前言

PREFACE

党的二十大报告指出，教育、科技、人才是全面建设社会主义现代化国家的基础性、战略性支撑。必须坚持科技是第一生产力、人才是第一资源、创新是第一动力，深入实施科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略，开辟发展新领域新赛道，不断塑造发展新动能新优势。

电气控制与 PLC 是综合了继电器一接触器控制、计算机技术、自动控制技术和通信技术的一门技术，应用十分广泛。可编程控制器（PLC）已广泛应用于工业控制的各个领域，是现代工业自动化三大支柱（PLC 技术、机器人、计算机辅助设计和制造）之一。特别是西门子 S7 系列 PLC 在过程控制、电力系统、数控机床、道路交通等行业市场占有率较高。

本书在编写过程中，注重工程实践、突出技术应用、精选教学内容，既注重反映电气控制领域的最新技术，又适应学生知识结构和能力特点，强调理论联系实际，注重培养学生分析和解决实际问题能力、工程设计能力和创新能力。本书由两部分组成：第一部分由第 1～4 章组成，介绍电气控制中常用的低压电器、电气控制线路基础知识、电气控制系统线路设计、PLC 基础知识；第二部分由第 5～7 章组成，介绍 S7—1200 PLC 安装维护与开发环境、S7—1200 PLC 的编程指令、S7—1200 PLC 通信及应用。其中，本书的第二部分可以单独作为 S7—1200PLC 教材使用。

因此本书在编写过程中力求做到以下几点。

1.讲究实际

本书简化低压电气控制方面的论述，突出基本环节与常用电器，精选传统电器及继电器一接触器控制内容，大幅度增加应用越来越广泛的 PLC 的内容。

2.强调应用

本书着重介绍逐渐成为主流控制器的西门子 S7—1200PLC，以及以其为核心组成的控制系统设计和应用。介绍 S7—1200 的硬件结构和硬件组态、指令、程序结构、编程软件和仿真软件的使用方法，介绍一整套易学易用的开关量控制系统的编程方法、多种通信网络的使用方法。

3.方便教学

尽可能深入浅出，通俗易懂，采用实际工程案例进行分析、讲解，同时针对以往在组织教学时，有些课程重复介绍可编程控制器相关知识的情况，在本书中较全面、系统地介绍了 PLC 及其应用技术。

本书适用于各类院校电气自动化技术、机电一体化技术、数控技术等相关专业的教学用书，同时可供相关技术管理人员学习参考，也适合从事工控行业的零基础从业者、技能培训学员自学提升，满

足岗位技能学习、设备维修改造、工程实践应用等需求。

在编写本书过程中，编者参考了其他院校的资料及其他相关教材，并得到许多同仁的关心和帮助，在此谨致谢意。限于篇幅及编者的业务水平，在内容上若有局限和欠妥之处，竭诚希望同行和读者提出宝贵的意见。

编　　者

目录

CONTENTS

第一章　常用低压电器 …… 1

- 第一节　低压电器基本知识 …… 2
- 第二节　接触器 …… 5
- 第三节　继电器 …… 8
- 第四节　熔断器 …… 12
- 第五节　开关与断路器 …… 14
- 第六节　主令电器 …… 18
- 练习题 …… 20

第二章　电气控制线路基础知识 …… 23

- 第一节　电气图纸及绘制原则 …… 24
- 第二节　电气控制电路基本控制规律 …… 31
- 第三节　三相异步电动机的启动控制 …… 37
- 第四节　三相异步电动机的制动控制 …… 40
- 第五节　三相异步电动机的调速控制 …… 44
- 第六节　直流电动机的电气控制 …… 46
- 第七节　电气控制系统常用的保护环节 …… 50
- 练习题 …… 52

第三章　电气控制线路设计 …… 55

- 第一节　电气控制系统设计概述 …… 56
- 第二节　电气控制电路的设计方法 …… 60
- 第三节　电气控制线路设计实例 …… 64
- 第四节　典型电气控制线路分析 …… 66
- 练习题 …… 78

第四章　PLC 基础知识 …… 81

- 第一节　PLC 概述 …… 82

- 第二节　PLC 的硬件基础 …… 86
- 第三节　PLC 的软件基础 …… 91
- 第四节　PLC 的工作原理与技术性能 …… 95
- 练习题 …… 98

第五章　S7－1200 PLC 安装维护与开发环境 …… 101

- 第一节　S7－1200 PLC 概述 …… 102
- 第二节　S7－1200 PLC 的安装与拆卸 …… 103
- 第三节　S7－1200 PLC 的接线 …… 106
- 第四节　信号板、信号模块 …… 111
- 第五节　通信板、通信模块 …… 114
- 第六节　S7－1200 PLC 系统配置——功率预算 …… 116
- 第七节　编程软件 …… 117
- 练习题 …… 124

第六章　S7－1200 PLC 的编程指令 …… 127

- 第一节　S7－1200 PLC 编程基础 …… 128
- 第二节　S7－1200 PLC 基本指令 …… 132
- 第三节　S7－1200 PLC 扩展指令 …… 156
- 练习题 …… 158

第七章　S7－1200 PLC 通信及应用 …… 161

- 第一节　S7－1200 PLC 通信概述 …… 162
- 第二节　S7－1200 PLC 以太网通信 …… 169
- 第三节　S7－1200 PLC 的串口通信 …… 176
- 第四节　S7－1200 PLC 与编程设备的通信 …… 182
- 练习题 …… 184

附录 …… 187

- 附录一　常用低压电器的图形符号和文字符号 …… 187
- 附录二　S7－1200 PLC 指令集 …… 191

参考文献 …… 197

第二章

电气控制线路基础知识

本章导航

电气控制线路是指通过电气元器件、电线、电缆等设备和器材，按照一定的电路设计要求，实现对电路的控制和调节，以达到特定的功能和目的。这些线路不仅包括大到高压传输线路，还涵盖小到弱电控制，用于连接电气设备之间，传输电能，实现某种特定控制要求的电路。本章将重点学习电气控制线路基础知识，主要包括电气图纸及绘制原则、电气控制电路基本控制规律以及三相异步电动机的启动、制动和调速控制。同时，将了解常用电气控制系统的保护措施，如短路保护和过载保护，以确保系统的稳定性和可靠性。

学习目标

知识目标

理解电气制图的国际标准和绘制原则；熟悉电气控制电路基本控制规律；掌握三相异步电动机的基本控制环节；理解三相异步电动机的启动控制方式；掌握三相异步电动机的调速控制技术；了解常用电气控制系统的保护措施。

能力目标

能够根据电气制图的国际标准和绘制原则，绘制符合要求的电气图纸；能够设计并实现三相异步电动机的启动、制动和调速控制方式。

思政目标

培养系统思维能力，提升问题解决的全局观，增强动手能力和实践操作技能；激发学习兴趣和求知欲，鼓励跟踪新技术，为未来技术革新做准备。

第一节 电气图纸及绘制原则

图纸是工程的国际通用语言，电气图纸是电气控制工程的通用语言。为了表达生产机械电气控制系统的结构、原理等设计意图，便于电气系统的安装、调试、使用和维修，将电气控制系统中各电器元件及其连接线路用一定的图形表达出来，这就是电气图纸。

电气图纸需要根据国家标准，用规定的图形符号和文字符号及规定画法进行绘制。电气图纸一般有三种：电气原理图、电器布置图和电气安装接线图。电气原理图表达电气系统的工作原理，是最重要的图纸，也是其他图纸的基础。电器布置图、电气安装接线图为工艺图纸。

一、电气制图相关国标

电气原理图中电气元件的图形符号和文字符号必须符合国家标准规定。我国在参照国际电工委员会（IEC）和国际标准化组织（ISO）所颁布标准的基础上制定了《电气简图用图形符号》（GB/T 4728）、《电气技术用文件的编制》（GB/T 6988）等电气制图相关的国家标准。

（一）电气制图相关的国家标准

电气制图及电气图形符号、文字符号的国家标准主要包括以下四个方面。

1.《电气技术用文件的编制》（GB/T 6988）

电气制图国家标准 GB/T 6988 等同或等效采用国际电工委员会相关标准，该国家标准的发布和实施使我国在电气制图领域的工程语言及规则得到统一，并使我国与国际通用的电气制图领域的工程语言和规则协调一致。

GB/T 6988 是电气技术用文件编制的国家标准系列，主要用于规范电气技术领域中各类文件、简图、图和表格的制作规则，适用于电气工程设计、制造、安装、维护等环节的技术文件编制，不包括音频、视频或触觉演示类文件。GB/T 6988 是一个系列标准，包含多个部分，分别规范不同类型的电气技术文件。目前最新版本为 GB/T 6988.1—2024，于 2025 年 4 月 1 日正式实施。此外，GB/T 6988.5—2006 是电气技术用文件的编制第 5 部分索引的国家标准，2006 年 7 月发布、2007 年 1 月实施，目前现行有效。

有关以上电气制图国家标准的详细资料可参见中国标准出版社出版的《电气制图国家标准汇编》一书。

2.《电气简图用图形符号》（GB/T 4728）

《电气简图用图形符号》（GB/T 4728）共有 13 个部分，用于统一电气图纸中各种元件和设备的图形画法，目前主要现行版本为 2018 年和 2022 年发布，属于国家推荐性标准。这 13 个部分都是等同采用最新版本的国际电工委员会 IEC 617 系列标准修订后的新版国家标准。它规定了电气原理图、接线图等图纸中，电阻、开关、电机等元件该怎么画，确保不同工程师画的图大家都能看懂，适用于所有电气技术领域，包括电力、电子、通信、建筑电气等行业的图纸设计。

《电气简图用图形符号》（GB/T 4728）国家标准由以下 13 个部分组成。

《电气简图用图形符号第 1 部分：一般要求》（GB/T 4728.1—2018）。

《电气简图用图形符号第 2 部分：符号要素、限定符号和其他常用符号》（GB/T 4728.2—2018）。

《电气简图用图形符号第 3 部分：导体和连接件》（GB/T 4728.3—2018）。

《电气简图用图形符号第 4 部分：基本无源元件》（GB/T 4728.4—2018）。

《电气简图用图形符号第 5 部分：半导体管和电子管》（GB/T 4728.5—2018）。

《电气简图用图形符号第 6 部分：电能的发生与转换》（GB/T 4728.6—2022）。

《电气简图用图形符号第 7 部分：开关、控制和保护器件》（GB/T 4728.7—2022）。

《电气简图用图形符号第 8 部分：测量仪表、灯和信号器件》（GB/T 4728.8—2022）。

《电气简图用图形符号第 9 部分：电信：交换和外围设备》（GB/T 4728.9—2022）。

《电气简图用图形符号第 10 部分：电信：传输》（GB/T 4728.10—2022）。

《电气简图用图形符号第 11 部分：建筑安装平面布置图》（GB/T 4728.11—2022）。

《电气简图用图形符号第 12 部分：二进制逻辑元件》（GB/T 4728.12—2022）。

《电气简图用图形符号第 13 部分：模拟元件》（GB/T 4728.13—2022）。

有关以上电气简图用图形符号国家标准的详细资料可参见中国标准出版社出版的《电气简图用图形符号国家标准汇编》一书。

3.《电气设备用图形符号》（GB/T 5465）

电气设备用图形符号是指用在电气设备上或与其相关的部位上，用以说明该设备或部位的用处和作用的标志。GB/T 5465 由以下两部分组成。

《电气设备用图形符号第 1 部分：概述与分类》（GB/T5465.1—2009）。

《电气设备用图形符号第 2 部分：图形符号》（GB/T 5465.2—2023）。

GB/T 5465 规定符号分类、绘制规则、应用规范、编号规则、尺寸比例要求、文字标注方法等，覆盖电子设备标识、功能指示等电气设备上的图形符号使用。

4.与电气制图有关的相关国家标准

电气制图中除了电器的图形和文字符号、导线等要素外，还有图纸标题栏、明细栏、图纸幅面、字体等绘图要素，同样也有对应的国家标准。但在电气制图及其图形符号的国家标准中所引用的国家标准和国际标准还有很多，可以参见相关的标准，这里不一一列举。

表 2-1　部分电气制图的国家标准目录汇总

分类	国家标准编号	标准名称	对应覆盖要素
通用绘图规范	GB/T 6988	电气信息结构文件编制系列标准	电气图编制通用规则、整体规范
图形符号	GB/T 4728	电气简图用图形符号系列标准	电气简图各类元件图形符号
图形符号	GB/T 5465	电气设备用图形符号系列标准	电气设备本体标识图形符号
文字符号	GB/T 7159	电气技术中的文字符号制定通则	电气设备及元件的文字符号
项目代号	GB/T 5094	工业系统装置与设备 结构原则与参照代号系列	项目代号的分类与编制规则
导线与端子标识	GB/T 18656	工业系统装置与设备 系统内端子的标识	导线、连接器件与端子标识
导线标记	GB/T 30085	工业系统装置和设备 电缆和电线的标记	电缆、导线的编号与标注规则
图纸幅面规格	GB/T 14689	技术制图 图纸幅面和规格	图纸幅面、尺寸要求
标题栏规范	GB/T 10609.1	技术制图 标题栏	图纸标题栏格式与内容要求
明细表编制	GB/T 19045	明细表的编制	图纸明细栏格式与编制规范
文件分类与代号	GB/T 26853	成套设备系统和设备 文件的分类和代号	电气文件分类管理规则
文字符号标注	GB/T 16679	工业系统装置与设备 信号代号	信号的标注与代号规则

注：以上均为我国现行有效标准，其中 GB/T 为推荐性国家标准，大部分等同采用 IEC 国际标准，是电气制图国内遵循的核心规范。

以上与电气制图相关的国家标准详细资料可参见中国标准出版社出版的《电气制图国家标准汇编》一书中的相关标准部分。

（二）常用电器图、文符号国家标准的演变和现状

常用电器图形符号标准 GB/T 4728 新旧版本变化不是很大，过渡顺理成章。文字符号的国标《电气技术中文字符号制订通则》（GB/T 7159—1987）在 2005 年 10 月作废，现在没有替代标准。不过有两个参考标准适用，分别为《技术产品及技术产品文件结构原则字母代码按项目用途和任务划分的主类和子类》（GB/T 20939—2007）和《工业系统、装置与设备以及工业产品结构原则与参照代号第 2 部分：项目的分类与分类码》（GB/T 5094.2—2018）。比如接触器文字符号在 GB/T 7159—1987 标准

中为 KM，而在 GB/T 20939—2007 标准中为 QA。

虽然文字符号的 GB/T 7159—1987 标准已废止，但因为参考标准 GB/T 20939—2007 和已废止的 GB/T 7159—1987 差别太大，没有延续性，过渡起来难度大且由于习惯的原因，电气工程师业内两种标准并行使用，而且沿用 GB/T 7159—1987 者更多。

二、电气控制线路常用的图形及文字符号

电气控制线路图是工程技术的通用语言，为了便于交流与沟通，在电气控制线路中，各种电气元件的图形及文字符号必须符合国家标准。

电气控制常用的图形符号见附录 1。

基本文字符号有单字母符号和双字母符号。单字母符号表示电气设备、装置和元件的大类，例如 K 为继电器类元件这一大类；双字母符号由一个表示大类的单字母与另一个表示器件某些特性的字母组成，例如 KT 即表示继电器类器件中的时间继电器，KM 表示继电器类器件中的接触器。

辅助文字符号用来进一步表示电气设备、装置和元件的功能、状态和特征。

表 2-2 中列出了部分常用的电气文字符号，实际使用时如需要更详细的资料，请查阅有关国家标准。

表 2-1　部分电气制图的国家标准目录汇总

基本文字符号		项目种类	设备、装置、元器件举例	基本文字符号		项目种类	设备、装置、元器件举例
单字母	双字母			单字母	双字母		
A	AT	组件部件	抽屉柜	Q	QF QM QS	开关器件	断路器 电动机保护开关 隔离开关
B	BP BQ BT BV	非电量到电量变换器或电量到非电量变换器	压力变换器 位置变换器 温度变换器 速度变换器	R	RP RT RV	电阻器	电位器 热敏电阻器 压敏电阻器
F	FU FV	保护器件	熔断器 限压保护器	S	SA SB SP SQ ST	控制、记忆信号电路的开关器件选择器	控制开关 按钮开关 压力传感器 位置传感器 温度传感器
H	HA HL	信号器件	声响指示器 指示灯	T	TA TC TM TV	变压器	电流互感器 电源变压器 电力变压器 电压互感器
K	KA KM KP KR KT	继电器 接触器	瞬时接触继电器 交流继电器 中间继电器 极化继电器 簧片继电器 时间继电器	X	XP XS XT	端子、插头、插座	插头 插座 端子板
P	PA PJ PS PV PT	测量设备 试验设备	电流表 电能表 记录仪器 电压表 时钟、操作时间表	Y	YA YV YB	电气操作的机械器件	电磁铁 电磁阀 电磁离合器

三、电气原理图及绘制原则

（一）电气原理图

电气原理图是电气系统图中最重要的图纸，用来表明电气系统的工作原理、系统构成和各电器元件的作用及相互之间的关系的一种电气图纸。电气原理图按国家标准电气符号和特定的绘制原则绘制，具有结构简单、层次分明的特点。

绘制电气原理图的目的是便于阅读和分析控制线路，采用电器元件展开形式绘制。它包括所有电器元件的导电部件和接线端子，但并不按照电器元件的实际布置位置来绘制，也不反映电器元件的实际大小。电气原理图是电气控制系统设计的核心，对于分析原理、排除电路故障、程序编写是十分有益的。

图 2－1 为 CW6132 型车床电气原理图，下面以此图为例说明电气原理图的绘制原则。

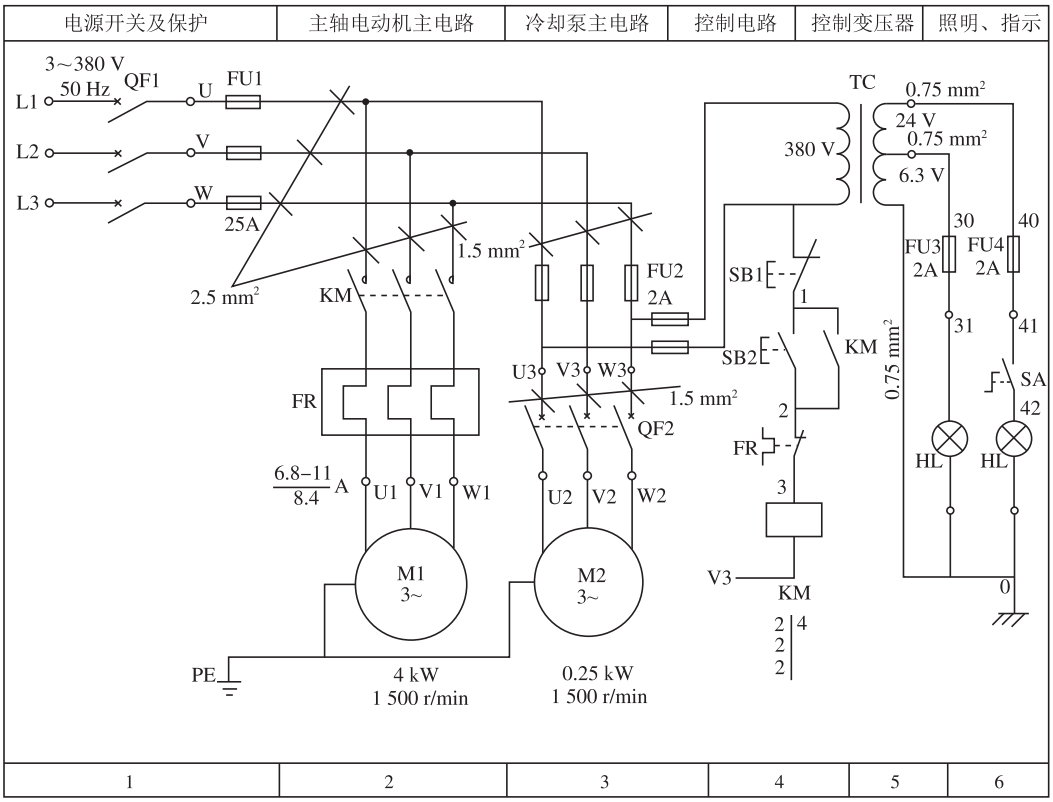


图 2－1　CW6132 型车床电气原理图

（二）电气原理图绘制原则

1.组成

电气原理图一般由主电路和辅助电路两部分组成。主电路是电气控制线路中大电流通过的部分，包括从电源到电动机之间相连的电器元件，一般由组合开关、主熔断器、接触器主触点、热继电器的热元件和电动机等组成。

辅助电路是控制线路中除主电路以外的电路，其流过的电流比较小。辅助电路包括控制电路、照明电路、信号电路和保护电路。其中控制电路是由按钮、接触器和继电器的线圈及辅助触点、热继电器触点、保护电器触点等组成。

CW6132 型车床电气原理图中横向划分 1、2、3 区域的部分为主电路部分；4、5、6 区域的部分为辅助电路，其中 4 区域为控制电路，5、6 区域为信号显示电路。

2.图形元素采用国家标准符号绘制

电气原理图中所有的图形元素，如电器元件、导线等均需按国家标准规定的符号绘制。其并不按照电器元件的实际布置位置来绘制，也不反映电器元件的实际大小，而且只绘制出跟电气相关的部分（如线圈、触点等），并按展开的形式绘制，旨在便于阅读和使图纸条理清晰。

在图 2－1 所示的 CW6132 型车床电气原理图中，接触器 KM 只绘制出所需的主触点、辅助触点、线圈等部分，而且根据图纸的各部分功能分布在不同的区域。

3.图纸布局和元件方向

电气原理图的布局应根据便于阅读的原则安排。主电路和辅助电路一般按左右布局（左主右辅）或上下布局（上主下辅）。无论主电路还是辅助电路，均按功能布置，尽可能按动作顺序从上到下、从左到右排列。

电气原理图中的电器元件可以垂直方向放置，也可以水平方向放置。一般情况下，在左主右辅布局的图纸中，元器件为垂直方向放置；在上主下辅的布局中，元器件为水平方向放置。水平方向放置的图形符号顺时针旋转 90°为垂直方向，但文字符号一般不旋转，更不可倒置。

图纸布局和元器件方向跟图纸幅面、图纸内容等因素有关，但主要取决于设计者个人习惯和设计风格。

4.电器编号规则

（1）电气原理图中的各电器均以国家标准符号的形式存在，图形符号、文字符号缺一不可。

（2）系统中经常需要多个同类电器，对于同类器件，一般在其文字符号后加数字序号来区别。如 CW6132 型车床电气原理图中有两个按钮，可用 SB1、SB2 文字符号区别；四个熔断器可用 FU1～FU4 文字符号区别。

当同一电器元件的不同部件（如线圈、触点）分散在不同位置时，为了表示是同一元件，要在电器元件的不同部件处标注统一的文字符号。如 CW6132 型车床电气原理图中接触器的主触点、辅助触点、线圈等部分分散在不同位置，但只要各部分的文字符号均为 KM 就表示是同一接触器。

5.电器的可动部分——自然状态

在电气原理图中，所有电器的可动部分均按没有通电或没有外力作用时的自然状态画出。可动部分的自然状态有以下几种情况。

（1）继电器、接触器等电器的触点是其线圈不通电时的触点状态。

（2）控制器按手柄处于零位时的状态。

（3）按钮、行程开关等触点按未受外力作用时的状态。

（4）热继电器等保护类电器未处于保护的状态。

（5）断路器、刀开关等电器未合闸状态。

6.导线交点画法

电气原理图中，应尽量减少线条交叉。当出现不可避免的导线交叉时，下面三种情况各自不同。

（1）“T”形连接点默认导线相连，在导线交点处可以画实心圆点，也可以不画。

（2）“＋”形连接点，交点处画实心圆点表示导线相连；交点处不画实心圆点表示导线不相连。

（3）非 90°的斜线连接点和“＋”形连接点相同处理。

（三）图幅分区及元件索引

1.图幅规格

（1）幅面：绘制电气图纸时，一般根据图纸规模、复杂程度、详细程度等因素选择图纸幅面。考虑到目前基本上都是计算机绘图，为了便于打印和装订，尽量选用较小幅面。图纸幅面应遵循《技术制图图纸幅面和格式》（GB/T 14689－2008）。

（2）标题栏：应遵循《技术制图标题栏》GB/T 10609.1－2008。

（3）明细栏：应遵循《技术制图明细栏》GB/T 10609.2－2009。

（4）字体：应遵循《技术制图字体》GB/T 14691—1993。

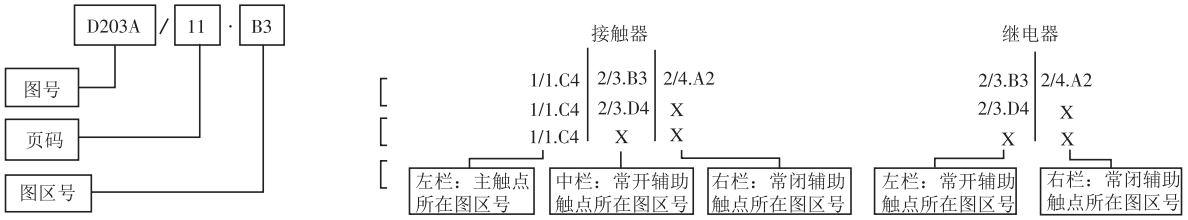
2.图幅分区

为了便于确定图上的内容、补充、更改和组成部分等的位置，一般将图纸幅面进行区域划分。分区的方法是将图幅纵横均匀划分成 $m \times n$ 个区块，分区纵横编号分列于四周边框处。每个分区内竖边方向用大写字母，横边方向用阿拉伯数字分别编号。编号的顺序从标题栏相对的左上角开始。分区数应该是偶数。每一分区的长度不小于 25 mm，不大于 75 mm。分区代号用该区域的字母和数字组合表示，如 B4、C3。

3.元件关联位置索引

电气原理图中的交流接触器与继电器，因线圈、主触头、辅助触头所起作用各不相同，为清晰地表明电气原理图工作原理，这些部件通常绘制在各自发挥作用的支路中。在幅面较大的复杂电气原理图中，为检索方便，就需在电磁线圈图形符号下方标注电磁线圈的触头索引代号。

符号位置的索引用图号、页次和图区编号的组合索引法，索引代号的组成如图 2－2（a）所示。当某一元件相关的各符号元素出现在不同图号的图纸上，且当每个图号仅有一页图纸时，索引代号中可省略“页号”及分隔符“·”。当某一元件相关的各符号元素出现在同一图号的图纸上，且该图号有几张图纸时，可省略“图号”和分隔符“/”。当某一元件相关的各符号元素出现在一张图纸的不同图区时，索引代号只用“图区号”表示。对于接触器，触头索引代号分为左中右三栏；对于继电器，触头索引代号分为左右两栏，具体内容如图 2－2（b）所示。



（a）索引代号　　（b）元件位置索引

图 2－2　元件关联位置索引

四、电器布置图及绘制原则

（一）电器布置图概述

电器布置图是用来表明电气设备上所有电器和用电设备的实际位置的，是电气控制设备制造、装配、调试和维护必不可少的技术文件。

布置图通常包括控制柜与操作台（箱）内部布置图，以及控制柜与操作台（箱）面板布置图。图 2－3 为 CW6132 型车床电气设备安装布置图。

（二）电器布置图的绘制原则

（1）控制柜与操作台（箱）等设备的外形轮廓用细实线绘出。

（2）可见的和需要表达清楚的电器元件及设备，用粗实线绘出其简单的外形轮廓，并标明其实际安装位置。

（3）电器元件及设备代号必须与有关电路图和设备清单上所用的代号相一致。

（三）电器元件布置的注意事项

（1）体积大和较重的电器元件应安装在电器安装板的下方，而发热元件应安装在电器安装板的上面。

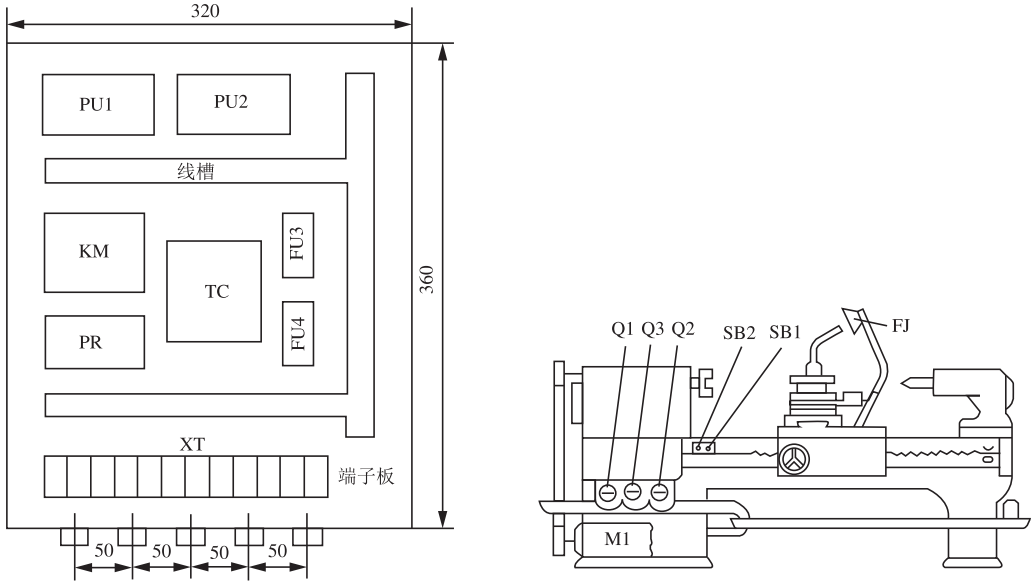
（2）强电、弱电应分开，弱电应屏蔽，防止外界干扰。

（3）需要经常维护、检修、调整的电器元件安装位置不宜过高或过低。

（4）电器元件的布置应考虑整齐、美观、对称，外形尺寸与结构类似的电器安装在一起，以利于

安装和配线。

（5）电器元件的布置不宜过密，应留有一定间距，如用走线槽，应加大各排电器间距，以利于布线和维修。



（a）控制柜内元件布置图　　（b）机身电器布置图

图 2－3　CW6132 型车床电气设备安装布置图

五、电气接线图及绘制原则

电气接线图是表示电气设备或装置连接关系的简图，主要用于电气设备安装接线、线路检查、线路维修和故障处理。

接线图和接线表主要用于安装接线、线路检查、线路维修和故障处理。它们必须符合电气设备的电路图、装配图和施工图的要求，并且清晰地表示各个电器元件和设备的相对安装位置及它们之间的电连接关系。它们对于设备制造和使用都是必不可少的。

电气接线图应标出设备和电器元件的相对位置、项目代号、端子号、导线号、导线类型、导线截面积、屏蔽和导线绞合等情况，以及其他需补充的说明。

电气接线图的绘制原则如下。

（1）同一电器元件各部件必须画在一起，位置与实际安装位置一致。

（2）不在同一控制柜上的电器元件的电气连接必须通过端子板进行连接。

（3）走向相同的多根导线可用单线表示。

（4）连接导线应标明规格、型号、根数和穿线管的尺寸。

图 2－4 为 CW6132 型车床电气接线图。

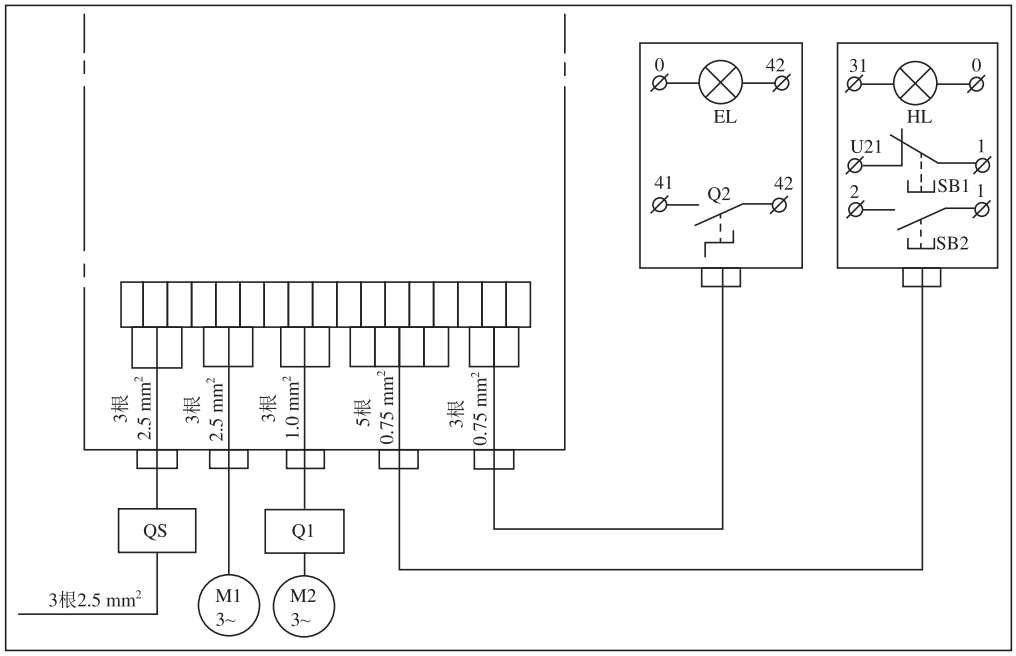


图 2－4　CW6132 型车床电气接线图

第二节
电气控制电路基本控制规律

由继电器、接触器所组成的电气控制电路，基本控制规律有自锁与互锁的控制、点动与连续运转的控制、多地联锁控制、顺序控制与自动往复循环控制等。

一、自锁与互锁的控制

自锁与互锁的控制统称为电气的联锁控制，在电气控制电路中应用十分广泛，是最基本的控制。

图 2－5 为三相笼型异步电动机全压启动单向运转控制电路。电动机启动时，合上电源开关 Q，接通控制电路电源，按下启动按钮 SB2，其常开触头闭合，接触器 KM 线圈通电吸合，KM 常开主触头与常开辅助触头同时闭合，前者使电动机接入三相交流电源启动旋转；后者并接在启动按钮 SB2 两端，从而使 KM 线圈经 SB2 常开触头与 KM 自身的常开辅助触头两路供电。松开启动按钮 SB2 时，虽然 SB2 这一路已断开，但 KM 线圈仍通过自身常开触头这一通路而保持通电，使电动机继续运转，这种依靠接触器自身辅助触头而保持接触器线圈通电的现象称为自锁，这对起自锁作用的辅助触头称为自锁触头，这段电路称为自锁电路。要使电动机停止运转，可按下停止按钮 SB1，KM 线圈断电释放，主电路及自锁电路均断开，电动机断电停止。

上述电路是一个典型的有自锁控制的单向运转电路，也是一个具有最基本的控制功能的电路。该电路由熔断器 FU1、FU2 实现主电路与控制电路的短路保护；由热继电器 FR 实现电动机的长期过载保护；由启动按钮 SB2 与接触器 KM 配合，实现电路的欠电压与失电压保护。

若在图 2－5 控制电路基础上，在主电路中加入转换开关 SC，SC 有四对触头，三个工作位置。当 SC 置于上、下方不同位置时，通过其触头来改变电动机定子接入三相交流电源的相序，进而改变电动机的旋转方向。在这里，接触器 KM 作为线路接触器使用，如图 2－6 转换开关控制电动机正反转电路所示。转换开关 SC 为电动机旋转方向预选开关，由按钮来控制接触器，再由接触器主触头来接通或断开电动机三相电源，实现电动机的启动和停止。电路保护环节与图 2－5 相同。

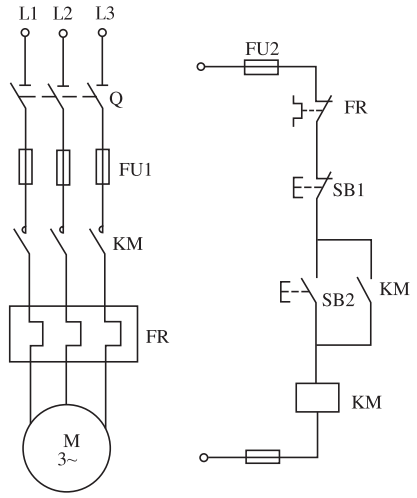


图 2－5　三相笼型异步电动机全压启动单向运转控制电路

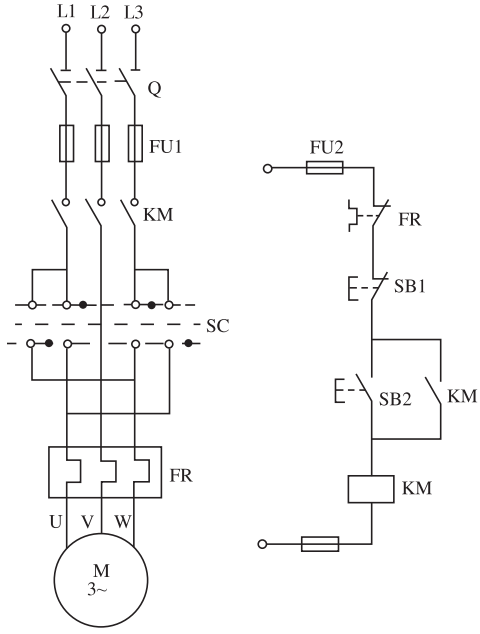


图 2－6　转换开关控制电动机正反转电路

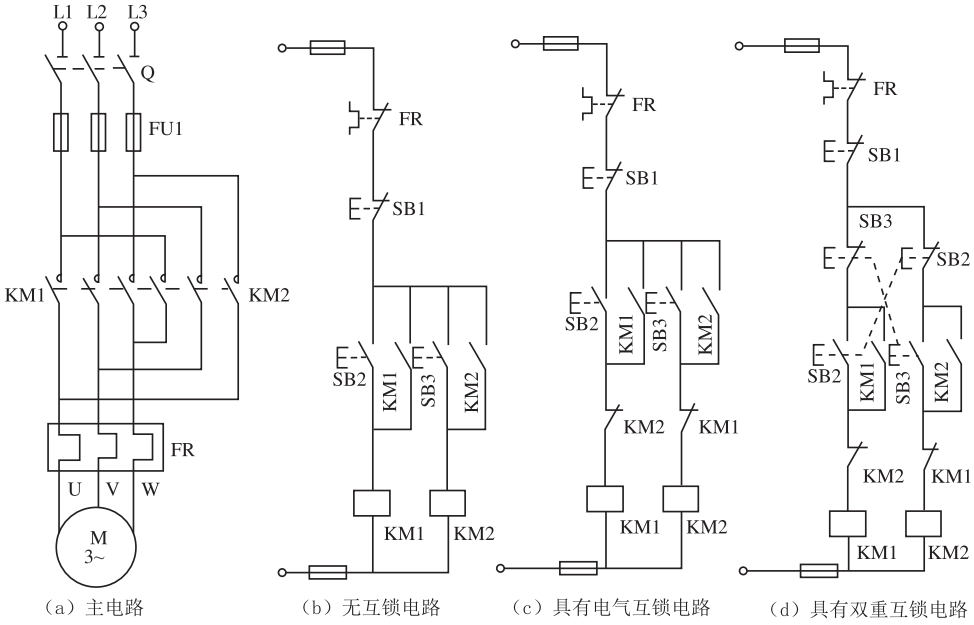
图 2－7 为三相异步电动机正反转控制电路。如图 2－7（a）所示，主电路由正、反转接触器 KM1、KM2 的主触头来实现电动机三相电源任意两相的换相，从而实现电动机正反转。当正转启动时，按下正转启动按钮 SB2，KM1 线圈通电吸合并自锁，电动机正向启动并运转；当反转启动时，按下反转启动按钮 SB3，KM2 线圈通电吸合并自锁，电动机便反向启动并运转。但若在按下正转启动按钮 SB2，电动机已进入正转运行后，发生又按下反转启动按钮 SB3 的误操作时，由于正反转接触器 KM1、KM2 线圈均通电吸合，其主触头均闭合，于是发生电源两相短路，致使熔断器 FU1 熔体熔断，电动机无法工作。因此，该电路在任何时候只能允许一个接触器通电工作。为此，通常在控制电路中将 KM1、KM2 正反转接触器常闭辅助触头串接在对方线圈电路中，形成相互制约的控制，这种相互制约的控制关系称为互锁，这两对起互锁作用的常闭触头称为互锁触头。

图 2－7（b）是将两个单向旋转控制电路组合而成。图 2－7（b）没有互锁环节，当正转启动时，按下正转启动按钮 SB2，KM1 线圈通电吸合并自锁，电动机正向启动并运转；当反转启动时，按下反转启动按钮 SB3，KM2 线圈通电吸合并自锁，电动机反向启动并运转。但如果在正转运行时误按反转启动按钮，或者反转运行时误按正转启动按钮，由于没有互锁，正反转接触器 KM1、KM2 线圈均会

通电吸合，其主触头均闭合，会发生电源两相短路，致使熔断器 FU1 熔体熔断，电动机无法工作。

图 2－7（c）是利用正反转接触器常闭辅助触头作互锁的，这种互锁称为电气互锁。这种电路要实现电动机由正转到反转，或由反转变正转，都必须先按下停止按钮，然后才可进行反向启动，这种电路称为正停反电路。

图 2－7（d）是在图 2－7（c）基础上又增加了一对互锁，这对互锁是将正、反转启动按钮的常闭辅助触头串接在对方接触器线圈电路中，这种互锁称为按钮互锁，又称机械互锁。所以图 2－7（d）是具有双重互锁的控制电路，该电路可以实现不按停止按钮，由正转直接变反转，或由反转直接变正转。这是因为按钮互锁触头可实现先断开正在运行的电路，再接通反向运转电路。这种电路称为正反停电路。

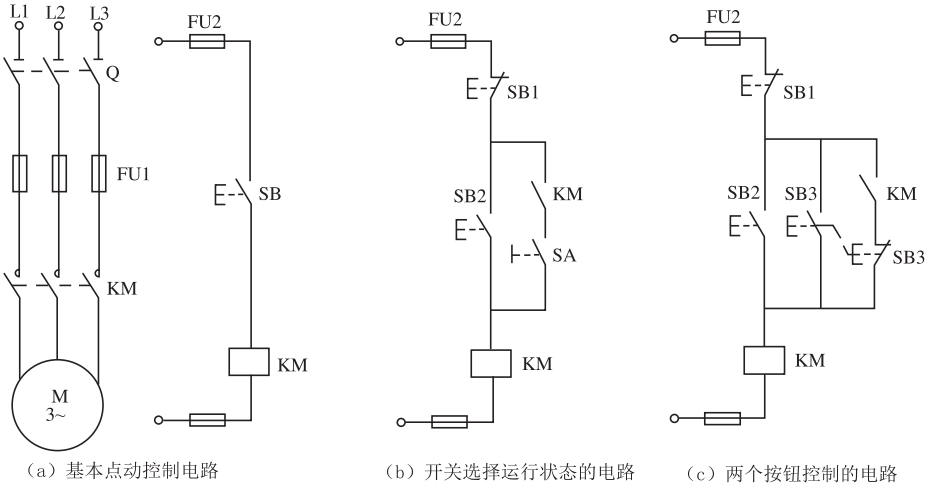


（a）主电路　（b）无互锁电路　（c）具有电气互锁电路　（d）具有双重互锁电路

图 2－7　三相异步电动机正反转控制电路

二、点动与连续运转的控制

生产机械的运转状态有连续运转与短时间断运转，所以对其拖动电动机的控制也有点动与连续运转两种控制方式，对应的有点动控制与连续运转控制电路，如图 2－8 所示。



（a）基本点动控制电路　（b）开关选择运行状态的电路　（c）两个按钮控制的电路

图 2－8　电动机点动与连续运转控制电路

图 2－8（a）是最基本的点动控制电路。按下点动按钮 SB，KM 线圈通电，电动机启动旋转；松

开 SB 按钮，KM 线圈断电释放，电动机停转。所以该电路为单纯的点动控制电路。图 2－8（b）是用开关 SA 断开或接通自锁电路，可实现点动也可实现连续运转的电路。合上开关 SA 时，可实现连续运转；SA 断开时，可实现点动控制。图 2－8（c）是用复合按钮 SB3 实现点动控制，按钮 SB2 实现连续运转控制的电路。

三、多地控制

在一些大型生产机械和设备上，要求操作人员在不同方位能进行操作与控制，即实现多地控制。多地控制是用多组启动按钮、停止按钮来进行的，这些按钮连接的原则是：启动按钮常开触头要并联，即逻辑或的关系；停止按钮常闭触头要串联，即逻辑与的关系。图 2－9 为多地控制电路图。

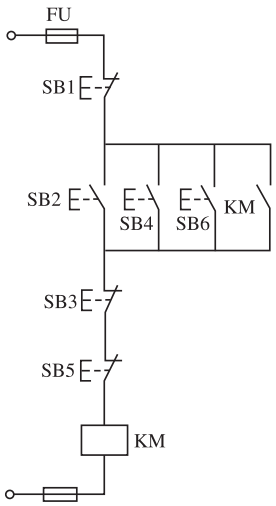


图 2－9　多地控制电路图

四、顺序控制

在生产实际中，有些设备往往要求其上的多台电动机的启动与停止必须按一定的先后顺序进行，这种控制方式称为电动机的顺序控制。顺序控制可在主电路中实现，也可在控制电路中实现。

主电路中实现两台电动机顺序启动的电路如图 2－10 所示。图中电动机 M1、M2 分别由接触器 KM1 和 KM2 控制，但电动机 M2 的主电路接在接触器 KM1 主触头的下方，这样就保证了启动时必须先启动 M1 电动机，只有当接触器 KM1 主触头闭合，M1 启动后才可启动 M2 电动机，实现了 M1 先启动 M2 后启动的控制。

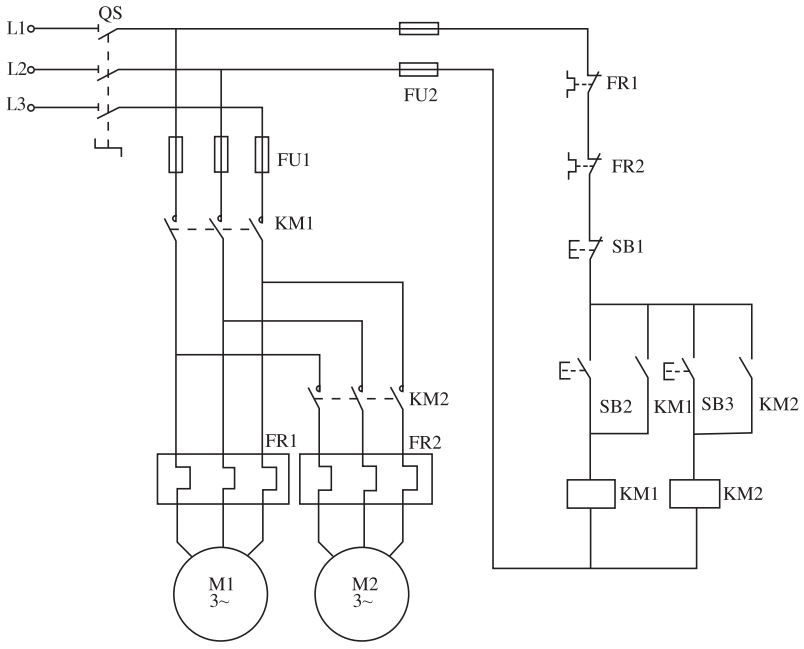
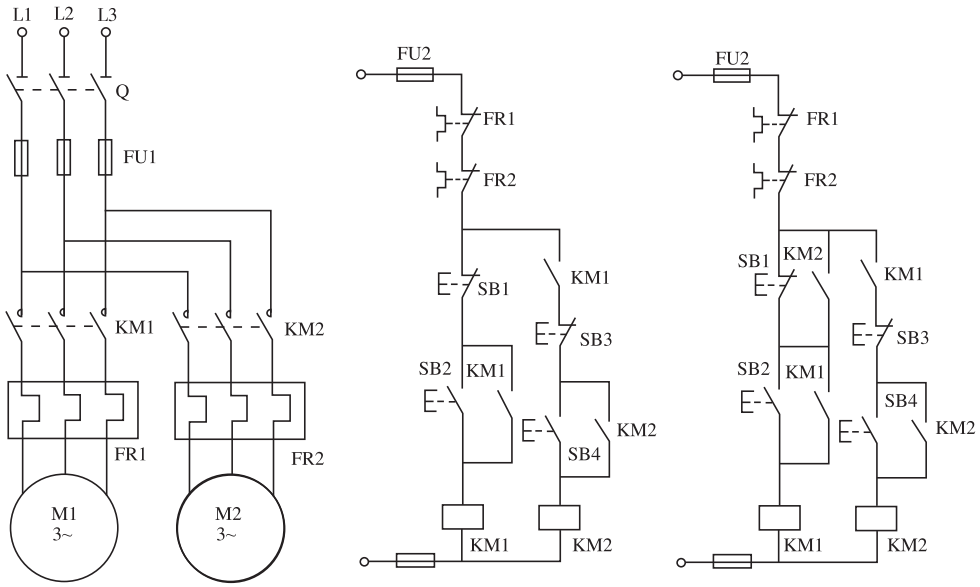


图 2－10　主电路中实现两台电动机顺序启动的电路图

顺序控制也可在控制电路实现，图 2－11 为两台电动机顺序控制电路图，图 2－11（a）为两台电动机顺序控制主电路，图 2－11（b）为按顺序启动电路图，合上主电路与控制电路电源开关，按下启动按钮 SB2，KM1 线圈通电并自锁，电动机 M1 启动旋转，同时串在 KM2 线圈电路中的 KM1 常开辅助触头也闭合，此时再按下按钮 SB4，KM2 线圈通电并自锁，电动机 M2 启动旋转，如果先按下 SB4 按钮，因 KM1 常开辅助触头断开，电动机 M2 不可能先启动，达到按顺序启动 M1、M2 的目的。

生产机械除要求按顺序启动外，有时还要求按一定顺序停止，如带式输送机，前面的第一台运输机先启动，再启动后面的第二台；停车时应先停第二台，再停第一台，这样才不会造成物料在传送带

上的堆积和滞留。图 2－11（c）为按顺序启动与停止的控制电路，为此在图 2－11（b）的基础上，将接触器 KM2 的常开辅助触头并接在停止按钮 SB1 的两端，这样，即使先按下 SB1，由于 KM2 线圈仍通电，电动机 M1 不会停转，只有按下 SB3，电动机 M2 先停后，再按下 SB1 才能使 M1 停转，达到先停 M2 后停 M1 的要求。



（a）顺序控制主电路　　（b）按顺序启动电路　　（c）按顺序启动、停止的控制电路

图 2－11　两台电动机顺序控制电路图

在许多顺序控制中，要求有一定的时间间隔，此时往往用时间继电器来实现。图 2－12 为时间继电器控制的顺序启动电路，接通主电路与控制电路电源，按下启动按钮 SB2，KM1、KT 同时通电并自锁，电动机 M1 启动运转，当通电延时型时间继电器 KT 延时时间到，其延时闭合的常开触头闭合，接通 KM2 线圈电路并自锁，电动机 M2 启动旋转，同时 KM2 常闭辅助触头断开将时间继电器 KT 线圈电路切断，KT 不再工作，使 KT 仅在启动时起作用，尽量减少运行时电器使用数量。

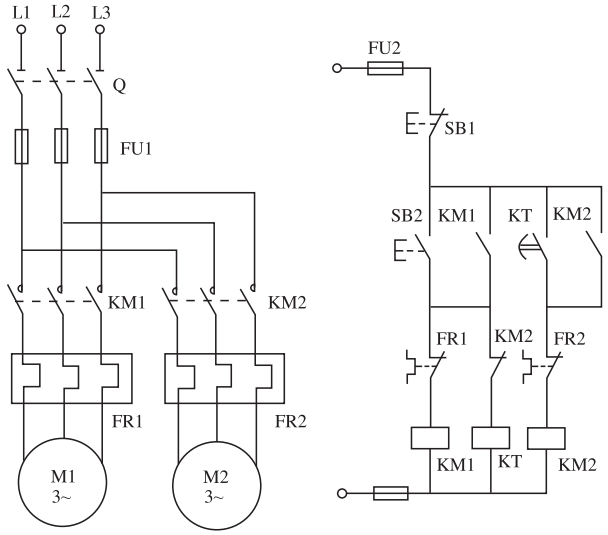
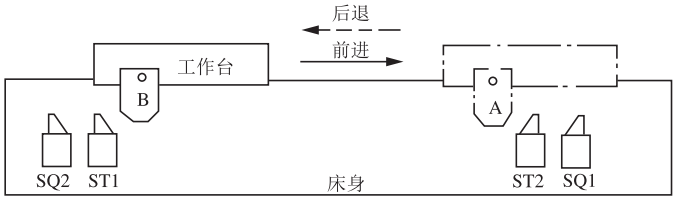


图 2－12　时间继电器控制的顺序启动电路

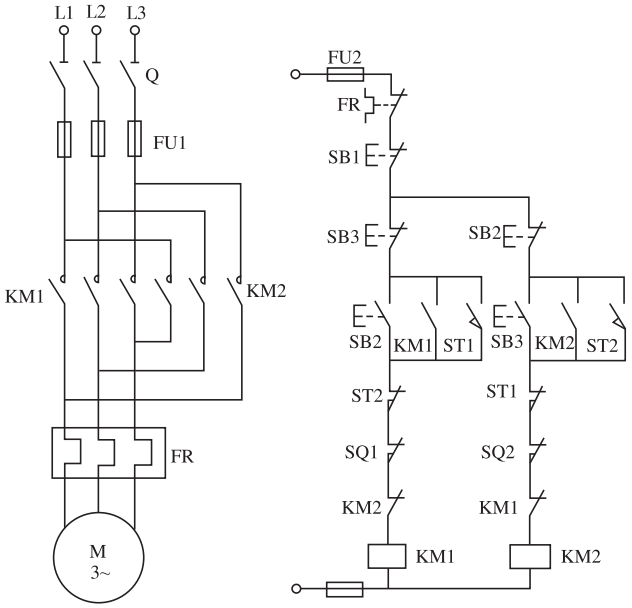
五、自动往复循环控制

在生产中，某些机床的工作台需要进行自动往复运行，而自动往复运行通常是利用行程开关来控

制自动往复运动的行程，并由此来控制电动机的正反转或电磁阀的通断电，从而实现生产机械的自动往复的。图 2－13（a）为机床工作台自动往复运动示意图，在床身两端固定有行程开关 ST1、ST2，用来表明加工的起点与终点。在工作台上安装有撞块 A 和 B，其随运动部件工作台一起移动，分别压下 ST2、ST1，来改变控制电路状态，实现电动机的正反向运转，拖动工作台实现工作台的自动往复运动。图 2－13（b）为自动往复循环控制电路，图中 STI 为反向转正向行程开关，ST2 为正向转反向行程开关，SQ1 为正向限位开关，SQ2 为反向限位开关。



（a）机床工作台自动往复运动示意图



（b）自动往复循环控制电路

图 2－13　自动往复循环控制

电路工作原理：合上主电路与控制电路电源开关，按下正转启动按钮 SB2，KM1 线圈通电并自锁，电动机正转启动旋转，拖动工作台前进向右移动，当移动到位时，撞块 A 压下 ST2，其常闭触头断开，常开触头闭合，前者使 KM1 线圈断电，后者使 KM2 线圈通电并自锁，电动机由正转变为反转，拖动工作台由前进变为后退，工作台向左移动。当后退到位时，撞块 B 压下 ST1，使 KM2 断电，KM1 通电，电动机由反转变为正转，拖动工作台变后退为前进，如此周而复始实现自动往返工作。当按下停止按钮 SB1 时，电动机停止，工作台停下。当行程开关 ST1、ST2 失灵时，电动机换向无法实现，工作台继续沿原方向移动，撞块将压下 SQ1 或 SQ2 限位开关，使相应接触器线圈断电释放，电动机停止，工作台停止移动，从而避免运动部件因超出极限位置而发生事故，实现限位保护。

第三节
三相异步电动机的启动控制

10kW 及其以下容量的三相异步电动机，通常采用全压启动，即启动时电动机的定子绕组直接接在额定电压的交流电源上，如图 2－5、图 2－6、图 2－7 等电路皆为全压启动电路。但当电动机容量较大，并且电源变压器容量又相对较小时，会因启动电流较大，造成线路压降大，负载端电压降低，影响启动电动机附近电气设备的正常运行，此时一般采用减压启动。所谓减压启动，是指启动时降低加在电动机定子绕组上的电压，待电动机启动起来后再将电压恢复到额定值，使之运行在额定电压下。减压启动可以减少启动电流，减小线路电压降，也就减小了启动时对线路的影响。但电动机的电磁转矩与定子端电压二次方成正比，所以使得电动机的启动转矩相应减小，故减压启动适用于空载或轻载下启动。减压启动方式有 Y—△减压启动、自耦变压器减压启动、软启动（固态减压启动器启动）、延边三角形减压启动、定子串电阻减压启动等。常用的有 Y—△减压启动与自耦变压器减压启动，软启动是一种当代电动机控制技术，正在一些场合推广使用，后两种已很少采用。

一、Y—△减压启动控制

对于正常运行时定子绕组接成三角形的三相笼型异步电动机，均可采用 Y—△减压启动。启动时，定子绕组先接成星形，待电动机转速上升到接近额定转速时，将定子绕组换接成三角形，电动机便进入全压下的正常运转。

图 2－14 为 QX4 系列自动 Y—△启动器电路，适用于 125kW 及以下的三相笼型异步电动机作 Y—△减压启动和停止的控制。该电路由接触器 KM1、KM2、KM3，热继电器 FR，时间继电器 KT，按钮 SB1、SB2 等元件组成，具有短路保护、过载保护和失压保护等功能。

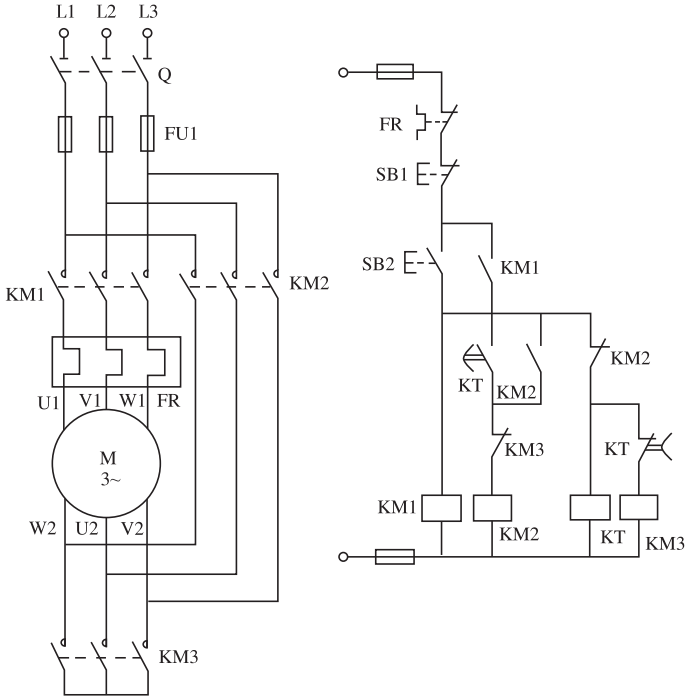


图 2－14　QX4 系列自动 Y—△启动器电路

QX4 系列自动 Y—△启动器技术数据见表 2－3 所列。

表 2－3　QX4 系列自动 Y—△启动器技术数据

型号	控制电动机功率/kW	额定电流/A	热继电器额定电流/A	时间继电器整定值/s
Q4—17	13	26	15	11
	17	33	19	13
QX4—30	22	42.5	25	15
	30	58	34	17
QX4—55	40	77	45	20
	55	105	61	24
QX4—75	75	142	85	30
QX4—125	125	260	100～160	14～60

电路工作原理：合上电源开关 Q，按下启动按钮 SB2，KM1、KT、KM3 线圈同时通电并自锁，电动机三相定子绕组接成星形接入三相交流电源进行减压启动，当电动机转速接近额定转速时，通电延时型时间继电器动作，KT 常闭触头断开，KM3 线圈断电释放；同时 KT 常开触头闭合，KM2 线圈通电吸合并自锁，电动机绕组接成三角形全压运行。当 KM2 通电吸合后，KM2 常闭触头断开，使 KT 线圈断电，避免时间继电器长期工作。KM2、KM3 常闭触头为互锁触头，以防同时接成星形和三角形造成电动机电源发生相间短路。

二、自耦变压器减压启动控制

电动机自耦变压器减压启动是将自耦变压器一次侧接在电网上，启动时定子绕组接在自耦变压器二次侧上。这样，启动时电动机获得的电压为自耦变压器的二次电压。待电动机转速接近额定转速时，再将电动机定子绕组接在电网上即电动机额定电压上进入正常运转。这种减压启动适用于较大容量电动机的空载或轻载启动，自耦变压器二次绕组一般有三个抽头，用户可根据电网允许的启动电流和机械负载所需的启动转矩来选择。

图 2－15 为 XJ01 系列自耦变压器减压启动电路图。图中 KM1 为减压启动接触器，KM2 为全压运行接触器，KA 为中间继电器，KT 为减压启动时间继电器，HL1 为电源指示灯，HL2 为减压启动指示灯，HL3 为正常运行指示灯。表 2－4 列出了部分 XJ01 系列自耦变压器减压启动器技术数据。

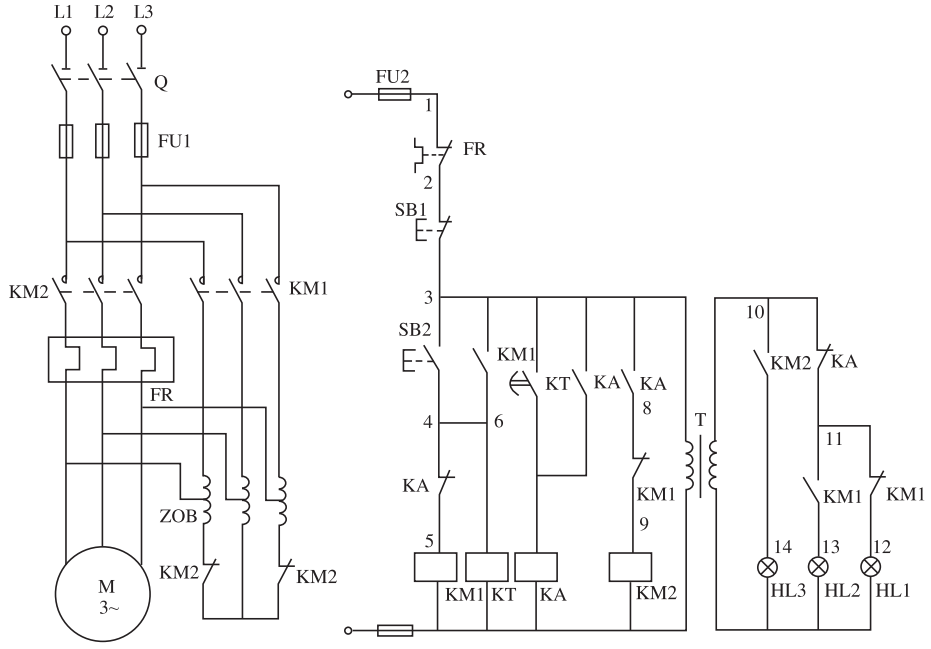


图 2－15　XJ01 系列自耦变压器减压启动电路图

表 2－4　XJ01 系列自耦变压器减压启动器技术数据

型号	被控制电动机功率/kW	最大工作电流/A	自耦变压器功率/kW	电流互感器电流比	热继电器整定电流/A
XJ01－14	14	28	14	—	32
XJ01－20	20	40	20	—	40
XJ01－28	28	58	28	—	63
XJ01－40	40	77	40	—	85
XJ01－55	55	110	55	—	120
XJ01－75	75	142	75	—	142
XJ01－80	80	152	115	300/5	2.8
XJ01－95	95	180	115	300/5	3.2
XJ01－100	100	190	115	300/5	3.5

电路工作原理：合上主电路与控制电路电源开关，HL1 灯亮，表明电源电压正常。按下启动按钮 SB2，KM1、KT 线圈同时通电并自锁，将自耦变压器接入，电动机由自耦变压器二次电压供电做减压启动，同时指示灯 HL1 灭，HL2 亮，显示电动机正进行减压启动。当电动机转速接近额定转速时，时间继电器 KT 通电延时闭合触头闭合，使 KA 线圈通电并自锁，其常闭触头断开 KM1 线圈电路，KM1 线圈断电释放，将自耦变压器从电路切除；KA 的另一对常闭触头断开，HL2 指示灯灭；KA 的常开触头闭合，使 KM2 线圈通电吸合，电源电压全部加在电动机定子上，电动机在额定电压下进入正常运转，同时 HL3 指示灯亮，表明电动机减压启动结束。由于自耦变压器星形联结部分的电流为自耦变压器一、二次电流之差，故用 KM2 辅助触头来连接。

三、三相绕线转子异步电动机的启动控制

三相绕线转子异步电动机转子绕组可通过集电环经电刷与外电路电阻相接，以减小启动电流，提高转子电路功率因数和启动转矩，故适用于重载启动的场合。

按绕线型转子启动过程中串接装置不同分串电阻启动和串频敏变阻器启动电路，转子串电阻启动又有按时间原则和电流原则控制两种。下面仅分析按时间原则控制转子串电阻启动电路。

串接在三相转子绕组中的启动电阻，一般都接成星形。启动时，将全部启动电阻接入，随着启动的进行，电动机转速的升高，转子启动电阻依次被短接，在启动结束时，转子外接电阻全部被短接。短接电阻的方式有三相电阻不平衡短接法和三相电阻平衡短接法两种。所谓不平衡短接是依次轮流短接各相电阻，而平衡短接是依次同时短接三相转子电阻。当采用凸轮控制器触头来短接转子电阻时，因控制器触头数量有限，一般都采用不平衡短接法；对于采用接触器触头来短接转子电阻时，均采用平衡短接法。

图 2－16 为转子串三级电阻按时间原则控制的转子电阻启动电路。图中 KM1 为线路接触器，KM2、KM3、KM4 为短接电阻启动接触器，KT1、KT2、KT3 为短接转子电阻时间继电器。电路工作原理读者可自行分析。

值得注意的是，电路确保在转子全部电阻串入情况下启动，且当电动机进入正常运行时，只有 KM1、KM4 两个接触器处于长期通电状态，而 KT1、KT2、KT3 与 KM2、KM3 线圈通电时间均压缩到最低限度，不仅可以节省电能，延长电器使用寿命，而且可以减少电路故障，保证电路安全可靠地工作。由于电路为逐级短接电阻，电动机电流与转矩突然增大，会产生机械冲击。

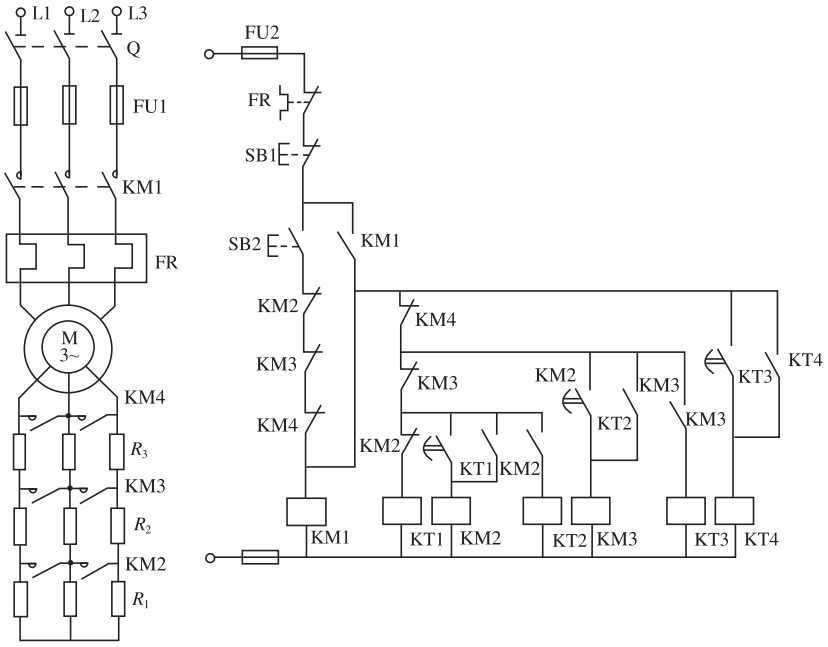


图 2－16　时间原则控制转子电阻启动电路

第四节

三相异步电动机的制动控制

三相异步电动机从切除电源到完全停止旋转，由于机械惯性，总需经过一定的时间，这往往不能满足生产机械要求迅速停车的要求，也影响生产率的提高。因此应对电动机进行制动控制，制动控制方法有机械制动和电气制动。所谓的机械制动是用机械装置产生机械力来强迫电动机转速迅速降为零；电气制动是使电动机的电磁转矩方向与电动机旋转方向相反，起制动作用。电气制动有反接制动、能耗制动、再生制动，以及派生的电容制动等。这些制动方法各有特点，适用不同场合，本节介绍几种典型的制动控制电路。

一、电动机单向反接制动控制

反接制动是利用改变电动机电源的相序，使定子绕组产生相反方向的旋转磁场，因而产生制动转矩的一种制动方法。电源反接制动时，转子与定子旋转磁场的相对转速接近两倍的电动机同步转速，所以定子绕组中流过的反接制动电流相当于全压启动时启动电流的两倍，因此反接制动制动转矩大，制动迅速，冲击大，通常适用于 10 kW 及以下的较小容量电动机。为了减小冲击电流，通常在笼型异步电动机定子电路中串入反接制动电阻。定子反接制动电阻接法有三相电阻对称接法和在两相中接入电阻的不对称接法两种。显然，采用三相电阻对称接法既限制了反接制动电流又限制了制动转矩，而采用不对称电阻接法只限制了制动转矩，但对未串制动电阻的那一相，仍具有较大的电流。另外，当电动机转速接近零时，要及时切断反相序电源，以防电动机反向再启动，通常用速度继电器来检测电动机转速并控制电动机反相序电源的断开。

图 2－17 为电动机单向反接制动控制电路。图中 KM1 为电动机单向运行接触器，KM2 为反接制动接触器，KS 为速度继电器，R 为反接制动电阻。启动电动机时，合上电源开关，按下 SB2，KM1 线圈通电并自锁，主触头闭合，电动机全压启动，当与电动机有机械连接的速度继电器 KS 转速超过其动作值 140 r/min 时，其相应触头闭合，为反接制动作准备。停止时，按下停止按钮 SB1，SB1 常闭触头断开，使 KM1 线圈断电释放，KM1 主触头断开，切断电动机原相序三相交流电源，电动机仍以

惯性高速旋转。当将停止按钮 SB1 按到底时，其常开触头闭合，使 KM2 线圈通电并自锁，电动机定子串入三相对称电阻接入反相序三相交流电源进行反接制动，电动机转速迅速下降。当转速下降到 KS 释放转速即 100 r/min 时，KS 释放，KS 常开触头复位，断开 KM2 线圈电路，KM2 断电释放，主触头断开电动机反相序交流电源，反接制动结束，电动机转速自然降至零。

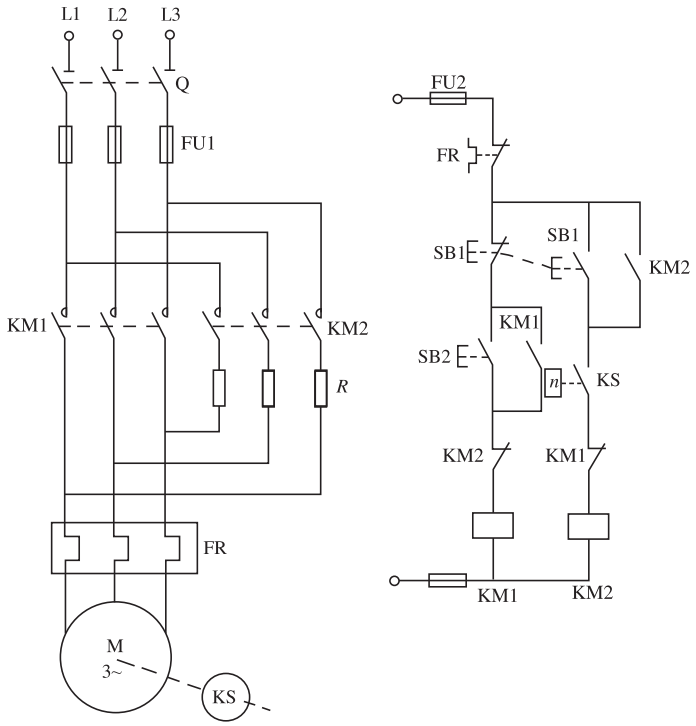


图 2－17　电动机单向反接制动控制电路

二、电动机可逆运行反接制动控制

图 2－18 为电动机可逆运行反接制动控制电路。图中 KM1、KM2 为电动机正、反转接触器，KM3 为短接制动电阻接触器，KA1、KA2、KA3、KA4 为中间继电器，KS 为速度继电器，其中 KS－1 为正转闭合触头，KS－2 为反转闭合触头。*R* 电阻启动时起定子串电阻减压启动用，停车时，*R* 电阻又作为反接制动电阻。

电路工作原理：合上电源开关，按下正转启动按钮 SB2，正转中间继电器 KA3 线圈通电并自锁，其常闭触头断开，互锁了反转中间继电器 KA4 线圈电路，KA3 常开触头闭合，使接触器 KM1 线圈通电，KM1 主触头闭合使电动机定子绕组经电阻 *R* 接通正相序三相交流电源，电动机 M 开始正转减压启动。当电动机转速上升到一定值时，速度继电器正转常开触头 KS－1 闭合，中间继电器 KA1 通电并自锁。这时由于 KA1、KA3 的常开触头闭合，接触器 KM3 线圈通电，于是电阻 *R* 被短接，定子绕组直接加以额定电压，电动机转速上升到稳定工作转速。所以，电动机转速从零上升到速度继电器 KS 常开触头闭合这一区间是定子串电阻减压启动。

在电动机正转运行状态须停车时，可按下停止按钮 SB1，则 KA3、KM1、KM3 线圈相继断电释放，但此时电动机转子仍以惯性高速旋转，使 KS－1 仍维持闭合状态，中间继电器 KA1 仍处于吸合状态，所以在接触器 KM1 常闭触头复位后，接触器 KM2 线圈便通电吸合，其常开主触头闭合，使电动机定子绕组经电阻 *R* 获得反相序三相交流电源，对电动机进行反接制动，电动机转速迅速下降，当电动机转速低于速度继电器释放值时，速度继电器常开触头 KS－1 复位，KA1 线圈断电，接触器 KM2 线圈断电释放，反接制动过程结束。

电动机反向启动和反接制动停车控制电路工作情况与上述相似，不同的是，速度继电器起作用的

是反向触头 KS－2，中间继电器 KA2 替代了 KA1，其余情况相同，在此不再复述。

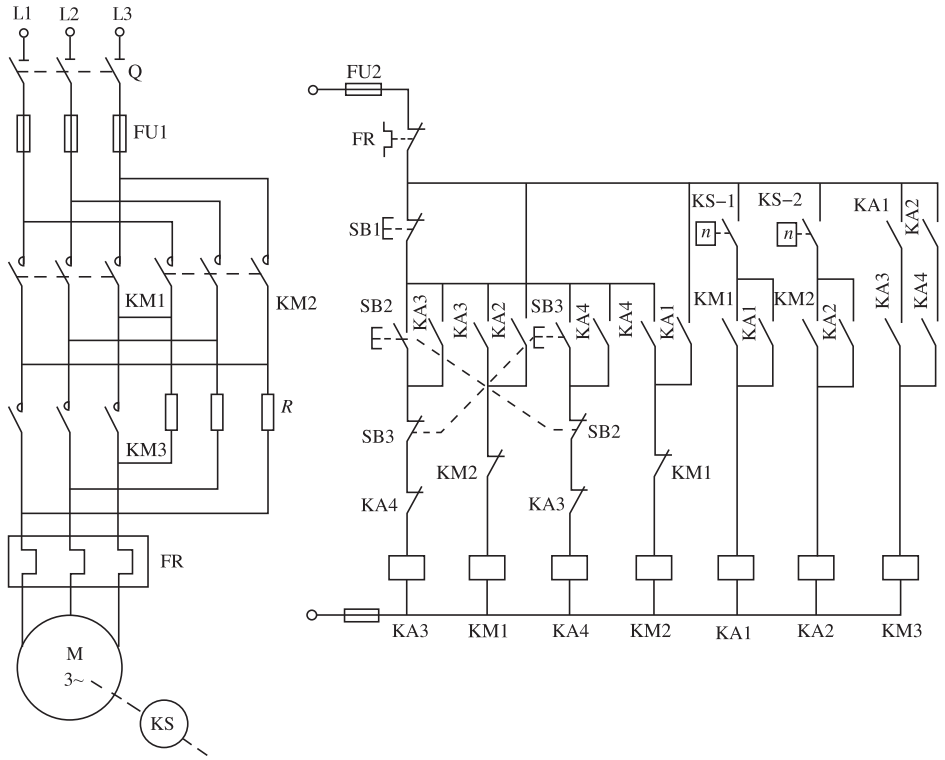


图 2－18　电动机可逆运行反接制动控制电路

三、电动机单向运行能耗制动控制

能耗制动是在电动机脱离三相交流电源后，向定子绕组内通入直流电流，建立静止磁场，转子以惯性旋转，转子导体切割定子恒定磁场产生转子感应电动势，从而产生转子感应电流，利用转子感应电流与静止磁场的作用产生制动的电磁转矩，达到制动的目的。在制动过程中，电流、转速和时间三个参量都在变化，可任取一个作为控制信号。按时间作为变化参量，控制电路简单，实际应用较多，图 2－19 为电动机单向运行时间原则控制能耗制动控制电路图。

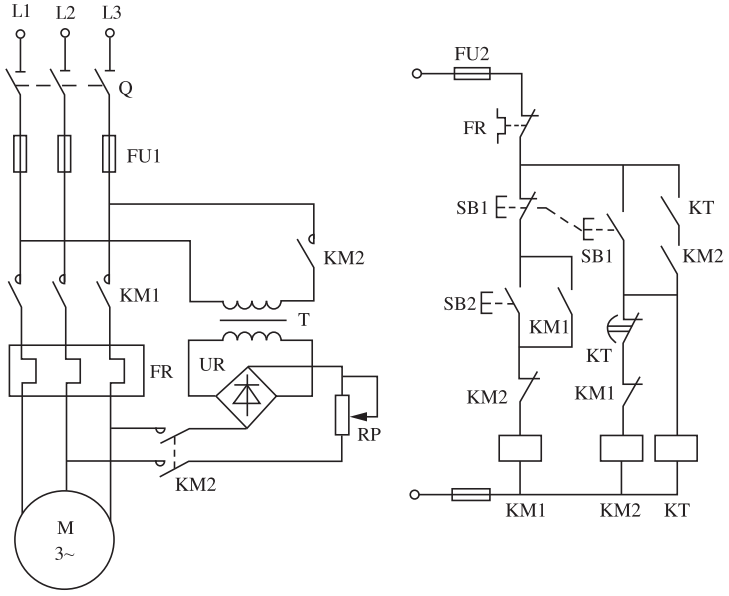


图 2－19　电动机单向运行时间原则能耗制动控制电路

电路工作原理：电动机现已处于单向运行状态，所以 KM1 通电并自锁。若要使电动机停转，只要按下停止按钮 SB1，KM1 线圈断电释放，其主触头断开，电动机断开三相交流电源。同时，KM2、KT 线圈通电并自锁，KM2 主触头将电动机定子绕组接入直流电源进行能耗制动，电动机转速迅速降低，当转速接近零时，通电延时型时间继电器 KT 延时时间到，KT 常闭延时断开触头动作，使 KM2、KT 线圈相继断电释放，能耗制动结束。

图中 KT 的瞬动常开触头与 KM2 自锁触头串接，其作用是：当发生 KT 线圈断线或机械卡住故障，致使 KT 常闭通电延时断开触头断不开，常开瞬动触头也合不上时，可以按下停止按钮 SB1，从而实现点动能耗制动。若无 KT 的常开瞬动触头串接 KM2 常开触头，在发生上述故障时，按下停止按钮 SB1 后，将使 KM2 线圈长期通电吸合，使电动机两相定子绕组长期接入直流电源。

四、电动机可逆运行能耗制动控制

图 2－20 为速度原则控制电动机可逆运行能耗制动电路。图中 KM1、KM2 为电动机正、反转接触器，KM3 为能耗制动接触器，KS 为速度继电器。

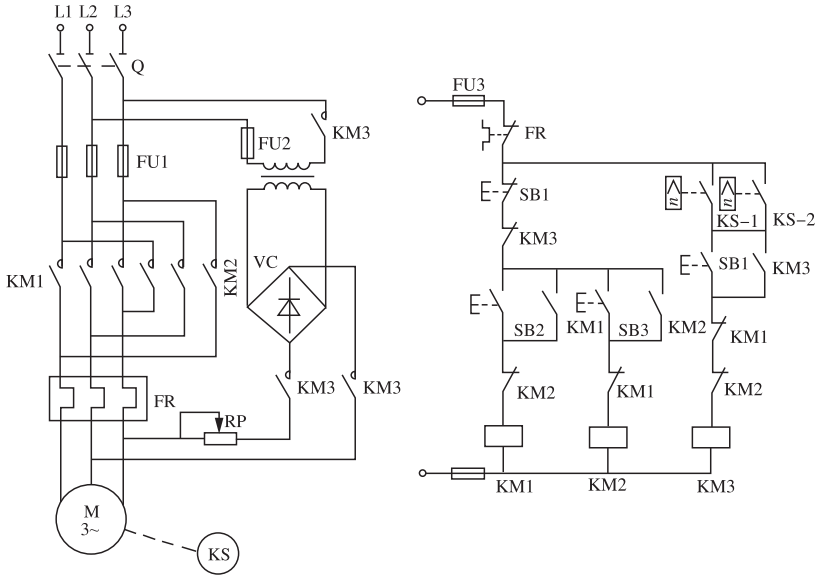


图 2－20　速度原则控制电动机可逆运行能耗制动电路

电路工作原理：合上电源开关 Q，根据需要按下正转或反转启动按钮 SB2 或 SB3，相应接触器 KM1 或 KM2 线圈通电吸合并自锁，电动机启动旋转。此时速度继电器相应的正向或反向触头 KS－1 或 KS－2 闭合，为停车接通 KM3 实现能耗制动做准备。

停车时，按下停止按钮 SB1，电动机定子三相交流电源切除。当按到底时，KM3 线圈通电并自锁，电动机定子接入直流电源进行能耗制动，电动机转速迅速降低，当转速下降到低于 100r/min 时，速度继电器释放，其触头在反力弹簧作用下复位断开，使 KM3 线圈断电释放，切除直流电源，能耗制动结束，以后电动机依惯性自然停车至零。

对于负载转矩较为稳定的电动机，能耗制动时采用时间原则控制为宜，因为此时时间继电器的延时整定值较为固定。而对那些适合安装速度继电器来反映电动机转速的场合，采用速度原则控制较为合适，视具体情况而定。

五、无变压器单管能耗制动控制

对于 10kW 以下电动机，在制动要求不高时，可采用无变压器单管能耗制动。图 2－21 为无变压器单管能耗制动电路。图中 KM1 为线路接触器，KM2 为制动接触器，KT 为能耗制动时间继电器。该电路整流电源电压为 220V，由 KM2 主触头接至电动机定子绕组，经整流二极管 VD 接至电源中性

线 N 构成闭合电路。制动时电动机 U、V 相由 KM2 主触头短接，因此只有单方向制动转矩。电路工作原理与图 2－19 所示电路相似，读者可自行分析。

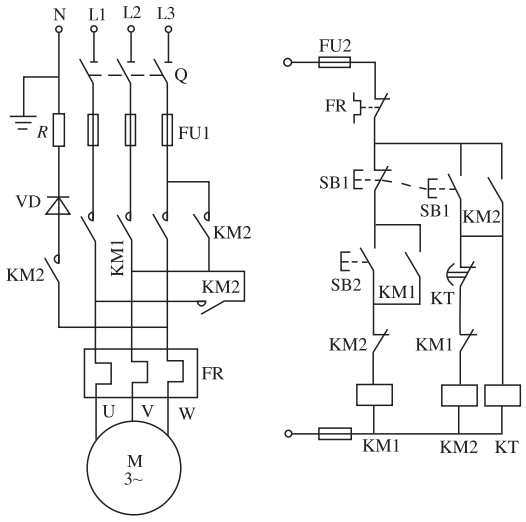


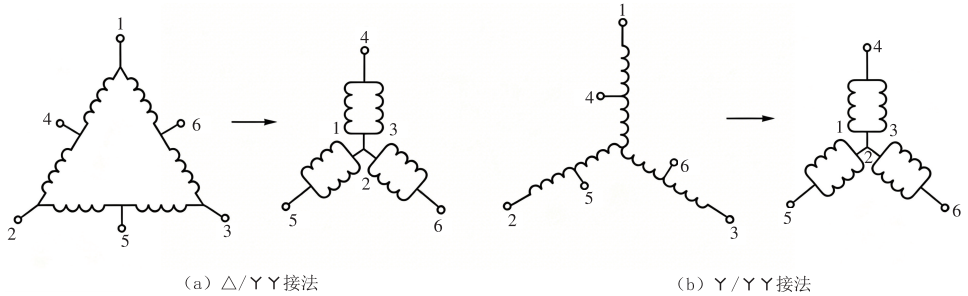
图 2－21　电动机无变压器单管能耗制动电路

第五节
三相异步电动机的调速控制

由三相异步电动机转速 $n=60f_1(1-s)/p_1$ 可知，三相异步电动机调速方法有变极对数、变转差率和变频调速三种。而变极对数调速一般仅适用于笼型异步电动机，变转差率调速可通过调节定子电压、改变转子电路中的电阻以及采用串级调速来实现。变频调速是现代电力传动的一个主要发展方向，已广泛应用于工业自动控制中。本节介绍三相笼型异步电动机变极调速控制、三相绕线转子电动机转子串电阻调速控制和三相异步电动机变频调速控制。

一、三相笼型异步电动机变极调速控制

变极调速是通过接触器触头来改变电动机绕组的接线方式，以获得不同的极对数来达到调速目的的。变极电动机一般有双速、三速、四速之分，双速电动机定子装有一套绕组，而三速、四速电动机则有两套绕组。图 2－22 为双速电动机三相绕组接线图，图 2－22（a）为三角形（四极，低速）与双星形（二极，高速）联结；图 2－22（b）为星形（四极，低速）与双星形（二极，高速）联结。



（a）△/YY接法　　（b）Y/YY接法

图 2－22　双速电动机三相绕组接线图

图 2－23 为双速电动机变极调速控制电路。图中 KM1 为电动机三角形联结接触器，KM2、KM3 为电动机双星形联结接触器，KT 为电动机低速换高速时间继电器，SA 为高、低速选择开关，其有三个位置，“左”位为低速，“右”位为高速，“中间”位为停止。电路工作原理请读者自行分析。

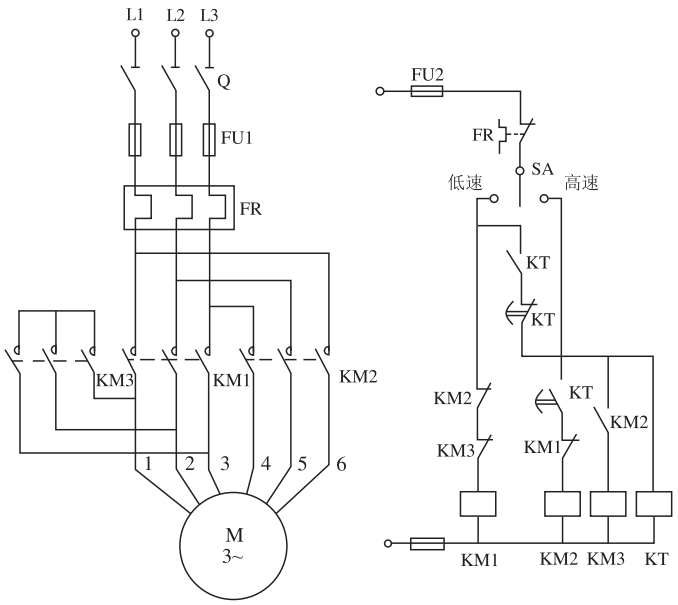


图 2－23　双速电动机变极调速控制电路

二、三相绕线转子异步电动机转子串电阻调速控制

为满足起重运输机械要求拖动电机启动转矩大、速度可以调节等要求，常使用三相绕线转子电动机，并应用转子串电阻，用控制器来接通接触器线圈，再用相应接触器的主触头来实现电动机的正反转，与短接转子电阻来实现电动机调速的目的，图 2－24 为用凸轮控制器控制电动机正反转与调速的电路。图中 KM 为线路接触器，KOC 为过电流继电器，SQ1、SQ2 分别为向前、向后限位开关，UCC 为凸轮控制器。控制器左右各有 5 个工作位置，中间为零位，其上共有 9 对常开主触头，3 对常闭触头。其中 4 对常开主触头接于电动机定子电路进行换相控制，用以实现电动机正反转；另 5 对常开主触头接于电动机转子电路，实现转子电阻的接入和切除以获得不同的转速，转子电阻采用不对称接法。其余 3 对常闭触头，其中 1 对用以实现零位保护，即控制器手柄必须置于“0”位，才可启动电动机；另 2 对常闭触头与 SQ1 和 SQ2 限位开关串联实现限位保护。电路工作原理读者可自行分析。

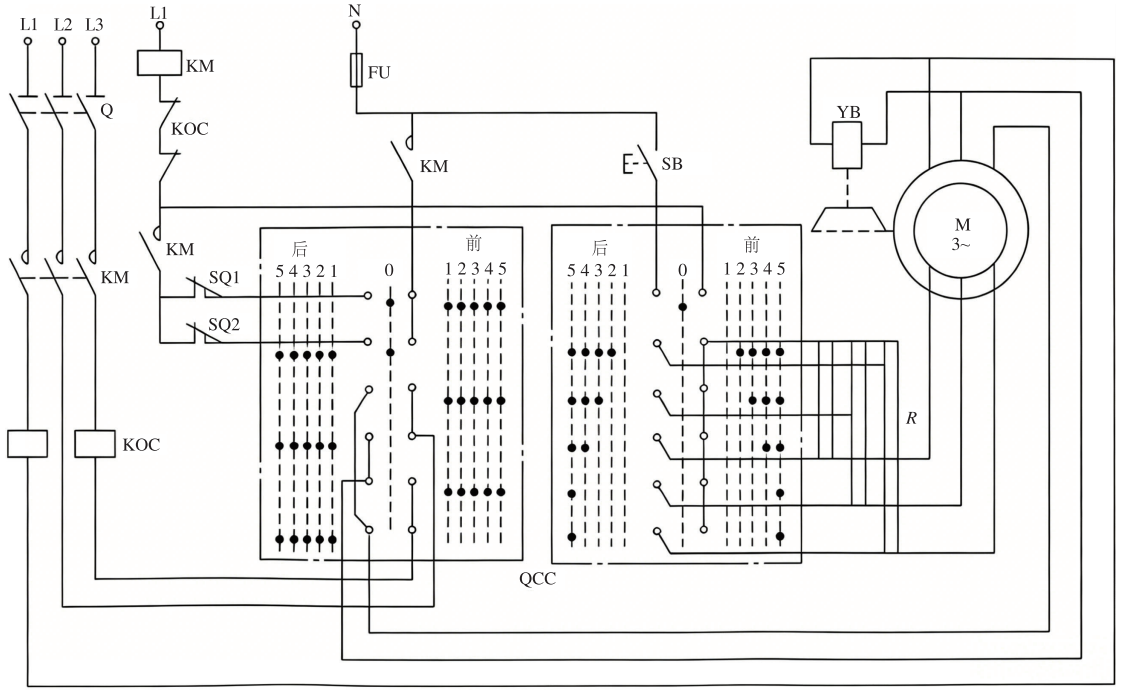


图 2－24　用凸轮控制器控制电动机正反转与调整的电路

三、三相异步电动机变频调速控制

交流电动机变频调速是近几十年来发展起来的新技术，随着电力电子技术和微电子技术的迅速发展，交流调速系统已进入实用化、系列化，采用变频器的变频装置已获得广泛应用。

由三相异步电动机转速公式 $n=(1-s)60f_1/p_1$ 可知，只要连续改变电动机交流电源的频率 f_1，就可实现连续调速。交流电源的额定频率 $f_{1N}=50$ Hz，所以变频调速有额定频率以下调速和额定频率以上调速两种。

（一）额定频率以下调速

当电源频率 f_1 在额定频率以下调速时，电动机转速下降，但在调节电源频率的同时，必须同时调节电动机的定子电压 U_1，且始终保持 $U_1/f_1=$ 常数，否则电动机无法正常工作。这是因为三相异步电动机定子绕组相电压 $U_1\approx E_1=4.44f_1N_1K_1\Phi_m$，当 f_1 下降时，若 U_1 不变，则必使电动机每极磁通 Φ_m 增加，在电动机设计时，Φ_m 处于磁路磁化曲线的膝部，Φ_m 的增加将进入磁化曲线饱和段，使磁路饱和，电动机空载电流剧增，使电动机负载能力变小，从而无法正常工作。为此，当电动机在额定频率以下调节时，应使 Φ_m 保持恒定不变。所以，在频率下调的同时应使电动机定子相电压随之下调，并使 $U'_1/f'_1=U_{1N}/f_{1N}=$ 常数。可见，电动机额定频率以下的调速为恒磁通调速，由于 Φ_m 不变，调速过程中电磁转矩 $T=G_t\Phi_mI_{2S}\cos\varphi_2$ 不变，故属于恒转矩调速。

（二）额定频率以上调速

当电源频率 f_1 在额定频率以上调速时，电动机的定子相电压是不允许在额定相电压以上调节的，否则会危及电动机的绝缘。所以，电源频率上调时，只能维持电动机定子额定相电压 U_{1N} 不变。于是，随着 f_1 升高 Φ_m 将下降，但 n 上升，故属于恒功率调速。

具体变频调速控制将在后续课程讲述。

第六节
直流电动机的电气控制

直流电动机具有良好的启动、制动和调速性能，容易实现各种运行状态的控制。直流电动机有串励、并励、复励和他励四种，其控制电路基本相同，本节仅介绍直流他励电动机的启动、反向和制动的电气控制。

一、直流电动机单向运转启动控制

直流电动机在额定电压下直接启动，启动电流为额定电流的 10～20 倍，产生很大的启动转矩，导致电动机换向器和电枢绕组损坏。为此在电枢回路中串入电阻启动。同时，他励直流电动机在弱磁或零磁时会产生“飞车”现象，因此在接入电枢电压前，应先接入额定励磁电压，而且在励磁回路中应有弱磁保护。图 2－25 为直流电动机电枢串两级电阻，按时间原则启动控制电路。图中 KM1 为线路接触器，KM2、KM3 为短接启动电阻接触器，KOC 为过电流继电器，KUC 为欠电流继电器，KT1、KT2 为时间继电器，R_3 为放电电阻。

（一）电路工作原理

合上电枢电源开关 Q1 和励磁与控制电路电源开关 Q2，励磁回路通电，KUC 线圈通电吸合，其常开触头闭合，为启动做好准备；同时，KT1 线圈通电，其常闭触头断开，切断 KM2、KM3 线圈电路，保证串入 R_1、R_2 启动。按下启动按钮 SB2，KM1 线圈通电并自锁，主触头闭合，接通电动机电枢回路，电枢串入两级启动电阻启动；同时 KM1 常闭辅助触头断开，KT1 线圈断电，为延时使

KM2、KM3 线圈通电，短接 R_1、R_2 做准备。在串入 R_1、R_2 启动的同时，并接在 R_1 电阻两端的 KT2 线圈通电，其常开触头断开，使 KM3 不能通电，确保 R_2 电阻串入启动。

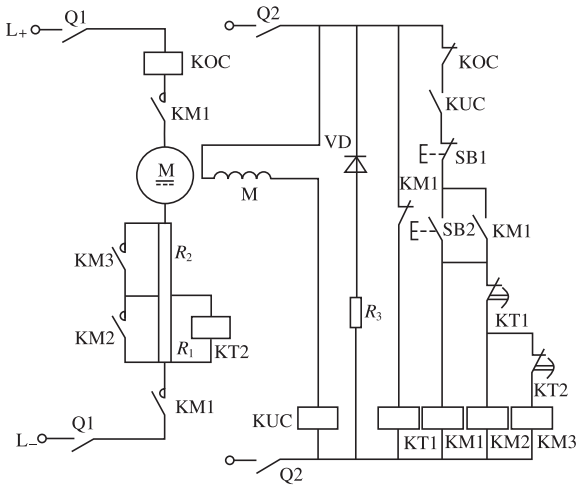


图 2－25　直流电动机电枢串电阻单向运转启动电路

经一段时间延时后，KT1 延时闭合触头闭合，KM2 线圈通电吸合，主触头短接电阻 R_1，电动机转速升高，电枢电流减小。就在 R_1 被短接的同时，KT2 线圈断电释放，再经一定时间的延时，KT2 延时闭合触头闭合，KM3 线圈通电吸合，KM3 主触头闭合短接电阻 R_2，电动机在额定电枢电压下运转，启动过程结束。

（二）电路保护环节

过电流继电器 KOC 实现电动机过载和短路保护；欠电流继电器 KUC 实现电动机弱磁保护；电阻 R_3 与二极管 VD 构成励磁绕组的放电回路，实现过电压保护。

二、直流电动机可逆运转启动控制

图 2－26 为改变直流电动机电枢电压极性实现电动机正反转控制电路。图中 KM1、KM2 为正、反转接触器，KM3、KM4 为短接电枢电阻接触器，KT1、KT2 为时间继电器，R_1、R_2 为启动电阻，R_3 为放电电阻，ST1 为反向转正向行程开关，ST2 为正向转反向行程开关。启动时电路工作情况与图 2－25 电路相同，但启动后，电动机将按行程原则实现电动机的正、反转，拖动运动部件实现自动往返运动。电路工作原理由读者自行分析。

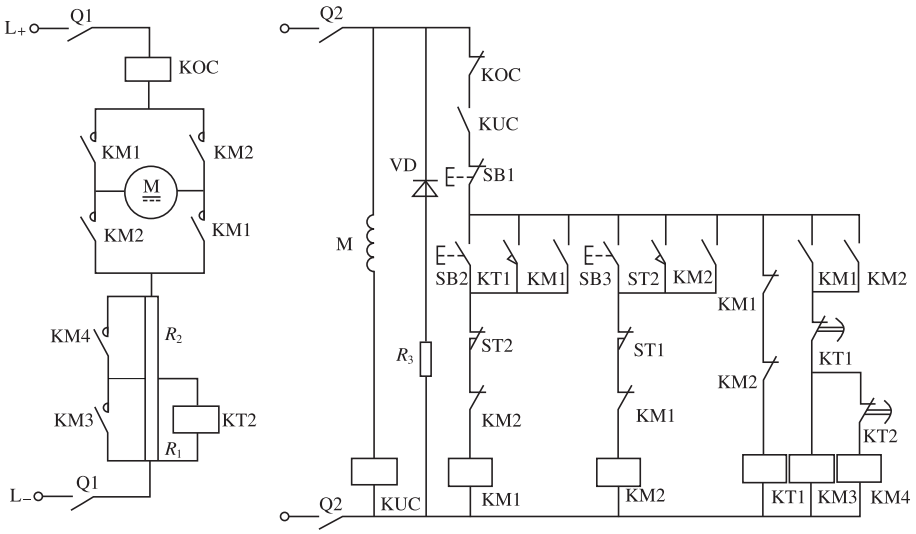


图 2－26　直流电动机正反转控制电路

三、直流电动机单向运转能耗制动控制

图 2－27 为直流电动机单向运转能耗制动电路。图中 KM1、KM2、KM3、KOC、KUC、KT1、KT2 作用与图 2－25 相同，KM4 为制动接触器，KV 为电压继电器。

电路工作原理：电动机启动时电路工作情况与图 2－25 相同，不再重复。停车时，按下停止按钮 SB1，KM1 线圈断电释放，其主触头断开电动机电枢电源，电动机以惯性旋转。由于此时电动机转速较高，电枢两端仍有足够大的感应电动势，使并联在电枢两端的电压继电器 KV 经自锁触头仍保持通电吸合状态，KV 常开触头仍闭合，使 KM4 线圈通电吸合，其常开主触头将电阻 R_4 并联在电枢两端，电动机实现能耗制动，使转速迅速下降，电枢感应电动势也随之下降，当降至一定值时电压继电器 KV 释放，KM4 线圈断电，电动机能耗制动结束，电动机自然停车至零。

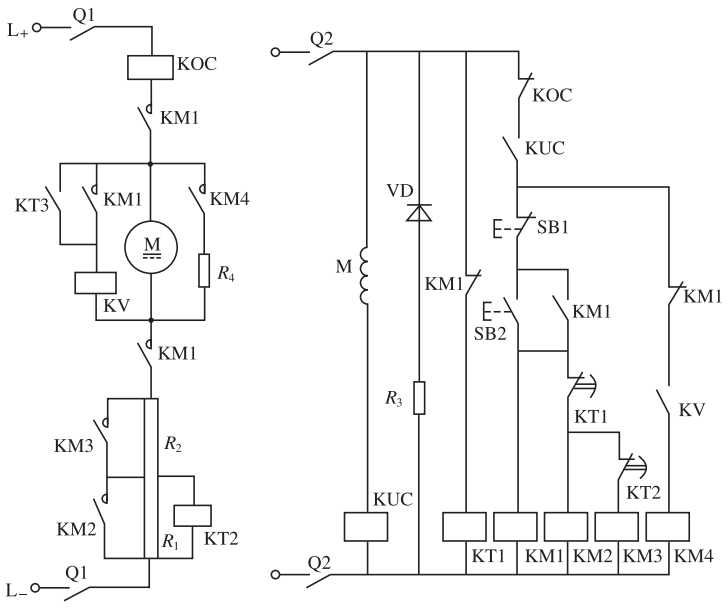


图 2－27　直流电动机单向运转能耗制动电路

四、直流电动机可逆运转反接制动控制

图 2－28 为直流电动机可逆运转反接制动控制电路。图中 KM1、KM2 为电动机正反转接触器，KM3、KM4 为短接启动电阻接触器，KM5 为反接制动接触器，KOC 为过电流继电器，KUC 为欠电流继电器，KV1、KV2 为反接制动电压继电器，R_1、R_2 为启动电阻，R_3 为放电电阻，R_4 为反接制动电阻，KT1、KT2 为时间继电器，ST1 为正转变反转行程开关，ST2 为反转变正转行程开关。

该电路为按时间原则两级启动，能实现正反转并通过 ST1、ST2 行程开关实现自动换向，在换向过程中能实现反接制动，以加快换向过程。下面以电动机正转运行变反转运行为例来说明电路工作情况。

电动机正在做正向运转并拖动运动部件做正向移动，当运动部件上的撞块压下行程开关 ST1 时，KM1、KM3、KM4、KM5、KV1 线圈断电释放，KM2 线圈通电吸合。电动机电枢接通反向电源，同时 KV2 线圈通电吸合，反接时的电枢电路如图 2－29 所示。

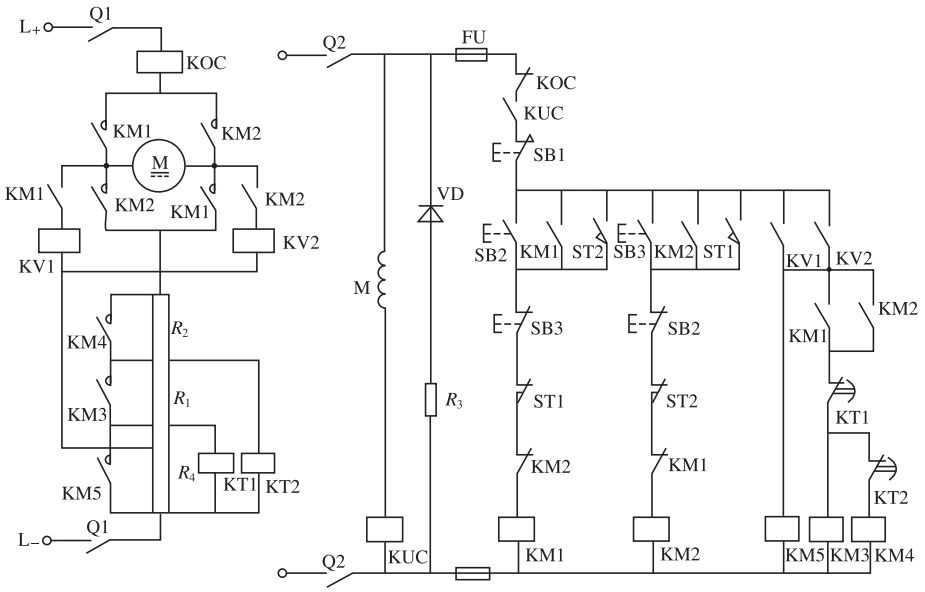


图 2－28　直流电动机可逆运转反接制动控制电路

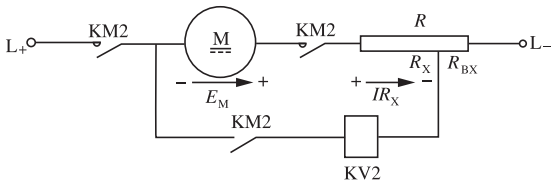


图 2－29　反接时的电枢电路

由于机械惯性，电动机转速及电动势 E_M 的大小和方向来不及变化，且电动势 E_M 方向与电枢串电阻电压降 IR 方向相反，此时加在电压继电器 KV2 线圈上的电压很小，不足以使 KV2 吸合，KM3、KM4、KM5 线圈处于断电释放状态，电动机电枢串入全部电阻进行反接制动，电动机转速迅速下降，随着电动机转速的下降，电动机电势 E_M 迅速减小，电压继电器 KV2 线圈上的电压逐渐增加，当 $n \approx 0$ 时，$E_M \approx 0$，加至 KV2 线圈上的电压加大并使其吸合动作，常开触头闭合，KM5 线圈通电吸合。KM5 主触头短接反接制动电阻 R_4，同时 KT1 线圈断电释放，电动机串入 R_1、R_2 电阻反向启动，经 KT1 断电延时触头闭合，KM3 线圈通电，KM3 主触头短接启动电阻 R_1，同时 KT2 线圈断电释放，经 KT2 断电延时触头闭合，KM4 线圈通电吸合，KM4 主触头短接启动电阻 R_2，进入反向正常运转，拖动运动部件反向移动。

当运动部件反向移动撞块压下行程开关 ST2 时，则由电压继电器 KV1 来控制电动机实现反转时的反接制动和正向启动过程，此处不再复述。

五、直流电动机调速控制

直流电动机可改变电枢电压或改变励磁电流来调速，前者常由晶闸管构成单相或三相全波可控整流电路，经改变其导通角来实现降低电枢电压的控制；后者常改变励磁绕组中的串联电阻来实现弱磁调速。下面以改变电动机励磁电流为例来分析其调速控制原理。

图 2－30 为直流电动机改变励磁电流的调速控制电路。电动机的直流电源采用两相零式整流电路，电阻 R 兼有启动限流和制动限流的作用，电阻 RP 为调速电阻，电阻 R_2 用于吸收励磁绕组的自感电动势，起过电压保护作用。KM1 为能耗制动接触器，KM2 为运行接触器，KM3 为切除启动电阻接触器。

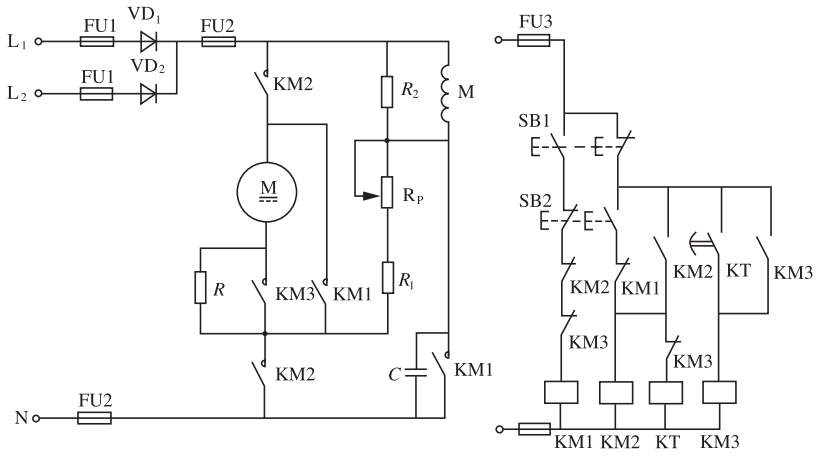


图 2－30　直流电动机改变励磁电流的调速控制电路

电路工作原理：

（1）启动。按下启动按钮 SB2，KM2 和 KT 线圈同时通电并自锁，电动机 M 电枢串入电阻 R 启动。经一段延时后，KT 通电延时闭合触头闭合，使 KM3 线圈通电并自锁，KM3 主触头闭合，短接启动电阻 R，电动机在全压下启动运行。

（2）调速。在正常运行状态下，调节电阻 R_P，改变电动机励磁电流大小，从而改变电动机励磁磁通，实现电动机转速的改变。

（3）停车及制动。在正常运行状态下，按下停止按钮 SB1，接触器 KM2 和 KM3 线圈同时断电释放，其主触头断开，切断电动机电枢电路；同时 KM1 线圈通电吸合，其主触头闭合，通过电阻 R 接通能耗制动电路，而 KM1 另一对常开触头闭合，短接电容器 C，使电源电压全部加在励磁线圈两端，实现能耗制动过程中的强励磁作用，加强制动效果。松开停止按钮 SB1，制动结束。

第七节
电气控制系统常用的保护环节

电气控制系统必须在安全可靠的前提下来满足生产工艺要求，为此，在电气控制系统的设计与运行中，必须考虑系统发生各种故障和不正常工作情况的可能性，在控制系统中设置有各种保护装置以实现各种保护。所以，保护环节是所有电气控制系统不可缺少的组成部分。常用的保护环节有短路、过电流、过载、失电压、欠电压、过电压、断相、超速与弱磁保护等。本节主要介绍低压电动机常用的保护环节。

一、短路保护

当电器或线路绝缘遭到损坏、负载短路、接线错误时将产生短路现象。短路时产生的瞬时故障电流可达到额定电流的十几倍到几十倍，使电气设备或配电线路因过电流而产生电动力损坏，甚至因电弧而引起火灾。短路保护要求具有瞬动特性，即要求在很短时间内切断电源。短路保护的常用方法有熔断器保护和低压断路器保护。熔断器熔体的选择见第一章有关内容。低压断路器动作电流按电动机启动电流的 1.2 倍来整定，相应低压断路器切断短路电流的触头容量应加大。

二、过电流保护

过电流保护是区别于短路保护的一种电流型保护。所谓过电流是指电动机或电器元件超过其额定电流的运行状态，其一般比短路电流小，不超过 6 倍额定电流。在过电流情况下，电器元件并不是马

上损坏，只要在达到最大允许温升之前，电流值能恢复正常，还是允许的。但过大的冲击负载，使电动机流过过大的冲击电流，以致损坏电动机。同时，过大的电动机电磁转矩也会使机械的传动部件受到损坏，因此要瞬时切断电源。电动机在运行中产生过电流的可能性要比发生短路的可能性大，特别是在频繁启动、正反转和重复短时工作电动机中更是如此。

过电流保护常用过电流继电器来实现，通常过电流继电器与接触器配合使用，即将过电流继电器线圈串接在被保护电路中，当电路电流达到其整定值时，过电流继电器动作，而过电流继电器常闭触头串接在接触器线圈电路中，使接触器线圈断电释放，接触器主触头断开来切断电动机电源。这种过电流保护环节常用于直流电动机和三相绕线转子电动机的控制电路中。若过流继电器动作电流为 1.2 倍电动机启动电流，则过流继电器亦可实现短路保护作用。

三、过载保护

过载保护是过电流保护中的一种。过载是指电动机的运行电流大于其额定电流，但在 1.5 倍额定电流以内。引起电动机过载的原因很多，如负载的突然增加，缺相运行或电源电压降低等。若电动机长期过载运行，其绕组的温升将超过允许值而使绝缘老化、损坏。过载保护装置要求具有反时限特性，且不会受电动机短时过载冲击电流或短路电流的影响而瞬时动作，所以通常用热继电器做过载保护。当有 6 倍以上额定电流通过热继电器时，需经 5 s 后才动作，这样在热继电器未动作前，可能使热继电器的发热元件先烧坏，所以在使用热继电器做过载保护时，还必须装有熔断器或低压断路器等短路保护装置。由于过载保护特性与过电流保护不同，故不能用过电流保护方法来进行过载保护。

对电动机进行缺相保护，可选用带断相保护的热继电器来实现过载保护。

四、失电压保护

电动机应在一定的额定电压下才能正常工作，电压过高、过低或者工作过程中出现非人为因素的突然断电，都可能造成生产机械损坏或人身事故，因此在电气控制电路中，应根据要求设置失电压保护、过电压保护和欠电压保护。

电动机正常工作时，如果因为电源电压消失而停转，一旦电源电压恢复，有可能自行启动，电动机的自行启动将造成人身事故或机械设备损坏。为防止电压恢复时电动机自行启动或电器元件自行投入工作而设置的保护称为失电压保护。采用接触器和按钮控制的启动、停止，就具有失电压保护作用。这是因为当电源电压消失时，接触器就会自动释放而切断电动机电源，当电源电压恢复时，由于接触器自锁触头已断开，不会自行启动。如果不是采用按钮而是用不能自动复位的手动开关、行程开关来控制接触器，必须采用专门的零电压继电器。工作过程中一旦失电，零压继电器释放，其自锁电路断开，电源电压恢复时，不会自行启动。

五、欠电压保护

电动机运转时，电源电压过分降低引起电磁转矩下降，在负载转矩不变情况下，转速下降，电动机电流增大。此外，由于电压的降低引起控制电器释放，造成电路不正常工作。因此，当电源电压降到 60％～80％额定电压时，将电动机电源切除而停止工作，这种保护称欠电压保护。

除上述采用接触器及按钮控制方式，利用接触器本身的欠电压保护作用外，还可采用欠电压继电器来进行欠电压保护，吸合电压通常整定为 0.8～0.85 U_N，释放电压通常整定为 0.5～0.7 U_N。其方法是将电压继电器线圈跨接在电源上，其常开触头串接在接触器线圈电路中，当电源电压低于释放值时，电压继电器动作使接触器释放，接触器主触头断开电动机电源实现欠电压保护。

六、过电压保护

电磁铁、电磁吸盘等大电感负载及直流电磁机构、直流继电器等，在通断时会产生较高的感应电

动势，将使电磁线圈绝缘击穿而损坏。因此，必须采用过电压保护措施。通常过电压保护是在线圈两端并联一个电阻，电阻串电容或二极管串电阻，以形成一个放电回路，实现过电压的保护。

七、直流电动机的弱磁保护

直流电动机磁场的过度减少会引起电动机超速，需设置弱磁保护，这种保护是通过在电动机励磁线圈回路中串入欠电流继电器来实现的。在电动机运行时，若励磁电流过小，欠电流继电器释放，其常开触头断开，使直流电动机电枢电路的线路接触器线圈断电释放，接触器主触头断开电动机电枢电路，电动机断开电源，实现保护电动机之目的。

八、其他保护

除上述保护外，还有超速保护、行程保护、油压（水压）保护等，这些都是在控制电路中串接一个受这些参量控制的常开触头或常闭触头来实现对控制电路的电源控制来实现的。这些装置有离心开关、测速发电机、行程开关、压力继电器等。

练习题

一、单项选择题

1.电路中形成电流的必要条件是（　　）。

A.有电源　　B.有电源和闭合回路

C.有导线　　D.有用电器

2.以下哪种电器元件能起到短路保护作用？（　　）

A.熔断器　　B.热继电器　　C.接触器　　D.时间继电器

3.三相异步电动机的旋转方向由下列哪个因素决定？（　　）

A.电源电压大小　　B.电源频率　　C.定子电流相序　　D.转子电阻

4.星—三角降压启动方式，适用于哪种运行状态的电动机？（　　）

A.正常运行时三角形接法　　B.正常运行时星形接法

C.两种接法都适用　　D.所有异步电动机

5.在接触器联锁正反转控制线路中，联锁触头应使用对方接触器的（　　）。

A.主触头　　B.辅助常开触头　　C.辅助常闭触头　　D.以上都可以

6.能耗制动的实现原理是在切断电源后，向定子绕组通入（　　）。

A.直流电流　　B.交流电流　　C.反向交流电流　　D.低电压电流

7.电机铭牌上标注的额定功率指的是（　　）。

A.输入功率　　B.输出功率　　C.视在功率　　D.无功功率

8.控制电路中，熔断器熔体的额定电流和负载额定电流的关系是（　　）。

A.熔体额定电流大于负载额定电流　　B.熔体额定电流小于负载额定电流

C.两者相等　　D.无固定要求

9.在串联电路中，总电阻与各分电阻之和的关系是（　　）。

A.总电阻大于各分电阻之和　　B.总电阻小于各分电阻之和

C.总电阻等于各分电阻之和　　D.不确定

10.三相异步电动机正反转控制电路设置互锁环节的主要目的是（　　）。

A.防止电源短路　　B.提高启动转矩　　C.降低能耗　　D.延长电机寿命

二、多项选择题

1.电气系统控制线路基本组成包含哪几部分？（　　）

A.支回路　　B.主回路　　C.控制回路　　D.变速回路

2.电气控制线路的基本组成部分包括（　　）。

A.电源　　B.控制电器　　C.执行电器

D.保护电器　　E.信号电路

3.电气控制电路中，常见的保护环节包括哪些类型？（　　）

A.过载保护　　B.短路保护　　C.漏电保护　　D.过压保护

4.三相异步电动机的调速方法有哪些？（　　）

A.改变磁极对数（变极调速）　　B.改变转差率调速

C.改变电源频率（变频调速）　　D.改变电源电压调速

5.接触器的主要组成结构包含下列哪些部分？（　　）

A.触头系统　　B.线圈　　C.铁心　　D.灭弧装置

6.电气控制线路中，常用的控制电器包括下列哪些？（　　）

A.接触器　　B.继电器　　C.按钮

D.熔断器　　E.热继电器

7.时间继电器按动作类型可分为哪些类型？（　　）

A.通电延时型　　B.断电延时型　　C.长延时型　　D.短延时型

8.电气控制线路中，实现顺序控制的常用方法有哪些？（　　）

A.时间继电器控制　　B.行程开关控制

C.顺序控制器控制　　D.接触器联锁控制

9.电气控制电路中，常见的故障类型包括哪些？（　　）

A.短路故障　　B.断路故障　　C.过载故障　　D.接触不良故障

10.PLC 控制系统相比传统继电器控制，核心优势包括哪些？（　　）

A.可靠性高　　B.控制灵活　　C.成本更低　　D.维护方便

三、判断题

1.电气控制线路一般分为主电路和控制电路两部分。（　　）

2.热继电器可以同时实现过载保护和短路保护。（　　）

3.PLC 控制系统属于数字控制系统。（　　）

4.自锁电路是依靠接触器自身的辅助常开触点维持电路接通。（　　）

5.只要改变三相异步电动机任意两根电源线，就可以改变旋转方向。（　　）

6.互锁环节的作用就是防止两个接触器同时吸合造成电源短路。（　　）

7.能耗制动比反接制动停车更平稳，能量损耗更小。（　　）

8.星—三角形降压启动可以降低启动电流，适用于所有异步电机。（　　）

9.所有电气设备在电气控制线路中都必须完成接地保护。（　　）

10.电气原理图绘制时，主电路和控制电路一般分开绘制。（　　）

四、简答题

1.常用的电气控制系统有哪三种？

2.何为电气原理图？绘制电气原理图的原则是什么？

3.何为电器布置图？电器元件的布置应注意哪几方面？

4.何为电气接线图？电气接线图的绘制原则是什么？

5.何为电动机的欠电压与失电压保护？接触器与按钮控制电路是如何实现欠电压与失电压保护的？

6.何为互锁控制？实现电动机正反转互锁控制的方法有哪两种？它们有何不同？

7.电动机常用的保护环节有哪些？通常它们各由哪些电器来实现其保护？