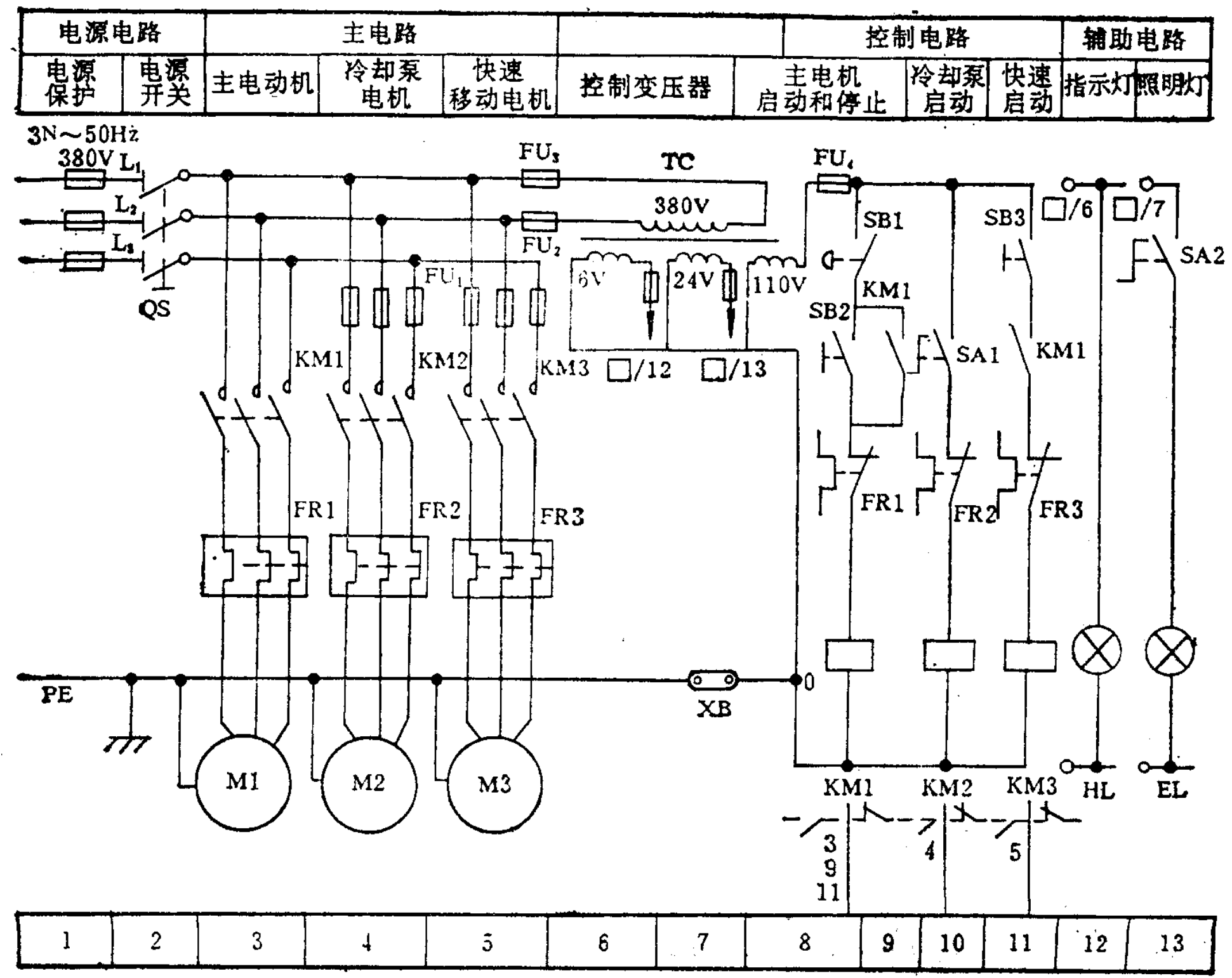


图1-1 CA6140车床电气原理图

用各种标准符号、电气连接联系起来描述全部或部分电气设备的工作原理的图形，称电气原理图或电气控制线路图。

图 1-1 为 CA6140 车床电气控制线路图，由图看出，电气控制线路一般应由电源电路、主电路、控制电路和辅助电路（保护、显示和报警电路）四大部分构成。

一、电源电路

电源电路按规定应绘成水平线，它由电源保护和电源开关组成。

二、主电路（动力电路）

主电路是作用于被控对象的电路，即受电的动力装置（如电动机、电磁铁等）及其保护的电器支路。按规定，主回路应垂直电源电路画出，由于它直接输出功率，且通过大电流，故应选用较大功率的电气元件。

三、控制电路

这是电气控制系统十分重要的电路，它起逻辑判断、记忆、顺序动作等作用。按规定，控制电路应垂直地绘在两条水平电源线之间，象线圈、电磁铁等耗能元件应直接连接在接地的水平电源线上，控制触点连接在上方水平电源线与耗能元件之间（见图 1-1）。控制电路一般由逻辑电路、记忆（自锁）电路、顺序动作电路等组合而成。

1. 基本逻辑电路

控制电路要完成逻辑判断的作用，必须有相应的逻辑电路。而最基本的逻辑电路是“与”逻辑电路（AND 电路）、“或”逻辑电路（OR 电路）和“非”逻辑电路（NOT 电路）。

（1）“与”逻辑电路

由几个继电器（或按钮开关）的常开触点和一个继电器线圈串联而构成“与”逻辑电路。

从图 1-2 看出，只有当两个触点 SB1 和 SB2 都闭合时，线圈 KM 才通电，继电器才动作，它具有“与”逻辑的功能，故称为“与”逻辑电路。这种电路在条件控制中经常使用。

（2）“或”逻辑电路

由几个继电器（或开关）的常开触点并联后与继电器线圈串联，则构成了“或”逻辑电路。例如图 1-3 所示电路中，只要两个触点 KA1、KA2 中的任意一个闭合，线圈 KM 则通电，继电器就动作。它具有“或”逻辑功能，所以称“或”逻辑电路。

（3）“非”逻辑电路

如图 1-4 所示电路，当 SB 常开触点闭合时，继电器 KA1 通电动作，其常闭触点 KA1 断开，使继电器 KA2 线圈断电，常开触点 KA2 复位，所以触点 SB 和线圈 KA2 的状态相反，具有“非”逻辑功能。

由上述可知，将继电器的线圈（或触点）与开关元件的触点进行适当的联接，则可构成“与”、“或”、“非”三种逻辑功能的电路，而将上述三种电路进行适当的组合，又可构成其它各种复合逻辑功能的电路，所以称它们为基本逻辑线路。

2. 记忆（自锁）电路

图 1-5 所示电路，为由接触器（或继电器）、接触器（或继电器）自身的常开辅助触点、按钮开关构成的具有记忆（自锁）功能的电路。

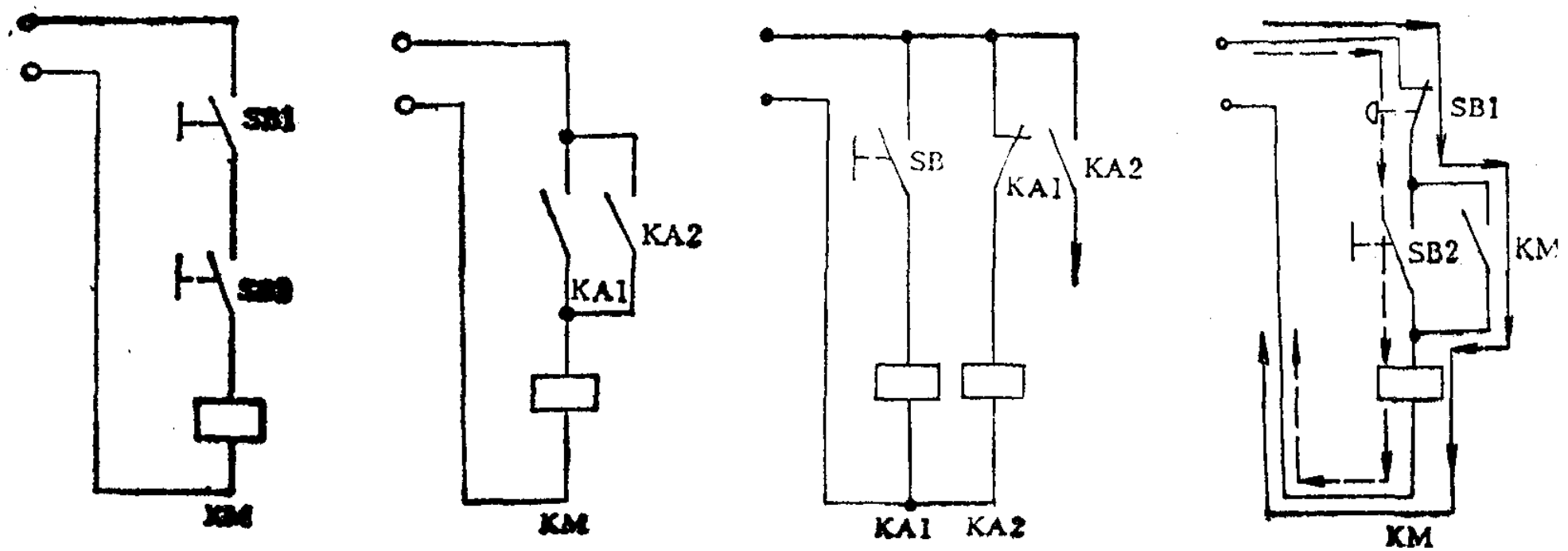


图1-2 “与”逻辑电路 图1-3 “或”逻辑电路 图1-4 “非”逻辑电路 图1-5 自锁(记忆)电路

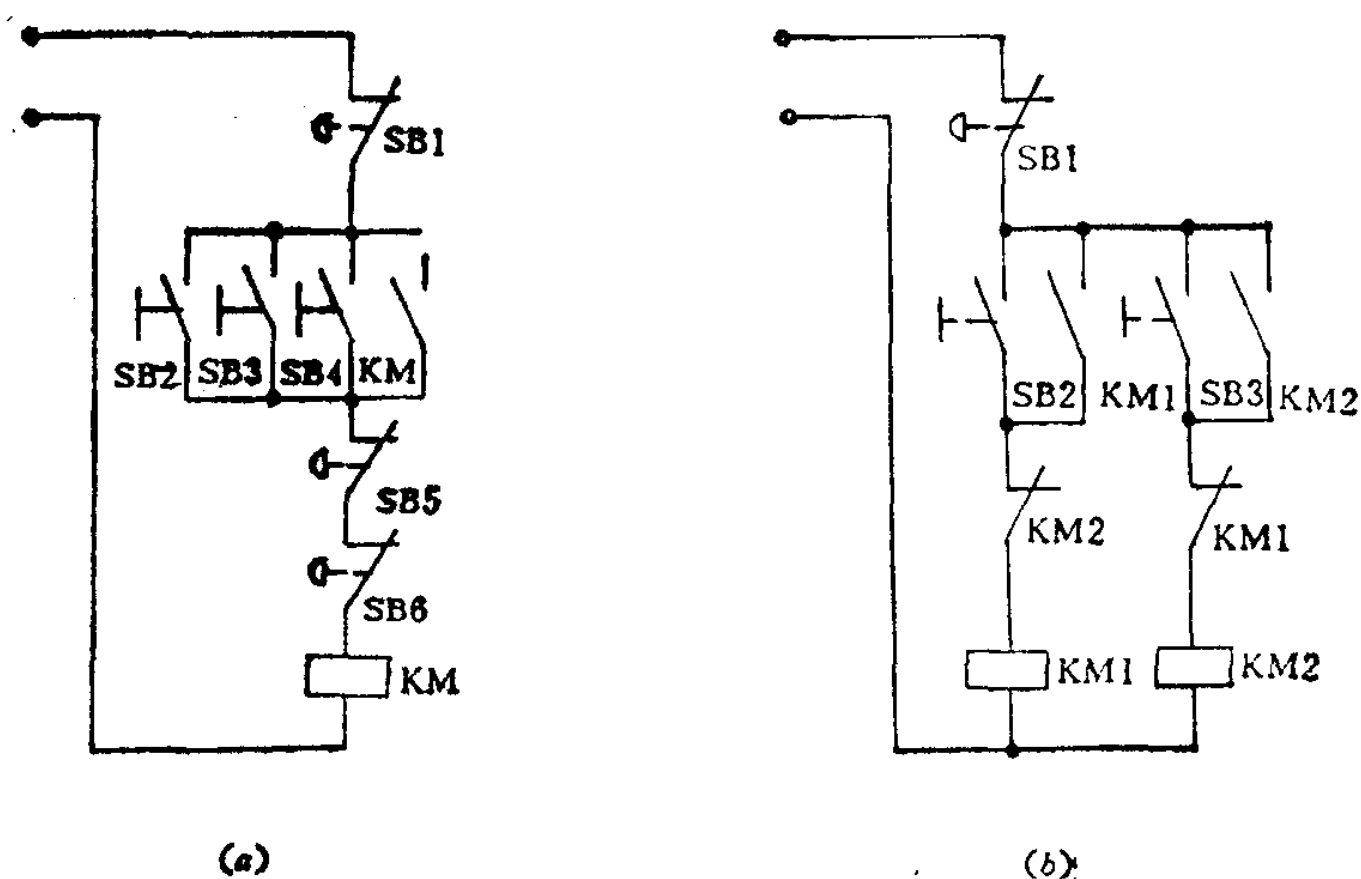
在该电路中，若按下启动按钮 SB2，则电流沿图中所示的虚线回路流通，使接触器线圈 KM 通电而动作，常开触点 KM 闭合。如果这时松开按钮 SB2，因电流按图中实线回路流通，所以接触器还继续保持通电工作状态。这种电路只要按一下按钮 SB2 后，接触器就能保持通电状态，这就是电路的记忆（自锁）作用，此种电路则称为记忆（自锁）电路。

要解除这个电路的记忆时，只要按一下停止按钮 SB1，切断流过继电器的电流，就可以使继电器释放。凡是要求连续运行的电动机，都要采用自锁线路。

图 1-6 所示电路为常见的记忆电路（自锁电路）。

图 1-6(a) 为用于三个地方都可使线圈通电和断电的自锁电路，由于它可以在三个不同地点控制同一台电机，故又称三位置自锁电路（或多地点控制）。

图 1-6(b) 所示电路，从结构看有自锁电路，但也有继电器的常闭触点串联在另一



(a)

(b)

图1-6 自锁和互锁电路

(a) 三位置自锁电路；(b) 互锁电路。

继电器线圈回路中，当一组线圈回路通电时，另一组线圈回路必然断电。所以这种结构的电路称为互锁电路，它在电气控制线路中用得很多，例如，电机的正反转控制、Y- Δ 启动控制，就要用到这种基本电路。

3. 顺序动作电路

在某些机床中，主轴必须在油泵工作后才能工作；在铣床中，只有主轴旋转后，工作台方可移动；在皮带运输机中，只有前级停车后，后级才能停车。上述例子都要求电动机有顺序地启动和停止。下面讨论最基本的顺序动作电路。

(1) 优先动作电路

图 1-7(a) 所示电路，当靠近电源侧的触点 KA1 没有闭合时，后面的电路便没有电源供给，所以称为电源侧优先电路。

图 1-7(b) 所示电路，当 KA1 通电后 KA2 才通电，然后 KA3 通电，是一种串联式顺序动作电路，也是一种电源侧优先电路。

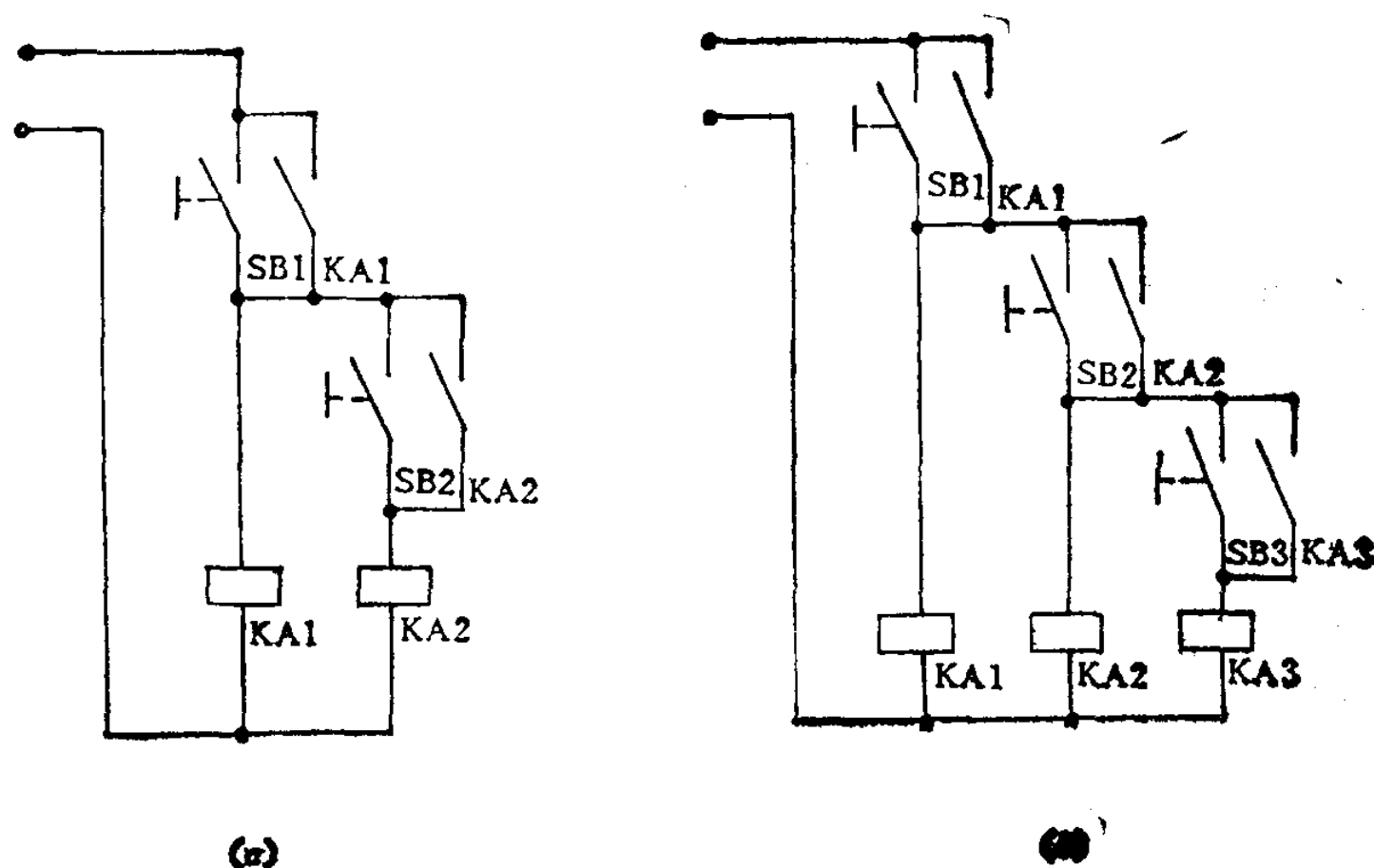


图1-7 优先动作电路

(a) 电源侧优先电路；(b) 串联式顺序动作电路。

(2) 使用继电器的顺序动作电路

图 1-8 所示电路，是一种自锁触点和顺序转移用触点分离的电源侧优先电路。从图中看出，只有当靠近电源侧的继电器 KA1 通电、其常开触点 KA1 闭合后，KA2 和 KA3 才顺序通电。由于它把上一级继电器的常开触点串接在下一级继电器线圈回路中，故又称为使用继电器的顺序动作电路。

(3) 使用时间继电器的顺序动作电路

图 1-9(a) 所示电路中，继电器的线圈并联，在下一级的线圈回路中，使用时间继电器的常开延时闭合触点（动合触点），当 KA1 和 KT1 线圈通电一段时间后，时间继电器的动合触点 KT1 闭合，线圈 KA2 才通电，这就可使 KA1、KA2……，按整定的时间顺序动作。

图1-9(b) 电路是基本的延时电路，它可使负载 L 延时工作一段时间后又停止工作。

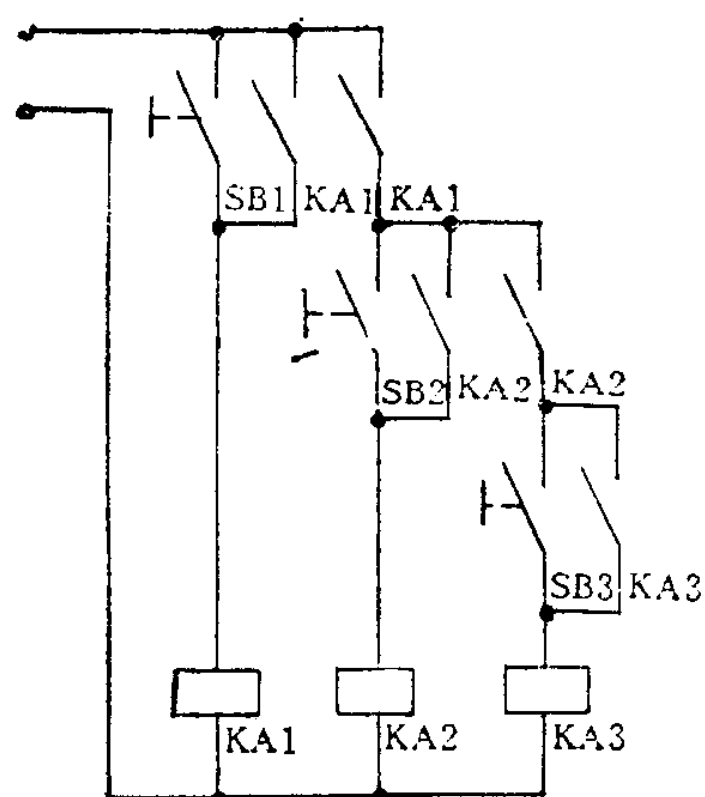
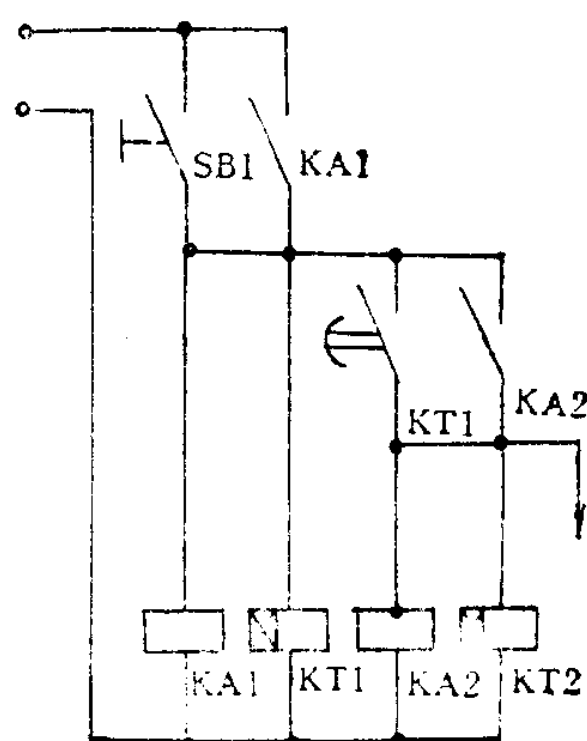
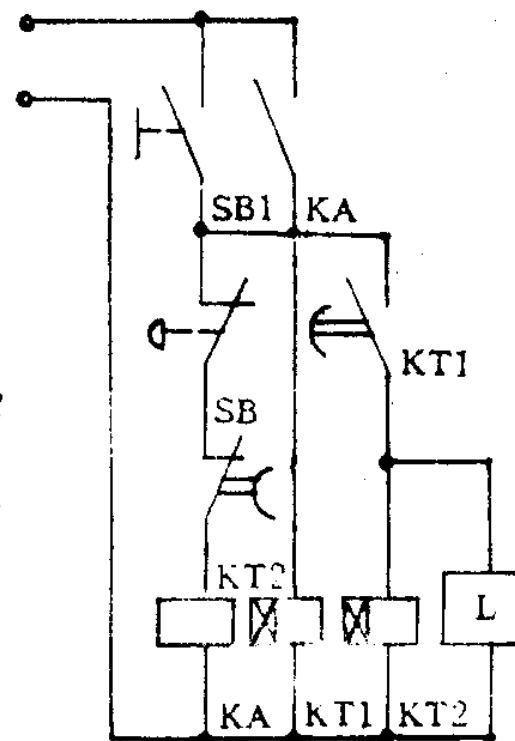


图1-8 使用继电器的顺序转移电路



(a)



(b)

图1-9 使用时间继电器的顺序动作电路

(a) 顺序动作电路; (b) 基本延时电路。

第二节 三相异步电动机的启动控制线路

由“电工学”课程可知，三相异步电动机在全电压直接启动时，

$$\text{启动电流倍数 } K_I = \frac{I_{I_2}}{I_{1e}} = 4 \sim 7$$

$$\text{启动转矩倍数 } K_M = \frac{M_q}{M_e} = 0.9 \sim 1.3$$

由此看出，三相异步电动机全电压直接启动时，其一是启动电流大，其二是启动转矩却不大。过大的启动电流（尤其是大、中型电动机启动时，电流可达几百安培，甚至上千安培），一方面会降低电机的寿命，另一方面会引起过大的线路压降，而使电动机启动困难，甚至无法启动。同时，也影响到同一电网中其它电动机的正常工作。在这种情况下，就必须采取降压启动来降低启动电流。

不过，当电机容量较小时，虽然启动电流比额定电流大许多倍，但在很短的时间内冲击一下就过去了，只要车间里许多机床不是同时启动，对供电网络不会有太大的影响，在这种情况下，又可以直接启动。

综上所述，三相异步电动机有直接启动和降压启动两种方式。在实际控制中，到底采用哪种方式，要根据电动机所带负载的性质（轻载，还是满载启动）、启动的次数、电动机容量、供电变压器容量确定。一般规定，电动机容量在10kW以下者，可直接启动（直接启动的容量不得超过供电变压器容量的30%，经常启动的电动机可直接启动的容量为变压器容量的20%）；超过10kW以上时，电动机采用降压启动。

电动机是否需要降压启动，也可用下面的经验公式来确定：

$$\frac{I_q}{I_e} \geq \frac{3}{4} + \frac{\text{电源变压器容量 (kVA)}}{4 \times \text{某台电动机功率 (kW)}}$$

式中 I_q ——电动机全电压启动电流 (A)；

I_e ——电动机额定电流 (A)。

若计算结果符合上面经验公式，且为空载或轻载启动时，则应采用降压启动方式；反之，可采用全电压直接启动方式。下面讨论电气控制线路如何满足各种启动要求。

一、全电压直接启动控制线路

1. 用开关直接启动线路

人们通过操纵刀开关、转换开关、组合开关或自动开关来实现电动机电源的接通与断开，如图 1-10(a) 所示。图中 QS 为刀闸开关，M 为电动机，FU 为保险丝。由于这种启动只有主电路而没有控制电路，所以无法实现遥控和自控，仅用于小型台钻、砂轮机设备中。

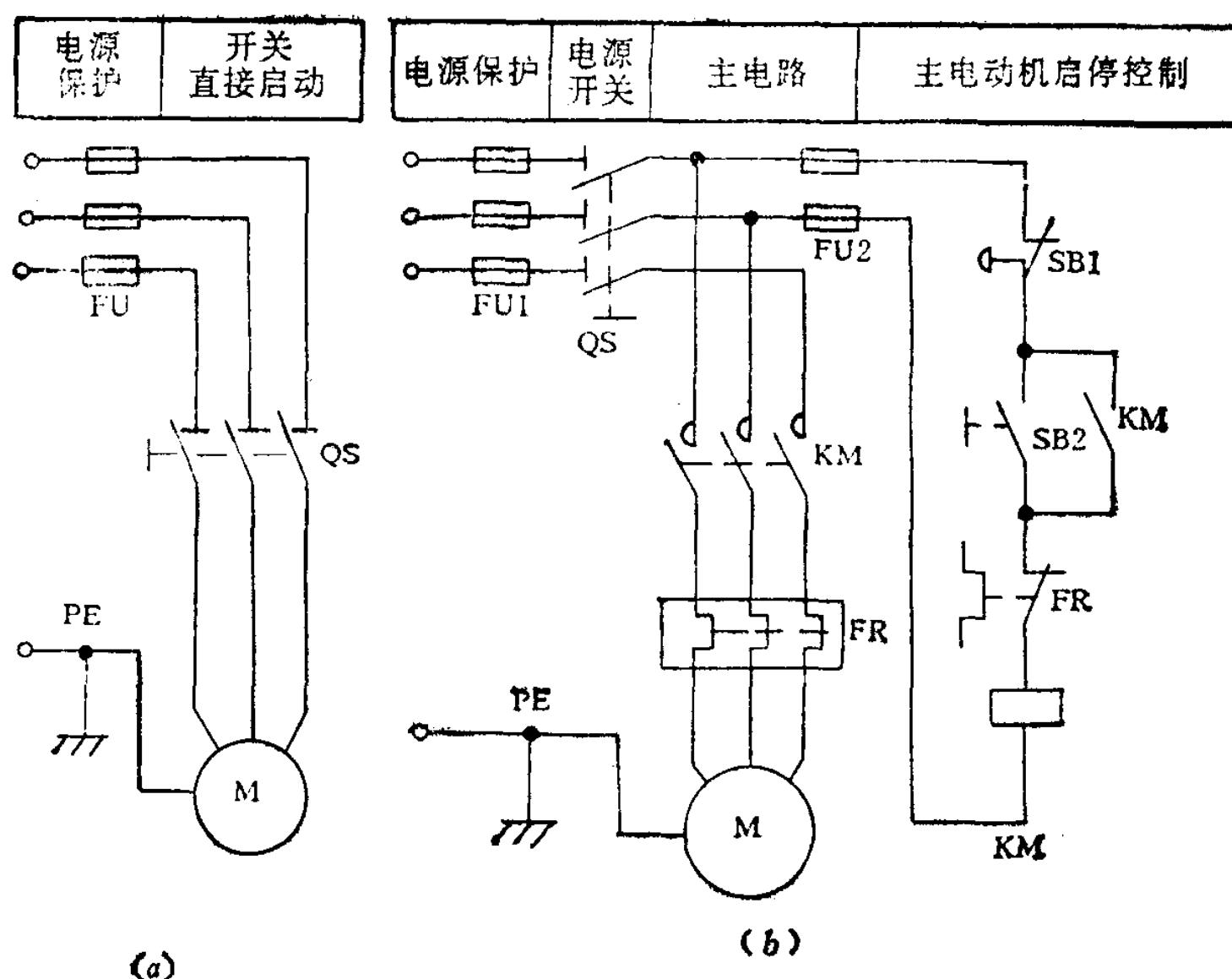


图1-10 直接启动控制线路

(a) 用开关直接启动电路；(b) 用接触器直接启动电路。

2. 用接触器直接启动线路

图 1-10(b) 是用接触器直接启动电动机的线路。由主电路可知，合上电源开关 QS 之后，可用接触器主触点 KM 来控制电动机的启停。在控制线路中，接触器的辅助常开触点 KM 与启动按钮 SB2 并联后再与本身线圈串联，所以控制线路是一个自锁电路。当按一下启动按钮 SB2 以后，电动机就启动运行，直到按下停止按钮 SB1 后，电动机才会停止转动。因此本电路又称为长动控制电路。

机床在正常加工时需要连续不断地工作，而在调整对刀时则需要断续的工作。因此，机床控制线路除长动控制外，还需有点动控制。所谓点动，即按按钮时电动机转动工作，手放开按钮时，电动机立即停止工作。在图 1-11 电路中，当按下复合按钮 SB3 时，电动机就转动；松开按钮 SB3 时，电动机就停转。故该电路既有长动控制，又有点动控制。

图 1-11 电路中，FU 为保险丝，FR 为热继电器，此线路具有短路保护，过载保护以及欠压和失压保护。后一种保护作用的原理是：当电源电压由于某种原因严重欠压或

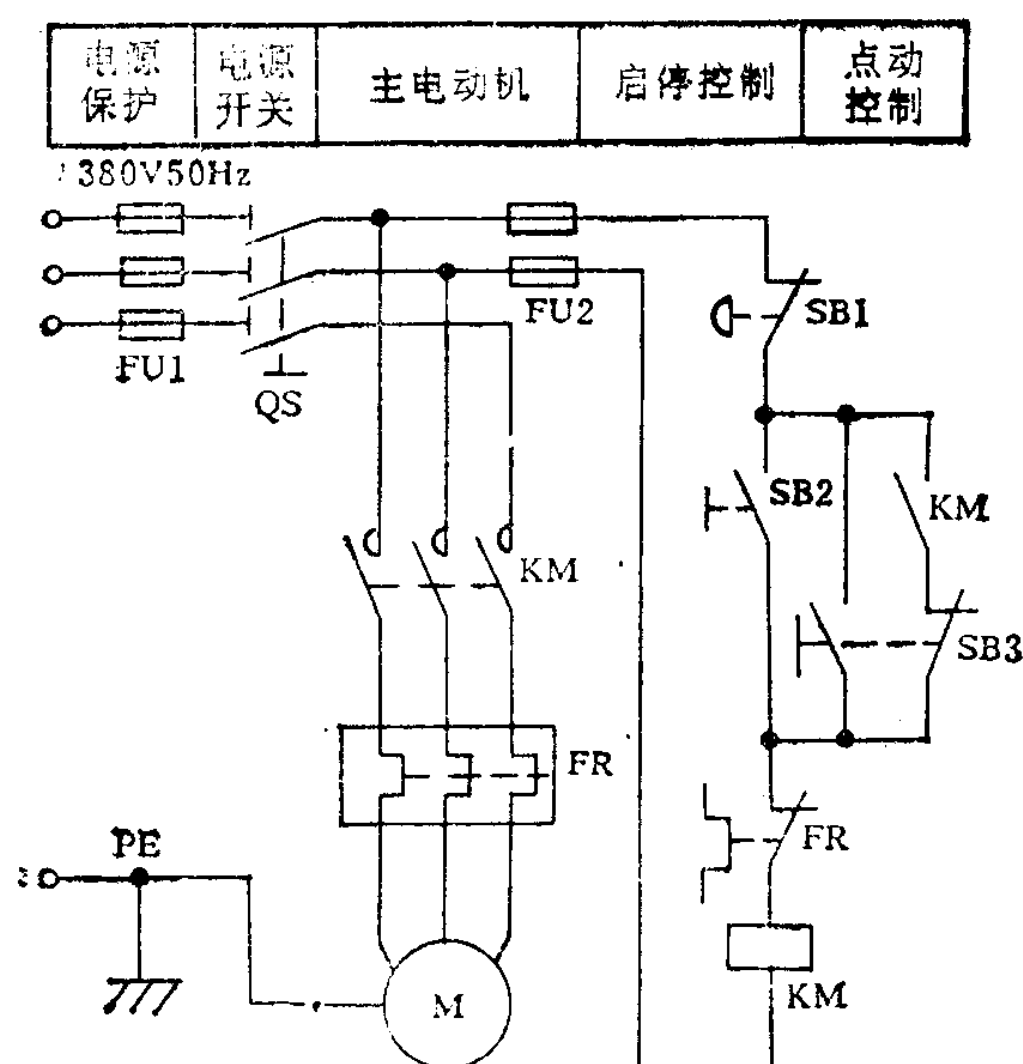


图1-11 长动和点动控制电路

失压时，接触器KM电磁吸力减小或消失，接触器的触点在弹簧作用下将自行释放；而当电源电压恢复正常时，因自锁已打掉，如不按启动按钮，线圈KM决不会自行通电，这就防止了因电动机突然自行启动运转而造成的事故。

上述电路由于有失压、短路和过载保护，故称为三保护单向启动运行电路，它广泛使用于中小型普通机床的主电机控制中。

二、降压启动控制线路

降压启动，就是在启动时降低加在电动机定子绕组上的电压，当电动机启动到接近额定转速时，再将电压恢复到额定值。三相鼠笼式异步电动机降压启动的方法有以下几种：定子电路中串入电阻或电抗、使用自耦变压器、星—三角形启动和延边三角形启动等。下面以典型线路为例，说明线路是如何满足上述控制要求的。

1. Y—△ 降压启动控制线路

当机床上使用容量较大电动机，正常运行时定子绕组是三角形接法，而又处于空载或轻载启动时，通常用星—三角形（Y—△）降压启动法。

（1）运行分析

电动机正常运行时，其定子绕组接成△，此时每相绕组所承受的电压为电源的线电压（380V），启动时接成Y形，每相绕组所承受的电压为电源的相电压（220V），故启动电压较电源电压为低，仅为电源电压的 $1/\sqrt{3}$ 倍，因此，称为降压启动。启动完毕时再换接成三角形运行。

（2）主电路

图1-12左边部分为Y—△启动主电路，图中KM1为主接触器，KM3为星形连接接触器，KM2为三角形连接接触器。当KM1和KM3主触点闭合时，电动机定子绕组