

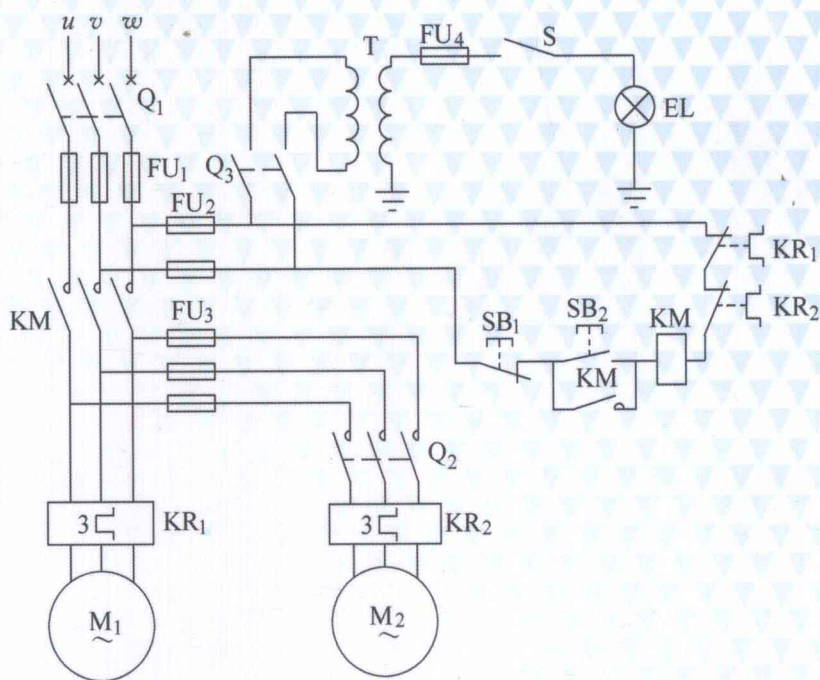


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机床电气控制技术

第4版

齐占庆 王振臣 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，也可供有关专业师生以及从事电气技术方面工作的工程技术人员参考。

全书共分六章：机床继电器控制线路的基本环节，机床电气控制线路的分析及设计，可编程序控制器的结构及工作原理，可编程序控制器系统分析、设计及应用，直流电动机调速系统，交流电动机调速控制系统。

每章后都附有思考与练习，以便于学生自学。

图书在版编目（CIP）数据

机床电气控制技术/齐占庆，王振臣主编. —4 版. —北京：机械工业出版社，1997.5（2009.1 重印）

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-04010-1

I. 机… II. ①齐…②王… III. 机床—电气控制—高等学校—教材
IV. TG502.35

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 199788 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：高文龙 责任校对：樊钟英

封面设计：张 静 责任印制：乔 宇

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2009 年 1 月第 4 版第 3 次印刷

184mm×260mm·14 印张·345 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-04010-1

定价：24.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话：（010）68326294

购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：（010）88379712

封面无防伪标均为盗版

第4版前言

《机床电气自动控制》第1版是在1980年出版的,1994年出版第3版时作了较大修改,并更名为《机床电气控制技术》。随着电气控制技术的迅速发展,尤其是可编程序控制器、交流调速等技术的发展与应用日臻完善,特别是当今科学技术的发展及应用“机电液”一体化的需要,掌握电气控制技术基础知识显得十分必要。为适应各专业拓宽专业面和对电气控制技术内容的需求,现将此教材重新编写。

全书分四大部分共六章。第一部分电器控制部分,重点介绍了常用低压电器、典型电器控制线路组成及线路分析、电动机的保护、电器线路设计及电器元件选择。第二部分可编程序控制器及其应用,讲述其基础知识、基本原理。介绍了PLC的结构、工作方式、编程语言、编程指令,从应用角度出发,介绍了可编程序控制器系统的设计内容、步骤及举例。第三部分是直流电动机调速系统。从直流调速基础出发阐述了反馈控制的概念,无静差调速系统的组成,以电流环、速度环双闭环无静差(PID)系统为基础的基本调速理论,并介绍了可逆直流调速系统。第四部分交流电动机调速系统,从交直流各自的优势及交流应用越来越广泛角度出发,介绍了变频器的基本原理及其操作内容。

本书在编写过程中,既注意反映我国控制技术的现状,也注意了新技术发展的需要。在内容上,尤其注意了基础理论和实践相结合,以适应机械制造类专业及其他非电类专业学习的需要。本书也可供有关电类专业师生及从事电气技术方面的工程技术人员参考。

本书由燕山大学齐占庆教授、王振臣教授主编,李惠光教授参编。由河北工业大学李志刚教授、徐云程教授主审。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材之一,可供普通高等工科院校,高等职业技术教育院校,函授大学机械设计与制造、机械制造工艺与设备、机械电子工程(机电一体化)以及其他有关专业师生使用,也可供有关技术人员使用。

由于编者水平有限,本书难免有疏漏和欠妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第 4 版前言

绪论	1
----------	---

第一章 机床继电器控制线路的基

本环节	5
-----------	---

第一节 电气原理图的画法及阅读方法	5
第二节 笼型电动机的起动控制线路	6
第三节 电动机正反转控制线路	8
第四节 电动机制动控制线路	10
第五节 双速电动机高低速控制线路	12
第六节 电液控制	13
第七节 控制线路的其他基本环节	18
第八节 电动机的保护	21
思考与练习	23

第二章 机床电气控制线路的分析

及设计	25
-----------	----

第一节 卧式车床的电气控制线路	25
第二节 机床电气设计的一般内容	31
第三节 机床电气控制线路的设计	33
第四节 机床常用电器的选择	36
第五节 机床电气控制线路设计举例	41
思考与练习	46

第三章 可编程序控制器的结构及

工作原理	47
------------	----

第一节 可编程序控制器 (PLC) 的 基本结构及工作方式	47
第二节 可编程序控制器的编程 元件及编程语言	51
第三节 欧姆龙 C 系列 PLC 及其 指令系统简介	54
第四节 三菱 FX _{2N} 系列可编程序控制 器及其基本指令简介	70
第五节 西门子 S7-200 PLC 及其指令	

系统简介	83
------------	----

思考与练习	99
-------------	----

第四章 可编程序控制器系统

分析、设计及应用	102
----------------	-----

第一节 可编程序控制器系统的分析 方法	102
第二节 可编程序控制器系统设计	110
第三节 C650 卧式车床的 PLC 控制	125
思考与练习	126

第五章 直流电动机调速控制

系统	132
----------	-----

第一节 直流调速的基础知识	132
第二节 反馈控制直流调速系统	136
第三节 无静差直流调速系统	147
第四节 直流可逆调速系统简介	158
思考与练习	165

第六章 交流电动机调速控制

系统	167
----------	-----

第一节 概述	167
第二节 简易交流调速及控制线路	177
第三节 变频器原理	185
第四节 富士变频器简介	195
第五节 变频器典型电路设计及应用 举例	201
思考与练习	205

附录 A 电气设备常用基本图形符号

(摘自 GB/T 4728—2000)	207
---------------------------	-----

附录 B 电气设备常用基本文字符号

(摘自 GB/T 7159—1987)	210
---------------------------	-----

附录 C S7-200 的指令系统

参考文献	216
------------	-----

绪 论

一、机床电气控制技术的发展概况

各工业生产部门的生产机械设备，基本上都是通过金属切削机床加工生产出来的，因此说机床是机械制造业中的主要加工设备，机床的质量、数量及自动化水平，都直接影响到整个机械工业的发展。机床工业发展的水平是一个国家工业水平的重要标志。

1. 机床电力拖动系统的发展

机床的拖动装置发展迅速。机床是由电动机拖动运行的，这种拖动方式称之为“电力拖动”。20 世纪初由于电动机的出现，使机床的动力得到了根本的改变。最初是由电动机直接代替蒸汽机，即由一台电动机拖动一组机床，称之为成组拖动。成组拖动是通过中间机构（天轴）实现能量分配与传递的，机构复杂、传递路径长、损耗大、生产灵活性也小，不适用于现代化生产的需要。20 世纪 20 年代，出现了单独拖动形式，即由一台电动机拖动一台机床。

由于生产发展的需要，机床在结构上有所改变，床身也增大了，尤其对动作要求相应地增多。这样各种辅助运动若也用同一台电动机拖动，其机械传动机构就变得十分复杂，而且还往往满足不了生产工艺上的要求，因此出现多台电动机分别拖动各运动机构的多电动机拖动方式。

多电动机拖动被采用后，不但简化了机床本身的机械结构，提高了传动效率，而且使机床各运动部分能够选择最合理的运动速度，缩短了工时，也便于分别控制，促进了机床的自动化。

在电力拖动的发展史上，交流拖动、直流拖动两种方式是相辅相成交替发展的。由于直流调速性能好、调速范围可相应地扩大、调速精度高，因此在调速指标要求高的场合下，都广泛地采用了直流拖动系统。在 20 世纪 30 年代出现了直流发电机—电动机组的调速系统，以及通过电动机放大机等元件实现控制的自动直流调速系统。由于晶闸管大功率整流器件的出现，以及变流技术的发展，晶闸管—电动机直流调速系统在机床中已广泛地被应用，在 20 世纪中期以前一直是如此。但是直流电动机不如交流电动机那样结构简单，制造和维护都不方便，价格较昂贵，单机容量、电压等级、转速指标也不如交流电动机高。又由于新型电子器件的出现，促使了交流调速的迅速发展。近几十年来，发达工业国家已从直流系统向交流系统转移，在某些国家，交流调速系统的研究，已突破关键技术问题，进入了应用及系列化的新时期。这种技术在我国的应用，必将促使机床电力拖动及其控制的发展。

2. 机床电气控制系统的发展

大功率半导体器件、大规模集成电路、计算机控制技术、检测技术及现代控制理论的发展，推动了机床电气控制技术的发展。主要表现为：在控制方法上，从手动操纵发展到自动控制；在控制功能上，从单一功能发展到多功能；在操作上，从紧张、繁重发展到轻巧自如。

在机床电气控制方面，最初采用手动控制，如少数容量小、动作单一的机床（小型台

钻、砂轮机等), 使用手动控制电器直接控制。后来由于切削工具、机床结构的改进, 切削功率的增大, 机床运动的增多, 手动控制已不能满足要求, 于是出现了以继电器—接触器为主的控制电器所组成的控制装置和控制系统。这种控制系统, 可实现对机床的各种运动的控制, 如起停、反转、改变速度等的控制。它们的控制方法简单直接、工作稳定可靠、成本低, 使机床自动化水平迈进了一大步。

随着生产的发展, 机床对加工精度、生产效率提出更高的要求。继电接触器系统的断续控制方式不能连续、准确地反映信号, 很难达到精度的要求。后来又出现了各种可连续控制的控制器件, 如电动机放大机、电子管及半导体放大器件, 这样就相应地出现了连续控制的自动控制方式及自动控制系统, 如电动机放大机控制系统、晶闸管控制系统等。

另一方面, 由于继电接触器控制装置接线固定、使用的单一性, 难以适应复杂和程序可变的控制对象的需要。所以 20 世纪 60 年代初就出现了顺序控制器。它的初期是以继电器或触发器作为记忆元件的控制器, 即通过编码、逻辑组合来改变程序, 满足不同加工程序的需要。这样就使机床控制系统具有更大的灵活性和通用性。它的特点是: 通用性强、程序可变、编程容易、可靠性高、使用维护方便等。它较广泛地被应用于机械手、组合机床及生产自动线上, 大大提高了机床自动化水平。

近年来, 可程序控制器 (PLC) 在工业过程自动化系统中应用日益广泛。可程序控制器技术是以硬接线的继电接触器控制为基础的, 逐步发展为既有逻辑控制、计时、计数, 又有运算、数据处理、模拟量调节、联网通信等功能的控制装置。它可通过数字式或者模拟式的输入和输出满足各种类型机械控制的需要。可程序控制器及有关外部设备, 都按既易于与工业控制系统联成一体, 又易于扩充其功能的原则设计。可程序控制器将成为机械设备中开关量控制的主要电气控制装置。

现代机床经 30 多年的迅速发展, 品种日益增多, 现代机床从“现代工程控制论”和“计算技术”中吸取了大量成果, 从而发展了自动设计、自动管理、自动诊断、自动换刀、自动传送等机床自动化手段。提高机床的加工精度, 也是当前机床发展的重要课题, 目前正在发展以原子直径为单位的微细加工, 也称为超精密加工。这种加工技术开辟了新的加工领域, 如激光加工、化学加工等, 这样又扩大了机床的应用范畴。

在一般数控机床的基础上, 近年来加工中心机床 (MC) 有了很大发展。它可以自动选刀、换刀, 自动连续地对各个加工面完成铣削、镗削、铰孔及攻螺纹等多工序加工, 改变了过去小批量生产中一人、一机、一刀的局面, 而把许多相关的分散工序集中在一起, 形成一个以工件为中心的多工序自动加工机床。

自适应数控机床是一种按照加工过程所发生的变化, 自动调整到最佳切削条件的一种数控机床。自适应数控机床在工业发达国家, 在 20 世纪 60 年代末就有了正式产品, 现已有自适应数控车床、铣床、磨床、钻床及电加工机床等。

用数字程序控制 (NC) 的机床, 即数字控制机床。它综合了现代新技术, 自动程度也较高, 但其控制是由硬件逻辑电路组成的。这种控制灵活性差, 因此后来又出现了用计算机代替硬件逻辑电路的计算机数控 (CNC)。由于这种控制灵活, 通用性也强, 工作可靠, 控制系统又不太复杂, 因此而成为现代数控的基本形式。

在计算机数控发展的同时, 计算机群控系统也在发展。由一台过程计算机直接控制几台、几十台的数控机床, 这就出现了计算机群控系统, 也称为直接数控系统 (DNC)。

自动化进一步发展，是连结生产中各个环节、实现传送各种物质材料的自动化。这就是把一群数控机床用自动传送连结起来，并在计算机统一控制之下形成一个管理和制造相结合的生产整体，它是数控机床、智能机器人、自动化仓库、自动检测与运输技术等新型高技术及计算机辅助设计、辅助制造、生产管理控制等软件技术高度发展的结果。这就是柔性制造系统（FMS）。

综上所述，提高机床加工精度、生产效率都与数控装置的控制能力及控制系统的形式密切相关。

二、机床电力拖动自动控制的基本概念

生产机械一般是由三个基本部分组成的，即工作机构、传动机构及原动机。当原动机为电动机时，也就是说，由电动机通过传动机构带动工作机构进行工作时，这种拖动方式就称为电力拖动。

一般地说，电力拖动系统是将电能转换成机械能，使机器动作的电动机、电气控制装置，以及电动机和机床运动部件相互联系的传动机构。可分为两部分：①电力拖动部分（包括电动机以及使电动机和机床相互联系起来的传动机构）；②电气自动控制部分。

从图 0-1 及图 0-2 示意图中，可清楚地看出卧式车床及数控机床电力拖动系统的两大部分。电力拖动系统主要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，交流拖动是以交流电动机为动力。由于电动机不同，它们的控制装置（控制系统）也就不同。交流拖动系统由于交流电动机结构简单、制造容易、造价低及容易维护等许多特点，在普通机床中仍占主导地位。由于直流电动机具有良好的起动、制动特性和调速性能，能在很宽的范围内进行平滑调速，所以对调速性能要求较高、对速度要求精确控制的机床都采用直流电动机拖动系统。但由于 20 世纪 80 年代以来，高性能交流调速系统的出现，在机床上采用交流拖动的调速系统也逐年增多，打破了过去交直流在调速上的分开格局。

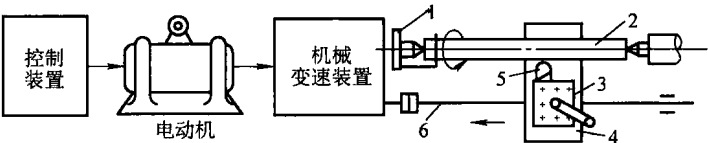


图 0-1 卧式车床加工示意图

1—主轴 2—工件 3—刀架 4—床鞍 5—车刀 6—光杠

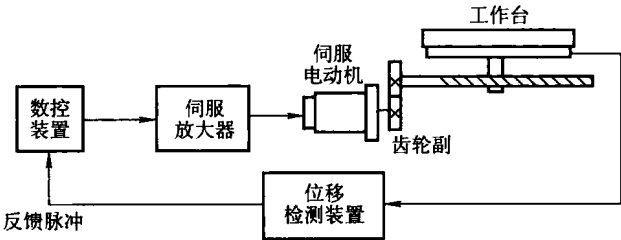


图 0-2 数控机床工作示意图

我们总是把电动机以及与电动机有关联的传动机构合并一起视为电力拖动部分；把满足加工工艺要求使电动机起动、制动、反向、调速等电气控制和电气操纵部分视为电气控制部

分，或为电气自动控制装置。

机床电气自动控制是采用各种控制元件、自动装置，对机床进行自动操纵、自动调节转速、按给定程序和自动适应多种条件的随机变化而选择最优的加工方案，以及工作循环自动化等等。由于数控技术的发展，电子计算机的应用，使机床电气自动控制发展到一个新的水平。

机床电气自动控制课程，就是研究解决机床电气控制有关问题，阐述机床电气控制原理、实际机床控制线路、机床电气控制线路的设计方法及常用电气元件的选择、交直流调速系统以及可编程序控制器等。本书只涉及最基本、最典型的控制线路及控制实例。电气自动控制是各类机床的重要组成部分，因此对机械制造专业及机床设计人员来说应该掌握机床电气控制的基本原理和方法。

第一章 机床继电器控制线路的基本环节

机床一般都是由电动机来拖动的。电动机则是通过某种自动控制方式来进行控制的。在普通机床中多数都由继电器接触器控制方式来实现其控制，尤其是由三相异步电动机拖动的交流拖动系统更是如此。

电器控制线路是由各种有触点的接触器、继电器、按钮、行程开关等电器元件组成的控制线路。

电器控制线路的作用是实现电力拖动系统的起动、反向、制动和调速等运行性能的控制；实现对拖动系统的保护；满足生产工艺要求实现生产加工自动化。各种机床的加工对象和生产工艺要求不同，电器控制线路就不同。有比较简单的，也有相当复杂的。但任何复杂的电器控制线路，也都是由一些比较简单的基本环节按着需要组合而成的。这一章就是介绍电器控制线路的基本环节。

第一节 电气原理图的画法及阅读方法

电力拖动电气控制线路主要由各种电器元件（如接触器、继电器、电阻器、开关）和电动机等用电设备组成。为了设计、研究分析、安装维修时阅读方便，在绘制电气控制线路图时，必须使用国家统一规定的电气图形符号和文字符号。为了查找方便，在书后附录 A、B 有统一标准的电气设备图形和文字符号。

电气设备图样有三类。

一、电气原理图

电气原理图表示电气控制线路的工作原理，以及各电器元件的作用和相互关系，而不考虑各电路元件实际安装的位置和实际连线情况。绘制电气原理图，一般遵循下面的规则：

- 1) 电气控制线路分主电路和控制电路。主电路用粗线绘出，而控制线路用细线画。一般主电路图在左侧，控制电路图在右侧。
- 2) 电气控制线路中，同一电器的各导电部件如线圈和触点常常不画在一起，但用同一文字标明。
- 3) 电气控制线路的全部触点都按“平常”状态绘出。“平常”状

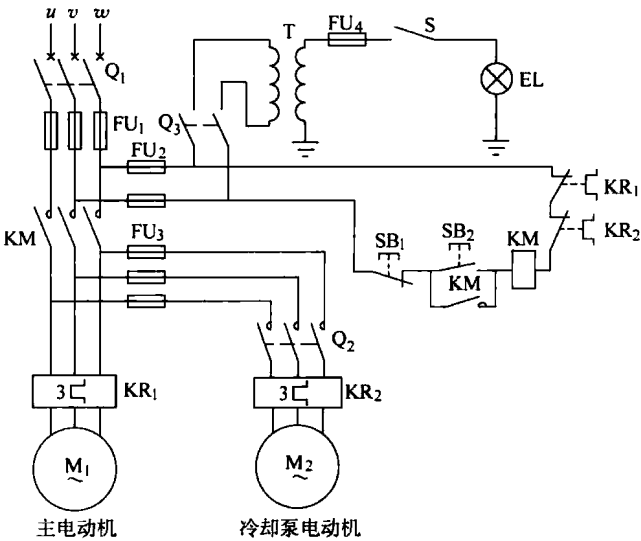


图 1-1 C620 卧式车床电气控制线路

态对接触器、继电器等是指线圈未通电时的触点状态；对按钮、行程开关是指没有受到外力时的触点位置；对主令控制器是指手柄置于“零位”时各触点位置。图 1-1 为卧式车床控制线路的工作原理图。

二、电气设备安装图

表示各种电气设备在机床机械设备和电气控制柜的实际安装位置。各电气元件的安装位置是由机床的结构和工作要求决定的，如电动机要和被拖动的机械部件在一起，行程开关应放在要取得信号的地方，操作元件放在操作方便的地方，一般电气元件应放在控制柜内。

三、电气设备接线图

表示各电气设备之间实际接线情况。绘制接线图时应把各电器元件的各个部分（如触点与线圈）画在一起；文字符号、元件连接顺序、线路号码编制都必须与电气原理图一致。电气设备安装图和接线图是用于安装接线、检查维修和施工的。

第二节 笼型电动机的起动控制线路

笼型异步电动机有直接起动和降压起动两种方式。电工学课程中已讲授如何决定起动方式，我们这里只讨论电气控制线路如何满足各种起动要求。

一、直接起动控制线路

图 1-1 所示 C620 卧式车床电气控制线路中无论主电动机或冷却泵电动机都采用了直接起动的线路。如冷却泵是用开关直接起动的。一般小型台钻和砂轮机等都直接用开关起动，如图 1-2 所示。

图 1-3 是电动机采用接触器直接起动线路，许多中小型卧式车床的主电动机都采用这种起动方式。

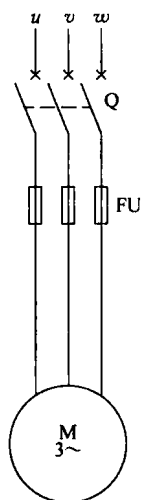


图 1-2 用开关直接起动线路

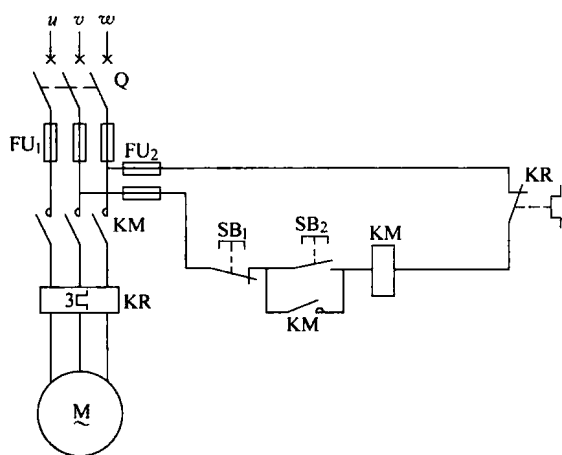


图 1-3 用接触器直接起动线路

控制线路中的接触器辅助触点 KM 是自锁触点。其作用是，当放开起动按钮 SB_2 后，仍可保证 KM 线圈通电，电动机运行。通常将这种用接触器本身的触点来使其线圈保持通电的

环节称作自锁环节。

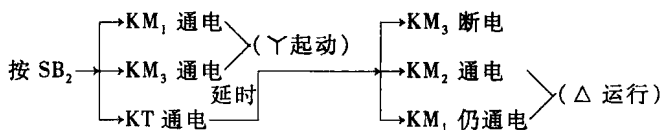
二、降压起动控制线路

较大容量的笼型异步电动机一般都采用降压起动的方式起动。

1. 星—三角降压起动控制线路

在正常运行时，电动机定子绕组是联成三角形的，起动时把它联结成星形，起动即将完毕时再恢复成三角形。目前 4kW 以上的 J02、J03 系列的三相异步电动机定子绕组在正常运行时，都是接成三角形的，对这种电动机就可采用星—三角降压起动。

图 1-4 是一种 Y— Δ 起动线路。从主回路可知，如果控制线路能使电动机接成星形（即 KM_3 主触点闭合），并且经过一段延时后再接成三角形（即 KM_3 主触点打开， KM_2 主触点闭合），则电动机就能实现降压起动，而后再自动转换到正常速度运行。控制线路的工作过程如下：



KM_2 与 KM_3 的动断触点是保证接触器 KM_2 与 KM_3 不会同时通电，以防电源短路。 KM_2 的动断触点同时也使时间继电器 KT 断电（起动后不需要 KT 得电）。

图 1-5 是用两个接触器和一个时间继电器进行 Y— Δ 转换的降压起动控制线路。电动机连成 Y 或 Δ 都是由接触器 KM_2 完成的。 KM_2 断电时电动机绕组由其动断触点连接成 Y； KM_2 通电时电动机绕组由其动合触点连接成 Δ 。对 4~13kW 的电动机，可采用图 1-5 两个接触器的控制线路，电动机容量大时可采用三个接触器控制线路。图 1-5 与图 1-4 的工作原理基本相同，可自行分析。

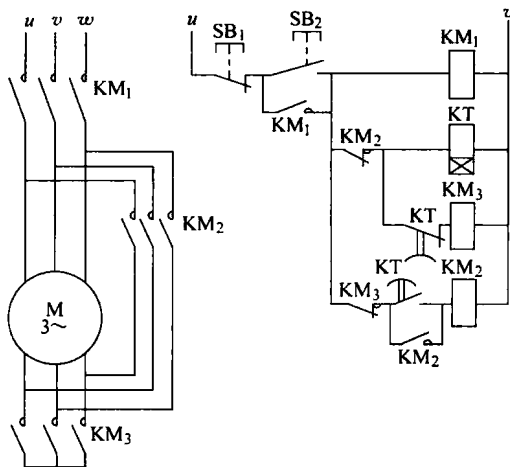


图 1-4 Y— Δ 降压起动控制线路 (1)

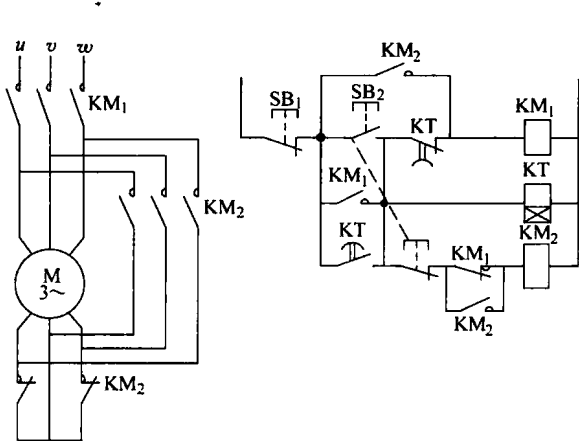


图 1-5 Y— Δ 降压起动控制线路 (2)

2. 定子串电阻降压起动控制线路

图 1-6 是定子串电阻降压起动控制线路。电动机起动时在三相定子电路中串接电阻，使电动机定子绕组电压降低，起动后再将电阻短路，电动机仍然在正常电压下运行。这种起动

从图 1-7a 可知, 按下 SB_2 , 正向接触器 KM_1 得电动作, 主触点闭合, 使电动机正转。按停止按钮 SB_1 , 电动机停止。按下 SB_3 , 反向接触器 KM_2 得电动作, 其主触点闭合, 使电动机定子绕组与正转时相比相序反了, 则电动机反转。

从主回路看, 如果 KM_1 、 KM_2 同时通电动作, 就会造成主回路短路。在线路图 1-7a 中如果按了 SB_2 又按了 SB_3 , 就会造成上述事故。因此这种线路是不能采用的。线路图 1-7b 把接触器的动断辅助触点互相串联在对方的控制回路中进行联锁控制。这样当 KM_1 得电时, 由于 KM_1 的动断触点打开, 使 KM_2 不能通电。此时即使按下 SB_2 按钮, 也不能造成短路。反之也是一样。接触器辅助触点这种相互制约关系成为“联锁”或“互锁”。

在机床控制线路中, 这种联锁关系应用极为广泛。凡是有相反动作, 如工作台上下、左右移动; 机床主轴电动机必须在液压泵电动机工作后才能起动, 工作台才能移动等等, 都需要有类似这种联锁控制。

如果现在电动机正在正转, 想要反转, 则线路图 1-7b 必须先按停止按钮 SB_1 后, 再按反向按钮 SB_3 才能实现, 显然操作不方便。线路 1-7c 利用复合按钮 SB_2 , SB_3 就可直接实现由正转变成反转。

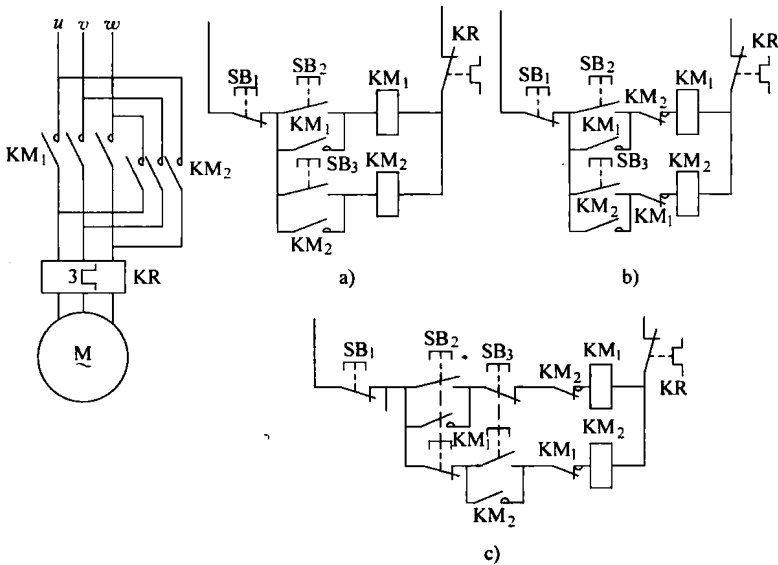


图 1-7 异步电动机正反转控制线路

很显然采用复合按钮, 还可以起到联锁作用, 这是由于按下 SB_2 时, 只有 KM_1 得电动作, 同时 KM_2 回路被切断。同理按下 SB_3 时, 只有 KM_2 得电, 同时 KM_1 回路被切断。

但只用按钮进行联锁, 而不用接触器动断触点之间的联锁, 是不可靠的。在实际中可能出现这种情况, 由于负载短路或大电流的长期作用, 接触器的主触点被强烈的电弧“烧焊”在一起, 或者接触器的机构失灵, 使衔铁卡住总是在吸合状态, 这都可能使主触点不能断开, 这时如果另一接触器动作, 就会造成电源短路事故。

如果用的是接触器动断触点进行联锁, 不论什么原因, 只要一个接触器是吸合状态, 它的联锁动断触点就必然将另一接触器线圈电路切断, 这就能避免事故的发生。

二、正反转自动循环线路

图 1-8 是机床工作台往返循环的控制线路。实质上是用行程开关来自动实现电动机的正反转的。组合机床、龙门刨床、铣床的工作台常用这种线路实现往返循环。

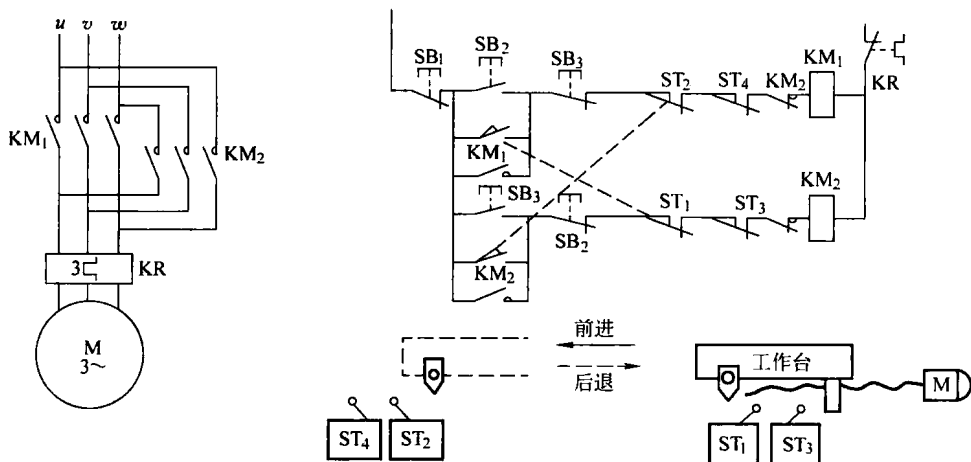


图 1-8 行程开关控制的正反转线路

ST_1 、 ST_2 、 ST_3 、 ST_4 为行程开关，按要求安装在固定的位置上，当撞块压下行程开关时，其动合触点闭合，动断触点打开。其实这是按一定的行程用撞块压行程开关，代替了人按按钮。

按下正向起动按钮 SB_2 ，接触器 KM_1 得电动作并自锁，电动机正转使工作台前进。当运行到 ST_2 位置时，撞块压下 ST_2 ， ST_2 动断触点使 KM_1 断电，但 ST_2 的动合触点使 KM_2 得电动作并自锁，电动机反转使工作台后退。当撞块又压下 ST_1 时，使 KM_2 断电， KM_1 又得电动作，电动机又正转使工作台前进，这样可一直循环下去。

SB_1 为停止按钮。 SB_2 与 SB_3 为不同方向的复合起动按钮。之所以用复合按钮，是为了满足改变工作台方向时，不按停止按钮可直接操作。限位开关 ST_3 与 ST_4 安装在极限位置，当由于某种故障，工作台到达 ST_1 （或 ST_2 ）位置而未能切断 KM_2 （或 KM_1 ）时，工作台将继续移动到极限位置，压下 ST_3 （或 ST_4 ），此时最终把控制回路断开，使电动机停止转动，避免工作台由于越出允许位置所导致的事故。因此 ST_3 、 ST_4 起限位保护作用。

上述这种用行程开关按照机床运动部件的位置或机件的位置变化所进行的控制，称作按行程原则的自动控制，或称行程控制。行程控制是机床和生产自动线应用最为广泛的控制方式之一。

第四节 电动机制动控制线路

许多机床，如万能铣床、卧式镗床、组合机床等，都要求能迅速停车和准确定位。这就要求对电动机进行制动，强迫其立即停车。制动停车的方式有两大类，即机械制动和电气制动。机械制动采用机械抱闸或液压装置制动；电气制动实质是使电动机产生一个与原来转子的转动方向相反的制动转矩。机床中经常应用的电气制动是能耗制动和反接制动。

一、能耗制动控制线路

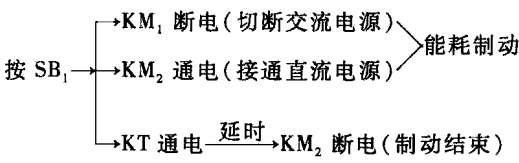
能耗制动是在三相异步电动机要停车时切除三相电源的同时，把定子绕组接通直流电

源，在转速为零时再切除直流电源的制动过程。

控制线路就是为了实现上述的过程而设计的，这种制动方法，实质上是把转子原来储存的机械能，转变成电能，又消耗在转子的制动上，所以称做能耗制动。

图 1-9a、b 是分别用复合按钮与时间继电器实现能耗制动的控制线路。图中整流装置由变压器和整流元件组成。 KM_2 为制动用接触器； KT 为时间继电器。图 1-9a 是一种手动控制的简单能耗制动线路。要停车时按下 SB_1 按钮，到制动结束放开按钮。图 1-9b 可实现自动控制，简化了操作。控制线路工作过程如下：

按 $SB_2 \rightarrow KM_1$ 通电（电动机起动）



制动作用的强弱与通入直流电流的大小和电动机转速有关，在同样的转速下电流越大制动作作用越强。一般取直流电流为电动机空载电流的 3 ~ 4 倍，过大会使定子过热。图 1-9 直流电源中串联的可调电阻 RP ，可调节制动电流的大小。很显然图 1-9b 能耗制动控制线路是用时间继电器按时间控制的原则组成的线路。

二、反接制动控制线路

电工学课程中已经讲过，反接制动实质上是改变异步电动机定子绕组中的三相电源的相序，产生与转子转动方向相反的转矩，因而起制动作用。

反接制动过程为：当想要停车时，首先将三相电源切换，然后当电动机转速接近零时，再将三相电源切除。控制线路就是要实现这一过程。

图 1-10a、b 都为反接制动的控制线路。我们知道电动机正在正方向运行时，如果把电源反接，电动机转速将由正转急速下降到零。如果反接电源不及时切除，则电动机又要从零速反向起动运行。所以我们必须在电动机制动到零速时，将反接电源切断，电动机才能真正停下来。控制线路是用速度继电器来“判断”电动机的停与转的。电动机与速度继电器的转子是同轴连接在一起的，电动机转动时，速度继电器的动合触点闭合，电动机转动停止时动合触点打开。

线路图 1-10a 工作过程如下：

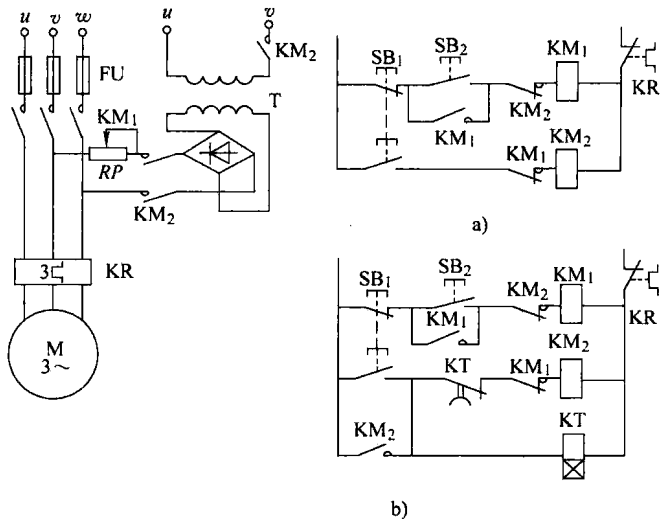
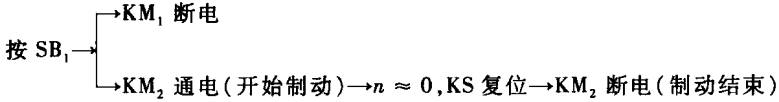


图 1-9 能耗制动控制线路

按 $SB_2 \rightarrow KM_1$ 通电 (电动机正转运行) $\rightarrow KS$ 的动合触点闭合



线路图 1-10a 有这样一个问题: 在停车期间, 如为调整工件, 需要用手转动机床主轴时, 速度继电器的转子也将随着转动, 其动合触点闭合, 接触器 KM_2 得电动作, 电动机接通电源发生制动作用, 不利于调整工作。线路图 1-10b 的 X62W 铣床主轴电动机的反接制动线路解决了这个问题。控制线路中停止按钮使用了复合按钮 SB , 并在其动合触点上并联了 KM_2 的动合触点, 使 KM_2 能自锁。这样在用手转动电动机时, 虽然 KS 的动合触点闭合, 但只要不按停止按钮 SB_1 , KM_2 不会得电, 电动机也就不会反接于电源, 只有操作停止按钮 SB_1 时, KM_2 才能得电, 制动线路才能接通。

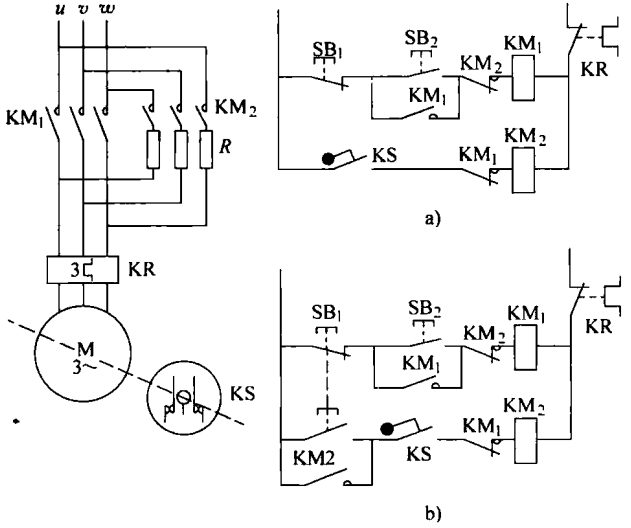


图 1-10 反接制动控制线路

因电动机反接制动电流很大, 故在主回路中串入电阻 R , 可防止制动时电动机绕组过热。

反接制动时, 旋转磁场的相对速度很大, 定子电流也很大, 因此制动效果显著。但在制动过程中有冲击, 对传动部件有害, 能量消耗较大。故用于不太经常起制动的设备, 如铣床、镗床、中型车床主轴的制动。

能耗制动与反接制动相比较, 具有制动准确、平稳、能量消耗小等优点。但制动力较弱, 特别是在低速时尤为突出。另外它还需要直流电源。故适用于要求制动准确、平稳的场合, 如磨床、龙门刨床及组合机床的主轴定位等。但这两种方法在机床中都有较广泛的应用。

第五节 双速电动机高低速控制线路

双速电动机在机床中, 如车床、铣床、镗床等都有较多应用。双速电动机是由改变定子绕组的磁极对数来改变其转速的。如图 1-11 所示将出线端 D_1 、 D_2 、 D_3 接电源, D_4 、 D_5 、 D_6 端悬空, 则绕组为三角形接法, 每相绕组中两个线圈串联, 成四个极, 电动机为低速; 当出线端 D_1 、 D_2 、 D_3 短接, 而 D_4 、 D_5 、 D_6 接电源, 则绕组为双星形, 每相绕组中两个线圈并联, 成两个极, 电动机为高速。

图 1-11 是三种双速电动机高、低速控制线路。图 1-11 接触器 KM_1 动作为低速, KM_H 动

作为高速。图 1-11a 用开关 S 实现高、低速控制；图 1-11b 用复合按钮 SB₂ 和 SB₃ 来实现高、低速控制。采用复合按钮连锁，可使高低速直接转换，而不必经过停止按钮。

图 1-11c 用开关 S 转换高低速。接触器 KM_L 动作，电动机为低速运行状态；接触器 KM_H 和 KM 动作时，电动机为高速运行状态。当开关 S 打到高速时，由时间继电器的两个触点首先接通低速，经延时后自动切换到高速，以便限制起动电流。

对功率较小的电动机可采用图 1-11a、b 的控制方式，对较大容量的电动机可采用图 1-11c 的控制方式。

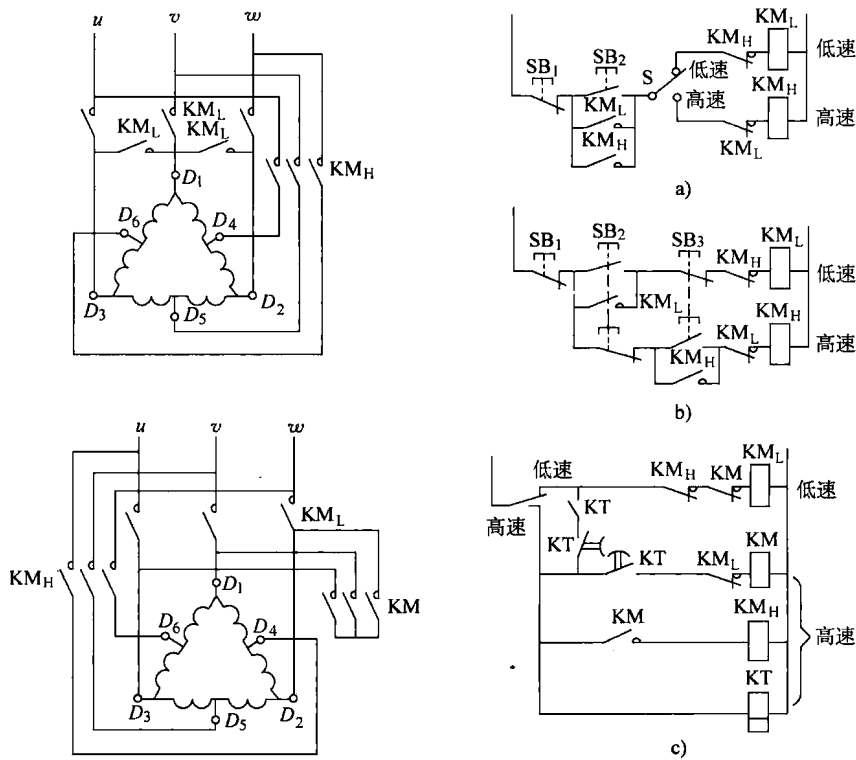


图 1-11 双速电动机高、低速控制线路

第六节 电液控制

液压传动系统和电气控制线路相结合的电液控制系统在组合机床、自动化机床、生产自动线、数控机床等中的应用越来越广泛。

液压传动系统易获得很大的力矩，运动传递平稳、均匀，准确可靠，控制方便，易实现自动化。

一、电磁换向阀

液压传动系统由 4 个部分组成：

- 1) 动力装置（液压泵）。
- 2) 执行机构（液压缸或液压马达）。
- 3) 控制调节装置（溢流阀、节流阀、换向阀等）。