

5/1

070

103070

高等学校教材

机床电气自动控制

(修订本)

东北重型机械学院 齐占庆 主编

BAO DENG XUE
KIAO JIAO CAI

机械工业出版社

TG5/1

108070

高等学校教材

机床电气自动控制

(修订本)

东北重型机械学院 齐占庆 主编



机械工业出版社

本书共六章，主要内容有：机床电气控制线路的典型环节及典型机床电气控制线路分析、机床电气控制线路的一般设计方法与电气元件的选择、机床的可控硅直流调速系统及顺序控制器的基本原理。同时还介绍了机床数控装置的原理、组成和程序编制。

该教材既注意反映我国机床电气控制的现状，也注意了新技术发展的需要。理论联系实际，以适应机械制造专业学生学习的要求。

本书可作为机械制造工艺及设备专业教材及有关专业师生和工程技术人员参考。

机床电气自动控制

(修订本)

东北重型机械学院 齐占庆 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 12·字数 290 千字

1980年9月北京第一版

1987年6月北京第二版·1987年6月北京第八次印刷

印数 132,201—159,400·定价 2.05元

*

统一书号：15033·4841

前 言

《机床电气自动控制》一书第一版是1980年出版的。几年来,在机械制造工艺与设备专业教材编审委员会征求各院校对使用该教材意见的基础上,重新汇总并拟订了《机床电气自动控制教材编写大纲》,在1984年3月福州会议修改通过。本书是依据这份大纲重新编写的。并经机床电气自动控制教材编审小组审阅,讨论修改定稿。可作为高等工业院校机械制造工艺与设备专业机床电气自动控制课程的教材。

全书共六章,主要内容有:机床电气控制线路典型环节及典型机床电气控制线路分析、机床电气控制线路的一般设计方法及电气元件的选择、机床的可控硅直流调速系统、顺序控制器的基本原理、机床数控装置的基本原理及其组成,以及数控机床的程序编制等。每一章都编有“思考与练习”,使学生对所学的理论能进一步的理解和掌握。

教材既注意了反映我国机床电气控制的现状,也注意了机床控制新技术发展的需要,同时也力求写得适合机制专业学习“电气控制”的特点。在教材的内容上,不但注意了基础理论,而且注意了理论和实际相结合,以适应机制专业学习的要求。

考虑到许多院校已设“数控机床”课,第六章机床的数字控制可不讲授,不计在学时之内,总之,对这一部分内容取舍可根据各院校的具体情况而定。其它章节也可根据各院校的需要而增减。

本书由东北重型机械学院齐占庆副教授主编、于长洋和谢绪强同志协编。其中绪论、第一、三、四、五章由齐占庆同志编写;第二章由于长洋同志编写(§2-5节由齐占庆同志编写);第六章由谢绪强同志编写。

本书由武汉纺织工学院徐云程副教授主审。河北工学院沈安俊教授、哈尔滨工业大学赵昌颖教授、东北重型机械学院臧瀛芝教授以及天津大学、吉林工业大学、浙江大学、上海交通大学、甘肃工业大学、江苏工学院等院校对书稿都提了不少有益的建议,在此一并表示衷心感谢。

本书除作为机制专业教材外,也可供其它有关专业师生以及从事电气方面工作的工程技术人员参考。

由于编者思想、业务水平有限,加之编写时间仓促,本书不妥之处必定不少,敬请读者批评指正。

编 者
1985年10月

目 录

绪论	1	§ 2-2 Z3040型摇臂钻床的电气控制 线路	31
一、机床电气自动控制的发展概况	1	一、主电路	31
二、机床电力拖动自动控制的基本概念	3	二、控制电路、信号及照明电路	31
第一章 机床控制线路的基本环节	5	§ 2-3 X62W万能升降台铣床电气控制 线路	34
§ 1-1 电气原理图的画法及阅读方法	5	一、电气线路概述	36
§ 1-2 鼠笼式电动机的起动控制线路	6	二、控制线路	37
一、直接起动控制线路	6	三、圆形工作台的控制	39
二、降压起动控制线路	6	§ 2-4 T68卧式镗床的电气控制线路	39
§ 1-3 电动机正反转控制线路	8	一、电气控制线路的特点	40
一、电动机正反转线路	8	二、控制线路的工作原理	40
二、正反转自动循环线路	9	§ 2-5 组合机床电气控制线路	43
§ 1-4 电动机制动控制线路	10	一、主电路	44
一、能耗制动控制线路	10	二、液压回转工作台回转控制线路	44
二、反接制动控制线路	11	三、液压力头控制线路	48
§ 1-5 双速电机高低速控制线路	12	四、DU型组合机床单机的自动工作循 环的控制	48
§ 1-6 电液控制	13	思考与练习(二)	48
一、电磁换向阀	13	第三章 机床电气控制线路的设计及 电气元件的选择	51
二、液压力头控制线路	14	§ 3-1 机床电气设计的一般内容	51
三、半自动车床刀架纵进一横进一快 退电液控制线路	16	§ 3-2 电动机的选择	53
§ 1-7 控制线路的其他基本环节	16	一、机床用电动机容量的确定	53
一、点动控制	16	二、电动机转速的选择	54
二、连锁与互锁	17	三、电动机的结构型式	55
三、多点控制	18	§ 3-3 机床继电器控制线路的设计	55
四、工作循环自动控制	18	一、控制线路的设计规律	56
§ 1-8 电动机的保护	20	二、控制线路设计的一般问题	57
一、短路保护	20	§ 3-4 机床常用电器的选择	59
二、过载保护	20	一、按钮、刀开关、组合开关、行程 开关的选用	59
三、过电流保护	20	二、自动开关	60
四、零电压与欠电压保护	21	三、交流接触器的技术数据及选择	60
五、弱磁保护	22	四、熔断器的技术数据及其选择	61
思考与练习(一)	22	五、热继电器的技术数据及其选择	62
第二章 机床电气控制线路的分析	24	六、中间继电器的选用	63
§ 2-1 普通车床的电气控制线路	24	七、时间继电器的选用	64
一、CW6163B型万能普通车床的控 制线路	25		
二、C616普通车床的电气控制线路	26		
三、C650普通车床的电气控制线路	27		

八、控制变压器的选择	64
§ 3-5 机床电气控制线路设计举例	65
一、机床传动的总体方案	66
二、电气控制线路的设计	66
三、选择电气元件	68
四、制定电气元件明细表	68
五、绘制电气线路接线图	68
思考与练习(三)	71

第四章 直流自动调速系统

§ 4-1 机床的速度调节	72
一、机床对调速的要求	72
二、调速指标	74
三、恒功率负载, 恒转矩负载的速度调节	75
§ 4-2 反馈控制的基本概念	78
一、减少转速降落与扩大调速范围	78
二、通过反馈控制实现速度自动调整	80
§ 4-3 转速负反馈自动调速系统	80
一、转速负反馈调速系统的组成及工作原理	81
二、转速负反馈调速系统静特性分析	82
三、静特性计算举例	85
§ 4-4 电压负反馈、电压负反馈和电流正反馈自动调速系统	85
一、电压负反馈环节	86
二、电压负反馈和电流正反馈调速系统	86
§ 4-5 具有电流截止负反馈的自动调速系统	87
一、电流截止负反馈的作用	87
二、具有电流截止负反馈的自动调速系统	88
§ 4-6 无静差自动调速系统	89
一、比例(P)、比例积分(PI)调节器	90
二、采用PI调节器的单闭环自动调速系统	92
三、带有速度调节和电流调节的双闭环调速系统	94
§ 4-7 可控硅—电动机直流调速系统举例	98
一、调速系统的组成和调速原理	98

二、电气线路的工作原理	99
思考与练习(四)	105
第五章 顺序控制器	106
§ 5-1 概述	106
§ 5-2 逻辑组合式顺序控制器	107
一、旁路原理	107
二、基本逻辑关系	107
三、基本控制环节	109
四、逻辑组合式顺序控制器组成原理	111
五、逻辑组合式顺序控制器的程序编制	112
§ 5-3 步进式顺序控制器	114
一、步进式顺序控制器的组成及工作原理	114
二、步进式顺序控制器的程序编制	117
§ 5-4 SK ₂ 型顺序控制器	119
一、SK ₂ 型顺序控制器的组成及工作原理	119
二、连锁矩阵的工作原理	120
三、跳选电路	120
四、计数、计时电路	122
思考与练习(五)	122
第六章 机床的数字控制	123
§ 6-1 概述	123
一、数控机床的基本工作原理	123
二、数控机床的分类	126
三、数控机床的发展	127
§ 6-2 插补原理及程序编制	132
一、圆弧插补计算	133
二、直线插补计算	135
三、程序编制	137
§ 6-3 系统程序	147
一、系统程序的组成	147
二、系统程序子程序举例	149
§ 6-4 CWK-2A普通车床微机控制装置	159
一、装置简介	159
二、TP801单板微型计算机	159
三、输出驱动系统	160
四、步进电机	162
五、零件加工程序	163
附录	168
参考文献	186

绪 论

一、机床电气自动控制的发展概况

一切部门的生产机械设备，绝大多数是由机床加工而成的，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。机床的自动化水平对提高生产率、提高产品质量、减轻体力劳动等方面都起到极为重要的作用。

机床的电气自动控制对于现代机床的发展有着非常重要的作用。从广义上说，现代机床电气自动控制的重要标志是：自动调节技术、电子技术、检测技术、计算技术、综合控制技术在机床中的应用。虽然目前机床使用各种不同的动力设备，如液压装置、气压装置及电气设备等，但其中电气设备使用最广泛，是最主要的动力设备。即使使用液压或气压装置做动力，也离不开电气控制，因此说机床自动化水平，电气自动控制装置是它的重要标志。

机床的拖动装置发展迅速，变革很大。二十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，是由一台电动机拖动一组若干台机床，称为成组拖动。

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，不适于现代化生产的需要。二十世纪二十年代，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，机床结构上的改变，床体的增大，尤其是运动相应的增多，这样各种辅助运动也由一台电动机拖动，其机械传动机构就变成十分复杂，而且满足不了生产工艺上的要求，因此出现由多台电动机分别拖动各运动机构的多电机拖动。

多电机拖动被采用后，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。

由于直流调速性能好，调速范围可相应的扩大，调速精度高，调速平滑性强，在二十世纪三十年代出现直流发电机—电动机组的调速系统，以及通过电机放大机等元件实现控制的自动调速系统。由于可控硅等大功率整流元件的出现，变流技术的发展，可控硅—电动机直流调速系统，在新生产的机床中，已越来越多的被采用。

在机床电气控制方面，最初是采用手动控制，后来除了少数容量小，动作单一的机床（如小型台钻，砂轮机等），使用手动控制电器外，多采用了继电器—接触器的自动控制方式。这种控制方式，可以实现对机床各种运动的控制，如起动、停止、反转、改变速度等等。它控制方法简单直接、工作稳定、成本低，能在一定范围内适应单机和生产自动线的需要。

但继电器接触器控制系统，由于它的固定接线，使用的单一性，即一台控制装置只能针对某一个一种固定程序的设备，一旦工艺程序有所变动，就得重新配线。满足不了对程序经常

改变, 控制要求比较复杂系统的需要。

多年来, 一种新型的控制装置——顺序控制器, 得到迅速发展, 它通过编码、逻辑组合来改变程序, 实现对程序需要经常变动的控制要求。使机床控制系统具有更大的灵活性和通用性。它的主要特点是: 通用性强、程序可变、编程容易、可靠性较高、使用维护方便。它在机械制造业的应用, 提高了机床自动化水平。

由于三十年来电子技术、计算技术、现代工程控制理论、精密测量及机床结构设计各领域的最新技术的发展, 推动了机床技术的新发展。数控机床就是应用上述各领域新技术而发展起来的一种自动化程度很高的新型机床。又由于现代尖端技术发展的结果, 各种半导体器件、精密仪器、光学器械及控制装置对加工精度要求越来越高。因此继续提高机床的加工精度, 也是当前机床发展的重要问题。目前正在发展以原子直径为单位的微细加工, 也叫超精度加工。这种加工技术开辟了新的加工领域, 如激光加工、化学加工、电子束加工等, 这样又扩大了机床的范畴。对自动控制系统的功能要求也越来越高, 用计算技术控制自动化生产中的加工精度是一项有发展前途的课题。

现代数控机床经过二十多年的迅速发展, 品种日益增多。从品种发展趋势上看有两个方面: 一个是强调机床有“万能性”, 来适应较广泛的加工要求; 另一个是强调机床的专门化, 目标是针对一定的加工范围, 尽可能提高生产效率, 即发展专用性的通用数控机床。目前后一种的发展趋势越来越大。

现代机床技术从“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、工业机器人等机床自动化手段, 使机床自动化技术, 进一步提高到逐步代替人在生产中的部分脑力劳动的阶段。

在一般数控机床的基础上, 近年来加工中心机床有了很大发展。它的特点是: 有一套自动换刀装置, 控制系统能控制机床自动更换刀具, 连续地对各个加工面自动地完成铣削、镗削、钻孔及攻丝等多工序加工。因此它又称为多工序自动换刀数控机床。它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。

近年来又出现所谓加工过程最佳化控制方式。“最佳化”泛指人通过思维决定方案的过程也交给机器自动完成。由于计算机的快速运算能力, 能对瞬息万变的生产过程, 如金属材料硬度不同, 工件在切削过程变形等及时做出合理的反应。控制系统能根据变化的情况自动校正某些工艺参数, 适应每个加工过程的情况。所以对改进产品质量、提高生产效率, 都能收到良好的效果。

自适应数控机床, 就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先进国家 1968 年就有了正式产品, 现已有自适应数控车床、铣床、磨床、钻床及电加工机床等。自适应控制机床, 在正确使用条件下, 它是提高机械加工效率的有效手段。

普通数控装置的控制逻辑是由固定接线的硬件结构实现的。其逻辑功能是固定的。用计算机代替数控装置的逻辑电路去完成数控功能, 就是所谓的计算机数控 (CNC)。计算机具有的数控功能, 是由“控制程序”决定的, 对不同的要求, 只要改变一下“控制程序”即可。由于微处理器、微型计算机的出现, 计算机成本大大降低。因此在工业发达的国家所生产的数控装置大部分都是计算机数控了。

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，甚至上百台的数控机床，这就是“计算机群控系统”，也称为直接数控系统(DNC)。

自动化的进一步发展，是连接生产中各个环节，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，就是所谓计算机群控自动线，国外也叫柔性制造系统(FMS)。

计算机群控自动线进一步发展，就是探讨使整个生产达到全自动化，实现无人自动化工厂，也就是所谓“系统工程学”在机械制造中的应用。近年来工业发达的国家，已完成无人自动化工厂的模型设计，设计制定了基本原理、功能、结构、辅助系统等，并已开始建造，将陆续投产。

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。特别是在计算技术的推动下，生产过程自动化程度迅速提高，逐渐把过去分散工作的单元紧密地结合在一起，向着综合自动化方向发展，是机械制造业应考虑的问题。

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，这种拖动方式就叫做电力拖动。

一般说来，电力拖动系统是指将电能转换成机械能，能使机器动作的电动机、电气控制线路(或其它控制装置)，以及电动机和机床运动部件相互联系的传动机构。它可分为两部分：

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1及图2示意图中，可清楚地看出普通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，它们的电气控制装置也就不同，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。但是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，对速度要精确控制的机床都采用直流电动机拖动系统。

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“电气自动控制”部分，或称电气自动控制装置。

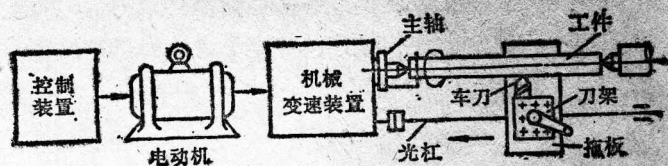


图1 普通车床加工示意图

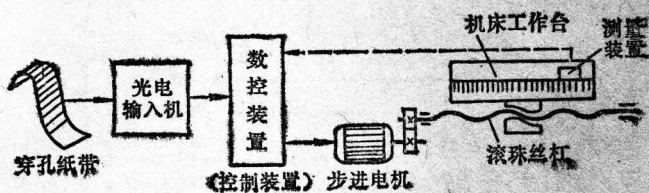


图2 数控机床工作示意图

4

机床电气自动控制，是采用各种自动控制元件、自动装置，对机床进行自动操纵，包括自动起动、制动、正反向、调速、自动调节转速，自动维持功率或转矩恒定，按给定程序或事先不知道的规律改变速度、改变转向和工作机构位置，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，向着生产过程自动化方向发展。应用计算机可以不断地整理大规模复杂生产过程中的大量数据，并且计算出最佳运行参数，通过控制装置及时的调整各运动部件，使之保持在最合理的运行状态，因而能够高速度，高质量地进行加工。

各类机床采用自动控制技术后，操作者只要按电钮、旋转手柄或者发出加工指令，就能使设备进行工作，而且可以无需操作者参与生产过程的工作，设备就能按预先规定好的加工程序进行加工。

机床电气自动控制系统类型很多，如果按使用的电气设备分，主要有继电器—接触器控制系统；电机放大机控制的直流调速系统；可控硅—电动机直流调速系统；数字控制系统；计算机数控系统等。

《机床电气自动控制》课程，就是研究解决机床的电气控制有关问题，阐述机床电气控制原理、实际控制线路、机床电气控制线路的设计方法及电气元件的选择。电气自动控制是各类机床重要组成部分，因此对机制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接触器控制方式来实现其控制的。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、行程开关等组成的控制线路。

电器控制线路的作用是实现对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。

§ 1-1 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图形符号和文字符号。为了查找方便在书后附有统一标准的电工设备图形和文字符号。

电气设备图纸有三类。

1. 电气原理图

电气原理图表示电气控制线路的工作原理，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。主电路用粗线画出，而控制线路用细线画。一般主电路画在左侧，控制电路画在右侧。

(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，而是用同一文字标明。如接触器C的线圈和触点都用C表示。

(3) 电气控制线路的全部触点都按“平常”状态画出。“平常”状态对接触器、继电

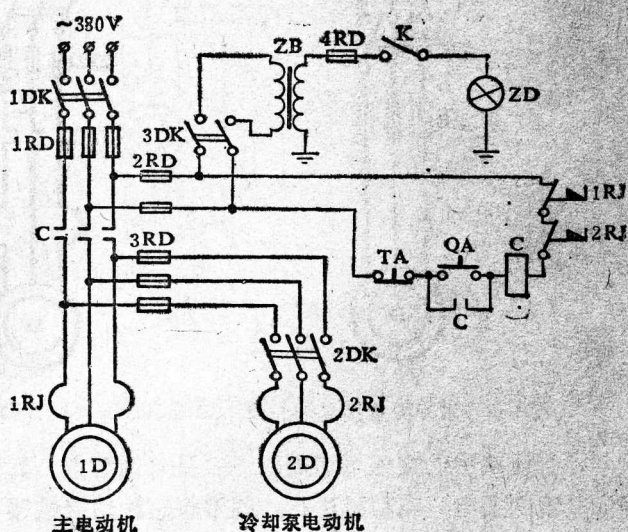


图1-1 C620普通车床电气控制线路

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”时触点位置。图 1-1 为普通车床控制线路的工作原理图。

2. 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，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。

3. 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气元件的各个部分（如触点与线圈）应画在一起；文字符号、元件联接顺序、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。

§ 1-2 鼠笼式电动机的起动控制线路

鼠笼式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 C620 普通车床无论主电机或冷却泵电动机都是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，许多中小型普通车床的主电机都是采用这种起动方式。



图1-2 用开关直接起动线路

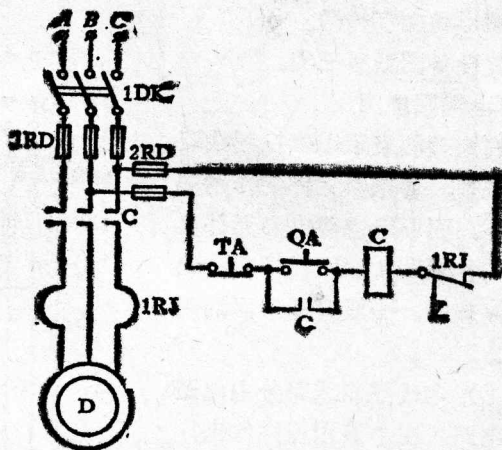


图1-3 用接触器直接起动线路

控制线路中的接触器辅助触点 C 是自锁触点。其作用是，当放开启动按钮 QA 后，仍可保证 C 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叫“自锁”环节。

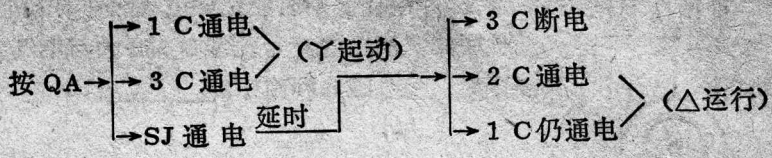
二、降压起动控制线路

较大容量的鼠笼式异步电动机一般都采用降压起动的方式起动。

（一）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，起动时把它联接成星形，起动即将完毕时再恢复成三角形。目前4kW以上的JO2、JO3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3C主触点闭合），并且经过一段延时后再接成三角形（即3C主触点打开，2C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：



2C与3C的常闭触点是保证接触器2C与3C不会同时通电，以防电源短路。2C的常闭触点同时也使时间继电器SJ断电（起动后不再需要SJ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2C完成的。2C断电时电动机绕组由其常闭触点连接成Y；2C通电时电动机绕组由其常开触点连接成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。

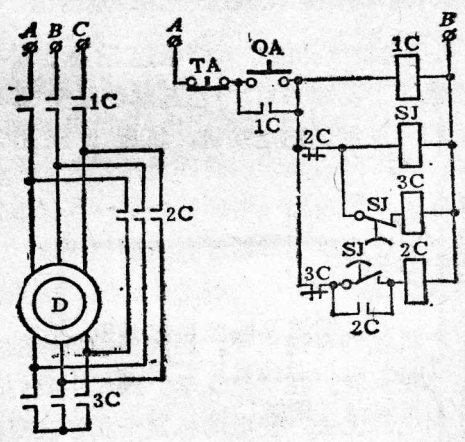


图1-4 Y-Δ降压起动控制线路（1）

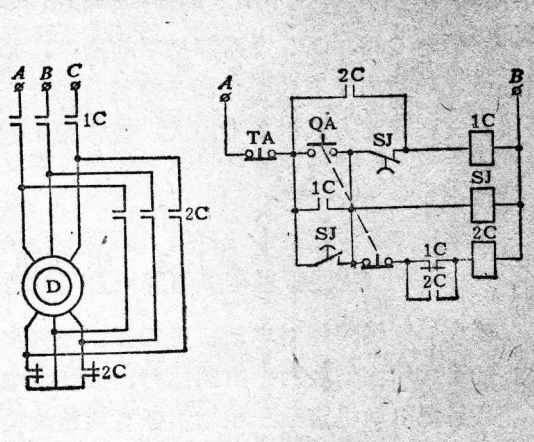
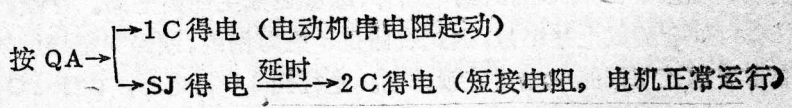


图1-5 Y-Δ降压起动控制线路（2）

（二）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。这种起动方式由于不受电动机接线形式的限制，设备简单，因而在中小型机床中也有应用。机床中也常用这种串电阻的方法限制点动调整时的起动电流。

图1-6 控制线路的工作过程如下：



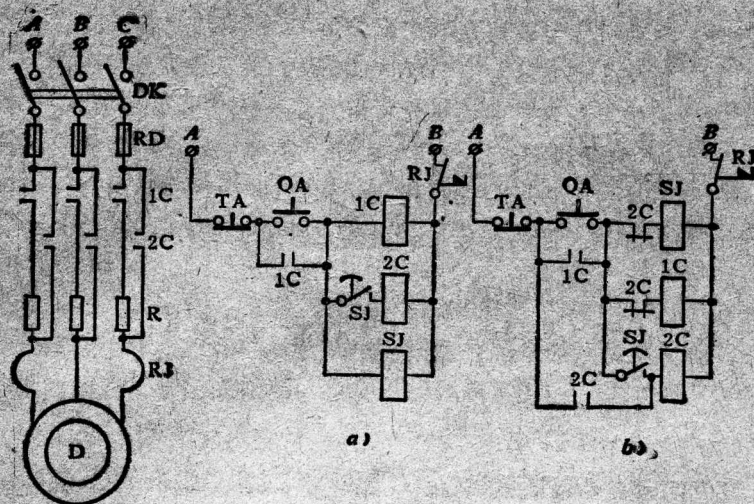


图1-6 电动机定子串电阻降压起动控制线路

只要2C得电就能使电动机正常运行。但线路a在电动机起动后1C与SJ一直得电动作，这是不必要的。线路b就解决了这个问题，接触器2C得电后，其常闭触点将1C及SJ断电，2C并自锁。这样，在电动机起动后，只有2C得电，使电动机正常运行。

补偿器起动是降压起动的另一种形式，实质上是利用自耦变压器降低电动机的起动电压的一种方法。

补偿器QJ3，QJ5系列都是手动操作，XJ01系列是自动操作的自耦降压起动器。补偿器降压起动适用于容量较大和正常运行时定子绕组接成Y形不能采用Y-△起动的鼠笼式电动机。这种起动方式设备费用大，通常用来起动大型和特殊用途的电动机，机床上应用不多。

§ 1-3 电动机正反转控制线路

要求控制线路能对电动机进行正、反向控制是生产机械的普遍需要。因大多数机床的主轴或进给运动都需要两个方向运行，故要求电动机能够正反转。在“电工学”课程中我们知道，只要把电动机定子三相绕组任意两相调换一下接到电源上去，使电动机定子相序改变，从而电动机就可改变方向了。

如果我们用两个接触器1C和2C来完成电动机定子绕组相序的改变，那么由正转与反转起动线路组合起来就成了正反转控制线路。

一、电动机正反转线路

从图1-7a可知，按下1QA，正向接触器1C得电动作，主触点闭合，使电动机正转。按停止按钮TA，电动机停止。按下2QA，反向接触器2C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1C、2C同时通电动作，就会造成主回路短路。在线路a中如果按了1QA，又按了2QA，就会造成上述事故。因此线路是不能采用的。线路b把接触器的常闭辅助触点互相串联在对方的控制回路中进行连锁控制。这样当1C得电时，由于1C的常闭触点打

开,使2C不能通电。此时即使按下2QA按钮,也不会造成短路。反之也是一样。接触器辅助触点这种互相制约关系称为“连锁”或“互锁”。

在机床控制线路中,这种连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油泵电动机工作后才能起动;铣床的主轴电动机起动后,工作台才能移动等等,都需要有类似这种连锁控制。

如果现在电动机正在正转,想要反转,则线路b必须先按停止按钮TA后,再按反向按钮2QA才能实现,显然操作不方便。线路c利用复合按钮1QA,2QA就可直接实现由正转变成反转。

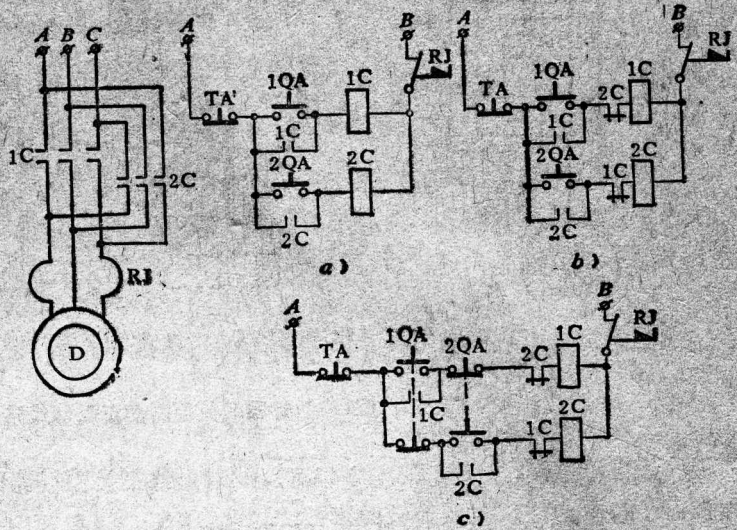


图1-7 异步电动机正反转控制线路

很显然采用复合按钮,还可以起到连锁作用,这是由于按下1QA时,只有1C可得电动作,同时2C回路被切断。同理按下2QA时,只有2C得电。

但只用按钮进行连锁,而不用接触器常闭触点之间的连锁,是不可靠的。在实际中可能出现这样情况,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。

如果用的是接触器常闭触点进行连锁,不论什么原因,只要一个接触器是吸合状态,它的连锁常闭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。

1XK、2XK、3XK、4XK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,其常开触点闭合,常闭触点打开。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1QA,接触器1C得电动作并自锁,电动机正转使工作台前进。当运行到2XK位置时,撞块压下2XK,2XK常闭触点使1C断电,但2XK的常开触点使2C得电动作并自锁,电动机反转使工作台后退。当撞块又压下1XK时,使2C断电,1C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。

TA为停止按钮。1QA与2QA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3XK与4XK安装在极限位置。当由于某种故障,工作台到达1XK(或2XK)位置时,未能切断2C(或1C)时,工作台继

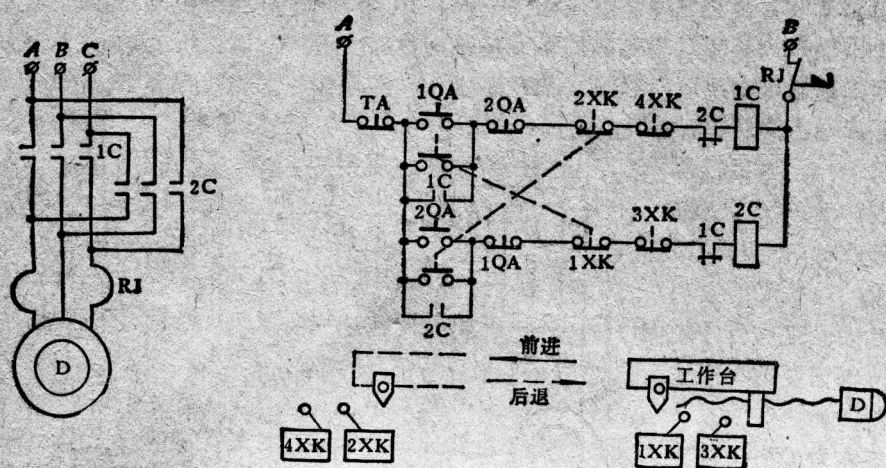


图1-8 行程开关控制的正反转线路

续移动到极限位置，压下 3XK(或 4XK)，此时最终把控制回路断开，使电动机停止，避免工作台由于超出允许位置所导致的事故。因此 3XK、4XK 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。行程控制是机床和机床自动线应用最为广泛的控制方式之一。

§ 1-4 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，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。

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，所以叫做“能耗制动”。

图 1-9 a 与 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。

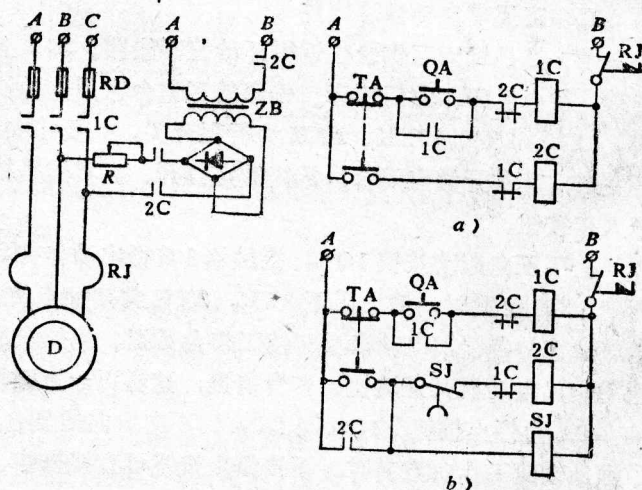
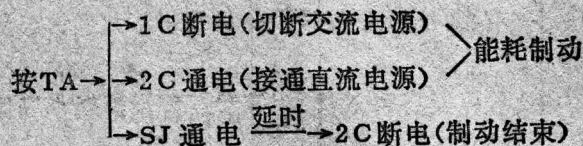


图1-9 能耗制动控制线路

图中整流装置由变压器和整流元件组成。2C为制动用接触器，SJ为时间继电器。

图 1-9 a 是一种手动控制的简单能耗制动线路。要停车时按下 TA 按钮，到制动结束放开按钮。图 1-9 b 可实现自动控制，简化了操作。控制线路工作过程如下：

按 QA → 1C 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用越强。一般取直流电流为电动机空载电流的 3~4 倍，过大将使定子过热。图 1-9 直流电源中串接的可调电阻 R ，可调节制动电流的大小。

很显然图 1-9 b 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。

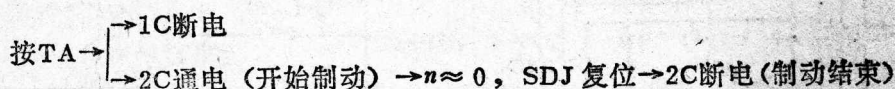
反接制动过程为：当想要停车时，首先将三相电源切换，然后当电动机转速接近零时，再将三相电源切除。控制线路就是要实现这个过程。

图 1-10 a 与 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，速度继电器的常开触点闭合，电动机停止时常开触点打开。

线路 a 工作过程如下：

按 QA → 1C 通电（电动机正转运行）→ SDJ 的常开触点闭合。



线路 a 有这样一个问题：在停车期间，如为调整机件，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，其常开触点闭合，接触器 2C 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 b 是 X62W 铣床主轴电动机的反接制动线路，就解决了这样一个问题。控制线路中停止按钮使用了复合按钮，并在常开触点上并联了 2C 的常开触点，使 2C 能自锁。这样在用手转

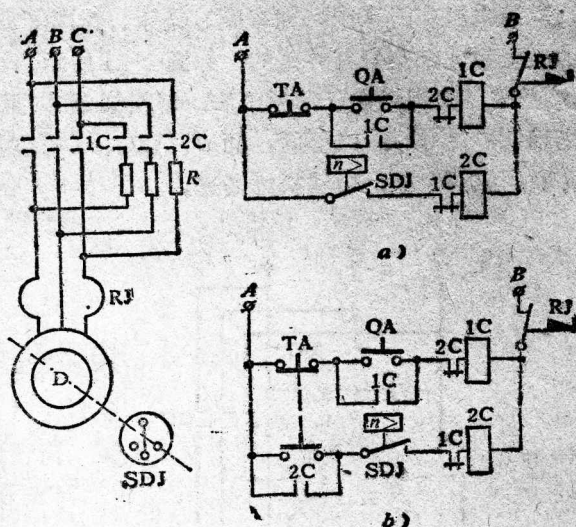


图 1-10 反接制动控制线路