

目 录

前言

第一篇 电 器 控 制

第一章 常用低压控制电器..... 1	第六节 其它典型控制环节 62
第一节 概述..... 1	第七节 电器控制线路的设计
第二节 接触器..... 3	方法 64
第三节 继电器 12	第三章 生产机械的电气控制 76
第四节 熔断器 25	第一节 普通车床的电气控制 76
第五节 低压开关和低压断路器 29	第二节 平面磨床的电气控制 78
第六节 主令电器 34	第三节 摇臂钻床的电气控制 80
第七节 低压电器的产品型号 38	第四节 铣床的电气控制 82
第二章 电器控制线路的基本原	第五节 桥式起重机的电气控制 85
则和基本环节 40	第四章 电机扩大机及其控制
第一节 电器控制线路的绘制 40	系统 93
第二节 三相异步电动机的起	第一节 电机扩大机的结构、
动控制 47	原理和特性 93
第三节 三相异步电动机的正	第二节 电机扩大机速度负反
反转控制 55	馈调速系统 95
第四节 三相异步电动机的调	第三节 电机扩大机的性能和
速控制 56	特点 100
第五节 三相异步电动机的制	第一篇习题 101
动控制 60	

第二篇 可编程序控制器应用技术

第五章 可编程序控制器概论 104	第一节 F 系列 PC 的型号、单
第一节 可编程序控制器的产	元和技术特性 114
生与功能特点 104	第二节 输入与输出继电器的编
第二节 PC 的应用与发展概况 106	号及功能 119
第六章 可编程序控制器的基本	第三节 辅助继电器与特殊辅助
结构与工作原理 108	继电器的编号及功能 120
第一节 PC 的基本结构 108	第四节 定时器 T 与计数器 C 122
第二节 PC 的基本工作原理 109	第八章 PC 的指令系统及编程
第三节 PC 的性能指标及分类 110	方法 124
第四节 PC 与其它工业控制系	第一节 PC 的常用编程语言 124
统的比较 112	第二节 PC 的指令系统及编程
第七章 F 系列可编程序控制器 114	方法 125

第三节	编程基本规则与技巧	136			
第四节	编程举例	138			
第九章	编程器的结构功能与使用操作	148			
第一节	编程器的结构类型与功能用途	148			
第二节	编程器的编程工作方式	150			
第三节	编程器监控工作方式	154			
第十章	F₁系列可编程序控制器	157			
第一节	F ₁ 系列PC的结构功能与器件编号	157			
第二节	F ₁ 系列PC的基本指令及编程方法	160			
第三节	步进指令STL/RET及编程方法	162			
第四节	多流程步进控制的处理方法	164			
第五节	步进指令应用举例	169			
第六节	功能指令及编程方法	172			
第十一章	PC控制系统的设计	185			
第一节	PC控制系统设计简述	185			
第二节	扩展计数值和定时值的范围	187			
第三节	输入输出点数的简化	189			
第四节	PC控制系统设计举例	192			
第五节	ROM写入器的功能与操作	204			
第六节	F ₁ /F ₂ 系列PC与EEPROM之间程序的传送与比较	205			
第十二章	PC的安装与维护	207			
第一节	PC的安装与抗干扰措施	207			
第二节	PC系统的试运行与维护	209			
第三节	PC系统的故障检查	210			
第十三章	可编程序控制器的实际应用介绍	214			
第二篇习题		234			
附录		240			
附录A	FX ₂ 系列PC简介	240			
附录B	几种常见的国外PC性能一览表	245			
附录C	国产PC一览表	247			
附录D	PC控制中常用术语中英文对照表	248			
参考文献		250			

第一篇 电器控制

第一章 常用低压控制电器

第一节 概 述

随着科技进步与经济发展、电能的应用越来越广泛，电器对电能的生产、输送、分配与应用起着控制、调节、检测和保护的作⽤。在电力输配电系统和电力拖动自动控制系统中应用极为广泛。

随着电子技术、自控技术和计算机应用的迅猛发展，一些电器元件可能被电子线路所取代，但是由于电器元件本身也朝着新的领域扩展（表现在提高元件的性能、生产新型的元件，实现机、电、仪一体化，扩展元件的应用范围等），且有些电器元件有其特殊性，故是不可能完全被取代的。

本书介绍的低压控制电器元件，多数由专业化的元件制造厂家生产，就自动化专业的技术人员来说，主要是能正确地选用电器元件，因此本书不涉及元件的设计，而着重于应用。

一、电器的分类

电器是接通和断开电路或调节、控制和保护电路及电气设备用的电工器具。

电器的功能多，用途广，品种规格繁多，为了系统地掌握，必须加以分类。

（一）按工作电压等级分

1. 高压电器 用于交流电压 1200V、直流电压 1500V 及以上电路中的电器，例如高压断路器、高压隔离开关、高压熔断器等。

2. 低压电器 用于交流 50Hz（或 60Hz）额定电压为 1200V 以下、直流额定电压为 1500V 及以下的电路内起通断、保护、控制或调节作用的电器（简称电器），例如接触器、继电器等。

（二）按动作原理分

1. 手动电器 人手操作发出动作指令的电器，例如刀开关、按钮等。

2. 自动电器 产生电磁吸力而自动完成动作指令的电器，例如接触器、继电器、电磁阀等。

（三）按用途分

1. 控制电器 用于各种控制电路和控制系统的电器，例如接触器、继电器、电动机起动器等。

2. 配电电器 用于电能的输送和分配的电器，例如高压断路器。

3. 主令电器 用于自动控制系统中发送动作指令的电器，例如按钮、转换开关等。

4. 保护电器 用于保护电路及用电设备的电器，例如熔断器、热继电器等。
 5. 执行电器 用于完成某种动作或传送功能的电器，例如电磁铁、电磁离合器等。

二、电力拖动自动控制系统中常用的低压控制电器

接触器：交流接触器

直流接触器

继电器：电磁式继电器：电压继电器

电流继电器

中间继电器

时间继电器：直流电磁式

空气阻尼式

半导体式

热继电器

干簧继电器

速度继电器

熔断器：瓷插式

螺旋式

有填料封闭管式

无填料密闭管式

快速熔断器

自复式

低压断路器：框架式

塑料外壳式

快速直流断路器

限流式

位置开关：直动式

滚动式

微动式

按钮、刀开关等。

三、我国低压控制电器的发展概况

低压电器是组成电气成套设备的基础配套元件。低压电器使用量大面广，可分为低压配电电器和低压控制电器。

由发电厂生产的电能 80% 以上是以低压电形式付诸使用，每生产 1 万 kW 的发电设备，需生产 4 万件各种低压电器元件与之配套使用。一套 1700mm 连轧机的电气设备中需使用成千品种、规格的十几万件低压电器元件。

从刀开关、熔断器等最简单的低压电器算起，到多种规格的低压断路器、接触器、继电器以及由它们组成的成套电气控制设备都随着国民经济的发展而发展。

解放前，我国的低压电器工业基本上是一片空白，解放后，从 1953 年到 1957 年试制成功低压断路器、接触器等 12 大类，几百种产品，60 年代大功率半导体器件与有触点电器相互结合协调发展。

改革开放以来，低压电器制造工业有了飞速发展，1981年低压电器产品已发展到12大类，380个系列，1200多个品种，几万种规格。特别是先进技术的引进，加快了新产品的问世。从德国BBC公司、AEG公司和美国西屋公司引进的ME系列低压断路器、B系列交流接触器、T系列热继电器、NT和NGT系列熔断器等产品制造技术，基本上实现了国产化，有的产品还返销到国外。我国自行生产的DW15-2500框架式低压断路器，额定电压380V、分断能力为60kA，符合IEC国际标准，结构紧凑、新颖，使用维修方便，电动操作方式并附有应急和维修手柄，保护性能齐全。引进先进技术而开发的新产品B105交流接触器符合IEC和VDE标准，体积小，重量轻，结构紧凑，使用方便，机械寿命达到1000万次，在额定电压380V、使用类别为AC-3时电寿命达到100万次。RT20系列有填料封闭式熔断器，功耗低、分断能力高达120kA。DW15C-1000、1600抽屉式框架断路器主要技术性能指标与引进的同类产品相当，而价格明显低于引进同类产品。

当前，我国低压电器的主攻方向是，抓新产品的研制、开发工作，加强基础技术理论的研究。具体体现在提高电器元件的性能，大力发展机电一体化产品，研制开发智能化电器、电动机综合保护电器、有触点和无触点的混合式电器、模数化终端组合电器和节能电器。模数化终端组合电器是一种安装终端电器的装置，主要特点是实现了电器尺寸模数化、安装轨道化、外形艺术化和使用安全化，是理想的新一代配电装置。带微处理器的框架式低压断路器具有多段保护、接地、过载预警、欠电压保护、逆功率脱扣、试验、测量、自诊断、显示等多功能。

今后，通过深化改革，随着国民经济发展，我国的电器工业将会大大缩短与先进国家的差距，发展到更高的水平，以满足国内外市场的需要。

第二节 接触器

接触器是电力拖动和自动控制系统中使用量大面广的一种低压控制电器，用来频繁地接通和分断交直流主回路和大容量控制电路。主要控制对象是电动机，能实现远距离控制，并具有欠（零）电压保护。

一、结构和工作原理

接触器主要由电磁系统、触头系统和灭弧装置组成，结构简图如图1-1所示。

（一）电磁系统

电磁系统包括动铁心（衔铁）、静铁心和电磁线圈三部分，其作用是将电磁能转换成机械能，产生电磁吸力带动触头动作。

① 电磁系统的结构形式根据铁心形状和衔铁运动方式，可分为三种：衔铁绕棱角转动拍合式、衔铁绕轴转动拍合式、衔铁直线运动螺管式。如图1-2所示。

图1-2a中，衔铁绕磁轭的棱角而转动，磨

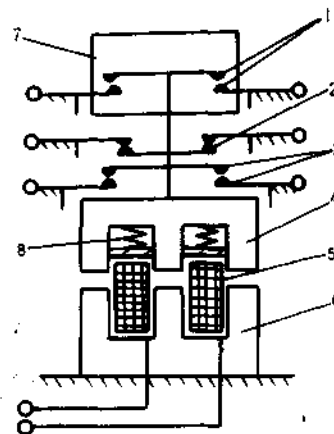


图 1-1 接触器结构简图

- 1—主触头 2—常闭辅助触头 3—常开辅助触头
4—动铁心 5—电磁线圈 6—静铁心
7—灭弧罩 8—弹簧

损较小,铁心用软铁做成,适用于直直接触器;图 1-2b 中,衔铁绕轴转动,铁心用硅钢片叠成,用于交流接触器;图 1-2c 中,衔铁在线圈内作直线运动,用于交流接触器。

② 电磁系统按铁心形状分为 U 形 (如图 1-2a 所示) 和 E 形 (如图 1-2b 和 c 所示)。

③ 电磁系统按电磁线圈的种类可分为直直流线圈和交流线圈两种。

电磁系统的工作情况常用吸力特性和反力特性来表示。

1. 吸力特性 电磁系统的电磁吸力与气隙的关系曲线称为吸力特性。吸力特性随励磁电流的种类 (交流或直流),励磁线圈的连接方式 (并联或串联) 不同而不同,电磁吸力可近似地按下式求得

$$F = 4 \times 10^5 B^2 S$$

式中, F 为电磁吸力; B 为气隙磁感应强度; S 为铁心截面积。

当铁心截面积 S 为常数时,电磁吸力 F 与 B^2 成正比,也可认为 F 与气隙磁通 ϕ^2 成正比,即 $F \propto \phi^2$ 。励磁电流的种类对吸力特性有很大影响,所以下面对交、直流电磁机构的吸力特性分别讨论。

(1) 交流电磁机构的吸力特性 设线圈外加电压 U 不变,交流电磁线圈的阻抗主要决定于线圈的电抗,电阻忽略不计,

$$U \approx E = 4.44 f \phi N, \phi = \frac{U}{4.44 f N}$$

式中, U 为线圈外加电压; E 为线圈感应电动势; f 为电压频率; ϕ 为气隙磁通; N 为电磁线圈的匝数。

当电压频率 f 、电磁线圈的匝数 N 和线圈外加电压 U 为常数时,气隙磁通 ϕ 也为常数,则电磁吸力也为常数,即 F 与气隙 δ 大小无关。实际上,考虑到漏磁通的影响,电磁吸力 F 随气隙 δ 的减少略有增加。交流电磁机构的吸力特性如图 1-3 所示。由于交流电磁机构的气隙磁通 ϕ 不变, IN 随气隙磁阻 (也即随气隙 δ) 的变化成正比变化,所以交流电磁线圈的电流 I 与气隙 δ 成正比变化。

(2) 直流电磁机构的吸力特性 因线圈外加电压 U 和线圈电阻不变,流过线圈的电流 I 也为常数,即不受气隙 δ 变化的影响,根据磁路定律 $\phi = JN/R_m \propto 1/R_m$, 式中, R_m 为气隙磁阻,

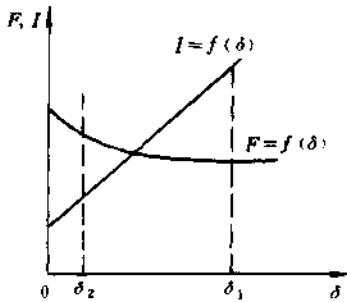


图 1-3 交流电磁机构的吸力特性

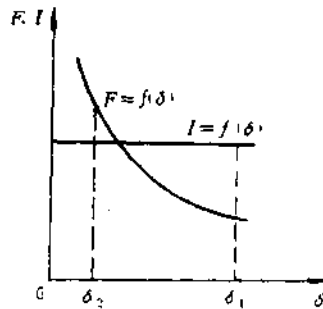


图 1-4 直流电磁机构的吸力特性

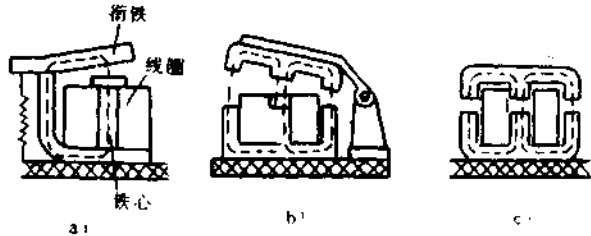


图 1-2 接触器电磁系统的结构图

- a) 衔铁绕棱角转动拍合式
- b) 衔铁绕轴转动拍合式
- c) 衔铁直线运动螺管式

则 $F \propto \phi^2 \propto 1/R_m^2 \propto 1/\delta^2$, 即电磁吸力 F 与气隙 δ 的平方成正比。直流电磁机构的吸力特性如图 1-4 所示。

在一些要求可靠性较高或操作频繁的场所, 一般不采用交流电磁机构而采用直流电磁机构, 这是因为一般 U 形铁心的交流电磁机构的励磁线圈通电而衔铁尚未吸合的瞬间, 电流将达到衔铁吸合后额定电流的 5~6 倍; E 形铁心电磁机构则达到额定电流的 10~15 倍。如果衔铁卡住不能吸合或者频繁操作时, 交流励磁线圈则可能被烧毁。

2. 反力特性 电磁系统的反作用力与气隙的关系曲线称为反力特性。

反作用力包括弹簧力、衔铁自身重力、摩擦阻力等。图 1-5 中所示曲线 3 即为反力特性曲线。

图中 δ_1 为起始位置, δ_2 为动、静触头接触时的位置。在 $\delta_1 \sim \delta_2$ 区域内, 反作用力随气隙减小而略有增大, 到达位置 δ_2 时, 动、静触头接触, 这时触头上的初压力作用到衔铁上, 反作用力骤增, 曲线发生突变。在 $\delta_2 \sim 0$ 区域内, 气隙越小, 触头压得越紧, 反作用力越大, 其曲线比 $\delta_1 \sim \delta_2$ 段陡。

3. 反力特性与吸力特性的配合 为了保证使衔铁能牢牢吸合, 反作用力特性必须与吸力特性配合好, 如图 1-5 所示。在整个吸合过程中, 吸力都必须大于反作用力, 即吸力特性高于反力特性, 但不能过大或过小, 吸力过大时, 动、静触头接触时以及衔铁与铁心接触时的冲击力也大, 会使触头和衔铁发生弹跳, 导致触头的熔焊或烧毁, 影响电器的机械寿命; 吸力过小时, 会使衔铁运动速度降低, 难以满足高操作频率的要求。因此, 吸力特性与反力特性必须配合得当, 才有助于电器性能的改善。在实际应用中, 可调整反力弹簧或触头初压力以改变反力特性, 使之与吸力特性有良好配合。

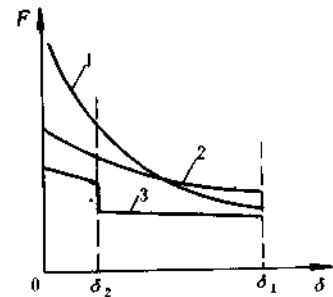


图 1-5 吸力特性和反力特性
1—直流接触器吸力特性 2—交流接触器吸力特性 3—反力特性

(二) 触头系统

触头是接触器的执行元件, 用来接通或断开被控制电路。

触头的结构形式很多, 按其所控制的电路可分为主触头和辅助触头。主触头用于接通或断开主电路, 允许通过较大的电流; 辅助触头用于接通或断开控制电路, 只能通过较小的电流。

触头按其原始状态可分为常开触头和常闭触头: 原始状态时 (即线圈未通电) 断开, 线圈通电后闭合的触头叫常开触头; 原始状态闭合, 线圈通电后断开的触头叫常闭触头 (线圈断电后所有触头复原)。

触头按其结构形式可分为桥型触头和指型触头, 如图 1-6 所示。

触头按其接触形式可分为点接触、线接触和面接触三种, 如图 1-7 所示。

图 1-7a 为点接触, 它由两个半球形触头或一个半球形与一个平面形触头构成, 常用于小电流的电器中, 如接触器的辅助触头或继电器触头。图 1-7b 为线接触, 它的接触区域是一条直线。触头的通断过程是滚动式进行的。开始接通时,

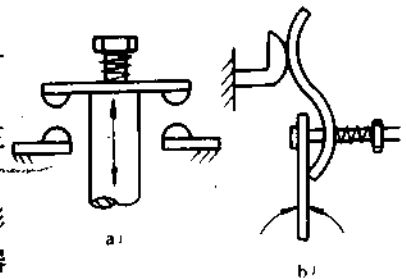


图 1-6 触头结构形式图
a) 桥形触头 b) 指形触头

静、动触头在 A 点处接触，靠弹簧压力经 B 点滚动到 C 点。断开时作相反运动。这样可以自动清除触头表面的氧化物，触头长期正常工作的位置不是在易灼烧的 A 点而是在工作点 C 点，保证了触头的良好接触。线接触多用于中容量的电器，如接触器的主触头。图 1-7c 为面接触，它允许通过较大的电流。这种触头一般在接触表面上镶有合金，以减少触头接触电阻和提高耐磨性，多用于大容量接触器的触头。

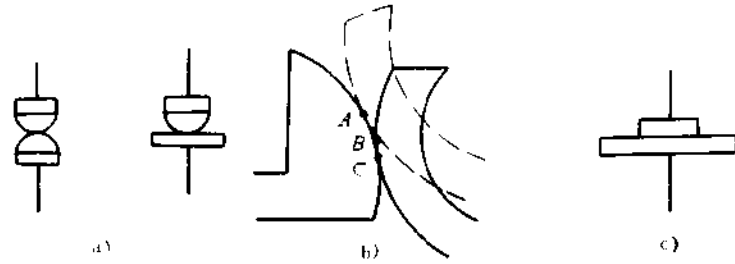


图 1-7 触头接触形式图

a) 点接触 b) 线接触 c) 面接触

(三) 灭弧装置

当触头断开瞬间，触头间距离极小，电场强度极大，触头间产生大量的带电粒子，形成炽热的电子流，产生弧光放电现象，称为电弧。电弧的出现，既妨碍电路的正常分断，又会使触头受到严重腐蚀，为此必须采取有效的措施进行灭弧，以保证电路和电器元件工作安全可靠。要使电弧熄灭，应设法降低电弧的温度和电场强度。常用的灭弧装置有灭弧罩、灭弧栅和磁吹灭弧装置。

1. 灭弧罩 灭弧罩通常用耐弧陶土、石棉水泥或耐弧塑料制成。其作用是分隔各路电弧，以防止发生短路。另外，由于电弧与灭弧罩接触，故能使电弧迅速冷却而熄灭。灭弧罩常用于交流接触器中。

2. 灭弧栅 灭弧栅的灭弧原理如图 1-8 所示。灭弧栅片由许多镀铜薄钢片组成，片间距离为 2~3mm，安放在触头上方的灭弧罩内。一旦出现电弧，电弧周围产生磁场，电弧被导磁钢片吸入栅片内，且被栅片分割成许多串联的短弧，当交流电压过零时电弧自然熄灭，两栅片间必须有 150~250V 电压，电弧才能重燃。这样，一方面电源电压不足以维持电弧，同时由于栅片的散热作用，电弧熄灭后就很难重燃，它常用于交流接触器。

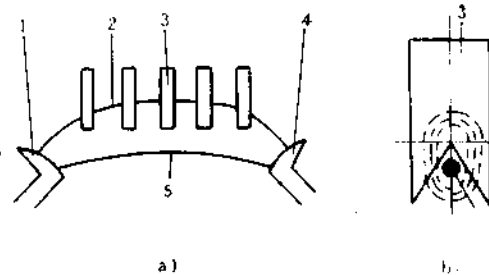


图 1-8 灭弧栅灭弧原理

a) 栅片灭弧原理 b) 电弧进入栅片的图形

1—静触头 2—短电弧 3—灭弧栅片

4—动触头 5—长电弧

3. 磁吹灭弧装置 磁吹灭弧装置的工作原理如图 1-9 所示。在触头电路中串入一吹弧线圈，它产生的磁通通过导磁片引向触头周围；电弧所产生的磁通方向如图 1-9 所示。

可见在弧柱下吹弧线圈产生的磁通与电弧产生的磁通是相加的，而在弧柱上面的彼此抵

消，因此就产生一个向上运动的力将电弧拉长并吹入灭弧罩中，熄弧角和静触头相连接，其作用是引导电弧向上运动，将热量传递给罩壁，促使电弧熄灭。由于这种灭弧装置是利用电弧电流本身灭弧的，故电弧电流越大，灭弧的能力也越强。它广泛应用于直流接触器。

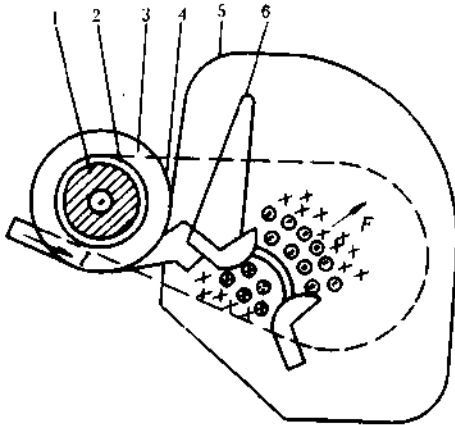


图 1-9 磁吹灭弧装置工作原理
1—铁心 2—绝缘管 3—吹弧线圈
4—导磁铜片 5—灭弧罩 6—熄弧角

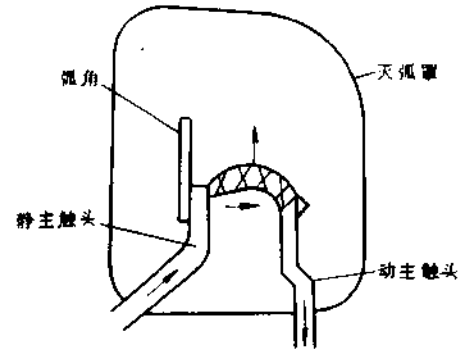


图 1-10 多纵缝灭弧装置

4. 多纵缝灭弧装置 如图 1-10 所示，多纵缝灭弧装置取消了磁吹线圈。在主触头上方装着开有纵向缝隙（缝隙上宽下窄）的灭弧装置。在静主触头上装有铁板制成的弧角，它吸引电弧向上运动，将电弧拉长并冷却。电弧进入缝隙后把热量传给灭弧罩，促使电弧熄灭。

接触器的图形符号、文字符号如图 1-11 所示。

（四）接触器的工作原理

掌握了接触器的结构，就容易了解其工作原理。当电磁线圈通电后，线圈电流产生磁场，使静铁心产生电磁吸力吸引衔铁，并带动触头动作：常闭触头断开；常开触头闭合，两者是联动的。当线圈断电时，电磁吸力消失，衔铁在释放弹簧的作用下释放，使触头复原：常开触头断开，常闭触头闭合。

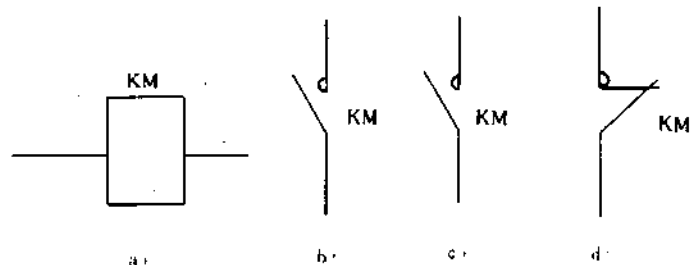


图 1-11 接触器的图形、文字符号

a) 线圈 b) 主触头 c) 常开辅助触头 d) 常闭辅助触头

二、交流接触器

接触器按其主触头所控制主电路电流的种类可分为交流接触器和直流接触器两种。

交流接触器线圈通以交流电，主触头接通、分断交流主电路，如图 1-12 所示。

当交变磁通穿过铁心时，将产生涡流和磁滞损耗，使铁心发热。为减少铁损，铁心用硅钢片冲压而成。为便于散热，线圈做成短而粗的圆筒状绕在骨架上。

由于交流接触器铁心的磁通是交变的，故当磁通过零时，电磁吸力也为零，吸合后的衔

铁在反力弹簧的作用下将被拉开，磁通过零后电磁吸力又增大，当吸力大于反力时，衔铁又被吸合。这样，交流电源频率的变化，使衔铁产生强烈振动和噪声，甚至使铁心松散。因此交流接触器铁心端面上都安装一个铜制的短路环。短路环包围铁心端面约 2/3 的面积，如图 1-13 所示。

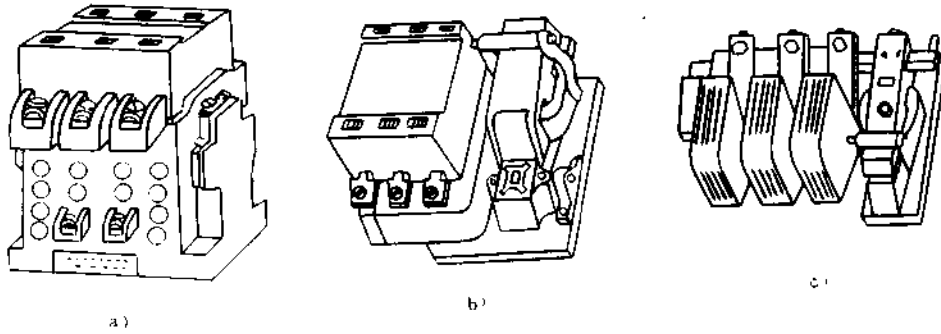


图 1-12 交流接触器

a) CJ10-40 交流接触器 b) CJ10-60 交流接触器 c) CJ12 系列交流接触器

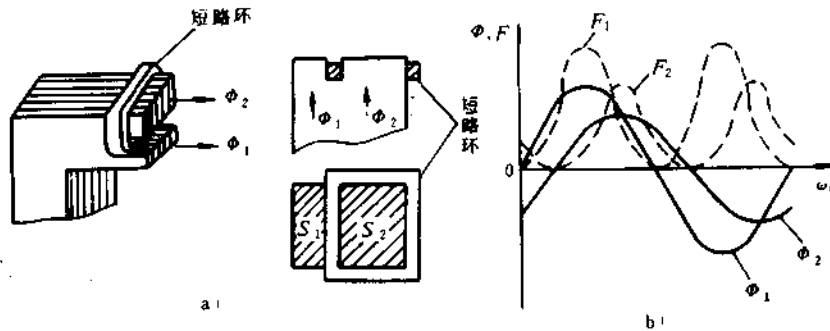


图 1-13 交流接触器铁心的短路环

a) 结构图 b) 电磁吸力图

当交变磁通穿过短路环所包围的截面积 S_2 在环中产生涡流时，根据电磁感应定律，此涡流产生的磁通 ϕ_2 在相位上落后于短路环外铁心截面 S_1 中的磁通 ϕ_1 ，由 ϕ_1 、 ϕ_2 产生的电磁吸力为 F_1 、 F_2 ，作用在衔铁上的合成电磁吸力是 $F_1 + F_2$ ，只要此合力始终大于其反力，衔铁就不会产生振动和噪声。对于 100A 及以上的交流接触器必须采取节能措施。我国首创的接触器无声节电装置，具有节电与消除振动和噪声的优点。不同的厂家，采用的方案也不同，但通常都采用交流起动、直流保持的运行方式。图 1-14 所示为常用的一种交流接触器无声节电装置线路图。其工作过程是：按下起动按钮 SB_1 ，当电源极性瞬间

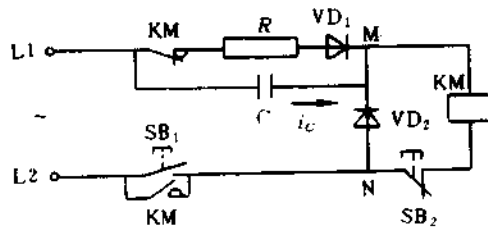


图 1-14 交流接触器无声节电装置线路

为 L1 正、L2 负时，电流经常闭辅助触头 KM、限流电阻 R、二极管 VD_1 、接触器电磁线圈构成回路。当续流二极管 VD_2 的 M 点电位低于 N 点电位时， VD_2 导通起到电磁线圈续流的作用。当接触器通电后，常闭辅助触头断开， VD_1 不导通，如电源极性仍为 L1 正、L2 负时，则电流经降压电容 C 而通过电磁线圈形成回路，同时 KM 自锁，完成交流起动的过程而转入吸合状态。

据实验统计，在交流接触器电磁系统消耗的有功功率中，铁心损耗约占 70%，短路环损耗约占 25%，线圈铜耗仅占 5% 左右。采用直流保持后，铁心损耗和短路环的损耗不存在了，只要很小的保持电流就足以使接触器可靠地处于闭合状态。

交流接触器的灭弧装置通常采用灭弧罩和灭弧栅进行灭弧。

三、直流接触器

直流接触器线圈通以直流电流，主触头接通、切断直流主电路，直流接触器外形如图 1-15 所示。

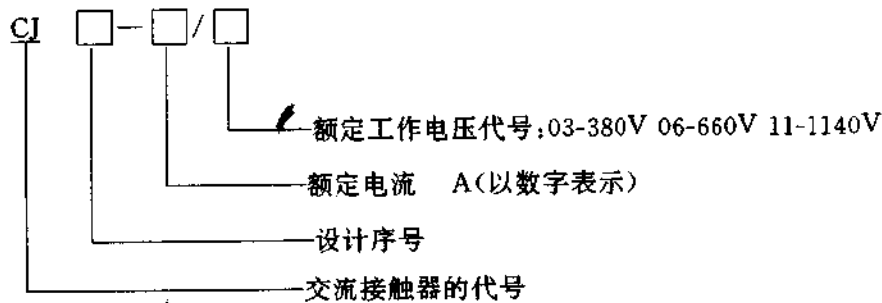
直流接触器的线圈流以直流电，铁心中不会产生涡流和磁滞损耗，所以不会发热。为方便加工，铁心用整块钢块制成。为使线圈散热良好，通常将线圈绕制成长而薄的圆筒状。

对于 250A 以上的直流接触器往往采用串联双绕组线圈，直流接触器双绕组线圈接线图，如图 1-16 所示。图中，线圈 1 为起动线圈，线圈 2 为保持线圈，接触器的一个常闭辅助触头与保持线圈并联连接。在电路刚接通瞬间，保持线圈被常闭触头短接，可使起动线圈获得较大的电流和吸力。当接触器动作后，常闭触头断开，两线圈串联通电，由于电源电压不变，所以电流减小，但仍可保持衔铁吸合，因而可以节电和延长电磁线圈的使用寿命。

直流接触器灭弧较困难，一般采用灭弧能力较强的磁吹灭弧装置。

四、接触器的主要技术数据和选用原则

(一) 接触器的型号及代表意义



常用的 CJ20 系列交流接触器技术数据如表 1-1 所示。

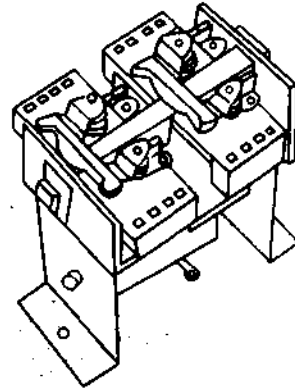


图 1-15 直流接触器外形图

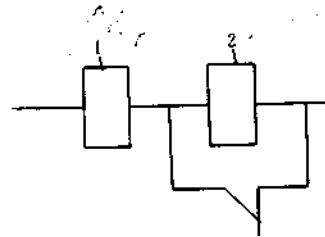
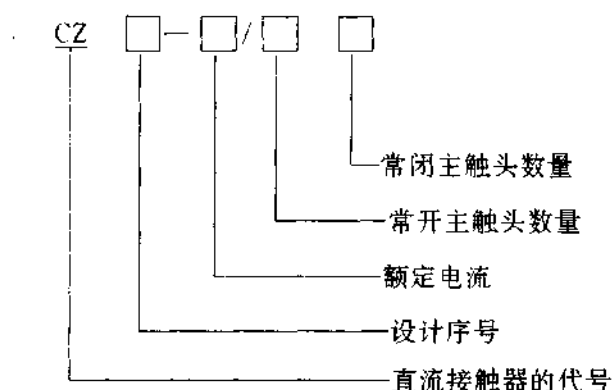


图 1-16 直流接触器双绕组线圈接线图

表 1-1 常用的 CJ20 系列交流接触器技术数据

型号	约定发热电流 (A)	额定工作电压 (V)	额定工作电流 (A)	外形尺寸 (mm) (宽×高×深)	安装尺寸 (mm) (孔数-孔径) (孔宽、孔高)	结构特征	机/电寿命 (万次) (操作频率) (次/h)
CJ20-10	10	220	10	44.5×67.5×107 F≥10	4-φ5 ^{+0.3}	辅助触 头 10A, 2 接通、2 分 断 螺钉安 装	1000/100 1200
		380	10		35±0.31		
		660	5.8		55±0.37		
CJ20-16	16	220	16	44.5×73×116.5 F≥10	4-φ5 ^{+0.3}		
		380	16		35±0.31		
		660	13		60±0.37		
CJ20-25	32	220	25	52.5×90.5×122 F≥10	4-φ5 ^{+0.3}		
		380	25		40±0.195		
		660	16		80±0.37		
CJ20-40	55	220	40	86.5×111.5×118 F≥30	4-φ5 ^{+0.3}		
		380	40		70±0.37		
		660	25		80±0.37		
CJ20-63	80	220	63	116×142×146 F≥60	4-φ5.8 ^{+0.3}		
		380	63		100±0.4		
		660	40		90±0.4		
CJ20-100	125	220	100	120×145×150 F≥70	4-φ7 ^{+0.58}		
		380	100		108±0.435		
		660	63		92±0.435		
CJ20-160	200	220	160	146×187×178 F≥80	4-φ9 ^{+0.58}		
		380	160		130±0.5		
		660	100		130±0.5		
CJ20-160/11		1140	80	146×197×190			
CJ20-250	315	220	250	190×235×230 F≥100	4-φ9 ^{+0.58}		
		380	250		160±0.5		
		660	200		150±0.5		
CJ20-400	400	220	400	245×294×262 F≥110	4-φ9 ^{+0.58}		
		380	400		210±0.5		
		660	250		180±0.5		
CJ20-630	630	220	630	245×294×272 F≥120	4-φ11 ^{+0.7}		
		380	630		210±0.575		
		660	400				
CJ20-630/06		660	400				
CJ20-630/11	400	1140	400	245×294×287 F≥120	4-φ11 ^{+0.7} 210±0.575 180±0.5	辅助触 头 16A, 其 组合形式 为 42、33、 24 螺钉安 装	300/60 600
						300/12 120	



常用的 CZ18 系列直流接触器技术数据如表 1-2 所示。

表 1-2 常用的 CZ18 系列直流接触器技术数据

型号	约定发热电流 (A)	额定工作电压 (V)	额定工作电流 (A)	外形尺寸 (mm) (宽×高×深)	安装尺寸 (mm) (孔数-孔径) (孔宽、孔高)	结构特征	机/电寿命 (万次) 操作频率 (次/h)
CZ18-40/10 CZ18-40/20	40	440	40	120 ×166×142 138	2- ϕ 7 28×137	40A、80A 的辅助触头 为 6A，其余 规格为 10A， 其组合形式 为 22	500/50 1200 (其余) 600 (160A)
CZ18-80/10 CZ18-80/20	80		80	138×185×160	2- ϕ 7 28×157		
CZ18-160B/10 CZ18-160/10	160		160	142×323×304 142×273×229	4- ϕ 9 70×240		
CZ18-315B/10 CZ18-315/10	315		315	148×366×349 148×325×269	4- ϕ 9 90×270	主触头组 合型式 10、 20 (160A 及 以上仅有 10) B 形带绝 缘底板	300/30 600
CZ18-630B/10 CZ18-630/10	630		630	176×466×442 176×426×342	4- ϕ 11 110×320		
CZ18-1000B/10 CZ18-1000/10	1000		1000	180×550×510 180×131×410	4- ϕ 13 130×390		

近年来我国由德国引进了西门子公司 3TB 型系列、BBC 公司的 B 型系列等交流接触器。

3TB 型产品结构紧凑、寿命长、技术经济指标优越、外形尺寸小、安装方便、符合 VDE、IEC 标准要求。3TB 型交流接触器技术数据如表 1-3 所示。

(二) 接触器选用原则

1. 额定电压 接触器的额定电压是指主触头的额定电压，应等于负载的额定电压。通常电压等级分为交流接触器 380、660 及 1140V；直流接触器 220、440、660V。

表 1-3 3TB 型交流接触器技术数据

接触器型号	约定发热电流 (A)	380V 时 额定工作电流 (A)	660V 时 额定工作电流 (A)	可控电动机功率 (kW)		接触器在 AC-3 使用类别下的操作频率和电寿命(次)		接触器在 AC-4 使用类别下电寿命数据		
				380V	660V	操作频率 $750h^{-1}$	操作频率 $1200h^{-1}$	可控电动机功率 (kW)		电寿命 (次)
								380V	660V	
3TB40	22	9	7.2	4	5.5	—	1.2×10^6	1.4	2.4	2×10^7
3TB41	22	12	9.5	5.5	7.5	—	1.2×10^6	1.9	3.3	
3TB42	35	16	13.5	7.5	11	—	1.2×10^6	3.5	6	
3TB43	35	22	13.5	11	11	—	1.2×10^6	4	6.6	
3TB44	55	32	18	15	15	1.2×10^6		7.5	11	

2. 额定电流 接触器的额定电流是指主触头的额定电流,应等于或稍大于负载的额定电流(按接触器设计时规定的使用类别来确定)。CJ20 系列交流接触器额定电流等级有 10、16、32、55、80、125、200、315、400、630A。CZ18 系列直流接触器额定电流等级有 40、80、160、315、630、1000A。

3. 电磁线圈的额定电压 电磁线圈的额定电压等于控制回路的电源电压,通常电压等级分为交流线圈 36、127、220、380V;直流线圈 24、48、110、220V。

使用时,一般交流负载用交流接触器,直流负载用直流接触器,但对于频繁动作的交流负载,可选用带直流电磁线圈的交流接触器。

4. 触头数目 接触器的触头数目应能满足控制线路的要求。各种类型的接触器触头数目不同。交流接触器的触头有三对(常开触头),一般有四对辅助触头,(两对常开、两对常闭),最多可达到六对(三对常开、三对常闭)。

直流接触器主触头一般有两对(常开触头);辅助触头有四对(两对常开、两对常闭)。

5. 额定操作频率 接触器额定操作频率是指每小时接通次数。通常交流接触器为 600 次/h;直流接触器为 1200 次/h。

第三节 继电器

继电器主要用于控制与保护电路或作信号转换用。当输入量变化到某一定值时,继电器动作,其触头接通或断开交、直流小容量的控制回路。

随着现代科技的高速发展,继电器的应用越来越广泛。为了满足各种使用要求,人们研制了一批批新结构、高性能、高可靠性的继电器。

继电器的种类很多,常用的分类方法有:

按用途分:有控制继电器和保护继电器;

按动作原理分:有电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器、电子式继电器和热继电器。

按输入信号的不同来分:有电压继电器、中间继电器、电流继电器、时间继电器、速度继电器等。

一、电磁式继电器

常用的电磁式继电器有电压继电器、中间继电器和电流继电器。

(一) 电磁式继电器的结构与工作原理

电磁式继电器的结构和工作原理与接触器相似，是由电磁系统、触头系统和释放弹簧等组成，电磁式继电器原理如图 1-17 所示。由于继电器用于控制电路，所以流过触头的电流比较小，故不需要灭弧装置。电磁式继电器的图形、文字符号如图 1-18 所示。

(二) 电磁式继电器的特性

继电器的主要特性是输入-输出特性，又称继电器特性，继电器特性曲线如图 1-19 所示。

当继电器输入量 x 由零增至 x_2 以前，继电器输出量 y 为零。当输入量增加到 x_2 时，继电器吸合，输出量为 y_1 ，若 x 再增大， y_1 值保持不变。当 x 减小到 x_1 时，继电器释放，输出量由 y_1 降到零， x 再减小， y 值均为零。

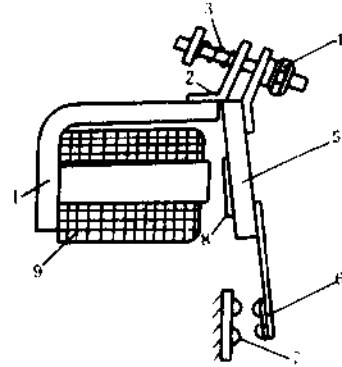


图 1-17 电磁式继电器原理图
1—铁心 2—旋转棱角 3—释放弹簧
4—调节螺母 5—衔铁 6—动触头
7—静触头 8—非磁性垫片 9—线圈



图 1-18 电磁式继电器图形、文字符号

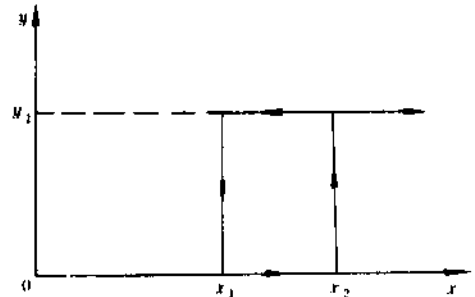


图 1-19 继电器特性曲线

在图 1-19 中， x_2 称为继电器吸合值，欲使继电器吸合，输入量必须等于或大于 x_2 ； x_1 称为继电器释放值，欲使继电器释放，输入量必须等于或小于 x_1 。

$k = x_1/x_2$ 称为继电器的返回系数，它是继电器重要参数之一。 k 值是可以调节的，可通过调节释放弹簧的松紧程度（拧紧时， x_1 与 x_2 同时增大， k 也随之增大；放松时， k 减小）或调整铁心与衔铁间非磁性垫片的厚薄（增厚时 x_1 增大、 k 增大；减薄时 k 减小）来达到。不同场合要求不同的 k 值。例如一般继电器要求低的返回系数， k 值应在 0.1~0.4 之间，这样当继电器吸合后，输入量波动较大时不致引起误动作；欠电压继电器则要求高的返回系数， k 值应在 0.6 以上。设某继电器 $k=0.66$ ，吸合电压为额定电压的 90%，则电压低于额定电压的 60% 时，继电器释放，起到欠电压保护作用。

另一个重要参数是吸合时间和释放时间。吸合时间是指从线圈接受电信号到衔铁完全吸合所需的时间；释放时间是指从线圈失电到衔铁完全释放所需的时间。一般继电器的吸合时间与释放时间为 0.05~0.15s，快速继电器为 0.005~0.05s，它的大小影响继电器的操作频率。

(三) 电压继电器

电压继电器反映的是电压信号。使用时，电压继电器的线圈与负载并联，其线圈匝数多而线径细。常用的有欠（零）电压继电器和过电压继电器两种。

电路正常工作时，欠电压继电器吸合，当电路电压减小到某一整定值以下时（为 $30\% \sim 50\%U_N$ ），欠电压继电器释放，对电路实现欠电压保护。

电路正常工作时，过电压继电器不动作，当电路电压超过某一整定值时（一般为 $105\% \sim 120\%U_N$ ），过电压继电器吸合，对电路实现过电压保护。

零电压继电器是当电路电压降低到 $5\% \sim 25\%U_N$ 时释放，对电路实现零电压保护。

中间继电器实质上是一种电压继电器，中间继电器外形如图 1-20 所示。它的特点是触点数目较多，电流容量可增大，起到中间放大（触头数目和电流容量）的作用。

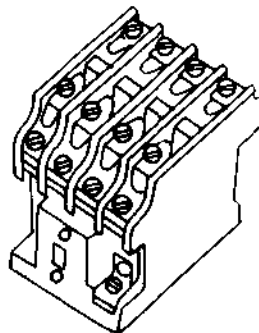


图 1-20 中间继电器外形图

表 1-4 列出了 JT4 系列继电器技术数据。表 1-5 列出了 JZ7 系列继电器技术数据。

表 1-4 JT4 系列继电器技术数据

型 号	吸引线圈规格（交流）（V）	触头组合形式与数量（常开、常闭）
JT4-□□P（零电压）	110、127、220、380	01、10、02、20、11
JT4-□□A（过电压）	110、220、380	01、10、02、20、11

表 1-5 JZ7 系列继电器技术数据

型 号	额定电压（V）		吸引线圈电压（V）	额定电流（A）	触头数量（V）		最高操作频率（次/h）	机械寿命（万次）	电寿命（万次）
	交流	直流			常开	常闭			
JZ7-22	500	440	36、127、220、380、500	5	2	2	1200	300	100
JZ7-41	500	440	36、127、220、380、500	5	1	1	1200	300	100
JZ7-44	500	440	12、36、127、220、380、500	5	4	4	1200	300	100
JZ7-62	500	440	12、36、127、220、380、500	5	6	2	1200	300	100
JZ7-80	500	440	12、36、127、220、380、500	5	8	0	1200	300	100

（四）电流继电器

电流继电器反映的是电流信号。在使用时电流继电器的线圈和负载串联，其线圈匝数少而线径粗。这样，线圈上的压降很小，不会影响负载电路的电流。常用的电流继电器有欠电流继电器和过电流继电器两种。

电路正常工作时，欠电流继电器吸合动作，当电路电流减小到某一整定值以下时，欠电流继电器释放，对电路起欠电流保护作用。

电路正常工作时，过电流继电器不动作，当电路中电流超过某一整定值时，过电流继电器吸合动作，对电路起过流保护作用。

表 1-6 列出了 JL18 系列交直流继电器技术数据。

表 1-6 JL18 系列交直流电流继电器技术数据

型号	额定电压 (V)	额定工作电流 (A)	外形尺寸 (mm) (宽×高×深)	结构特征	型号及代表意义
JL18-1.0	~380 -220	1.0	77×120×105	触头工作电压 ~ 380V、220V 发热电流 10A 可自动及手动复位	
JL18-1.6		1.6			
JL18-2.5		2.5			
JL18-4.0		4.0			
JL18-6.3		6.3			
JL18-10		10			
JL18-16		16			
JL18-25		25			
JL18-40		40			
JL18-63		63			
JL18-100		100			
JL18-160		160			
JL18-250		250			
JL18-400		400	110×120×105		
JL18-630	630				

注：整定电流调节范围：交流吸合 110%~350% I_N
直流吸合 70%~300% I_N

二、干簧继电器

干簧继电器可以反映电压、电流、功率以及电流极性等信号，在检测、自动控制、计算技术等领域中应用广泛。

干簧继电器主要由干式舌簧片与励磁线圈组成。干式舌簧片（触头）是密封的，由铁镍合金做成，舌片的接触部分通常镀以贵金属（如金、铑、钯等），接触良好，具有优良的导电性能。触头密封在充有氮气等惰性气体的玻璃管中，因而有效地防止了尘埃的污染，减少了触头的腐蚀，提高了工作可靠性，其结构原理如图 1-21 所示。

当线圈通电后，管中两舌簧片的自由端分别被磁化成 N 极和 S 极而相互吸引，因而接通了被控制的电路。线圈断电后，舌簧片在本身的弹力作用下分开并复位，控制电路亦被切断。

干簧继电器具有以下特点：

① 吸合功率小，灵敏度高。一般舌簧继电器吸合与释放时间均在 0.5~2ms 以内。

② 触头密封，不受尘埃、潮气及有害气体污染，动片质量小，动程小，触头电寿命长，一般可达 10^8 次左右。动作速度快。

③ 结构简单，体积小。

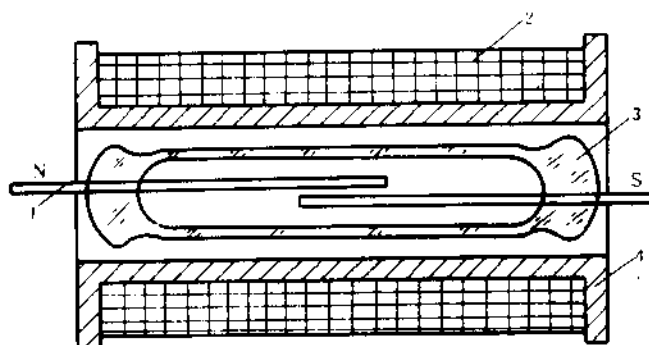


图 1-21 舌（干）簧继电器结构原理图

1—舌簧片 2—线圈 3—玻璃管 4—骨架

④ 价格低廉，维修方便。

⑤ 不足之处是触头易冷焊粘住，过载能力低，触头开距小，耐压低，断开瞬间触点易抖动。

干簧继电器还可以用永磁体来驱动，反映非电信号，用作限位及行程控制以及非电量检测等。

表 1-7 列出了国产部分舌（干）簧继电器系列的技术数据。

表 1-7 国产部分舌（干）簧继电器系列的技术数据

参 数	JAG-2		JAG-3		JAG-4		JAG-5	
	H 形	Z 形	H 形	Z 形	H 形	Z 形 ^①	H 形	Z 形
触头形式	常开	转换	常开	转换	常开	转换	常开	转换
使用环境温度 (°C)	-10~+55		-25~+55		-10~+55		-10~+55	
舌簧管外形尺寸 (mm)	φ4×36	φ4×35	φ3×20	φ3×20	φ3×21	φ3×20	φ8×42	φ8×50
吸合安匝	60~80	45~55	45~85	45~85	25~40	60~100	180~330	180~330
释放安匝	≥25	≥20	25~30	25~30	≥8	≥20	≥60	≥60
吸合时间 (ms)	≤1.7	≤2.5	≤3	≤3	≤0.9		≤5 ^①	≤5 ^①
接触电阻 (Ω)	≤0.1	≤0.15	≤0.2	≤0.2	≤0.15	≤0.15	≤0.5	≤0.5
触头容量 (阻性)	24V 直流 ×0.2A	24V 直流 ×0.1A	24V 直流 ×0.1	24V 直流 ×0.1A	12V 直流 ×0.05A	12V 直流 ×0.05A	最大电压 300V 直流 最大电流 2A 最大功率 200W ^②	
寿命 (次)	10 ⁷	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶		5×10 ⁴	
备 注	上述参数均在标准线圈中测出						环境温度可达 +55°C	

① 为参考数据。

② 特殊情况下 3000V×0.1A 负荷亦可。

三、自动控制用小型继电器

小型继电器适用于自动控制系统和电子线路、计算机接口线路。

下面介绍常用的 JTX 系列小型继电器，JTX 系列继电器有交流、直流电压和直流电流三种型式，结构如图 1-22 所示。

小型继电器由铁心、衔铁、线圈及释放弹簧组成。电磁系统是 U 形拍合式棱角转动结构。通电后靠衔铁带动具有弹性的动触点臂使触头闭合或打开；触头压力由动触头臂的弹性力获得，释放时靠弹簧使触点迅速返回。触头发热电流为 7.5A，电寿命为 10 万次，返回系数为 0.5（因磁路不饱和故返回系数比较高）。

另外，JQX-10F 系列为电子管插座式，结构与 JTX 系列相似，其特点是结构紧凑，采用封闭式，与外电路连接采用电子管插头形式，使用方便，且体积较小（外形尺寸为 63mm×35mm×35mm）。

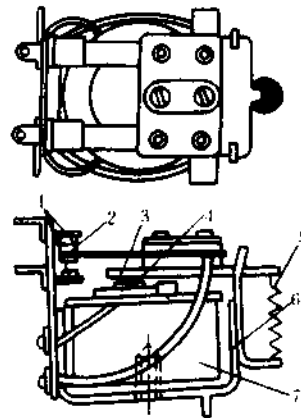


图 1-22 JTX 系列小型通用继电器
1—静触点 2—动触点 3—衔铁 4—铁心
5—释放弹簧 6—铁轭 7—线圈

此外还有一种用于电子线路的微型继电器 DZ-100 系列。该产品动作响应快(动作时间小于 10ms), 电磁系统为小型长 U 形拍合式棱角转动结构, 通电后吸合衔铁, 使长臂绕棱角转动, 长臂的另一端反向推动带有动触点的弹簧片, 使触头断开或闭合。该产品功耗很低, 仅 0.8W; 体积小, 尺寸为 35.5mm×30mm×19mm, 质量只有 31g, 电寿命指标可达 500 万次。

表 1-8 列出 JTX 系列小型继电器的技术数据。

表 1-8 JTX 系列小型继电器的技术数据

线圈额定电压 或额定电流	线圈数据			吸动值不 大于 (V)	释放值 不小于 (V)	线圈工作 电流 (mA)
	线径 (mm)	匝数	电阻 (Ω)			
交流电压 (V)	6	0.31	505	5.5	5.1	415
	12	0.21	1010	24	10.2	208
	24	0.15	2020	92	20.4	102
	36	0.13	3030	190	30.6	69
	110	0.08	9260	1600	93.5	24.2
	127	0.08	10700	2000	108	19
	220	0.05	18500	7500	187	5.4
直流电压 (V)	6	0.21	1535	40	5.1	150
	12	0.15	2875	150	10.2	80
	24	0.11	5475	570	20.4	42
	48	0.08	10700	2230	40.8	21.5
	110	0.05	22000	10000	93.5	11
	220	0.04	22000	20000	187	8.1
直流电流 (mA)	20	0.07	13 000	3000	18	—
	40	0.11	5400	500	36	—

四、热继电器

热继电器是利用电流的热效应原理工作的电器, 广泛用于三相异步电动机的长期过载保护。

电动机在实际运行中, 常会遇到过载情况, 但只要过载不严重、时间短, 绕组不超过允许的温升, 这种过载是允许的。但如果过载情况严重、时间长, 则会加速电动机绝缘的老化, 甚至烧毁电动机, 因此必须对电动机进行长期过载保护。

(一) 热继电器结构与工作原理

热继电器主要由热元件、双金属片和触头组成, 如图 1-23 所示。

热元件由发热电阻丝做成。双金属片由两种热膨胀系数不同的金属辗压而成, 当双金属片受热时, 会出现弯曲变形。使用时, 把热元

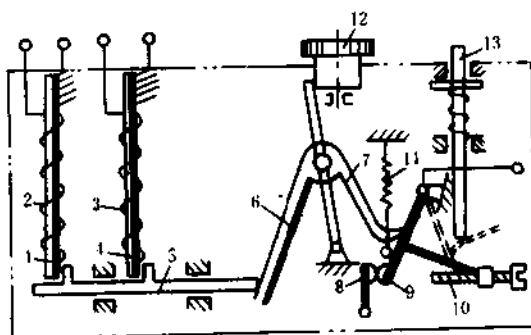


图 1-23 双金属片热继电器结构原理图

- 1、4—主双金属片 2、3—加热元件 5—导板
6—温度补偿片 7—推杆 8—静触头 9—动触头
10—螺钉 11—弹簧 12—凸轮 13—复位按钮

件串接于电动机的主电路中，而常闭触头串接于电动机的控制电路中。当电动机正常运行时，热元件产生的热量虽能使双金属片弯曲，但还不足以使热继电器的触头动作。当电动机过载时，双金属片弯曲位移增大，推动导板使常闭触头断开，从而切断电动机控制电路以起保护作用。

热继电器动作后，经过一段时间的冷却即能自动或手动复位。热继电器动作电流的调节可以借助旋转凸轮于不同位置来实现。

在三相异步电动机电路中，一般采用两相结构的热继电器，即在两相主电路中串接热元件。

如果发生三相电源严重不平衡、电动机绕组内部短路或绝缘不良等故障，使电动机某一相的线电流比其它两相要高，而这一相没有串接热元件的话，热继电器也不能起保护作用，这时需采用三相结构的热继电器。

(二) 断相保护热继电器

对于三相感应电动机，定子绕组为 Δ 联结的电动机必须采用带断相保护的热继电器。因为将热继电器的热元件串接在 Δ 联结的电动机的电源进线中，并且按电动机的额定电流来选择热继电器，当故障线电流达到额定电流时，在电动机绕组内部，电流较大的那一相绕组的故障相电流将超过额定相电流。但由于热元件串接在电源进线中，所以热继电器不会动作，但对电动机来说就有过热危险了。

为了对 Δ 联结的电动机进行断相保护，必须将三个热元件分别串接在电动机的每相绕组中。这时热继电器的整定电流值按每相绕组的额定电流来选择。但是这种接线复杂、麻烦、且导线也较粗。针对我国生产的三相笼型电动机、功率在4kW或以上者大都采用 Δ 联结，为解决这类电动机的断相保护，设计了带有断相保护装置的三相结构热继电器。

JR16系列为断相保护热继电器。断相保护结构如图1-24所示。

图中元件3为双金属片，虚线表示动作位置，图1-24a为断电时的位置。当电流为额定电流时三个热元件正常发热，其端部均向左弯曲并推动上、下导板同时左移，但到不了动作线，继电器常开触头不会动作，如图1-24b所示。当电流过载到达整定的电流时，双金属片弯曲较大，把导板和杠杆推到动作位置，继电器触头动作，如图1-24c所示。当一相（设U相）断路时，U相热元件温度由原来正常发热状态下降，双金属片由弯曲状态伸直，推动上

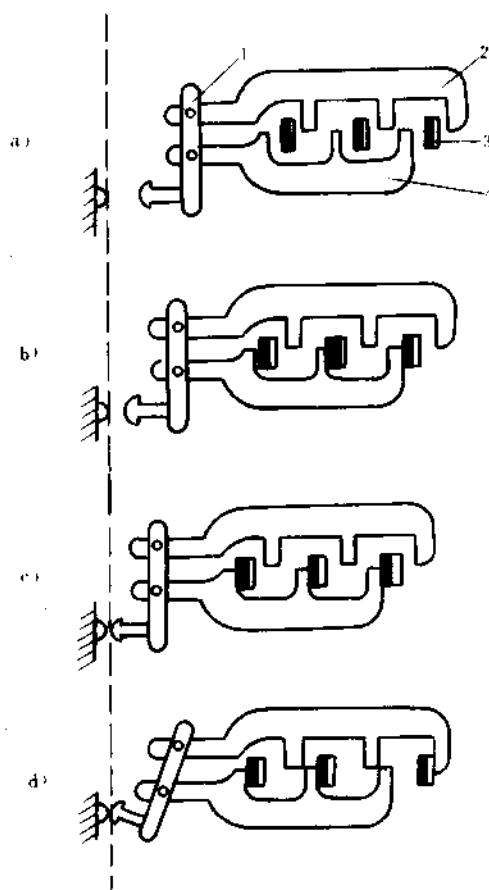
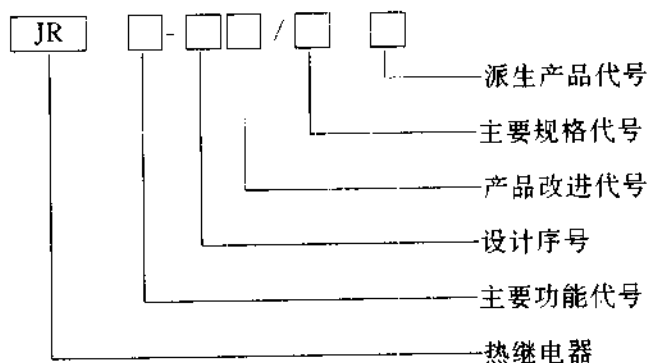


图1-24 带断相保护的热继电器结构图
a) 断电 b) 正常运行 c) 过载 d) 单相断电
1—杠杆 2—上导板 3—双金属片 4—下导板

导板右移；同时由于 V、W 相电流较大，故推动下导板向左移，使杠杆扭转，继电器动作，起到断相保护作用。

(三) 热继电器主要技术参数

热继电器型号表示意义如下：



热继电器的选择主要根据电动机的额定电流来确定其型号及热元件的额定电流等级。热继电器的整定电流通常等于或稍大于电动机的额定电流，每一种额定电流的热继电器可装入若干种不同额定电流的热元件。

由于热惯性的原因，热继电器不能作短路保护。因为发生短路事故时，要求电路立即断开，而热继电器却不能立即动作的正是因为热惯性在电动机起动或短时过载时，使继电器不会动作，从而保证了电动机的正常工作。

表 1-9 列出了 JR16 系列热继电器的技术数据。

表 1-9 JR16 系列热继电器的技术数据

热继电器型号	热继电器额定电流值 (A)	热元件规格		
		编 号	额定电流值 (A)	刻度电流调节范围值 (A)
JR16-20/3 JR16-20/3D	20	1	0.35	0.25~0.3~0.35
		2	0.5	0.32~0.4~0.5
		3	0.72	0.45~0.6~0.72
		4	1.1	0.68~0.9~1.1
		5	1.6	1.0~1.3~1.6
		6	2.4	1.6~2.0~2.4
		7	3.5	2.2~2.8~3.5
		8	5.0	3.2~4.0~5.0
		9	7.2	4.5~6.0~7.2
		10	11.0	6.8~9.0~11.0
		11	16.0	10.0~13.0~16.0
		12	22.0	14.0~18.0~22.0
JR16-60/3 JR16-60/3D	60	13	22.0	14.0~18.0~22.0
		14	32.0	20.0~26.0~32.0
		15	45.0	28.0~36.0~45.0
		16	63.0	40.0~50.0~63.0

(续)

热继电器型号	热继电器额定电流值 (A)	热元件规格		
		编号	额定电流值 (A)	刻度电流调节范围值 (A)
JR16-150/3 JR16-150/3D	150	17	63.0	40.0~50.0~63.0
		18	85.0	53.0~70.0~85.0
		19	120.0	75.0~100.0~120.0
		20	160.0	100.0~130.0~160.0

JR20 系列热继电器是我国最新产品, 250A 以上的都配有专门的速饱和电流互感器, 其一次绕组串接于电动机主电路中, 二次绕组与热元件串联。

热继电器的图形、文字符号如图 1-25 所示。

五、时间继电器

从得到输入信号(线圈的通电或断电)开始, 经过一定的延时后才输出信号(触头的闭合或断开)的继电器, 称为时间继电器。

时间继电器的延时方式有两种:

通电延时: 接受输入信号后延迟一定的时间, 输出信号才发生变化。当输入信号消失后, 输出瞬时复原。

断电延时: 接受输入信号时, 瞬时产生相应的输出信号。当输入信号消失后, 延迟一定的时间, 输出才复原。

时间继电器的种类很多, 常用的有电磁式、空气阻尼式、半导体式等。

(一) 直流电磁式时间继电器

直流电磁式时间继电器在铁心上增加一个阻尼铜套, 带有阻尼铜套的铁心结构如图 1-26 所示。

由电磁感应定律可知, 在继电器通、断电过程中铜套内将感生涡流, 反对穿过铜套内的磁通变化, 因而对原磁通起了阻尼作用。

当继电器通电吸合时, 由于衔铁处于释放位置, 气隙大、磁阻大、磁通小、铜套阻尼作用也小, 因此铁心吸合时的延时不显著, 一般可忽略不计。当继电器断电时, 磁通量的变化大, 铜套的阻尼作用也大。因此, 这种继电器仅用作断电延时, 其延时动作触头有延时打开常开触头和延时闭合常闭触头两种。

这种时间继电器的延时时间较短, JT 系列最长不超过 5s, 而且准确度较低, 一般只用于延时精度要求不高的场合。

直流电磁式时间继电器延时时间的长短是靠改

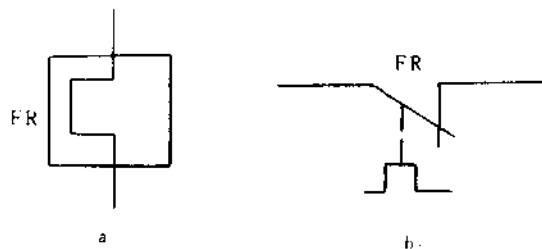


图 1-25 热继电器图形、文字符号

a) 发热元件 b) 常闭触点

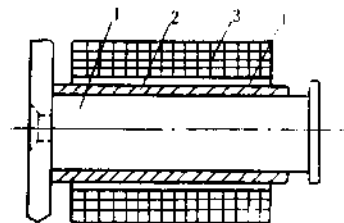


图 1-26 带有阻尼铜套的铁心结构图

1—铁心 2—阻尼铜套 3—线圈 4—绝缘层

变铁心与衔铁间非磁性垫片的厚薄（粗调）或改变释放弹簧的松紧（细调）来调节的。垫片厚则延时长；垫片薄则延时长。释放弹簧紧则延时长；释放弹簧松则延时长。

直流电磁式时间继电器 JT3 系列的技术数据如表 1-10 所示。

表 1-10 直流电磁式时间继电器 JT3 系列的技术数据

型 号	吸引线圈电压 (V)	触点组合及数量 (常开、常闭)	延 时 (s)
JT3-□□/1	12, 24, 48,	11, 02, 20, 03, 12, 21, 04,	0.3~0.9
JT3-□□/3	110, 220, 440	40, 22, 13, 31, 30	0.8~3.0
JT3-□□/5			2.5~5.0

注：表中型号 JT3-□□后面之 1、3、5 表示延时类型 (1s、3s、5s)。

(二) 空气阻尼式时间继电器

空气阻尼式时间继电器是利用空气阻尼作用而达到延时的目的。它由电磁机构、延时机构和触点组成。

空气阻尼式时间继电器的电磁机构有交流、直流两种。延时方式有通电延时型和断电延时型（改变电磁机构位置，将电磁铁翻转 180° 安装）。当动铁心（衔铁）位于静铁心和延时机构之间位置时为通电延时型；当静铁心位于动铁心和延时机构之间位置时为断电延时型。JS7-A 系列时间继电器如图 1-27 所示。

现以通电延时型为例说明其工作原理。当线圈 1 得电后衔铁（动铁心）3 吸合，活塞杆 6 在塔形弹簧 8 作用下带动活塞 12 及橡皮膜 10 向上移动，橡皮膜下方空气室空气变得稀薄形

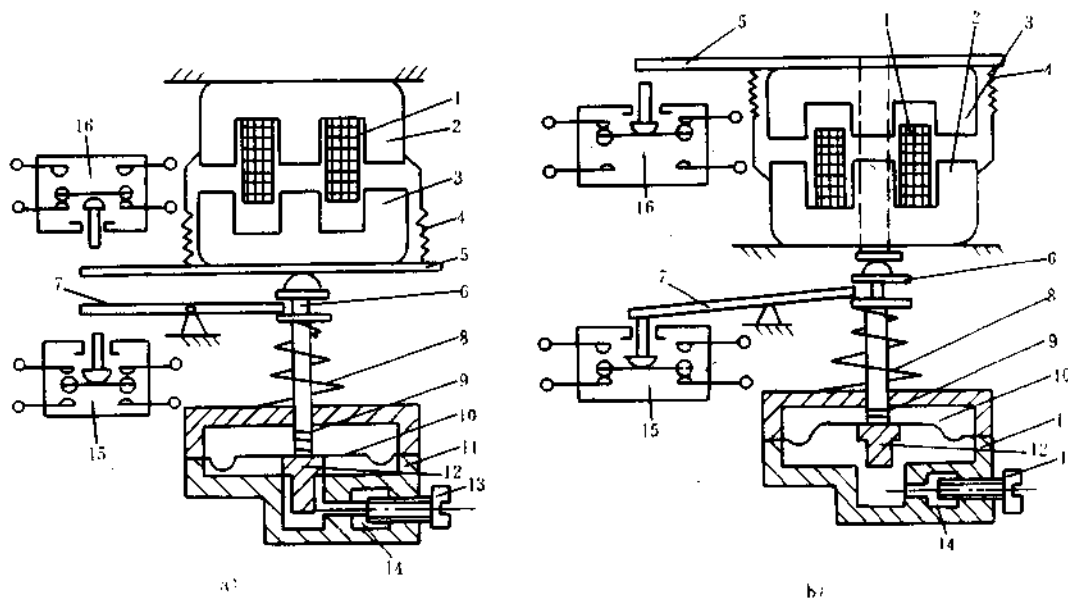


图 1-27 JS7-A 系列时间继电器

a) 通电延时型 b) 断电延时型

- 1—线圈 2—铁心 3—衔铁 4—反力弹簧 5—推板 6—活塞杆 7—杠杆 8—塔形弹簧 9—弱弹簧
10—橡皮膜 11—空气室壁 12—活塞 13—调节螺钉 14—进气孔 15、16—微动开关

成负压，活塞杆只能缓慢移动，其移动速度由进气孔气隙大小来决定。经一段延时后，活塞杆通过杠杆 7 压动微动开关 15，使其触点动作，起到通电延时作用。

当线圈断电时，衔铁释放，橡皮膜下方空气室内的空气通过活塞肩部所形成的单向阀迅速地排出，使活塞杆、杠杆、微动开关等迅速复位。由线圈得电到触头动作的一段时间即为时间继电器的延时时间，其大小可以通过调节螺钉 13 调节进气孔气隙大小来改变。

断电延时型的结构、工作原理与通电延时型相似，只是电磁铁安装方向不同，即当衔铁吸合时推动活塞复位，排出空气。当衔铁释放时活塞杆在弹簧作用下使活塞向下移动，实现断电延时。

在线圈通电和断电时，微动开关 16 在推板 5 的作用下都能瞬时动作，其触头即为时间继电器的瞬动触头。

国产空气阻尼式时间继电器 JS7-A 系列空气阻尼式时间继电器技术数据如表 1-11 所示。

表 1-11 JS7-A 系列空气阻尼式时间继电器技术数据

型 号	吸引线圈电压 (V)	触头额定电压 (V)	触头额定电流 (A)	延时范围 (s)	延时触头				瞬动触头	
					通电延时		断电延时		常开	常闭
					常开	常闭	常开	常闭		
JS7-1A	24、36、	380	5	各种型号均有 0.4 ~60 和 0.4~180 两种 产品	1	1	—	—	—	—
JS7-2A	110、127、				1	1	—	—	1	1
JS7-3A	220、380、				—	—	1	1	—	—
JS7-4A	420				—	—	1	1	1	1

注：1. 表中型号 JS7 后面之 1A~4A 是区别通电延时还是断电延时，以及带瞬动触头还是不带瞬动触头
2. JS7-A 为改型产品，体积小。

空气阻尼式时间继电器结构简单，价格低廉，延时范围 0.4~180s，但是延时误差较大，难以精确地整定延时时间，常用于延时精度要求不高的交流控制电路中。

日本生产的空气阻尼式时间继电器体积比 JS7 系列小 50% 以上，橡皮膜用特殊的塑料薄膜制成，其气孔精度要求很高，延时时间可达几十分钟，延时精度为 ±10%。

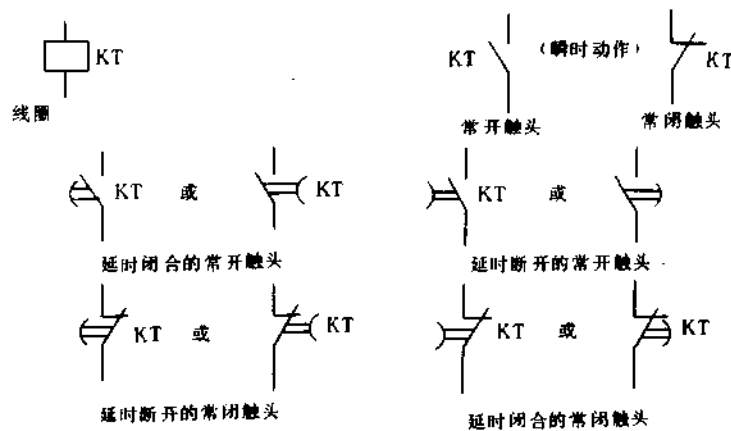


图 1-28 时间继电器的图形、文字符号

按照通电延时和断电延时两种形式，空气阻尼式时间继电器的延时触头有：延时打开常开触头、延时打开常闭触头、延时闭合常开触头和延时闭合常闭触头。

时间继电器的图形及文字符号如图 1-28 所示。

(三) 半导体时间继电器

随着电子技术的发展，半导体时间继电器也迅速发展。这类时间继电器体积小，延时范围大、延时精度高、寿命长，已日益得到广泛应用。现以 JSJ 系列时间继电器为例，说明其工作原理，JSJ 型晶体管时间继电器原理图如图 1-29 所示。

半导体时间继电器是利用 RC 电路电容器充电原理实现延时的。图 1-29 中有两个电源：主电源是由变压器二次侧的 18V 电压经整流、滤波而得；辅助电源是由变压器二次侧的 12V 电压经整流、滤波而得。当电源变压器接上电源 V_1 管导通、 V_2 管截止，继电器 KA 不动作。两个电源分别向电容 C 充电，a 点电位按指数规律上升。当 a 点电位高于 b 点电位时， V_1 管截止、 V_2 管导通， V_2 管集电极电流通过继电器 KA 的线圈，KA 各触头动作输出信号。图中 KA 的常闭触头断开充电电路，常开触头闭合使电容放电，为下次工作作好准备。调节电位器 RP，就可以改变延时的时间大小。此电路延时范围为 0.2~300s。

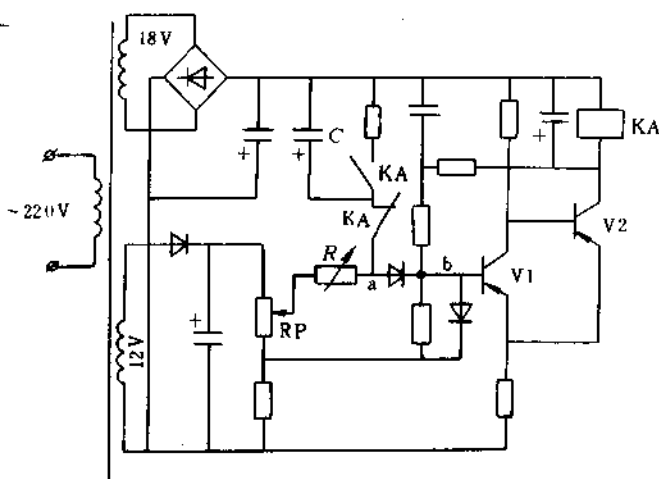


图 1-29 JSJ 型晶体管时间继电器原理图

半导体时间继电器的输出形式有两种：有触头式和无触头式，前者是用晶体管驱动小型电磁式继电器，后者是采用晶体管或晶闸管输出。

JSJ 系列时间继电器的技术数据如表 1-12 所示。

表 1-12 JSJ 系列时间继电器的技术数据

型 号	电源电压 (V)	外 电 路 触 头			延时范围 (s)	延时误差
		数 量	交流容量	直流容量		
JSJ-01	直流 24、 48、110、 交流 36、 110、127、220 及 380	一常开 一常闭 转换	380V 0.5A	110V 1A (无感负载)	0.1~1	±3%
JSJ-10					0.2~10	
JSJ-30					1~30	
JSJ-1					60	
JSJ-2					120	±6%
JSJ-3					180	
JSJ-4					240	
JSJ-5					300	

新系列产品有 JS14A 系列、JS20 系列半导体时间继电器、JS14P 系列拨码式半导体时间

继电器。它们具有体积小、延时精度高、寿命长、工作稳定可靠、安装方便、触头输出容量大和产品规格全等优点，广泛用于电力拖动、顺序控制及各种生产过程的自动控制中。

JS14P 系列时间继电器的技术数据如表 1-13 所示。

表 1-13 JS14P 系列时间继电器技术数据

型号	延时动作触头对数	重复误差	电源波动误差	温度误差	额定工作电压 (V)		延时范围
					交流	直流	
JS14P-□/□	2 转换	±1%	±3%	±3%	36		0.1~9.9s
JS14P-□/□M	2 转换	±1%	±3%	±3%	110		1~99s
JS14P-□/□Z	2 转换	±1%	±3%	±3%	220		0.1~9.9min
JS14P-□/□ZM	2 转换	±1%	±3%	±3%		48	1~99min
						110	0.1~9.9h

六、速度继电器

速度继电器主要用于笼型异步电动机的反接制动控制，也称反接制动继电器。其结构原理如图 1-30 所示。

速度继电器主要由定子、转子和触头三部分组成。定子的结构与笼型异步电动机相似，是一个笼型空心圆环，由硅钢片冲压而成，并装有笼型绕组。转子是一块永久磁铁。

速度继电器的轴与电动机的轴相连接。转子固定在轴上，定子与轴同心。当电动机转动时，速度继电器的转子随之转动，绕组切割磁场产生感应电动势和电流，此电流和永久磁铁的磁场作用产生转矩，使定子向轴的转动方向偏摆，通过定子柄拨动触头，使常闭触头断开、常开触头闭合。当电动机转速下降到接近零时，转矩减小，定子柄在弹簧力的作用下恢复原位，触头也复原。

速度继电器除 JY1 型外，还有一种新产品 JFZ0 型。

JFZ0 型触头动作速度不受定子柄偏转快慢的影响，触头改用微动开关。

速度继电器额定工作转速有 300~1000r/min 与 1000~3000r/min 两种。动作转速在 120r/min 左右，复位转速在 100r/min 以下。

速度继电器有两组触头（各有一对常开触头和一对常闭触头），可分别控制电动机正、反转的反接制动。

速度继电器根据电动机的额定转速进行选择。其图形及文字符号如图 1-31 所示。

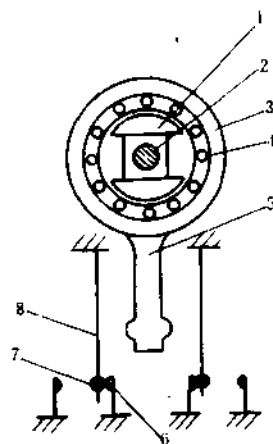


图 1-30 速度继电器结构原理图

1—转子 2—电动机轴 3—定子 4—绕组
5—定子柄 6—静触头 7—动触头 8—簧片

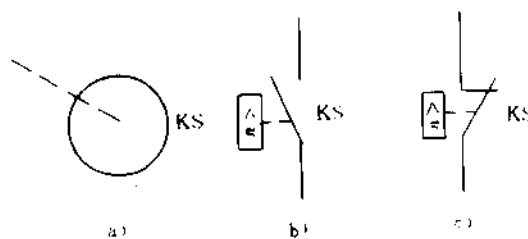


图 1-31 速度继电器的图形、文字符号

a) 转子 b) 常开触头 c) 常闭触头

第四节 熔断器

熔断器是一种简单而有效的保护电器。在电路中主要起短路保护作用。

熔断器主要由熔体和安装熔体的绝缘管（绝缘座）组成。使用时，熔体串接于被保护的电路中，当电路发生短路故障时，熔体被瞬时熔断而分断电路，起到保护作用。

一、常用的熔断器

（一）插入式熔断器

如图 1-32 所示，它常用于低压分支电路的短路保护。

（二）螺旋式熔断器

如图 1-33 所示。熔体上的上端盖有一熔断指示器，一旦熔体熔断，指示器马上弹出，可透过瓷帽上的玻璃孔观察到，它常用于机床电气控制设备中。

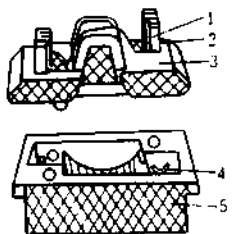


图 1-32 插入式熔断器

1—动触点 2—熔体 3—瓷插件 4—静触点 5—瓷座

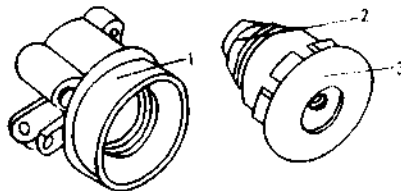


图 1-33 螺旋式熔断器

1—底座 2—熔体 3—瓷帽

（三）无填料密闭管式熔断器

如图 1-34 所示。它常用于低压电力网或成套配电设备中。

（四）有填料封闭管式熔断器

如图 1-35 所示。绝缘管内装有石英砂作填料，用来冷却和熄灭电弧，它常用于大容量的

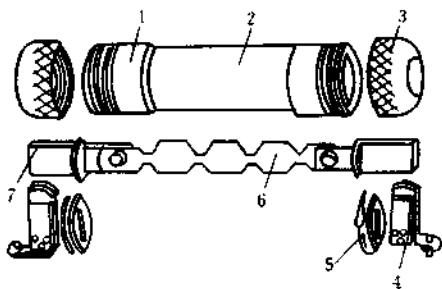


图 1-34 无填料密闭管式熔断器

1—铜圈 2—熔断管 3—管帽
4—插座 5—特殊垫圈 6—熔体 7—熔片

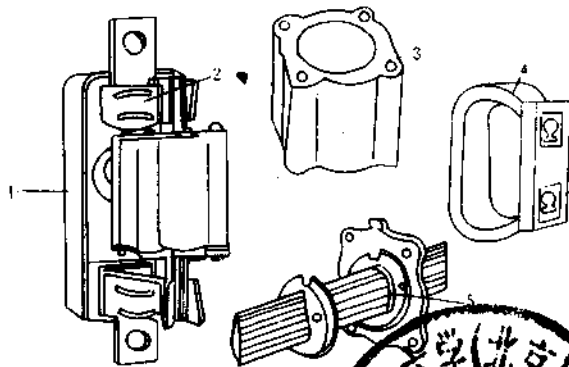


图 1-35 有填料封闭管式熔断器

1—瓷底座 2—弹簧片 3—管帽
4—绝缘手柄 5—熔体



电力网或配电设备中。

(五) 快速熔断器

它主要用于半导体整流元件或整流装置的短路保护。由于半导体元件的过载能力很低，只能在极短时间内承受较大的过载电流，因此要求短路保护具有快速熔断的能力。快速熔断器的结构和有填料封闭式熔断器基本相同，但熔体材料和形状不同，它是以银片冲制的有V形深槽的变截面熔体。

快速熔断器的接线方式有三种：接入交流侧、接入整流桥臂和接入直流侧，如图 1-36 所示。

(六) 自复熔断器

采用金属钠作熔体，在常温下具有高电导率。当电路发生短路故障时，短路电流产生高温使钠迅速汽化，汽态钠呈现高阻态，从而限制了短路电流。当短路电流消失后，温度下降，金属钠恢复原来的良好导电性能。自复熔断器只能限制短路电流，不能真正分断电路。其优点是不必更换熔体，能重复使用。

另外，我国还生产了一种熔断信号器，型号是RX2-1000。它并联于熔断器，本身对线路不起保护作用，一旦熔体熔断，信号器随之立即动作，指示器以足够的力推动与之相联的微动开关，接通信号源报警或作用于其它开关电器的感测元件，使三极开关分断，防止线路的断相运行。

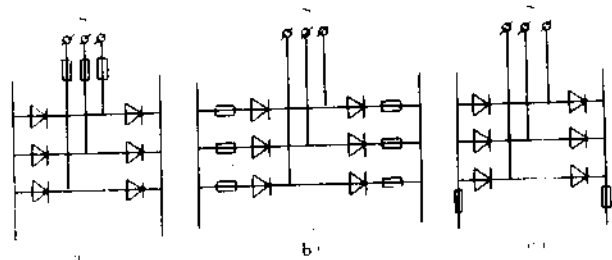


图 1-36 快速熔断器的接线方式

a) 接入交流侧 b) 接入整流桥臂 c) 接入直流侧

二、熔断器的主要特性

(一) 安秒特性

它表示熔断时间 t 与通过熔体的电流 I 的关系，熔断器的安秒特性如图 1-37 所示。

熔断器的安秒特性为反时限特性，即短路电流值越大，熔断时间越短，这就能满足短路保护的要求。在特性中，有一个熔断电流与不熔断电流的分界线，与此相应的电流称为最小熔断电流 I_N 。熔体在额定电流下，绝不应熔断，所以最小熔断电流必须大于额定电流。

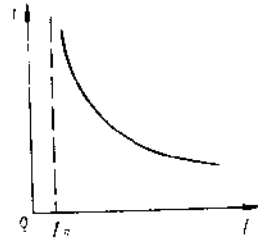


图 1-37 熔断器的安秒特性

熔断器的熔断电流与熔断时间的数值关系如表 1-14 所示。

表 1-14 熔断器的熔断电流与熔断时间的数值关系

熔断电流	$1.25 \sim 1.3I_N$	$1.6I_N$	$2I_N$	$2.5I_N$	$3I_N$	$4I_N$
熔断时间	∞	1h	40s	8s	1.5s	3.5s

(二) 极限分断能力

通常是指在额定电压及一定的功率因数（或时间常数）下切断短路电流的极限能力，常

用极限断开电流值（周期分量的有效值）来表示。熔断器的极限分断能力必须大于线路中可能出现的最大短路电流。

三、熔断器的选用

熔断器用于不同性质的负载，其熔体额定电流的选用方法也不同。

- 1) 熔断器类型选择 其类型应根据线路的要求、使用场合和安装条件选择。
- 2) 熔断器额定电压的选择 其额定电压应大于或等于线路的工作电压。
- 3) 熔断器额定电流的选择 其额定电流必须大于或等于所装熔体的额定电流。
- 4) 熔体额定电流的选择

① 对于电炉、照明等电阻性负载的短路保护，熔体的额定电流等于或稍大于电路的工作电流。

② 在配电系统中，通常有多级熔断器保护，发生短路故障时，远离电源端的前级熔断器应先熔断。所以一般后一级熔体的额定电流比前一级熔体的额定电流至少大一个等级，以防止熔断器越级熔断而扩大停电范围。

③ 保护单台电动机时，考虑到电动机受起动电流的冲击，熔断器的额定电流应按下式计算：

$$I_{RN} \geq (1.5 \sim 2.5)I_N$$

式中， I_{RN} 为熔体的额定电流； I_N 为电动机的额定电流，轻载起动或起动时间短时，系数可取近 1.5，带重载起动或起动时间较长时，系数可取 2.5。

④ 保护多台电动机，熔断器的额定电流可按下式计算：

$$I_{RN} \geq (1.5 \sim 2.5)I_{N_{\max}} + \sum I_N$$

式中 $I_{N_{\max}}$ 为容量最大的一台电动机的额定电流； $\sum I_N$ 为其余电动机额定电流之和。

⑤ 快速熔断器的选用

a. 快速熔断器接在交流侧或直流侧电路中时

$$I_{RN} \geq k_1 I$$

式中， k_1 为与整流电路形式有关的系数； I 为最大整流电流。

在不可控整流电路中， k_1 只与整流电路的形式有关，不可控整流电路的 k_1 值如表 1-15 所示。

表 1-15 不可控整流电路的 k_1 值

电路形式	单相半波	单相全波	单相桥式	三相半波	三相桥式	双星形六相
k_1	1.57	0.785	1.11	0.575	0.816	0.29

在可控整流电路中， k_1 不但与电路形式有关，而且与导通角有关，可控整流电路的 k_1 值如表 1-16 所示。

表 1-16 可控整流电路的 k_1 值

电路形式	k_1 导通角					
	180°	150°	120°	90°	60°	30°
单相半波	1.57	1.66	1.88	2.22	2.78	3.99
单相桥式	1.11	1.17	1.33	1.57	1.97	2.82
三相桥式	0.816	0.828	0.865	1.03	1.29	1.88

b. 快速熔断器接入整流桥臂与整流元件串联时

$$I_{RN} \geq 1.5I_N$$

式中, I_N 为整流元件额定电流。

型号表示的意义如下:

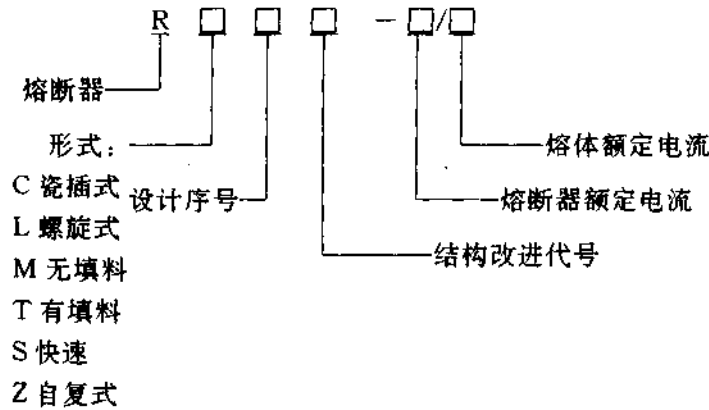


图 1-38 熔断器的图形、文字符号

5) 各种型号、规格熔断器主要技术数据如表 1-17 所示。

6) 熔断器的图形、文字符号如图 1-38 所示。

表 1-17 熔断器主要技术数据

型号	熔断器额定电流 (A)	额定电压 (V)		熔体额定电流 (A)	额定分断电流 (kA)	
RC1A-5	5	380		1, 2, 3, 5	300 (cosφ=0.4)	
RC1A-10	10	380		2, 4, 6, 8, 10	500 (cosφ=0.4)	
RC1A-15	15	380		6, 10, 12, 15	500 (cosφ=0.4)	
RC1A-30	30	380		15, 20, 25, 30	1500 (cosφ=0.4)	
RC1A-60	60	380		30, 40, 50, 60	3000 (cosφ=0.4)	
RC1A-100	100	380		60, 80, 100	3000 (cosφ=0.4)	
RC1A-200	200	380		100, 120, 150, 200	3000 (cosφ=0.4)	
RL1-15	15	380		2, 4, 5, 10, 15	25 (cosφ=0.35)	
RL1-60	60	380		20, 25, 30, 35, 40, 50, 60	25 (cosφ=0.35)	
RL1-100	100	380		60, 80, 100	50 (cosφ=0.25)	
RL1-200	200	380		100, 125, 150, 200	50 (cosφ=0.25)	
RT0-50	50	(AC)	(DC)	5, 10, 15, 20, 30, 40, 50	(AC)	(DC)
		380	440		50	25
RT0-100	100	(AC)	(DC)	30, 40, 50, 60, 80, 100	(AC)	(DC)
		380	440		50	25
RT0-200	200	(AC)	(DC)	80, 100, 120, 150, 200	(AC)	(DC)
		380	440		50	25
RT0-400	400	(AC)	(DC)	150, 200, 250, 300, 350, 400	(AC)	(DC)
		380	440		50	25
RT0-50	50	(AC)	(DC)	5, 10, 15, 20, 30, 40, 50	(AC)	(DC)
		380	440		50	25

(续)

型号	熔断器额定电流 (A)	额定电压 (V)		熔体额定电流 (A)	额定分断电流 (kA)	
		(AC)	(DC)		(AC)	(DC)
RT0-100	100	380	440	30, 40, 50, 60, 80, 100	50	25
RT0-200	200	380	440	80, 100, 120, 150, 200	50	25
RM10-15	15	220		6, 10, 15	1.2	
RM10-60	60	220		15, 20, 25, 36, 45, 60	3.5	
RM10-100	100	220		60, 80, 100	10	
RS3-50	50	500		10, 15, 30, 50	50 ($\cos\varphi=0.3$)	
RS3-100	100	500		80, 100	50 ($\cos\varphi=0.5$)	
RS3-200	200	500		150, 200	50 ($\cos\varphi=0.5$)	
NT0	160	500		6, 10, 20, 50, 100, 160	120	
NT1	250	500		80, 100, 200, 250	120	
NT2	400	500		125, 160, 200, 300, 400	120	
NT3	630	500		315, 400, 500, 630	120	
NGT00	125	380		25, 32, 80, 100, 125	100	
NGT1	250	380		100, 160, 250	100	
NGT2	400	380		200, 250, 355, 400	100	

注：NT 和 NGT 系列熔断器为引进德国 AGC 公司的产品。

第五节 低压开关和低压断路器

一、低压断路器

低压断路器多用于不频繁地转换及起
动电动机，对线路、电器设备及电动机实行
保护，当它们发生严重过载、短路及欠电压
等故障时能自动切断电路，因此，低压断路
器是低压配电网中一种重要的保护电器。

低压断路器具有多种保护功能（过载、短路、欠电压保护等）、动作值可调、分断能力高、操作方便、安全等优点，所以目前被广泛应用。

（一）结构和工作原理

低压断路器由操作机构、触头、保护装置（各种脱扣器）、灭弧系统等组成。低压断路器工作原理图如图 1-39 所示。

低压断路器的主触头是靠手动操作或电动合闸的。主触头闭合后，自由脱扣机构

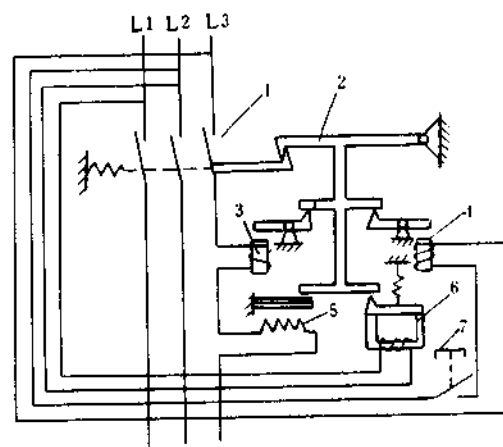


图 1-39 低压断路器工作原理图

1—主触头 2—自由脱扣机构 3—过电流脱扣器 4—分励脱扣器 5—热脱扣器 6—欠电压脱扣器 7—起动按钮

将主触头锁在合闸位置上。过电流脱扣器的线圈和热脱扣器的热元件与主电路串联，欠电压脱扣器的线圈和电源并联。当电路发生短路或严重过载时，过电流脱扣器的衔铁吸合，使自由脱扣机构动作，主触头断开主电路。当电路过载时，热脱扣器的热元件发热使双金属片向上弯曲，推动自由脱扣机构动作。当电路欠电压时，欠电压脱扣器的衔铁释放，也使自由脱扣机构动作。分励脱扣器则作为远距离控制用，在正常工作时，其线圈是断电的，在需要远距离控制时，按下起动按钮，使线圈通电，衔铁带动自由脱扣机构动作，使主触头断开。

(二) 低压断路器的类型

1. 万能式断路器 具有绝缘衬垫的框架结构底座将所有的构件组装在一起，用于配电网络的保护。主要型号有 DW10 和 DW15 两个系列。

2. 塑料外壳式断路器 具有用模压绝缘材料制成的封闭型外壳将所有构件组装在一起。用作配电网络的保护和电动机、照明电路及电热器等控制开关。主要型号有 DZ5、DZ10、DZ20 等系列。

3. 快速断路器 具有快速电磁铁和强有力的灭弧装置，最快动作时间可在 0.02s 以内，用于半导体整流元件和整流装置的保护。主要型号有 DS 系列。

4. 限流断路器 利用短路电流产生的巨大电动斥力，使触头迅速断开，能在交流短路电流尚未达到峰值之前就把故障电路切断。用于短路电流相当大（高达 70kA）的电路中。主要型号有 DWX15 和 DZX10 两种系列。

另外，我国引进的国外断路器产品有德国的 ME 系列、西门子公司的 3WE 系列，日本的 AE、AH、TG 系列，法国的 C45、S060 系列，美国的 H 系列等。这些引进的产品都有较高的技术经济指标，通过这些国外先进技术的引进，使我国断路器的技术水平飞跃到一个新的阶段，为我国今后开发更新一代智能型的断路器打下了良好的基础。

(三) 低压断路器的选用

① 断路器的额定电压和额定电流应大于或等于线路、设备的正常工作电压和工作电流。

② 断路器的极限通断能力大于或等于电路最大短路电流。

③ 欠电压脱扣器的额定电压等于线路的额定电压。

④ 过电流脱扣器的额定电流大于或等于线路的最大负载电流。

低压断路器的图形、文字符号如图 1-40 所示。

国产低压断路器 DW15、DZ15、DZX10、DS12 系列的技术数据如表 1-18~表 1-21 所示。

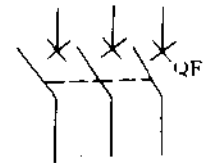


图 1-40 低压断路器的图形、文字符号

表 1-18 DW15 系列断路器的技术数据

型号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	额定短路接通分断能力 (kA)				短延时最大 延时 (s)	外形尺寸 宽×高×深 (mm)
			电压 (V)	接通最大值	分断有效值	cosφ		
DW15-200	380	200	380	40	20	—	242×420×341 (正面) 386×420×316 (侧面)	
DW15-400	380	400	380	52.5	25	—	242×420×341 386×420×316	
DW15-630	380	630	380	63	30	—	242×420×311 386×420×316	

(续)

型号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	额定短路接通分断能力 (kA)					外形尺寸 宽×高×深 (mm)
			电压 (V)	接通最大值	分断有效值	cosφ	短延时最大 延时 (s)	
DW15-1000	380	1000	380	84	40	0.2	—	441×531×308
DW15-1600	380	1600	380	84	40	0.2	—	441×531×308
DW15-2500	380	2500	380	132	60	0.2	0.4	687×571×631 897×571×631
DW15-4000	380	4000	380	196	80	0.2	0.4	687×571×631 897×571×631

表 1-19 DZ15 系列塑料外壳式断路器的技术数据

型号	壳架额定电流 (A)	额定电压 (V)	极数	脱扣器额定 电流 (A)	额定短路通断 能力 (kA)	电气、机械寿命 (次)
DZ15-40/1901	40	220	1	6, 10, 16, 20, 25, 32, 40	3 (cosφ=0.9)	15000
DZ15-40/2901		380	2			
DZ15-40/ 3901 3902			3			
DZ15-40/4901			4			
DZ15-63/1901	63	220	1	10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	5 (cosφ=0.7)	10000
DZ15-63/2901		380	2			
DZ15-63/ 3901 3902			3			
DZ15-63/4901			4			

表 1-20 DZX10 系列断路器的技术数据

型号	极数	脱扣器额定电流 (A)	附件	
			欠电压 (或分励) 脱扣器	辅助触头
DZX10-100/22	2	63, 80, 100	欠电压: AC220, 380 分励: AC220, 380 DC24, 48, 110, 220	一开一闭 二开二闭
DZX10-100/23	2			
DZX10-100/32	3			
DZX10-100/33	3			
DZX10-200/22	2	100, 120, 140, 170, 200		二开二闭 四开四闭
DZX10-200/23	2			
DZX10-200/32	3			
DZX10-200/33	3			
DZX10-630/22	2	200, 250, 300, 350, 400, 500, 630	二开二闭 四开四闭	
DZX10-630/23	2			
DZX10-630/32	3			
DZX10-630/33	3			

表 1-21 DS12 系列断路器的技术数据

型 号	额定工作电压 (V)	壳架等级额定电流 (A)	脱扣器型式或长延时脱扣器电流整定范围	瞬时脱扣器电流整定值 (A)	外形尺寸 安装尺寸 (mm)
DZ12-10/08	800	1000	分励脱扣器 欠压脱扣器电 流上升率脱扣 器	$(0.8 \sim 2) I_N$	340×625×680
DS12-20/08		2000			340×655×680
DS12-30/08		3150			380×660×960
DS12-60/08		6300			380×800×1100

注: I_N 为额定电流。

二、刀开关

(一) 胶壳刀开关

胶壳刀开关是一种结构最简单、应用最广泛的手动电器。用作电路的电源开关和小容量电动机非频繁起动的操作开关。

胶壳刀开关由操作手柄、熔丝、触刀、触头座和底座组成,如图 1-41 所示。

胶壳使电弧不致飞出灼伤操作人员,防止极间电弧造成的电源短路;熔丝起短路保护作用。

刀开关安装时,手柄要向上,不得倒装或平装。倒装时,手柄有可能因自动下滑而引起误合闸,造成人身事故。接线时,应将电源线接在上端,负载接在熔丝下端。这样,拉闸后刀开关与电源隔离,便于更换熔丝。

刀开关的图形、文字符号如图 1-42 所示。

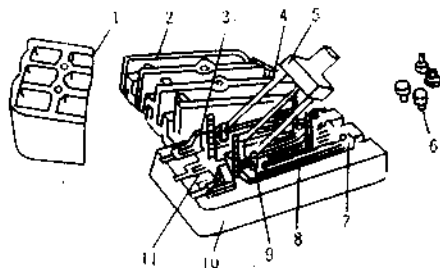


图 1-41 胶壳刀开关的结构图

1—上胶盖 2—下胶盖 3—插座 4—触刀 5—瓷柄
6—胶盖紧固螺母 7—出线座 8—熔丝 9—触刀座
10—瓷底板 11—进线座

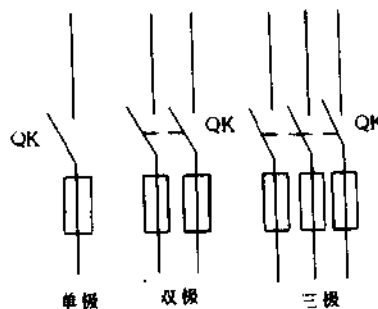


图 1-42 胶壳刀开关的图形、文字符号

HK1 系列胶壳刀开关的技术数据如表 1-22 所示。

(二) 铁壳开关

铁壳开关也称封闭式负荷开关。用于非频繁起动、28kW 以下的三相异步电动机。

铁壳开关主要由钢板外壳、触刀、操作机构、熔丝等组成,如图 1-43 所示。

操作机构具有两个特点:一是采用储能合闸方式,在手柄转轴与底座间装有速断弹簧,以执行合闸或分闸,在速断弹簧的作用下,动触刀与静触刀分离,使电弧迅速拉长而熄灭;二

是具有机械联锁，当铁盖打开时，刀开关被卡住，不能操作合闸。铁盖关上，操作手柄使开关合闸后，铁盖不能打开。

表 1-22 HK1 系列胶壳刀开关的技术参数

额定电 流 值 (A)	极 数	额定电 压 值 (V)	可控制电动机最 大容量值 (kW)		触刀极限 分断能力 ($\cos\phi=0.6$) (A)	熔丝极限 分断能力 (A)	配 用 熔 丝 规 格			
			220V	380V			熔丝成分			熔丝直径 (mm)
							W_{Pb}	W_{Sn}	W_{Sb}	
15	2	220	—	—	30	500	98%	1%	1%	1.45~1.59
30	2	220	—	—	60	1000				2.30~2.52
60	2	220	—	—	90	1500				3.36~4.00
15	3	380	1.5	2.2	30	500				1.45~1.59
30	3	380	3.0	4.0	60	1000				2.30~2.52
60	3	380	4.4	5.5	90	1500				3.36~4.00

选用刀开关时，刀的极数要与电源进线相数相等；刀开关的额定电压应大于所控制的线路额定电压；刀开关的额定电流应大于负载的额定电流。

HH10 系列封闭式负荷开关的技术数据如表 1-23 所示。

表 1-23 HH10 系列封闭式负荷开关的技术数据

产品 系列	负荷 开关 额定 电流 (A)	熔断 器额 定电 流 (A)	熔体 额定 电流 (A)	极限分断能力 ($1.1U_N$, 50Hz)			极限接通分断能力 ($1.1U_N$, 50Hz)			机械寿命 (次)	电寿命 (额定 电压额定电流)				
				U_N (V)	熔断器 型 式	极限分 断能力 (A)	功率 因数	分断 次数	U_N (V)		通断 电流 (A)	功率 因数	试验条件	次数	
HH10	10	10	2, 4, 6, 10	440	瓷插式	750	0.8	3	440	0.4	操作 频率 1 次/min; 通电时 间不超 过 2s; 接通与 分断 10 次	>10000	功率因 数 0.8; 操 作频率 2 次/min; 通电时间 不超过 2s	>5000	
	20	20	10, 15, 20		瓷插式	1500	0.8								80
					RT10	50000	0.25								
	30	30	20, 25, 30		瓷插式	2000	0.8								120
					RT10	50000	0.25								
	60	60	30, 40, 50, 60		瓷插式	4000	0.8								240
					RT10	50000	0.25								
	100	100	60, 80, 100		瓷插式	4000	0.8								250
RT10				50000	0.25	>5000	>2000								

三、组合开关

组合开关在机床电气设备中用作电源引入开关，也可用来直接控制小容量三相异步电动机非频繁正、反转。

组合开关由动触头、静触头、方形转轴、手柄、定位机构和外壳组成。它的动触头分别

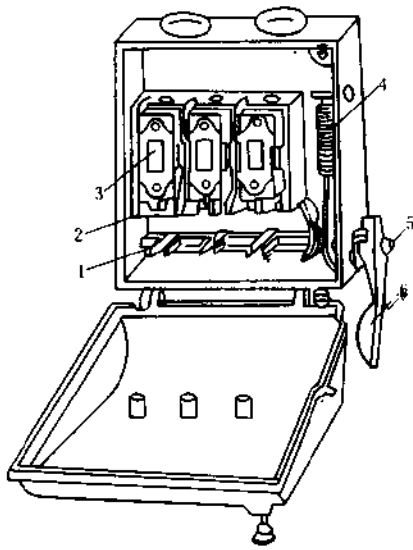


图 1-43 铁壳开关的结构图
1—触刀 2—夹座 3—熔断器
4—速断弹簧 5—转轴 6—手柄

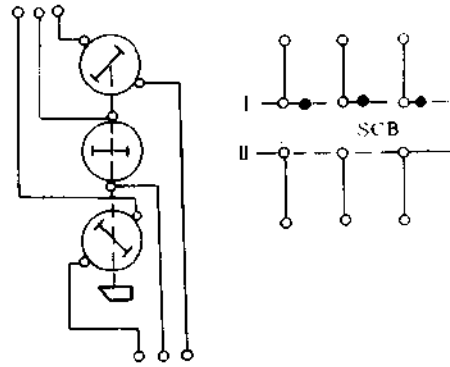


图 1-44 组合开关的结构和图形、文字符号

叠装于数层绝缘座内，其结构和图形、文字符号如图 1-44 所示。当转动手柄时，每层的动触片随方形转轴一起转动，并使静触头插入相应的动触片中，接通电路。

HZ10 系列组合开关的技术数据如表 1-24 所示。

表 1-24 HZ10 系列组合开关的技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	极数	极限操作 电流 ^① (A)		可控制电动机最大容 量和额定电流 ^①		额定电压及额定电流下的通断次数			
				接通	分断	容量 (kW)	额定电流 (A)	AC $\cos\phi$		直流时间常数 (s)	
								≥ 0.8	≥ 0.3	≤ 0.0625	≤ 0.01
HZ10-10	DC220、 AC380	6	单极	94	62	3	7	20000	10000	20000	10000
		10									
HZ10-25		25									
HZ10-60		60									
HZ10-100		100	2, 3					10000	5000	10000	5000

① 均指三级组合开关。

第六节 主令电器

主令电器主要用来切换控制电路。

一、按钮

按钮在低压控制电路中用于手动发出控制信号。

按钮由按钮帽、复位弹簧、桥式触头和外壳等组成，如图 1-45 所示。

按用途和结构的不同，分为起动按钮、停止按钮和复合按钮等。

起动按钮带有常开触头，手指按下按钮帽，常开触头闭合；手指松开，常开触头复位。起动按钮的按钮帽采用绿色。停止按钮带有常闭触头，手指按下按钮帽，常闭触头断开；手指松开，常闭触头复位。停止按钮的按钮帽采用红色。复合按钮带有常开触头和常闭触头，手指按下按钮帽，先断开常闭触头再闭合常开触头；手指松开，常开触头和常闭触头先后复位。

在机床电气设备中，常用的按钮有 LA-18、LA-19、LA-20、LA-25 系列。其主要技术数据如表 1-25 所示。

表 1-25 LA-25 系列按钮的技术数据

型 号	触头组合	按钮颜色	型 号	触头组合	按钮颜色
LA25-10	一常开	白 绿 黄 蓝 橙 黑 红	LA25-33	三常开三常闭	白 绿 黄 蓝 橙 黑 红
LA25-01	一常闭		LA25-40	四常开	
LA25-11	一常开一常闭		LA25-04	四常闭	
LA25-20	二常开		LA25-41	四常开一常闭	
LA25-02	二常闭		LA25-14	一常开四常闭	
LA25-21	二常开一常闭		LA25-42	四常开二常闭	
LA25-12	一常开二常闭		LA25-24	二常开四常闭	
LA25-22	二常开二常闭		LA25-50	五常开	
LA25-30	三常开		LA25-05	五常闭	
LA25-03	三常闭		LA25-51	五常开一常闭	
LA25-31	三常开一常闭		LA25-15	一常开五常闭	
LA25-13	一常开三常闭		LA25-60	六常开	
LA25-32	三常开二常闭		LA25-06	六常闭	
LA25-23	二常开三常闭				

按钮的图形、文字符号如图 1-46 所示。

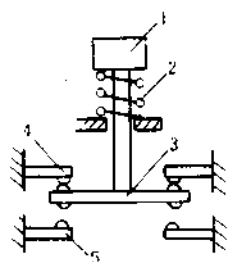


图 1-45 按钮的结构图

1—按钮帽 2—复位弹簧 3—动触头
4—常闭静触头 5—常开静触头

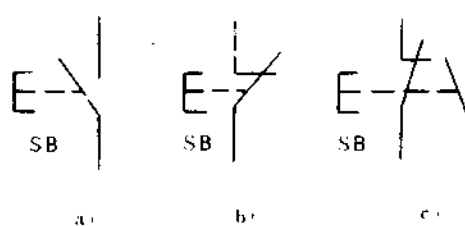


图 1-46 按钮的图形、文字符号

a) 起动按钮 b) 停止按钮
c) 复合按钮

二、位置开关

位置开关是利用运动部件的行程位置实现控制的电器元件。常用于自动往返的生产机械中。按结构不同可分为直动式、滚轮式、微动式，如图 1-47 所示。

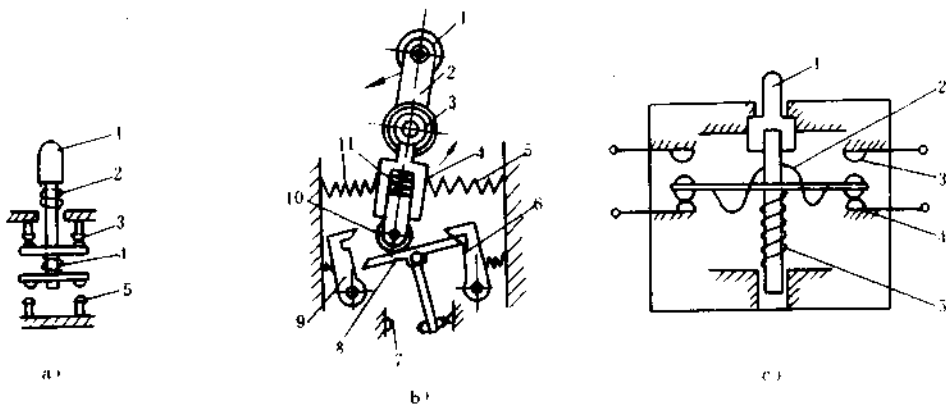


图 1-47 位置开关的结构图

- a) 直动式
 1—顶杆 2—弹簧 3—常闭触头 4—触头弹簧 5—常开触头
- b) 滚轮式
 1—滚轮 2—上转臂 3、5、11—弹簧 4—套架 6、9—压板 7—触头 8—触头推杆 10—小滑轮
- c) 微动式
 1—推杆 2—弯形片状弹簧 3—常开触头 4—常闭触头 5—恢复弹簧

位置开关的结构、工作原理与按钮相同。区别是位置开关不靠手动而是利用运动部件上的挡块碰压而使触头动作，有自动复位和非自动复位两种。

位置开关的图形、文字符号如图 1-48 所示。

常用的位置开关有 LX10、LX21、JLXK1 等系列，JLXK1 系列位置开关的技术数据如表 1-26 所示。

表 1-26 JLXK1 系列位置开关的技术数据

型 号	额定电压 (V)		额定电流 (A)	触头数量		结构形式
	交流	直流		常开	常闭	
JLXK1-111	500	440	5	1	1	单轮防护式
JLXK1-211	500	440	5	1	1	双轮防护式
JLXK1-111M	500	440	5	1	1	单轮密封式
JLXK1-211M	500	440	5	1	1	双轮密封式
JLXK1-311	500	440	5	1	1	直动防护式
JLXK1-311M	500	440	5	1	1	直动密封式
JLXK1-411	500	440	5	1	1	直动滚轮防护式
JLXK1-411M	500	440	5	1	1	直动滚轮密封式

三、凸轮控制器与主令控制器

(一) 凸轮控制器

凸轮控制器用于起重设备和其它电力拖动装置，以控制电动机的起动、正反转、调速和制动。结构主要由手柄、定位机构、转轴、凸轮和触头组成，如图 1-49 所示。

转动手柄时，转轴带动凸轮一起转动，转到某一位置时，凸轮顶动滚子，克服弹簧压力使动触头顺时针方向转动，脱离静触头而分断电路。在转轴上叠装不同形状的凸轮，可以使若干个触头组按规定的顺序接通或分断。

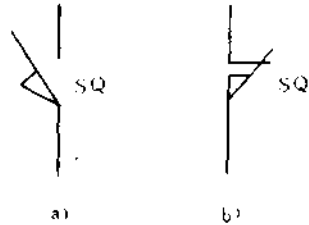


图 1-48 位置开关的图形、文字符号
a) 常开触头 b) 常闭触头

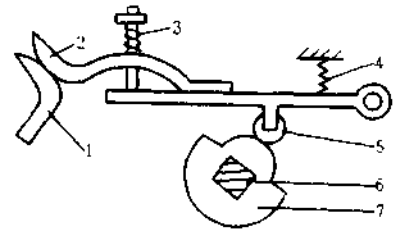


图 1-49 凸轮控制器结构图
1—静触头 2—动触头 3—触头弹簧
4—弹簧 5—滚子 6—方轴 7—凸轮

目前国内生产的有 KT10、KT14 等系列交流凸轮控制器和 KTZ2 系列直流凸轮控制器。KT14 系列凸轮控制器的技术数据如表 1-27 所示。

表 1-27 KT14 系列凸轮控制器的技术数据

型 号	额定电 流 (A)	位置数		转子最大电流 (A)	最大功率 (kW)	额定操作频率 (次/h)	最大工作周期 (min)
		左	右				
KT14-25J/1	25	5	5	32	11	600	10
KT14-25J/2		5	5	2×32	2×5.5		
KT14-25J/3		1	1	32	5.5		
KT14-60J/1	60	5	5	80	30	600	10
KT14-60J/2		5	5	2×32	2×11		
KT14-60J/4		5	5	2×80	2×30		

凸轮控制器的图形、文字符号如图 1-50 所示。

(二) 主令控制器

当电动机容量较大，工作繁重，操作频繁，调速性能要求较高时，往往采用主令控制器操作。由主令控制器的触头来控制接触器，再由接触器来控制电动机。这样，触头的容量可大大减小，操作更为轻便。

主令控制器是按照预定程序转换控制电路的主令电器，其结构和凸轮控制器相似，只是触头的额定电流较小。

在起重机中，主令控制器是与控制屏相配合来实现控制的，因此要根据控制屏的型号来选择主令控制器。

目前，国内生产的有 LK14~LK16 系列的主令控制器。

LK14 系列主令控制器的技术数据如表 1-28 所示。

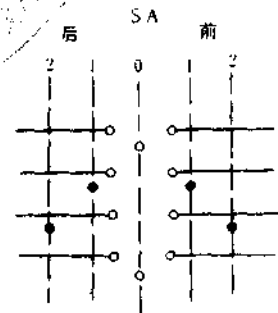


图 1-50 凸轮控制器的图形、文字符号

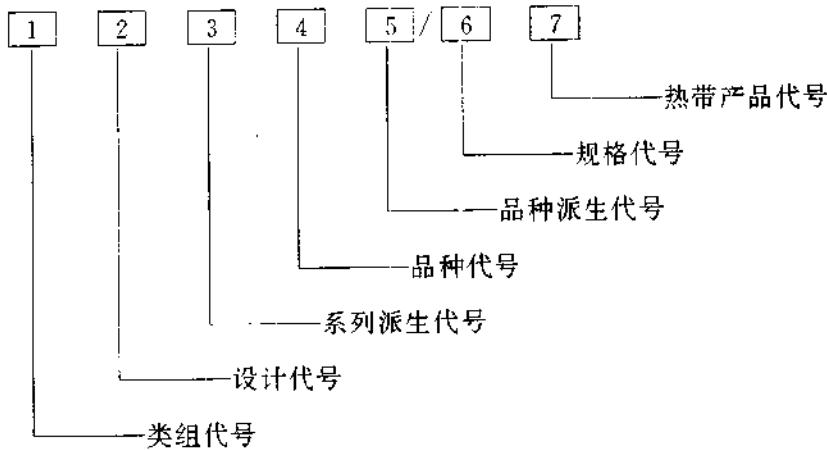
表 1-28 LK14 系列主令控制器的技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	控制电路数	外形尺寸 (mm)
LK14-12/90 LK14-12/96 LK14-12/97	380	15	12	227×220×300

第七节 低压电器的产品型号

为了管理、生产和使用方便,对各种用途结构的低压电器,都要按照标准规定编制型号。我国低压电器产品,按四级制规定编制型号,各级代表的意义如下:

一、全型号组成形式



二、全型号各组成部分的确定

(一) 类组代号

第一级和第二级代表电器的类别和特征,并以汉语拼音字母表示。第一位为类别代号;第二、三位为组别代号,表示产品名称。低压电器产品的类别及组别代号如表 1-29 所示,其中竖排字母是类别代号,横排字母是组别代号。

表 1-29 低压电器产品的类别及组别代号

代号	名称	A	B	C	D	G	H	J	K	L	M	P	Q	R	S	T	U	W	X	Y	Z
H	刀开关和转换开关				刀开关		封闭式负荷开关		开启式负荷开关					熔断器刀开关	刀形转换开关					其它	组合开关
R	熔断器			插入式			汇流排式			螺旋式	封闭管式				快速	有填料管式			限流	其它	
D	低压断路器										灭磁				快速			万能式	限流	其它	塑料外壳式

(续)

代号	名称	A	B	C	D	G	H	J	K	L	M	P	Q	R	S	T	U	W	X	Y	Z
K	控制器					鼓形						平面				凸轮				其它	
C	接触器					高压		交流				中频			时间	通用				其它	直流
Q	起动器	按钮式		磁力				减压							手动		油浸		星角	其它	综合
J	控制继电器									电流					热	时间	通用	温度		其它	中间
L	主令电器	按钮						接近开关	主令控制器						主令开关	足踏开关	旋钮	万能转换开关	行程开关	其它	
Z	电阻器		板形元件	冲片元件	带形元件	管形元件										烧结元件	铸铁元件			电阻器	其它
B	变阻器			旋臂式						励磁		频敏	起动		石墨	起动调速	油浸起动	液体起动	滑线式	其它	
T	调整器				电压																
M	电磁铁												牵引					起重		液压	制动
A	其它		触电保护器	插销灯			接线盒			电铃											

(二) 设计代号

第三级是设计代号,表示同一类组产品的设计系列。产品的系列是按不同的设计原理、性能参数以及防护种类,并根据优先数系设计的。设计代号用数字表示。

(三) 基本规格代号

第四级是基本规格代号,表示产品的品种,用数字表示。

(四) 通用派生代号

按表 1-30 加注。

表 1-30 通用派生代号

派生代号	意义
A、B、C、D、...	结构设计稍有改进或变化
C	插入式
J	交流、防溅式
Z	直流、自动复位、防震、正向、重任务
W	无灭弧装置、无极性
N	逆向、可逆
S	有锁住机构、手动复位、防水式、三相、三个电源、双线圈
P	电磁复位、防滴式、单相、两个电源、电压的
K	开启式
H	保护式、带缓冲装置
M	密封式、灭磁、母线式
L	电流的
Q	防尘式、手车式
F	高返回、带分励脱扣
T	按湿热带临时措施制造
TH	湿热带
TA	干热带

} 此项派生字母加注于全型号之后。

第二章 电器控制线路的基本原则和基本环节

在电力拖动自动控制系统中，各种生产机械均由电动机来拖动。不同的生产机械，对电动机的控制要求也是不同的。电器控制能实现对电动机的起动、正反转、调速、制动等运行方式的控制，以及必要的保护，以满足生产工艺要求，实现生产过程自动化。随着我国经济的发展，对电力拖动系统的要求不断提高。在现代化的控制系统中采用了许多新的控制装置和电器元件，如 MP、MC、PC、晶闸管等用以实现复杂的生产过程的自动控制。但目前在我国，电器控制仍是应用最基本、最广泛的。

任何简单的、复杂的电器控制线路，都是按照一定的控制原则，由基本的控制环节组成的。掌握这些基本的控制原则和控制环节，是学习电器控制的基础，特别是对生产机械整个电气控制线路工作原理的分析与设计有很大的帮助。本章着重阐明组成电器控制线路的基本原则和基本环节。

第一节 电器控制线路的绘制

由前一章所介绍的按钮、开关、接触器、继电器等有触点的低压控制电器所组成的控制线路，叫做电器控制线路。

电器控制线路属于有触点控制。

电器控制线路的表示方法有：电气原理图、安装接线图和电器布置图三种。

一、电器控制线路常用的图形、文字符号

电器控制线路图是工程技术的通用语言，为了便于交流与沟通，在电器控制线路中，各种电器元件的图形、文字符号必须符合国家的标准。近年来，随着我国经济改革开放，相应地引进了许多国外先进设备。为了便于掌握引进的先进技术和先进设备，便于国际交流和满足国际市场的需要，国家标准局参照国际电工委员会（IEC）颁布的有关文件，制定了我国电气设备有关国家标准，采用新的图形和文字符号及回路标号，颁布了 GB4728-84《电气图用图形符号》及 GB6988-87《电气制图》和 GB7159-87《电气技术中的文字符号制订通则》。规定从 1990 年 1 月 1 日起，电器控制线路中的图形和文字符号必须符合最新的国家标准。

表 2-1 列出了常用电气图形、文字符号新旧对照表，以供参考。

电器控制线路图中的支路、接点，一般都加上标号。

主电路标号由文字符号和数字组成。文字符号用以标明主电路中的元件或线路的主要特征；数字标号用以区别电路不同线段。三相交流电源引入线采用 L1、L2、L3 标号，电源开关之后的三相交流电源主电路分别标 U、V、W。如 U_{11} 表示电动机的第一相的第一个接点代号， U_{21} 为第一相的第二个接点代号，依此类推。

控制电路由三位或三位以下的数字组成，交流控制电路的标号一般以主要压降元件（如电器元件线圈）为分界，左侧用奇数标号，右侧用偶数标号。直流控制电路中正极按奇数标号，负极按偶数标号。

表 2-1 常用电气图形、文字符号新旧对照表

名称	新标准		旧标准		名称	新标准		旧标准	
	图形符号	文字符号	图形符号	文字符号		图形符号	文字符号	图形符号	文字符号
一般三极电源开关		QK		K	接	主触头			C
低压断路器		QF		UZ	器	常闭辅助触头			
						常开触头			
位置开关	常闭触头	SQ		XK	速度继电器	常开触头			SDJ
	复合触头								
	常闭触头								
熔断器		FU		RD	线圈				
按钮	启动	SB		QA	时间继电器	常开延时闭合触头			SJ
	停止					常闭延时打开触头			
	复合					常闭延时闭合触头			
接触器	线圈	KM		C	热继电器	热元件			RJ
						常开延时打开触头			

(续)

名称		新标准		旧标准		名称	新标准		旧标准		
		图形符号	文字符号	图形符号	文字符号		图形符号	文字符号	图形符号	文字符号	
热继电器	常闭触头		FR		RJ	桥式整流装置		VC		ZL	
	中间继电器线圈		KA		ZJ	照明灯		EL		ZD	
	欠电压继电器线圈		KA		QYJ	信号灯		HL		XD	
	继电器	过电流继电器线圈		KI		GLJ	电阻器		R		R
		常开触头		相应继电器符号		相应继电器符号	接插器		X		CZ
		常闭触头		相应继电器符号		相应继电器符号	电磁铁		YA		DT
	久电流继电器线圈		KI	与新标准相同	QLJ	电磁吸盘		YH		DX	
转换开关		SA	与新标准相同	HK	串励直流电动机		M		ZD		
					并励直流电动机						
					他励直流电动机						
					复励直流电动机						
制动电磁铁		YB		DT	直流发电机		G		ZF		
电磁离合器		YC		CH	三相鼠笼式异步电动机		M		D		
电位器		RP	与新标准相同	W							

(续)

名称	新标准		旧标准		名称	新标准		旧标准					
	图形符号	文字符号	图形符号	文字符号		图形符号	文字符号	图形符号	文字符号				
三相绕线式异步电动机		M		D	PNP型三极管			T	V				
单相变压器		T		B						NPN型三极管			T
整流变压器				ZLB									
照明变压器				ZB									
控制电路电源用变压器	TC	B											
三相自耦变压器		T		ZOB	晶闸管 (阴极侧受控)			SCR					
半导体二极管		V		D									

二、电气原理图

电气原理图是根据工作原理而绘制的，具有结构简单、层次分明、便于研究和分析电路的工作原理等优点。在各种生产机械的电器控制中，无论在设计部门或生产现场都得到广泛的应用。

绘制电气原理图应遵循以下原则：

① 电器控制线路根据电路通过的电流大小可分为主电路和控制电路。主电路包括从电源到电动机的电路，是强电流通过的部分，用粗线条画在原理图的左边。控制电路是通过弱电流的电路，一般由按钮、电器元件的线圈、接触器的辅助触头、继电器的触点等组成，用细线条画在原理图的右边。

② 电气原理图中，所有电器元件的图形、文字符号必须采用国家规定的统一标准。

③ 采用电器元件展开图的画法。同一电器元件的各部件可以不画在一起，但需用同一文字符号标出。若有多个同一种类的电器元件，可在文字符号后加上数字序号的下标，如 KM_1 、 KM_2 等。

④ 所有按钮、触头均按没有外力作用和没有通电时的原始状态画出。

⑤ 控制电路的分支线路，原则上按照动作先后顺序排列，两线交叉连接时的电气连接点须用黑点标出。

图 2-1 为笼型电动机正反转控制线路的电气原理图。

电气原理图坐标图示法是在上述电气原理图基础上发展而来的，分为轴坐标标注和横坐标标注两种方法。

(一) 轴坐标标注法

首先根据线路的繁简程度以及线路中各部分线路的性质、作用和特点，将线路分为交、直流主电路、交、直流控制电路及辅助电路等。图 2-2 为 M7120 平面磨床轴坐标图示法电气原理图，图中根据线路性质、作用和特点分为交流主电路、交流控制电路、交流辅助电路和直流控制电路四部分。为便于标注坐标，将线路各电器元件均按纵向画法排列，每一条纵向线路为一个线路单元，而每一个线路单元给定一个轴坐标，并用数码表示。这样每一线路单元中的各电器元件具有同一轴坐标。在对线路单元进行坐标标号时，为标明各线路性质、作用和特点，往往对同一系统的线路单元用一定的数码来标注轴坐标。在图 2-2 中，交流主电路轴坐标标号由 100~110，交流控制电路轴坐标标号由 200~211，直流控制电路轴坐标标号由 301~312，交流辅助电路轴坐标标号由 402~410。在轴坐标 201 标号的线路单元中有 SB₁、SB₂、KM₁、FR₁、KA 等电器元件。

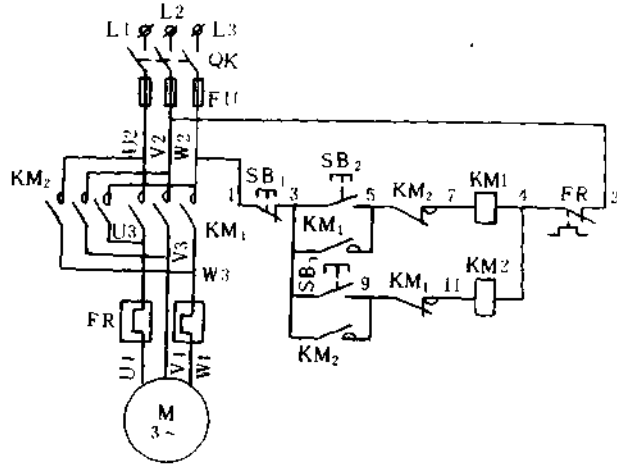


图 2-1 电动机正反转控制原理图

在选定坐标系统与给定坐标后，下一步就是标注图示坐标。为了阅读、查找方便，可在线路图下方标注“正序图示坐标”和“逆序图示坐标”。

正序图示坐标一般标注在含有接触器或继电器线圈的线路单元的下方。在图 2-2 中标注了 KM₁~KM₆、FR₁~FR₃、KA 的正序图示坐标。在该线路单元的下方标注该继电器或接触器各触头分布位置所在线路单元的轴坐标号。如接触器 KM₅ 具有五对常开触头、二对常闭触头，在线路中用上了四对常开触头、一对常闭触头，它们分别位于 210、308、309、409、211 号线路单元中。这样，各对触头的位置和作用就一目了然了。

逆序图示坐标一般标注在各线路单元的下方，用来标注该线路单元中的触头的受控线圈所在的轴坐标号。如在图 2-2 中的 201 线路单元中含有触头 SB₁、SB₂、FR₁ 和 KA，其中 FR₁ 触头的热元件 FR₁ 在 101 线路单元中，KA 控制线圈在 307 线路单元中（对于按钮 SB₁、SB₂ 因不受其它单元元件的控制，故无需标注）。

由上可知，正序图示坐标是以线圈为据找触头，而逆序图示坐标则是以触头为据找线圈。图示坐标的标注采用与否，可根据线路图的繁简程度决定。线路简单、一目了然的，正、逆图示坐标均可不标注；线路不算很复杂的，一般只标注正序图示坐标即可；比较复杂的线路，可根据需要标注正、逆序图示坐标。线路越复杂，越能体现标注坐标的优越性。

(二) 横坐标标注法

电动机正反转横坐标图示法电气原理图如图 2-3 所示。采用横坐标标注法，线路各电器元件均按横向画法排列。各电器元件线圈的右侧，由上到下标明各支路的序号 1、2、…，并在该电器元件线圈旁标明其常开触头（标在横线上方）、常闭触头（标在横线下方）在电路中所

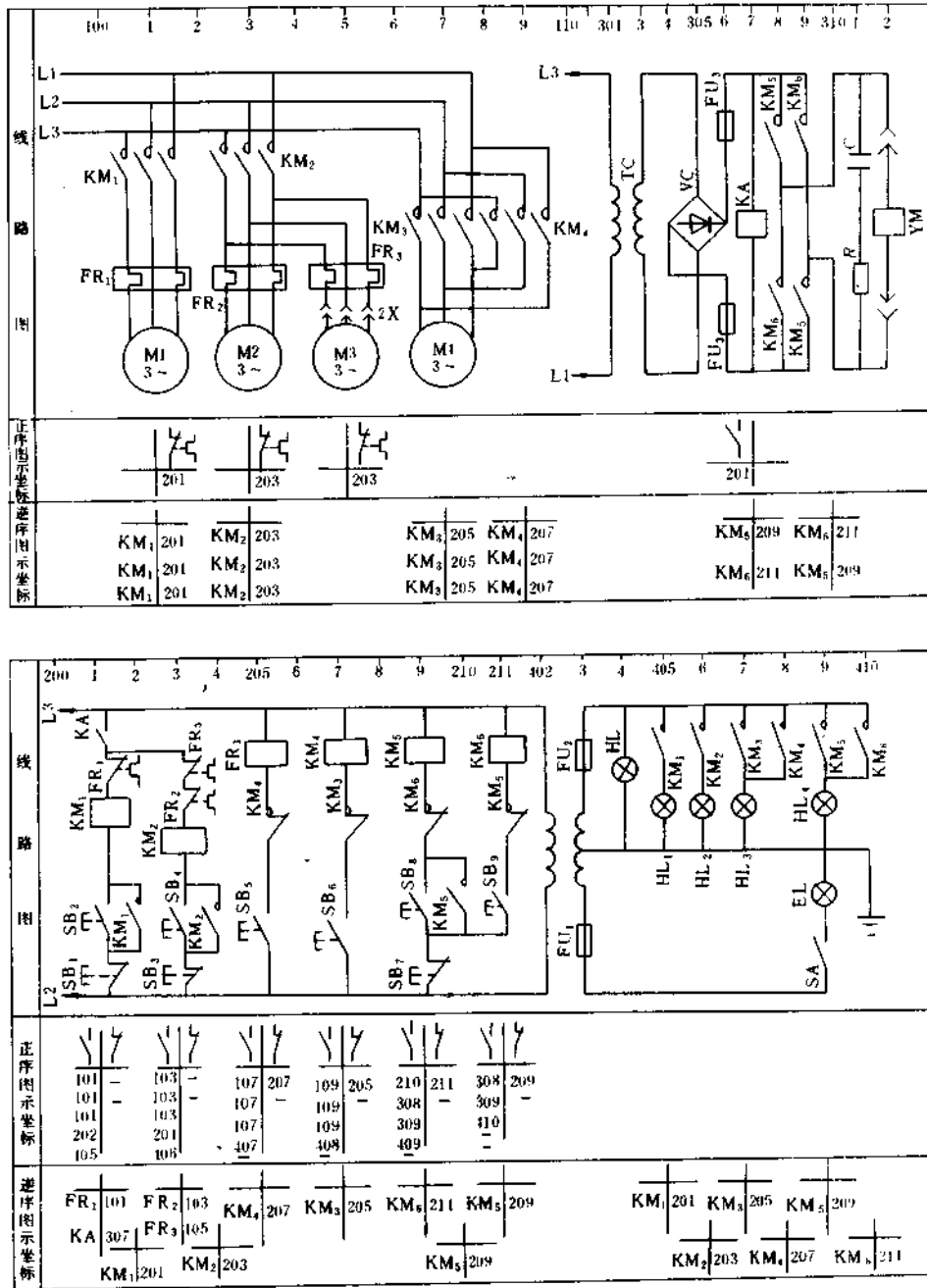


图 2-2 M7120 平面磨床轴坐标图示法电气原理图

在支路的标号, 以便阅读和分析电路时查找。例如接触器 KM_1 常开触头在主电路有三对, 控制回路 2 支路中有一对; 常闭触头在控制电路 3 支路中有一对。此种表示法在机床电气控制线路中普遍采用。

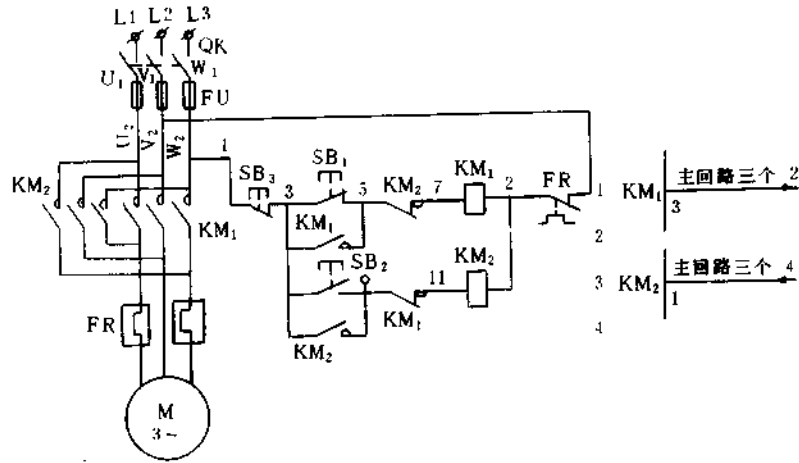


图 2-3 电动机正反转横坐标图示法电气原理图

三、电气安装接线图

电气安装接线图是按照电器元件的实际位置和实际接线绘制的，根据电器元件布置最合理、连接导线最经济等原则来安排。它为安装电气设备、电器元件之间进行配线及检修电气故障等提供了必要的依据。图 2-4 为笼型电动机正反转控制的安装接线图。

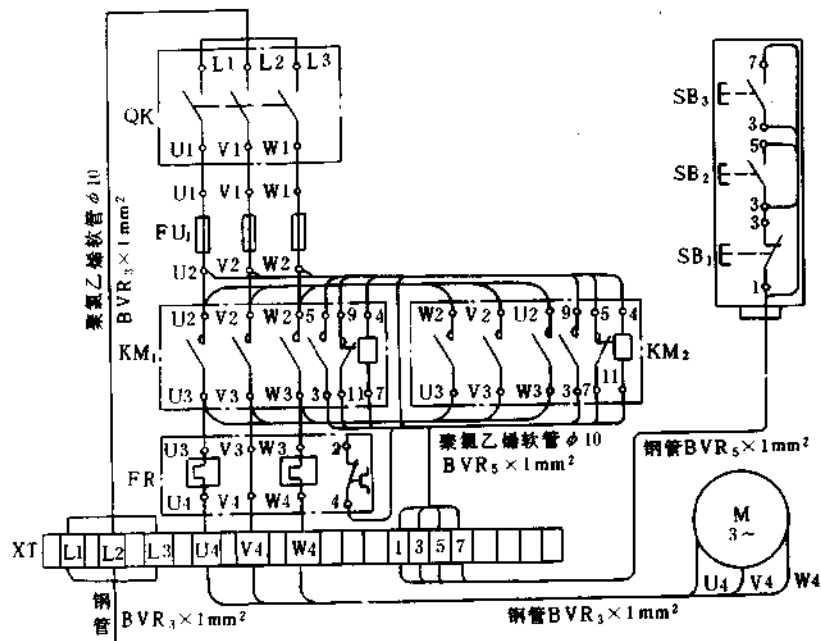


图 2-4 电动机正反转控制安装接线图

绘制安装接线图应遵循以下原则：

- ① 各电器元件用规定的图形、文字符号绘制，同一电器元件各部件必须画在一起。各电

器元件的位置，应与实际安装位置一致。

② 不在同一控制柜或配电屏上的电器元件的电气连接必须通过端子板进行。各电器元件的文字符号及端子板的编号应与原理图一致，并按原理图的接线进行连接。

③ 走向相同的多根导线可用单线表示。

④ 画连接导线时，应标明导线的规格、型号、根数和穿线管的尺寸。

第二节 三相异步电动机的起动控制

不同型号、不同功率和不同负载的电动机，往往有不同的起动方法，因而控制线路也不同。三相异步电动机一般有直接起动和减压起动两种方法。

一、三相笼型电动机直接起动控制

在供电变压器容量足够大时，小容量笼型电动机可直接起动。直接起动的优点是电气设备少，线路简单。缺点是起动电流大，引起供电系统电压波动，干扰其它用电设备的正常工作。

(一) 采用刀开关直接起动控制

图 2-5 为采用刀开关直接起动控制线路。

工作过程如下：合上刀开关 QK，电动机 M 接通电源全电压直接起动。打开刀开关 QK，电动机 M 断电停转。这种线路适用于小容量、起动不频繁的笼型电动机，例如小型台钻、冷却泵、砂轮机等。熔断器起短路保护作用。

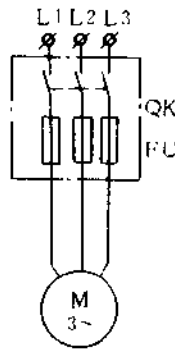


图 2-5 刀开关直接起动控制线路

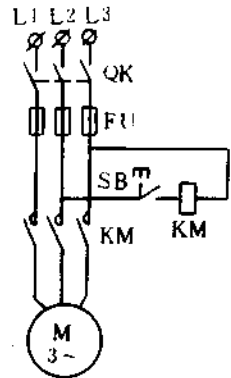


图 2-6 点动控制线路

(二) 采用接触器直接起动控制

1. 点动控制 如图 2-6 所示。主电路由刀开关 QK、熔断器 FU、交流接触器 KM 的主触头和笼型电动机 M 组成；控制电路由起动按钮 SB 和交流接触器线圈 KM 组成。

线路的工作过程如下：起动过程：先合上刀开关 QK → 按下起动按钮 SB → 接触器 KM 线圈通电 → KM 主触头闭合 → 电动机 M 通电直接起动。

停机过程如下：松开 SB → KM 线圈断电 → KM 主触头断开 → M 断电停转。

从线路可知，按下按钮，电动机转动，松开按钮，电动机停转，这种控制就叫点动控制，它能实现电动机短时转动，常用于机床的对刀调整和电动葫芦等。

2. 连续控制 在实际生产中往往要求电动机实现长时间连续转动，即所谓长动控制，如图 2-7 所示。

主电路由刀开关 QK、熔断器 FU、接触器 KM 的主触头、热继电器 FR 的发热元件和电动机 M 组成；控制

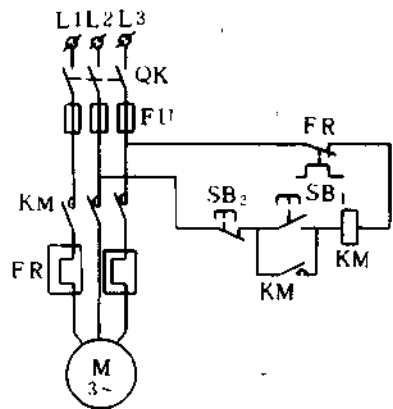


图 2-7 连续运行控制线路

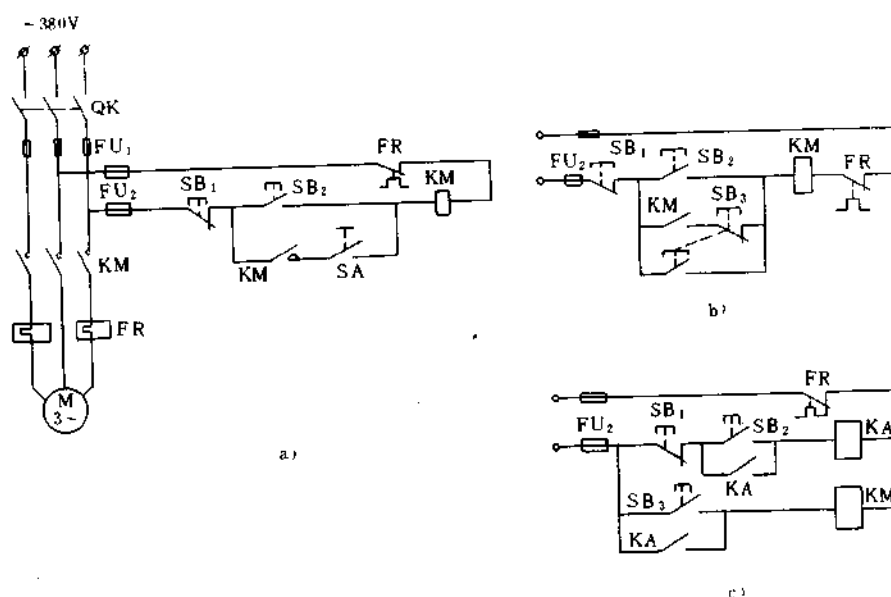


图 2-8 长动和点动控制

图 2-8c 的线路采用中间继电器 KA 实现控制。点动控制时，按动起动按钮 $SB_3 \rightarrow KM$ 线圈通电 $\rightarrow M$ 实现点动。长动控制时，按动起动按钮 $SB_2 \rightarrow$ 中间继电器 KA 线圈通电 $\rightarrow KM$ 线圈通电并自锁 $\rightarrow M$ 实现长动。此线路多用了—个中间继电器，但工作可靠性却提高了。

二、三相笼型电动机减压起动控制

三相笼型电动机直接起动控制线路简单，经济，操作方便。但对于容量较大的电动机来说，由于起动电流大，会引起较大的电网电压降，所以必须采用减压起动的办法，以限制起动电流。

减压起动虽然可以减小起动电流，但也降低了起动转矩，因此仅适用于空载或轻载起动。

三相笼型电动机的减压起动方法有定子绕组串电阻（或电抗器）起动、自耦变压器减压起动、星-三角形减压起动、延边三角形起动等。

（一）定子绕组串电阻减压起动控制

控制线路按时间原则实现控制，依靠时间继电器延时动作来控制各电器元件的先后顺序动作。控制线路如图 2-9 所示。起动时，在三相定子绕组中串入电阻 R，从而减低了定子绕组上的电压，待起动后，再将电阻 R 切除，使电动机在额定电压下投入正常运行。

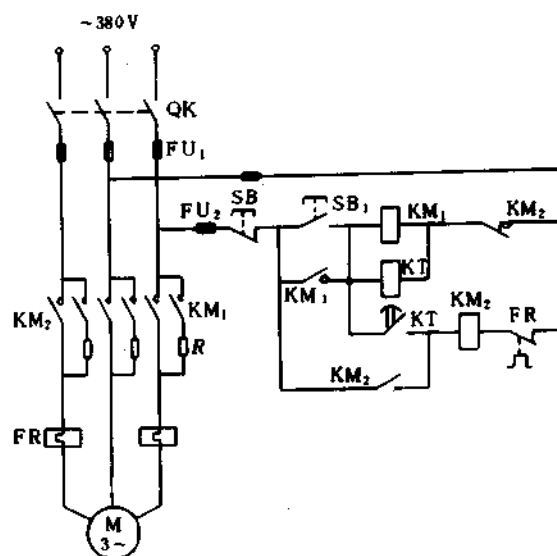
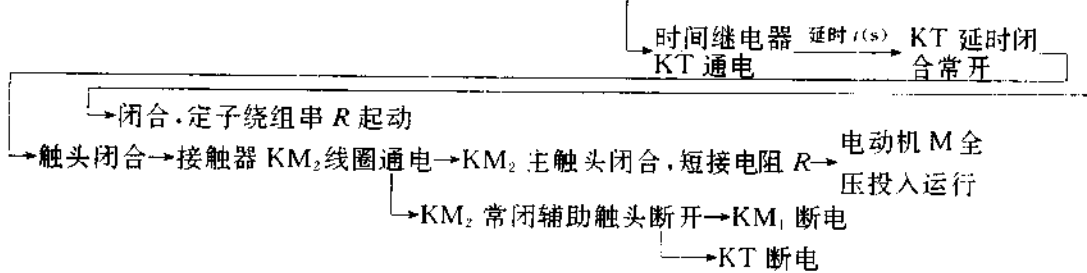


图 2-9 定子绕组串电阻起动控制线路

起动过程如下：合上刀开关 QK → 按下起动按钮 SB₁ → 接触器 KM₁ 通电 → KM₁ 主触头



(二) 星-三角形减压起动控制

控制线路也是按时间原则实现控制。起动时将电动机定子绕组联结成星形，加在电动机每相绕组上的电压为额定电压的 $1/\sqrt{3}$ ，从而减小了起动电流。待起动后按预先整定的时间把电动机换成三角形联结，使电动机在额定电压下运行，控制线路如图 2-10 所示。

起动过程如下：合上刀开关 QK → 按下起动按钮 SB₂ → 接触器 KM 通电 → KM 主触头

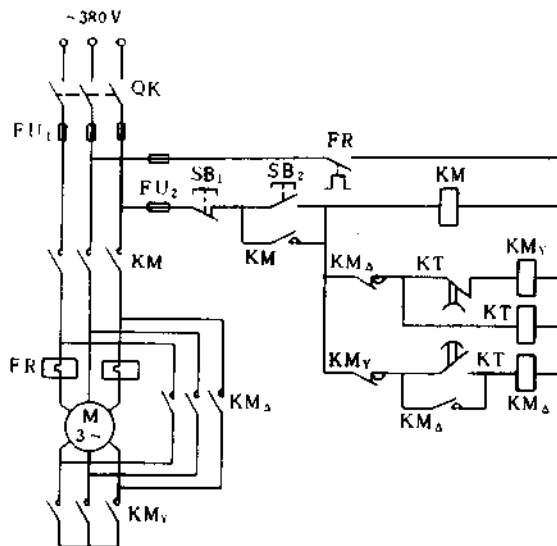
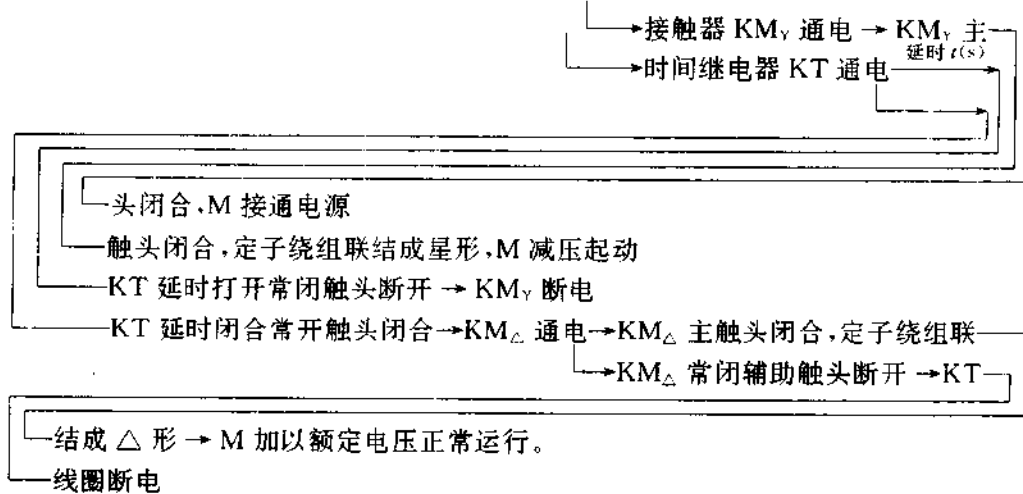


图 2-10 星-三角形减压起动控制线路

该线路结构简单，缺点是起动转矩也相应下降为三角形联结的 $1/3$ ，转矩特性差。因而本线路适用于电网电压 380V、额定电压 660/380V、星-三角联结的电动机轻载起动的场合。

(三) 自耦变压器减压起动的控制

起动时电动机定子串入自耦变压器，定子绕组得到的电压为自耦变压器的二次电压，起动完毕，自耦变压器被切除，额定电压加于定子绕组，电动机以全电压投入运行。控制线路如图 2-11 所示。

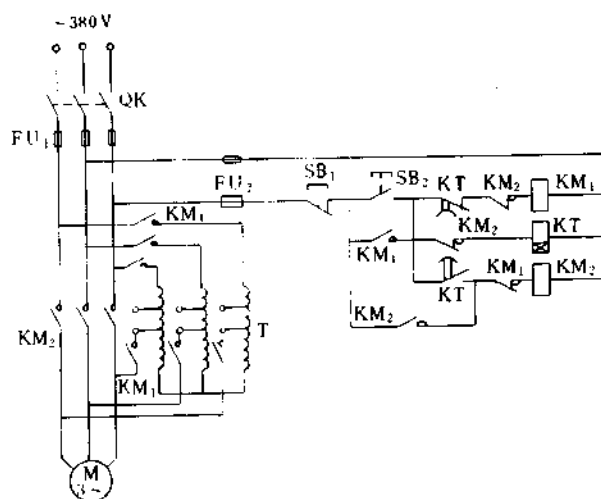
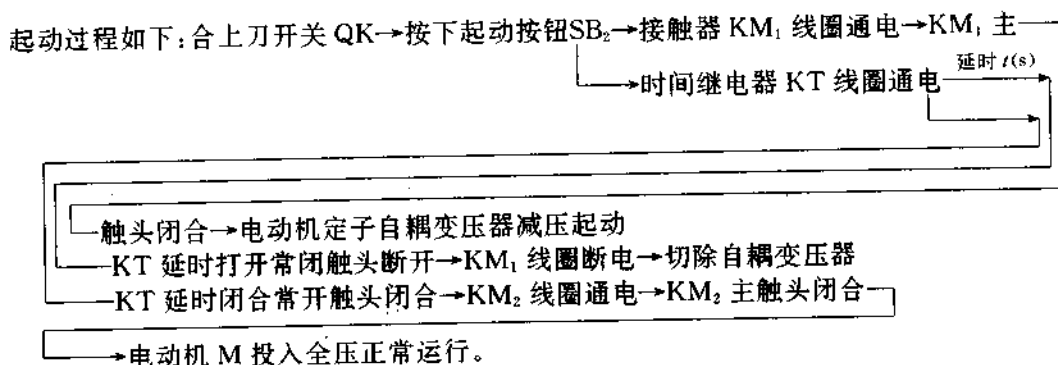


图 2-11 定子串自耦变压器起动控制线路



该控制线路对电网的电流冲击小，损耗功率也小，但是自耦变压器价格较贵，主要用于起动较大容量的电动机。

(四) 延边三角形减压起动控制

上面介绍的星-三角形起动控制有很多优点，但不足的是起动转矩太小，如要求兼取星形联结起动电流小，三角形联结起动转矩大的优点，则可采用延边三角形减压起动，延边三角形减压起动控制线路如图 2-12 所示。它适用于定子绕组特别设计的电动机，这种电动机共有九个出线头。延边三角形-三角形绕组联结如图 2-13 所示。起动时将电动机定子绕组的一部分联结成星形，如图 2-13 中结点 (1-7)、结点 (2-8)、结点 (3-9)，而另一部分联结成三角形，如结点 (7-4)、结点 (8-5)、结点 (9-6)，在起动结束后，再换成三角形联结法，投入全电压

正常运行。

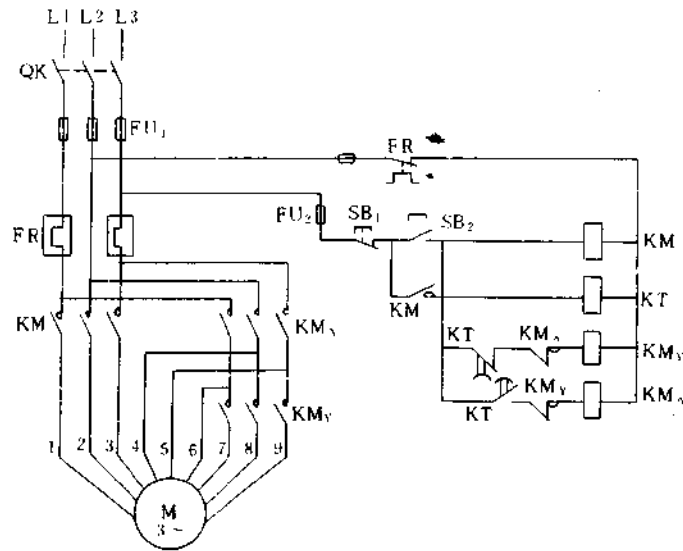


图 2-12 延边三角形减压起动控制线路

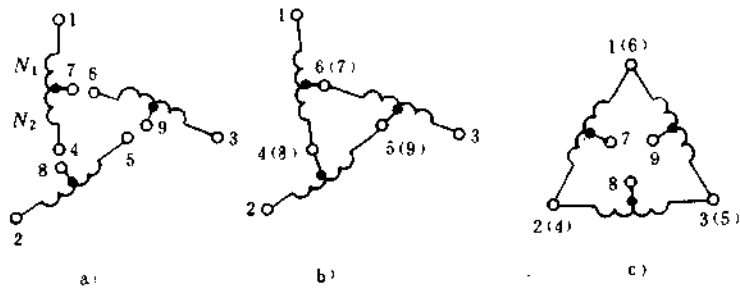
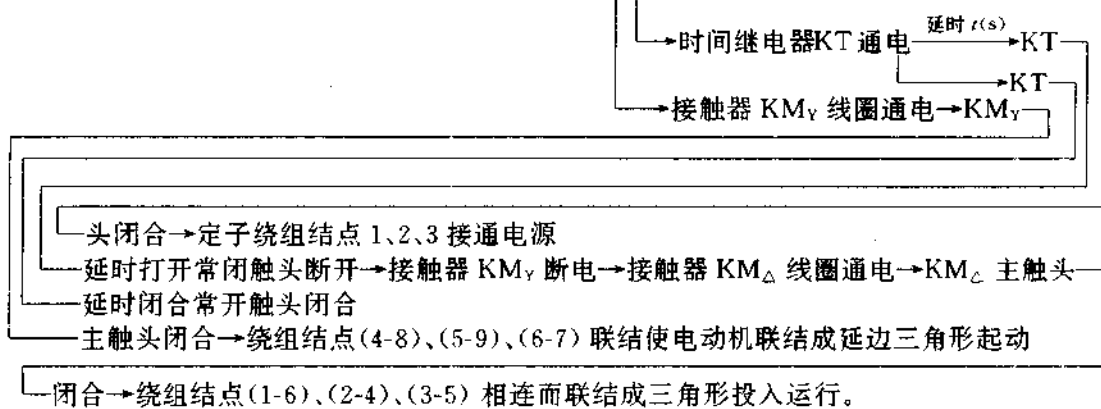


图 2-13 延边三角形-三角形绕组联结

a) 原始状态 b) 延边三角形联结 c) 三角形联结

起动过程如下：合上刀开关 QK → 按下起动按钮 SB₂ → 接触器 KM 线圈通电 → KM 主触



闭合 → 绕组结点 (1-6)、(2-4)、(3-5) 相连而联结成三角形投入运行。

综合以上介绍的几种起动控制线路，均按时间原则采用时间继电器实现减压起动，这种控制方式线路工作可靠，受外界因素如负载、飞轮惯量以及电网波动的影响较小，结构比较简单，因而被广泛采用。

三、三相绕线转子电动机的起动控制

在要求起动转矩较大的场合，绕线转子电动机得到广泛的应用。

绕线转子电动机可以在转子绕组中通过滑环串接外加电阻起动，达到减小起动电流、提高转子电路的功率因数和增大起动转矩的目的。常用的起动方法有两种：一是在转子电路中串接电阻；一是在转子电路中串接频敏变阻器。

(一) 转子绕组串接起动电阻控制

串接于三相转子电路中的起动电阻，一般都联结成星形。在起动前，起动电阻全部接入电路，在起动过程中，起动电阻被逐级地短接。电阻被短接的方式有三相电阻不平衡短接法和三相电阻平衡短接法。不平衡短接法是转子每相的起动电阻按先后顺序被短接，而平衡短接法是转子三相的起动电阻同时被短接。使用凸轮控制器来短接电阻宜采用不平衡短接法，因为凸轮控制器中各对触头闭合顺序一般是按不平衡短接法来设计的，故控制线路简单，如桥式起重机就是采用这种控制方式。使用接触器来短接电阻时宜采用平衡短接法。下面介绍使用接触器控制的平衡短接法起动控制。

转子绕组串电阻起动控制线路如图 2-14 所示。该线路按照电流原则实现控制，利用电流继电器根据电动机转子电流大小的变化来控制电阻的分级切除。 $KA_1 \sim KA_3$ 为欠电流继电器，其线圈串接于转子电路中， $KA_1 \sim KA_3$ 三个电流继电器的吸合电流值相同，但释放电流值不同， KA_1 的释放电流最大，首先释放， KA_2 次之， KA_3 的释放电流最小，最后释放。刚起动时起动电流较大， $KA_1 \sim KA_3$ 同时吸合动作，使全部电阻接入。随着电动机转速升高电流减小， $KA_1 \sim KA_3$ 依次释放，分别短接电阻，直到将转子串接的电阻全部短接。

起动过程如下：合上开关 QK → 按动起动按钮 SB_2 → 接触器 KM 通电，电动机 M 串入全部电阻 ($R_1 + R_2 + R_3$) 起动 → 中间继电器 KA 通电，为接触器 $KM_1 \sim KM_3$ 通电作准备 → 随着转速的升高，起动电流逐步减小，首先 KA_1 释放 → KA_1 常闭触头闭合 → KM_1 通电，转子电路中 KM_1 常开触头闭合 → 短接第一级电阻 R_1 → 然后 KA_2 释放 → KA_2 常闭触头闭合 → KM_2 通电，转子电路中 KM_2 常开触头闭合 → 短接第二级电阻 R_2 → KA_3 最后释放 → KA_3 常闭触头闭合 → KM_3 通电，转子电路中 KM_3 常开触头闭合 → 短接最后一段电阻 R_3 ，电动机起动过程结束。

控制线路中设置了中间继电器 KA_1 ，是为了保证转子串入全部电阻后，电动机才能起动。若没有 KA_1 ，当起动电流由零上升在尚未到达电流继电器的吸合电流值时， $KA_1 \sim KA_3$ 不能吸合，将使接触器 $KM_1 \sim KM_3$ 同时通电，则转子电阻 ($R_1 + R_2 + R_3$) 全部被短接，则电动机

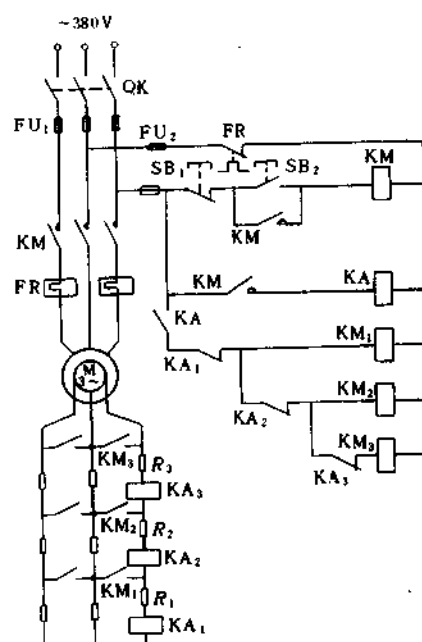


图 2-14 转子绕组串电阻起动控制线路

直接起动。设置了KA后，在KM通电后才能使KA通电，KA常开触头闭合，此时起动电流已达到欠电流继电器的吸合值，其常闭触头全部断开，使KM₁~KM₃均断电，确保转子串入全部电阻，防止电动机直接起动。

(二) 转子绕组串接频敏变阻器起动控制

在绕线转子电动机的转子绕组串电阻起动过程中，由于逐级减小电阻，起动电流和转矩突然增加，故产生一定的机械冲击力。同时由于串接电阻起动，使线路复杂，工作不可靠，而且电阻本身比较粗笨，能耗大，使控制箱体积较大。从60年代开始，我国开始推广应用自己独创的频敏变阻器起动。频敏变阻器的阻抗随着转子电流频率的下降自动减小，常用于较大容量的绕线转子电动机，是一种较理想的起动方法。

频敏变阻器实质上是一个特殊的三相电抗器。铁心由E形厚钢板叠成，为三相三柱式，每一个铁心柱上套有一个绕组，三相绕组联结成星形，将其串接于电动机转子电路中，相当于接入一个铁损较大的电抗器，频敏变阻器等效电路如图2-15所示。图中

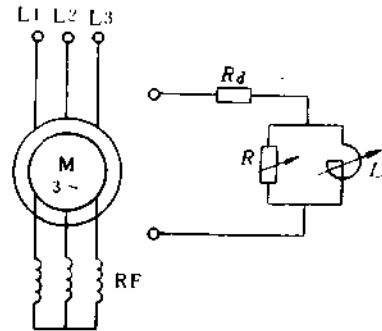


图 2-15 频敏变阻器等效电路

R_d 为绕组直流电阻， R 为铁损等值电阻， L 为等值电感， R 、 L 值与转子电流频率有关。

在起动过程中，转子电流频率是变化的。刚起动时，转速等于0，转差率 $s=1$ ，转子电流

的频率 f_2 与电源频率 f_1 的关系为 $f_2 = s f_1$ ，所以刚起动时 $f_2 = f_1$ ，频敏变阻器的电感和电阻均为最大，转子电流受到抑制。随着电动机转速的升高而 s 减小， f_2 下降，频敏变阻器的阻抗也随之减小。所以，绕线转子电动机转子串接频敏变阻器起动时，随着电动机转速的升高，变阻器阻抗也自动逐渐减小，实现了平滑的无级起动。此种起动方式在桥式起重机和空气压缩机等电气设备中获得广泛应用。

转子绕组串接频敏变阻器的起动控制线路如图2-16所示。该线路可利用转换开关SC选择自动控制和手动控制两种方式。在主电路中，TA

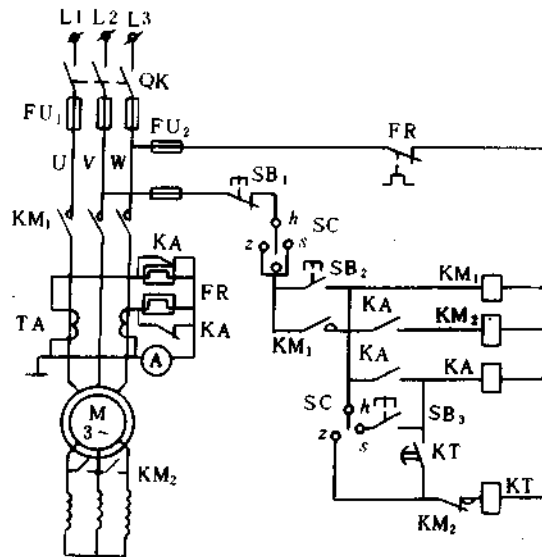
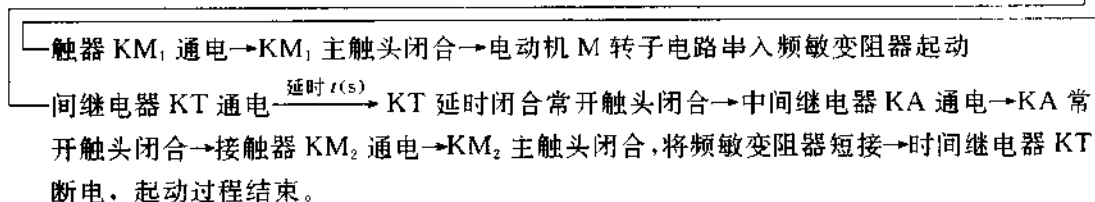


图 2-16 转子绕组串接频敏变阻器的起动控制线路

为大电流变换成小电流进行测量。另外，在起动过程中，为避免因起动时间较长而使热继电器FR误动作，因而在主电路中，用KA的常闭触头将FR的发热元件短接，起动结束投入正常运行时FR的发热元件才接入电路。起动过程如下：

自动控制 将转换开关 SC 置于“z”位置→合上刀开关 QK→按下起动按钮 SB₂→接



手动控制 将转换开关 SC 置于“s”位置→按下起动按钮 SB₂→接触器 KM₁ 通电→KM₁ 主触头闭合, 电动机 M 转子电路中串入频敏变阻器启动→待电动机启动结束, 按下起动按钮 SB₂→中间继电器通电→接触器 KM₂ 通电→KM₂ 主触头闭合, 将频敏变阻器短接, 启动过程结束。

第三节 三相异步电动机的正反转控制

在实际应用中, 往往要求生产机械改变运动方向, 如工作台前进、后退; 电梯的上升、下降等, 这就要求电动机能实现正、反转。对于三相异步电动机来说, 可通过两个接触器来改

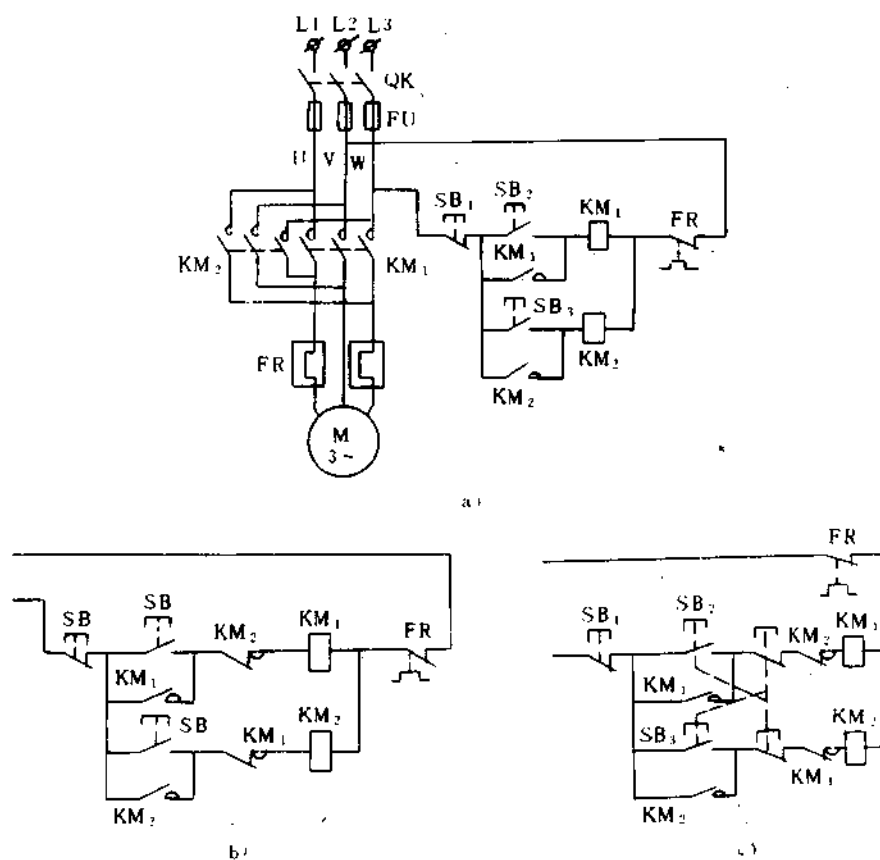


图 2-17 电动机正、反转控制线路

变电动机定子绕组的电源相序来实现。电动机正、反转控制线路如图 2-17 所示。图中接触器 KM_1 为正向接触器，控制电动机 M 正转；接触器 KM_2 为反向接触器，控制电动机 M 反转。

图 2-17a 工作过程如下：

正转控制 合上刀开关 QK → 按下正向起动按钮 SB_2 → 正向接触器 KM_1 通电 → KM_1 主触头和自锁触头闭合 → 电动机 M 正转。

反转控制 合上刀开关 QK → 按下反向起动按钮 SB_3 → 反向接触器 KM_2 通电 → KM_2 主触头和自锁触头闭合 → 电动机 M 反转。

停机 按停止按钮 SB_1 → KM_1 (或 KM_2) 断电 → M 停转。

该控制线路必须要求 KM_1 与 KM_2 不能同时通电，否则会引起主电路电源短路，为此要求线路设置必要的联锁环节。如图 2-17b 所示，将其中一个接触器的常闭触头串入另一个接触器线圈电路中，则任何一个接触器先通电后，即使按下相反方向的起动按钮，另一个接触器也无法通电，这种利用两个接触器的辅助常闭触头互相控制的方式，叫电气互锁，或叫电气联锁。起互锁作用的常闭触头叫互锁触头。另外，该线路只能实现“正 → 停 → 反”或者“反 → 停 → 正”控制，即必须按下停止按钮后，再反向或正向起动。这对需要频繁改变电动机运转方向的设备来说，是很不方便的，为了提高生产率，简便正、反向操作，故利用复合按钮组成“正 → 反 → 停”或“反 → 正 → 停”的互锁控制。如图 2-17c 所示，复合按钮的常闭触头同样起到互锁的作用，这样的互锁叫机械互锁。该线路既有接触器常闭触头的电气互锁，也有复合按钮常闭触头的机械互锁，即具有双重互锁。该线路操作方便，安全可靠，故应用广泛。

第四节 三相异步电动机的调速控制

根据三相异步电动机的转速公式：

$$n = \frac{60f_1}{p}(1 - s)$$

三相异步电动机的调速方法有：改变电动机定子绕组的磁极对数 p ；改变电源频率 f_1 ；改变转差率 s 。改变转差率调速，又可分为：绕线转子电动机在转子电路串接电阻调速；绕线转子电动机串级调速；异步电动机交流调压调速；电磁离合器调速。下面分别介绍几种常用的异步电动机调速控制线路。

一、三相笼型电动机的变极调速控制

三相笼型电动机采用改变磁极对数调速，改变定子极数时，转子极数也同时改变，笼型转子本身没有固定的极数，它的极数随定子极数而定。

改变定子绕组极对数的方法有：

- ① 装有一套定子绕组，改变它的联结方式，得到不同的极对数。
- ② 定子槽里装有两套极对数不一样的独立绕组。
- ③ 定子槽里装有两套极对数不一样的独立绕组，而每套绕组本身又可以改变它的联结方式，得到不同的极对数。

多速电动机一般有双速、三速、四速之分。双速电动机定子装有一套绕组，三速、四速电动机则装有两套绕组。双速电动机三相绕组联结图如图 2-18 所示。图 a 为三角形与双星形联结法；图 b 为星形与双星形联结法。应注意，当三角形或星形联结时， $p=2$ （低速），各相

绕组互为 120° 电角度，当双星形联结时， $p=1$ （高速），各相绕组互为 240° 电角度，为保持变速前后转向不变，改变磁极对数时必须改变电源相序。

双速电动机调速控制线路如图 2-19 所示。图中 SC 为转换开关，置于“低速”位置时，电动机联结成三角形，低速运行；SC 置于“高速”位置时，电动机联结成双星形，高速运行。

工作过程如下：

低速运行 SC 置于低速位置 → 接触器 KM_3 通电 → KM_3 主触头闭合 → 电动机 M 联结成三角形，低速运行。

高速运行 SC 置于高速位置 → 时间继电器 KT 通电 → 接触器 KM_3 通电 → 电动机 M 先联结成三角形以低速起动 $\xrightarrow{\text{延时 } t \text{ (s)}}$ KT 延时打开常闭触头打开 → KM_3 断电 → KT 延时闭合常开触头闭合 → 接触器 KM_2 通电 → 接触器 KM_1 通电 → 电动机联结成双星形投入高速运行。电动机实现先低速后高速的控制，目的是限制起动电流。

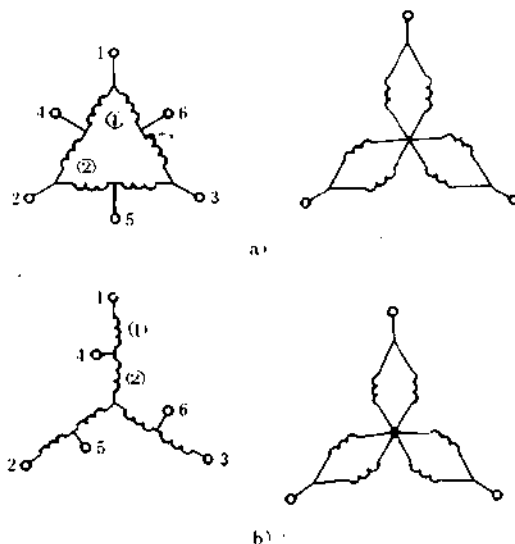


图 2-18 双速电动机三相绕组联结图

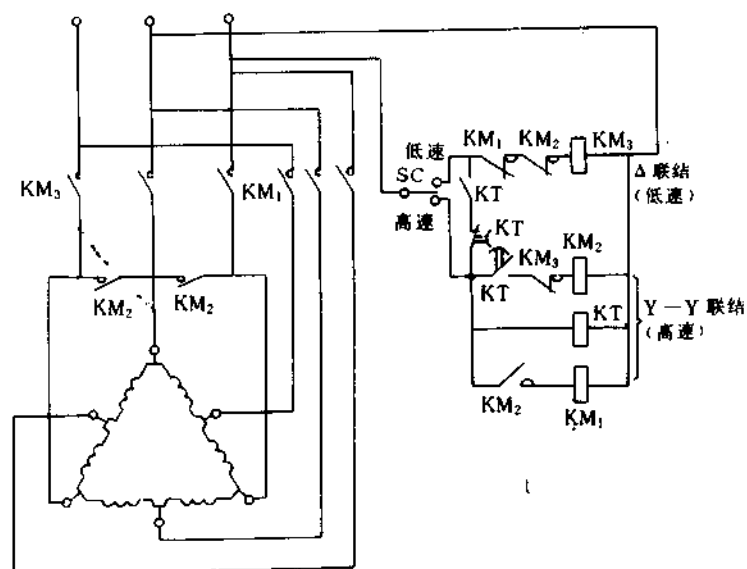


图 2-19 双速电动机调速控制线路

二、绕线转子电动机转子串电阻的调速控制

绕线转子电动机可采用转子串电阻的方法调速。随着转子所串电阻的增大，电动机的转速降低，转差率增大，使电动机工作在不同的人为特性上，以获得不同的转速，实现调速的目的。

绕线转子电动机一般采用凸轮控制器进行调速控制，目前在吊车、起重机一类的生产机械上仍被普遍采用。

图 2-20 所示为采用凸轮控制器控制的电动机正、反转和调速的线路。在电动机 M 的转子电路中，串接三相不对称电阻，作起动和调速用。转子电路的电阻和定子电路相关部分与凸轮控制器的各触头连接。

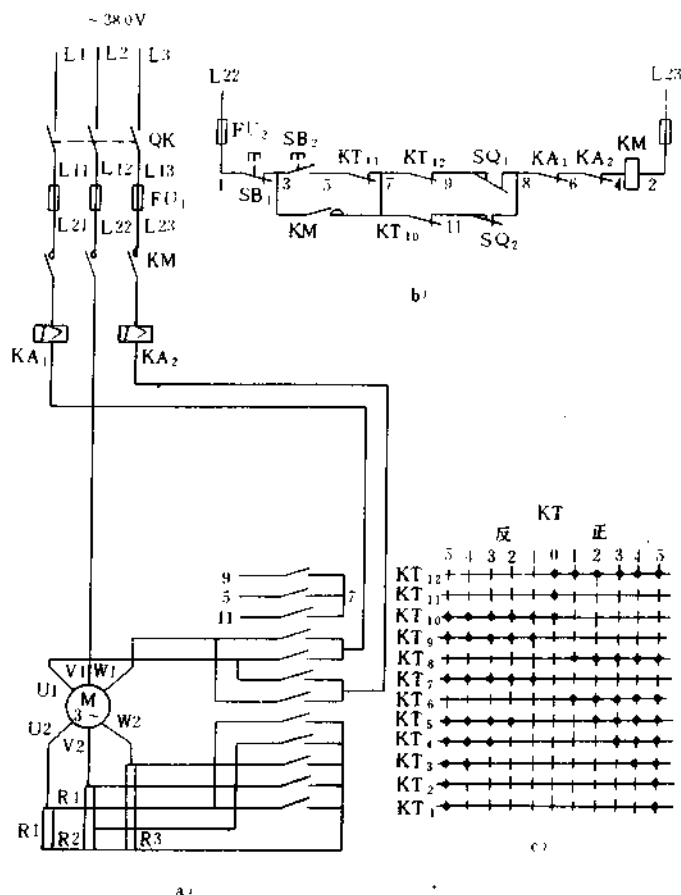


图 2-20 采用凸轮控制器控制电动机正、反转和调速的线路

凸轮控制器的触点展开图如图 2-20c 所示，黑点表示该位置触头接通，没有黑点则表示不通。触点 $KT_1 \sim KT_5$ 和转子电路串接的电阻相连接，用于短接电阻，控制电动机的起动和调速。

工作过程如下：凸轮控制器手柄置“0”位， KT_{10} 、 KT_{11} 、 KT_{12} 三对触头接通→合上刀开关 QK→按起动按钮 SB_2 →KM 接触器通电→KM 主触头闭合→把凸轮控制器手柄置正向“1”位→触头 KT_{12} 、 KT_8 、 KT_9 闭合→电动机 M 接通电源，转子串入全部电阻 ($R_1 + R_2 + R_3 + R_4$) 正向低速起动→KT 手柄位置打向正向“2”位→ KT_{12} 、 KT_8 、 KT_9 、 KT_5 四对触头闭合→电阻 R 被切除，电动机转速上升。当凸轮控制器手柄从正向“2”位依次转向“3”“4”“5”位时，触头 $KT_7 \sim KT_1$ 先后闭合，电阻 R_2 、 R_3 、 R_4 被依次切除，电动机转速逐步升高，直至以额定转速运转。

当凸轮控制器手柄由“0”位扳向反向“1”位时，触头 KT_{10} 、 KT_9 、 KT_7 闭合，电动机 M 电源相序改变而反向起动。手柄位置从“1”位依次扳向“5”位时，电动机转子所串电阻被依次切除，电动机转速逐步升高。过程与正转相同。

另外，为了安全运行，在终端位置设置了两个限位开关 SQ_1 、 SQ_2 ，分别与触头 KT_{11} 、 KT_{12} 串接，在电动机正、反转过程中，当运动机构到达终端位置时，挡块压动限位开关，切断控制电路电源，使接触器 KM 断电，切断电动机电源，电动机停止运转。

三、电磁调速异步电动机的控制

电磁调速异步电动机由异步电动机、电磁离合器、控制装置三部分组成，是通过改变电磁离合器的励磁电流实现调速的。

电磁离合器由电枢与磁极两部分组成，如图 2-21 所示。电枢由铸钢制成圆筒形，直接与异步电动机轴相连。磁极由铁磁材料制成爪形，并装有励磁线圈，爪形磁极的轴与生产机械相连接，励磁线圈经集电环通入直流电励磁。

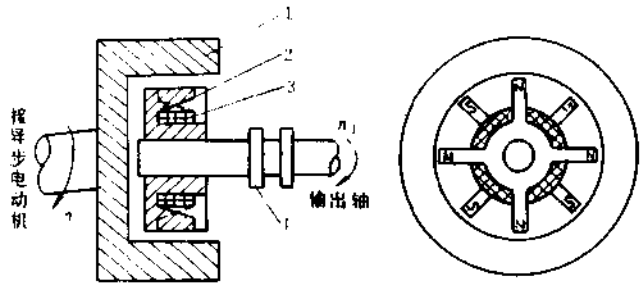


图 2-21 电磁离合器结构图

1—电枢 2—磁极 3—线圈 4—集电环

异步电动机运转时，带动电磁离合器电枢旋转，这时若励磁绕组没有直流电流，则磁极与生产机械不转动。若加入励磁电流，则电枢中产生感应电动势，产生感应电流。感应电流与爪形磁极相互作用，使爪形磁极受到与电枢转向相同的电磁转矩。因为只有它们之间存在转差时才能产生感应电流和转矩，所以爪形磁极必然以小于电枢的转速作同方向运转。

电磁离合器的磁极的转速与励磁电流的大小有关。励磁电流越大，建立的磁场越强，在一定的转差率下产生的转矩越大。对于一定的负载转矩，励磁电流不同，转速也不同，因此只要改变电磁离合器的励磁电流，就可以调节转速。

电磁调速异步电动机的机械特性较软，为了得到平滑稳定的调速特性，需加自动调速装置。

电磁调速异步电动机的控制线路如图 2-22 所示。图中 VC 是晶闸管可控整流电源，提供电磁离合器的直流励磁电流，其大小可通过电位器 R 进行调节。由测速发电机取出的转速信号，反馈给 VC，起速度负反馈作用，以调节和稳定电动机的转速，改善异步电动机的机械特性。

工作过程如下：合上刀开关 QK → 按下起动按钮 SB_2 → 接触器 KM 通电 → 电动机 M 运转 → VC 输出直流电流给电磁离合器 YC，建立磁场，磁极随电动机和电枢同向转动 → 调节可变电阻 R 改变励磁电流大小，使生产机械达到所要求的转速。

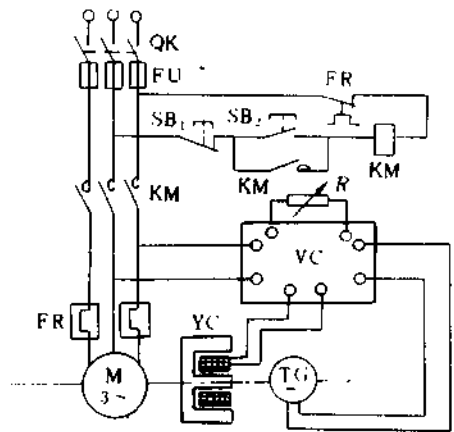


图 2-22 电磁调速异步电动机的控制线路

第五节 三相异步电动机的制动控制

三相异步电动机的制动方法有机械制动和电气制动两种。

机械制动是利用机械装置使电动机迅速停转。常用的机械装置是电磁抱闸，抱闸装置由制动电磁铁和闸瓦制动器组成。可分为断电制动和通电制动。制动时，将制动电磁铁的线圈切断或接通电源，通过机械抱闸制动电动机。

电气制动方法有反接制动、能耗制动、发电制动和电容制动等。

一、三相异步电动机反接制动控制

反接制动是利用改变电动机电源相序，使定子绕组产生的旋转磁场与转子旋转方向相反，因而产生制动力矩的一种制动方法。应注意的，当电动机转速接近零时，必须立即断开电源，否则电动机会反向旋转。

另外，由于反接制动电流较大，制动时需定子回路中串入电阻以限制制动电流。反接制动电阻的接法有两种：对称电阻接法和不对称电阻接法，如图 2-23 所示。

单向运行的三相异步电动机反接制动控制线路如图 2-24 所示。控制线路按速度原则实现控制，通常采用速度继电器。速度继电器与电动机同轴相连，在 120~3000r/min 范围内速度继电器触头动作，当转速低于 100r/min 时，其触头复位。

工作过程如下：合上刀开关 QK → 按下起动按钮 SB₂ → 接触器 KM₁ 通电 → 电动机 M 起动运行 → 速度继电器 KS 常开触头闭合，为制动准备。制动时按下停止按钮 SB₁ → KM₁ 断电 → KM₂ 通电 (KS 常开触头尚未打开) → KM₂

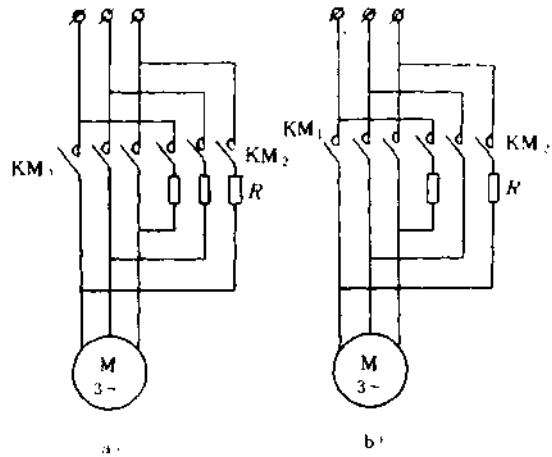


图 2-23 三相异步电动机反接制动电阻接法

a) 对称电阻接法 b) 不对称电阻接法

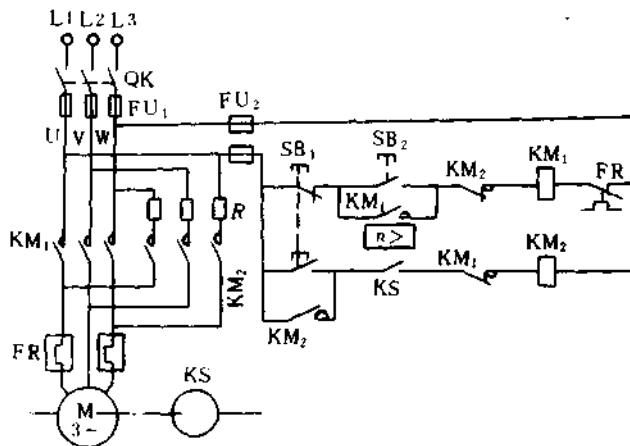


图 2-24 单向运行的三相异步电动机反接制动控制线路

主触头闭合，定子绕组串入限流电阻 R 进行反接制动 $\rightarrow n \approx 0$ 时， KS 常开触头断开 $\rightarrow KM_2$ 断电，电动机制动结束。

图 2-25 为电动机可逆运行的反接制动控制线路。图中 KS_F 和 KS_R 是速度继电器 KS 的两组常开触头，正转时 KS_F 闭合，反转时 KS_R 闭合，工作过程请读者自行分析。

二、三相异步电动机能耗制动控制

三相异步电动机能耗制动时，切断定子绕组的交流电源后，在定子绕组任意两相通入直流电流，形成一固定磁场，与旋转着的转子中的感应电流相互作用产生制动力矩。制动结束必须及时切除直流电源。

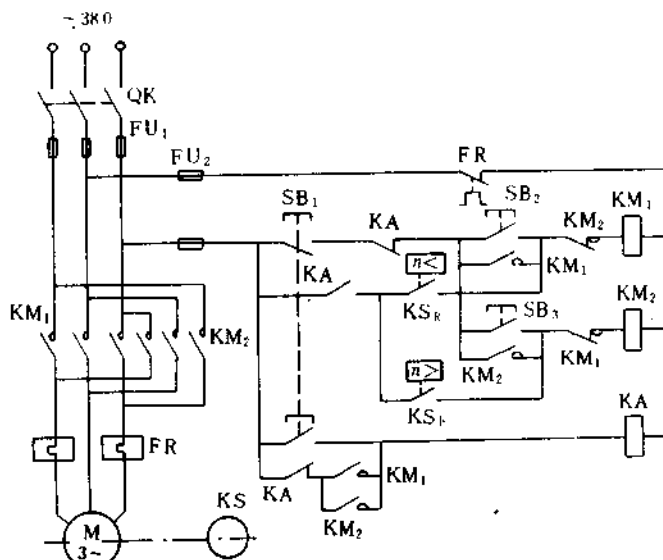


图 2-25 电动机可逆运行的反接制动控制线路

能耗制动控制线路如图 2-26 所示。

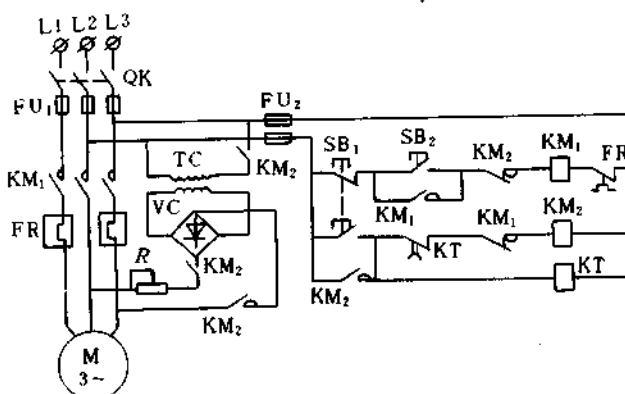
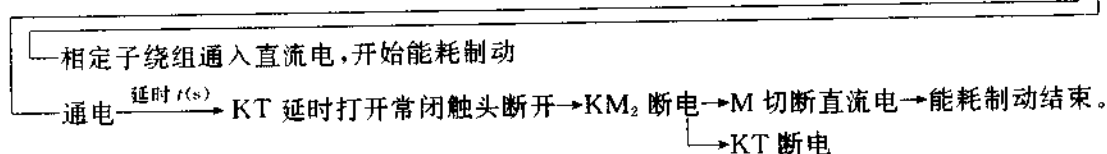


图 2-26 能耗制动控制线路

工作过程如下：合上刀开关 QK \rightarrow 按下启动按钮 SB_2 \rightarrow 接触器 KM_1 通电 \rightarrow 电动机 M 启动运行。

制动时，按下复合按钮 SB_1 \rightarrow KM_1 断电 \rightarrow 电动机 M 断开交流电源 \rightarrow KM_2 通电 \rightarrow M 两



该控制线路制动效果好，但对于较大功率的电动机要采用三相整流电路，则所需设备多、投资成本高。

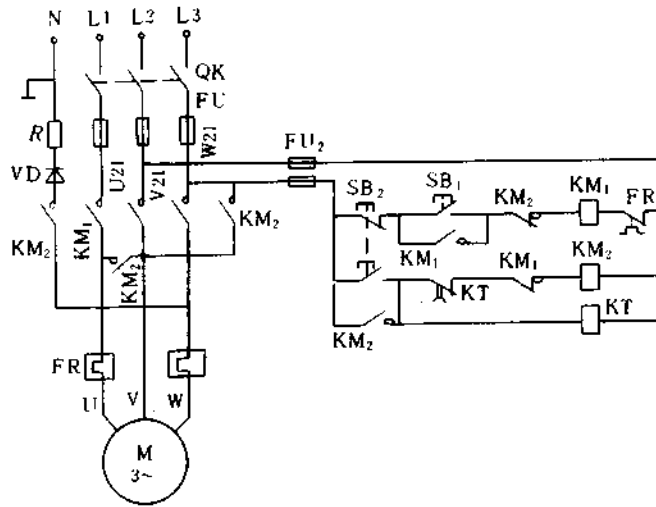


图 2-27 无变压器单相半波整流控制线路

对于 10kW 以下的电动机，在制动要求不高的场合，可采用无变压器单相半波整流控制线路，如图 2-27。

三、三相异步电动机电容制动控制

电容制动是在切断三相异步电动机的交流电源后，在定子绕组上接入电容器，转子内剩磁切割定子绕组产生感应电流，向电容器充电，充电电流在定子绕组中形成磁场，这磁场与转子感应电流相互作用，产生与转向相反的制动力矩，使电动机迅速停转。电容制动控制线路如图 2-28 所示。

工作过程如下：合上刀开关 QK→按启动按钮 SB₂→接触器 KM₁ 通电→电动机运行→时间继电器 KT 通电→KT 延时打开常开触头

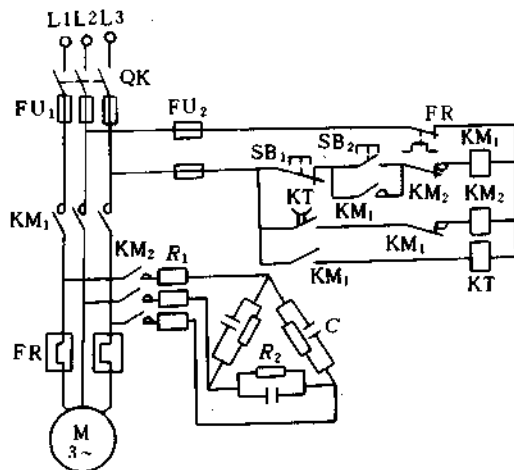


图 2-28 电容制动控制线路

闭合。制动时，按下停止按钮 SB₁→KM₁ 断电→KM₂ 通电，电容器接入，制动开始
 →KT 断电——延时 t(s)→KT 延时打开常开触头
 断开→KM₂ 断电→电容器断开，制动结束。

第六节 其它典型控制环节

一、多地点控制

有些电气设备，如大型机床、起重运输机等，为了操作方便，常要求能在多个地点对同一台电动机实现控制。这种控制方法叫做多地点控制。

图 2-29 所示为三地点控制线路。把一个起动按钮和一个停止按钮组成一组，并把三组起动、停止按钮分别放置三地，即能实现三地点控制。

多地点控制的接线原则是：起动按钮应并联连接，停止按钮应串联连接。

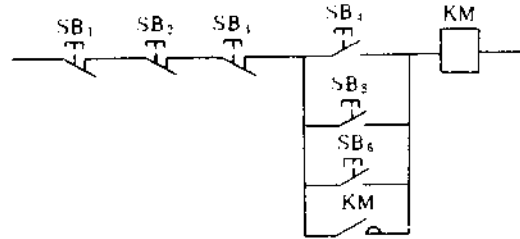


图 2-29 三地点控制线路

二、多台电动机先后顺序工作的控制

在生产实践中，有时要求一个拖动系统中多台电动机实现先后顺序工作。例如机床中要求润滑电动机起动后，主轴电动机才能起动。图 2-30 为两台电动机顺序起动控制线路。

在图 2-30a 中，接触器 KM_1 控制电动机 M_1 的起动、停止；接触器 KM_2 控制 M_2 的起动、停止。现要求电动机 M_1 起动后，电动机 M_2 才能起动。工作过程如下：合上开关 $QK \rightarrow$ 按下起动按钮 $SB_2 \rightarrow$ 接触器 KM_1 通电 \rightarrow 电动机 M_1 起动 \rightarrow KM_1 常开辅助触头闭合 \rightarrow 按下起动按钮 $SB_3 \rightarrow$ 接触器 KM_2 通电 \rightarrow 电动机 M_2 起动。

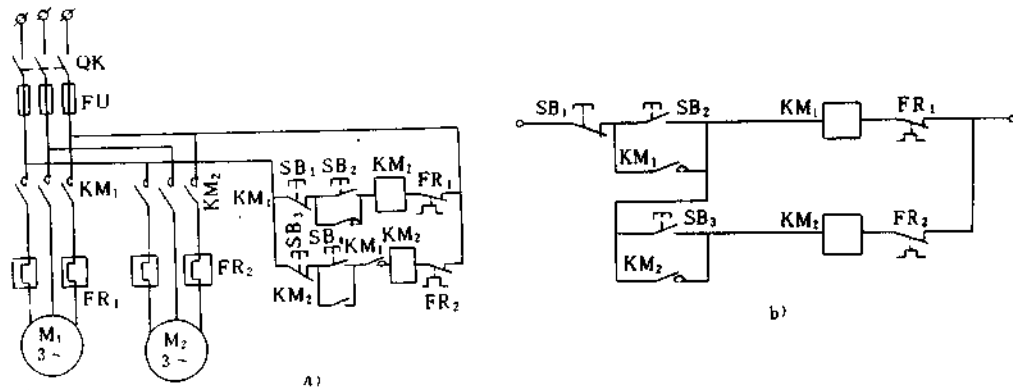


图 2-30 两台电动机顺序起动控制线路

按下停止按钮 SB_1 ，两台电动机同时停止。如改用图 2-30b 线路的接法，可以省去接触器 KM_1 的常开触头，使线路得到简化。

电动机顺序控制的接线规律是：

① 要求接触器 KM_1 动作后接触器 KM_2 才能动作，故将接触器 KM_1 的常开触头串接于接触器 KM_2 的线圈电路中。

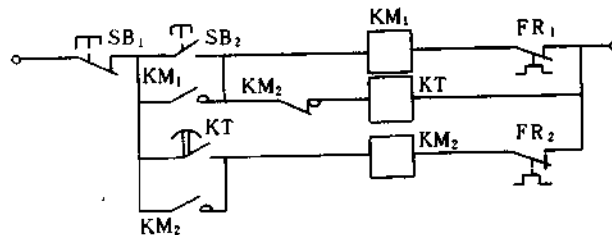


图 2-31 采用时间继电器，按时间原则顺序起动的控制线路

② 要求接触器 KM_1 动作后接触器 KM_2 不能动作，故将接触器 KM_1 的常闭辅助触头串接于接触器 KM_2 的线圈线路中。

图 2-31 是采用时间继电器，按时间原则顺序起动的控制线路。

线路要求电动机 M_1 起动 t (s) 后，电动机 M_2 自动起动。可利用时间继电器的延时闭合常开触头来实现。

三、自动循环控制

在机床电气设备中，有些是通过工作台自动往复循环工作的，例如龙门刨床的工作台前进、后退。电动机的正、反转是实现工作台自动往复循环的基本环节。自动循环控制线路如图 2-32 所示。

控制线路按照行程控制原则，利用生产机械运动的行程位置实现控制，通常采用限位开关。

工作过程如下：合上电源开关 QK → 按下起动按钮 SB_2 → 接触器 KM_1 通电 → 电动机 M 正转，工作台向前 → 工作台前进到一定位置，撞块压动限位开关 SQ_2 → SQ_2 常闭触头断开 → KM_1 断电 → SQ_2 常开触头闭合 → KM_2 通电 → 电动机 M 反转，工作台向后 → 工作台后退到一定位置，撞块压动限位开关 SQ_1 → SQ_1 常闭触头断开 → KM_2 断电 → M 停止后退 → SQ_1 常开触头闭合 → KM_1 通电 → 电动机 M 又正转，工作台又前进，如此往复循环工作，直至按下停止按钮 SB_1 → KM_1 (或 KM_2) 断电 → 电动机停止转动。

另外， SQ_3 、 SQ_4 分别为正、反向终端保护限位开关，防止限位开关 SQ_1 和 SQ_2 失灵时造成工作台从床身上冲出的事故。

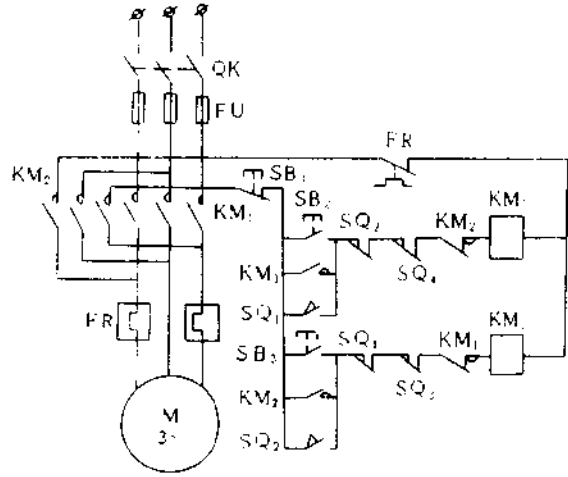


图 2-32 自动循环控制线路

第七节、电器控制线路的设计方法

人们希望在掌握了电器控制的基本原则和基本控制环节后，不仅能分析生产机械的电器控制线路的工作原理，而且还能根据生产工艺的要求，设计电器控制线路。

电器控制线路的设计方法通常有两种：经验设计法和逻辑设计法。

一、经验设计法

经验设计法是根据生产机械的工艺要求和加工过程，利用各种典型的基本控制环节，加以修改、补充、完善，最后得出最佳方案。若没有典型的控制环节可采用，则按照生产机械的工艺要求逐步进行设计。

经验设计法比较简单，但必须熟悉大量的控制线路，掌握多种典型线路的设计资料，同

时具有丰富的实践经验。由于是靠经验进行设计，故没有固定模式，通常是先采用一些典型的基本环节，实现工艺基本要求，然后逐步完善其功能，并加上适当的联锁与保护环节。初步设计出来的线路可能是好几种，要加以分析比较，甚至通过试验加以验证，检验线路的安全和可靠性，最后确定比较合理、完善的设计方案。

采用经验设计法，一般应注意以下几个问题：

(一) 保证控制线路工作的安全和可靠性

电器元件要正确连接，电器的线圈和触头连接不正确，会使控制线路发生误动作，有时会造成严重的事故。

① 线圈的连接。在交流控制线路中，不能串联接入两个电器线圈，如图 2-33 所示。即使外加电压是两个线圈额定电压之和，也是不允许的。因为每个线圈上所分配到的电压与线圈阻抗成正比，两个电器动作总有先后，先吸合的电器，磁路先闭合，其阻抗比没吸合的电器大，电感显著增加，线圈上的电压也相应增大，故没吸合电器的线圈的电压达不到吸合值。同时电路电流将增加，有可能烧毁线圈。因此两个电器需要同时动作时线圈应并联连接。

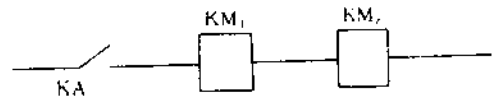


图 2-33 不能串联接入两个电器线圈

② 电器触头的连接。同一个电器的常开触头和常闭触头位置靠得很近，不能分别接在电源的不同相上。不正确连接电器的触头如图 2-34a 所示，限位开关 SQ 的常开触头和常闭触头不是等电位，当触头断开产生电弧时很可能在两触头之间形成飞弧而造成电源短路。正确连接电器触头如图 2-34b 所示，则两触头电位相等，不会造成飞弧而引起的电源短路。

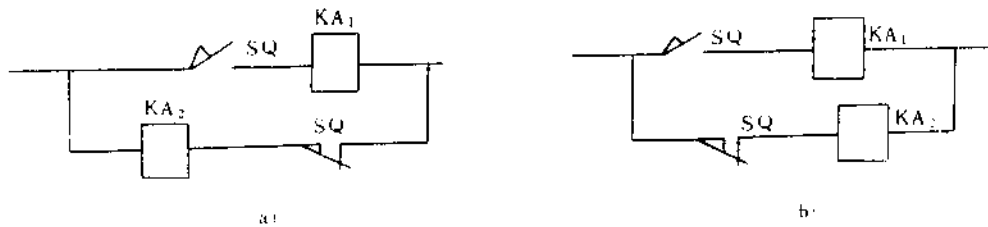


图 2-34 电器触头的连接

③ 线路中应尽量减少多个电器元件依次动作后才能接通另一个电器元件，如图 2-35 所示。在图 2-35a 中，线圈 KA_3 的接通要经过 KA 、 KA_1 、 KA_2 三对常开触头。若改为图 2-35b，则每一线圈的通电只需经过一对常开触头，工作较可靠。

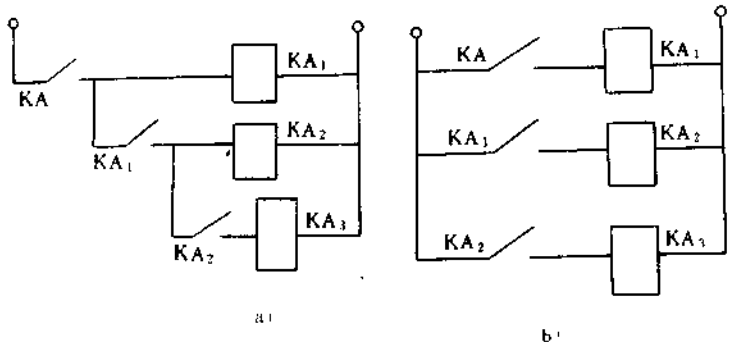


图 2-35 减少多个电器元件依次通电

④ 应考虑电器触头的接通和分断能力，若容量不够，可在线路中增加中间继电器，或增加线路中触头数目。

增加接通能力用多触头并联连接；增加分断能力用多触头串联连接。

⑤ 应考虑电器元件触头“竞争”问题。同一继电器的常开触头和常闭触头有“先断后合”型和“先合后断”型。

通电时常闭触头先断开，常开触头后闭合；断电时常开触头先断开，常闭触头后闭合，属于“先断后合”型。而“先合后断”型则相反：通电时常开触头先闭合，常闭触头后断开；断电时常闭触头先断开，常开触头后断开。如果触头动作先后发生“竞争”的话，电路工作则不可靠。触头竞争线路如图 2-36 所示，若继电器 KA 采用“先合后断”型，则自锁环节起作用，如果 KA 采用“先断后合”型，则自锁不起作用。

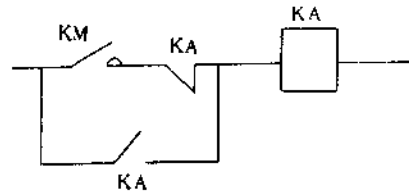


图 2-36 触头竞争线路

(二) 控制线路力求简单、经济。

① 尽量减少触头的数目。尽量减少电器元件和触头的数目，所用的电器、触头越少，则越经济，出故障的机会也越少，如图 2-37 所示。

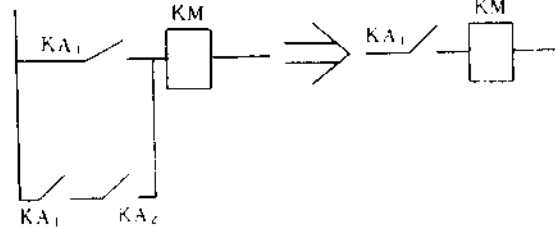


图 2-37 减少触头数目

② 尽量减少连接导线。将电器元件触头的位置合理安排，可减少导线根数和缩短导线的长度，以简化接线，如图 2-38 中，

起动按钮和停止按钮同放置在操作台上，而接触器放置在电气柜内。从按钮到接触器要经过较远的距离，所以必须把起动按钮和停止按钮直接连接，这样可减少连接线。

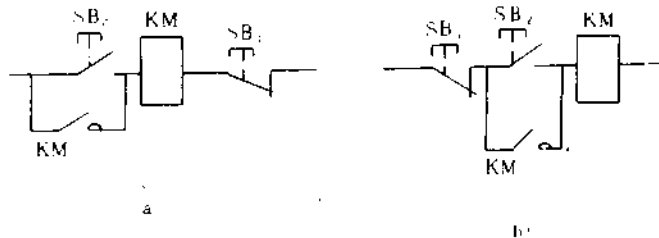


图 2-38 减少连接导线

a) 不合理 b) 合理

③ 控制线路在工作时，除必要的电器元件必须长期通电外，其余电器应尽量不长期通电，以延长电器元件的使用寿命和节约电能。

(三) 防止寄生电路

控制线路在工作中出现意外接通的电路叫寄生电路。寄生电路会破坏线路的正常工作，造成误动作。图 2-39 是一个具有过载保护和指示灯显示的 reversible 电动机的控制线路，电动机正转时过载，则热继电器动作时会出现寄生电路，如图中虚线所示，使接触器 KM₁ 不能断电，起不了保护作用。

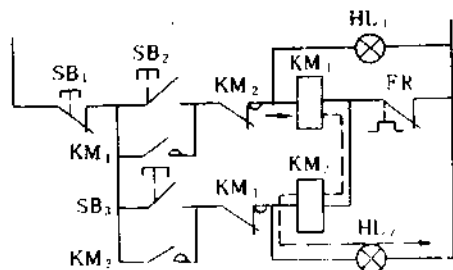


图 2-39 具有过载保护和指示灯显示的 reversible 电动机的控制线路

(四) 应具有必要的保护环节

1. 短路保护 在电器控制线路中，通常采用熔断器或断路器作短路保护。当电动机容量较小时，其控制线路不需另外设置熔断器作短路保护，因主电路的熔断器同时可作控制线路的短路保护，若电动机容量较大，则控制电路要单独设置熔断器作短路保护。断路器既可作短路保护，又可作过载保护，线路出故障，断路器跳闸，经排除故障后只要重新合上断路器即能重新工作。

2. 过流保护 不正确起动方法和过大的负载转矩常引起电动机的过电流故障。过电流一般比短路电流要小。过电流保护常用于直流电动机和绕线转子电动机的控制线路中，采用过电流继电器和接触器配合使用。将过电流继电器线圈串接于被保护的主电路中，其动断触头串接于接触器控制电路中，当电流达到整定值时，过电流继电器动作，其常闭触头断开，切断控制电路电源，接触器断开电动机的电源而起到保护作用。

3. 过载保护 三相笼型电动机的负载突然增加、断相运行或电网电压降低都会引起过载，笼型电动机长期过载运行，会引起过热而使绝缘损坏。通常采用热继电器作笼型电动机的长期过载保护。

4. 零电压保护 零电压保护通常采用并联在起动按钮两端的接触器的自锁触头来实现。当采用主令控制器 SA 控制电动机时，则通过零电压继电器来实现。零电压保护线路如图 2-40 所示。主令控制器 SA 置于“0”位时，零电压继电器 KA 吸合并自锁。当 SA 置于“1”位时，保证了接触器的接通。当断电时，KA 释放，当电网再通电时，必须先将 SA 置于“0”位，使 KA 通电吸合，才能使电动机重新起动，起到零电压保护作用。

对电动机的基本保护，例如过载保护、断相保护、短路保护等，最好能在一个保护装置内同时实现，多功能保护器就是这种装置。电动机多功能保护装置品种很多，性能各异，图 2-41 是其中的一种。

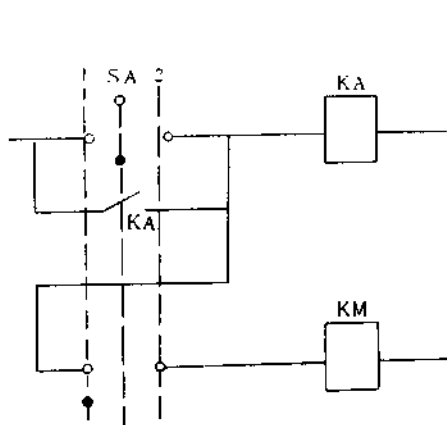


图 2-40 零电压保护线路

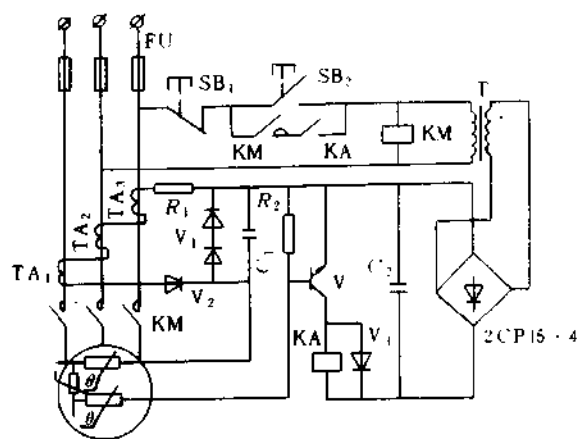


图 2-41 多功能保护器电气原理图

图中保护信号由电流互感器 TA_1 、 TA_2 、 TA_3 串联后取得。这种互感器选用具有较低饱和磁密的磁环（例如用软磁铁氧体 MX0-2000 型锰锌磁环）作成。电动机运行时磁环处于饱和状态，因此互感器二次绕组中的感应电动势，除基波外还有三次谐波成分。

电动机正常运行时，三相的线电流基本平衡（大小相等，相位互差 120° ），因此在互感器二次绕组中的基波电动势合成为零，但三次谐波电动势合成后是每相电动势的三倍。取得的三次谐波电动势经过二极管 V_2 整流、 V_1 稳压、电容器 C_1 滤波，再经过 R_1 与 R_2 分压后，供给晶体管 V 的基极，使 V 饱和导通。于是继电器 KA 吸合， KA 常开触头闭合。按下起动按钮 SB_2 时，接触器 KM 通电。

当电动机电源断开一相时，其余两相线电流大小相等、方向相反，互感器三个串联的二次绕组中只有两个绕组感应电动势，且大小相等，方向相反，结果互感器二次绕组总电动势为零，既不存在基波电动势，也不存在三次谐波电动势，于是 V 的基极电流为零， V 截止，接在 V 集电极的继电器 KA 释放，接触器 KM 断电， KM 主触头断开，切断电动机电源。

当电动机由于过载或其它故障使其绕组温度过高时，热敏电阻 R_3 的阻值急剧上升，改变了 R_1 和 R_2 的分压比，使晶体管 V 的基极电流下降到很低的数值， V 截止，继电器 KA 释放，同样能切断电动机电源。

为了更好地解决电动机的保护问题，现代技术正在提供更加广阔的途径。例如，研制发热时间常数小的新型PTC热敏电阻，增加电动机绕组对热敏电阻的热传导。采用新材料的电动机工作时绕组电流密度增大（采用新型电磁材料和绝缘材料），当电动机过载时，绕组温度增长速率比过去的电动机大 $2\sim 2.5$ 倍，这就要求温度检测元件具有更小的发热时间常数，保护装置具有更高的灵敏度和精度。另外，发展高性能和多功能综合保护装置，其主要方向是采用固态集成电路和微处理器作为电流、电压、时间、频率、相位和功率等检测和逻辑单元。

对于频繁操作以及大容量的电动机，它们的转子温升比定子绕组温升高，较好的办法是检测转子的温度，用红外线温度计从外部检测转子温度并加以保护，国外已有用红外线保护装置的实际应用。

对电动机的保护是生产设备工作可靠的一个保证。下面通过实例来介绍经验设计法的应用。

图2-42示出了钻削加工时刀架的自动循环示意图，具体要求如下：

① 自动循环，即刀架由位置1移动到位置2进行钻削加工后自动退回位置1，实现自动循环。

② 无进给切削，即钻头到达位置2时不再进给，但钻头继续旋转进行无进给切削以提高工件加工精度。

③ 快速停车。停车时，要求快速停车以减少辅助工时。

了解清楚生产工艺要求后则可进行线路的设计：

1. 设计主电路 因要求刀架自动循环，故电动机实现正、反向运转，故采用两个接触器以改变电源相序，如图2-43主电路所示。

2. 确定控制电路的基本部分 设置由起动、停止按钮、正反向接触器组成的控制电动机正反转的基本控制环节，以及必要的自锁环节和互锁环节，如图2-43所示为刀架前进、后退的基本控制线路。

3. 设计控制电路的特殊部分，工艺要求：

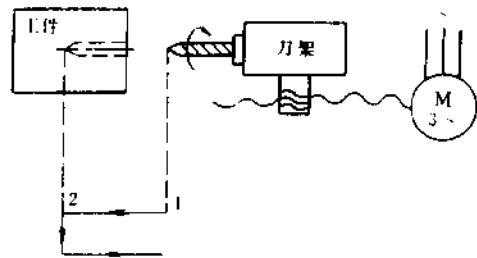


图 2-42 刀架的自动循环示意图

① 工艺要求刀架能自动循环,应采用限位开关 SQ_1 和 SQ_2 分别作为测量刀架运动的行程位置的元件,由它们发出的控制信号通过接触器作用于电动机。将 SQ_2 的常闭触头串接于正向接触器 KM_1 线圈电路中, SQ_2 的常开触头与反向起动按钮 SB_3 并联连接。这样,当刀架前进到位置“2”时,压动限位开关 SQ_2 ,其常闭触头断开,切断正向接触器线圈电路的电源, KM_1 断电; SQ_2 常开触头闭合,使反向接触器 KM_2 通电,刀架后退,退回到位置“1”时,压动限位开关 SQ_1 ,同样,把 SQ_1 的常闭触头串接于反向接触器 KM_2 线圈电路中, SQ_1 的常开触头与正向起动按钮 SB_2 并联连接,则刀架又自动向前,就这样刀架在不断的循环工作。

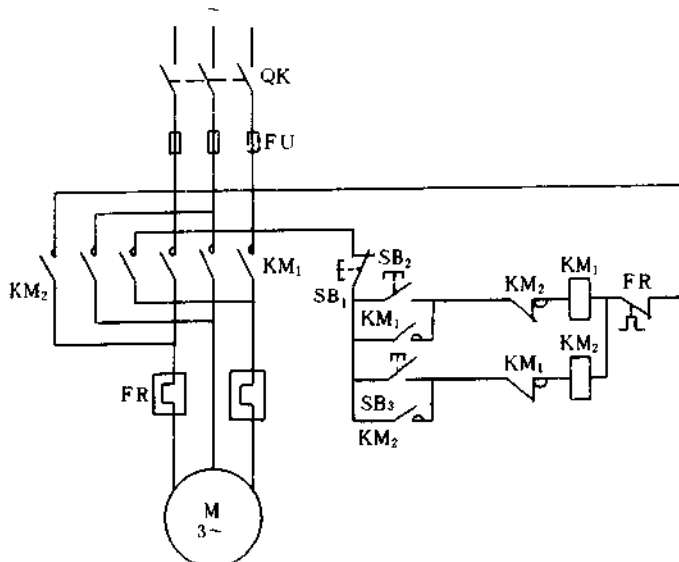


图 2-43 刀架自动循环的控制线路

② 实现无进给切削。为了提高加工精度,要求刀架前进到位置“2”时进行无进给的切削,即刀架不再前进,但钻头继续转动切削(钻头转动由另一台电动机拖动),无进给切削一段时间后,刀架再后退。故线路根据时间原则,采用时间继电器来实现无进给切削控制,如图 2-44 所示。

当刀架到达位置“2”时,压动限位开关 SQ_2 , SQ_2 的常闭触头断开,切断正向接触器 KM_1 线圈电路,使刀架不再进给(但钻头继续转动切削),同时 SQ_2 的常开触头闭合使时间继电器 KT 通电,到达整定时间后, KT 的延时闭合常开触头闭合,使反向接触器 KM_2 通电,刀架后退。

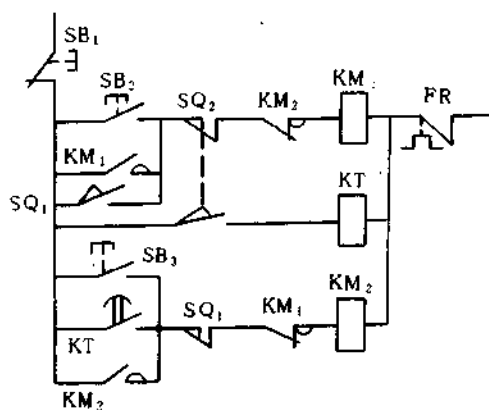


图 2-44 无进给切削的控制线路

③ 快速停车。为提高生产率,工艺提出快速停车的要求。对笼型电动机来说,通常采用反接制动的方法。按速度原则采用速度继电器来实现,如图 2-45 所示。为完整的钻削加工时刀架自动循环控制线路的工作过程如下:按下起动按钮 SB_2

→接触器 KM_1 通电→ M 正转→速度继电器正向常闭触头 KA_F 断开,正向常开触头闭合→制动时,按下停止按钮 SB_1 →接触器 KM_1 断电→接触器 KM_2 通电,进行反接制动,当转速接近零时,速度继电器正向常开触头 KA_F 断开→接触器 KM_2 断电,反接制动结束。

当电动机转速接近零时,速度继电器的常开触头 KA_F 断开后,常闭触头 KA_F 不是立即闭合,因而 KM_2 有足够的断电时间使铁心释放,自锁触头断开,不会造成电动机反向起动。

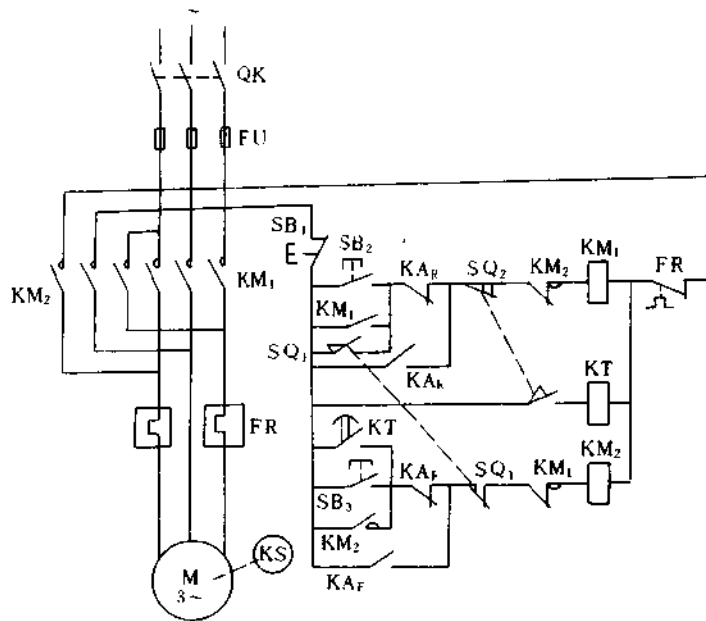


图 2-45 完整的钻削加工时刀架自动循环控制线路

电动机反转时的反接制动过程与正向的反接制动过程一样，不同的是反向转动时速度继电器反向触头 KA_R 动作。

① 设置必要的保护环节。线路采用熔断器 FU 作短路保护，热继电器 FR 作过载保护。

二、逻辑设计法

逻辑设计法是利用逻辑代数这一数学工具来设计电器控制线路，同时也可以用于线路的简化。

把电器控制线路中的接触器、继电器等电器元件线圈的通电和断电、触头的闭合和断开看成是逻辑变量，线圈的通电状态和触头的闭合状态设定为“1”态；线圈的断电状态和触头的断开状态设定为“0”态。根据工艺要求将这些逻辑变量关系表示为逻辑函数的关系式，再运用逻辑函数基本公式和运算规律，对逻辑函数式进行化简，然后由简化的逻辑函数式画出相应的电气原理图，最后再进一步检查、完善，以期得到既满足工艺要求，又经济合理、安全可靠的最佳设计线路。

用逻辑函数来表示控制元件的状态，实质上是以触头的状态作为逻辑变量，通过简单的“逻辑与”、“逻辑或”、“逻辑非”等基本运算，得出其运算结果，此结果即表明电器控制线路的结构。

(一) 逻辑与

图 2-46 表示常开触头 KA_1 与 KA_2 串联的逻辑与电路，当常开触头 KA_1 与 KA_2 同时闭合时，即 $KA_1=1$ 、 $KA_2=1$ ，则接触器 KM 通电，即 $KM=1$ ；当常开触头 KA_1 与 KA_2 都不闭合，即 $KA_1=0$ 与 $KA_2=0$ ，则 KM 断电，即 $KM=0$ 。图 2-46 可用逻辑“与”关系式表示：

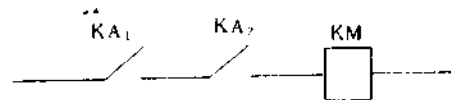


图 2-46 逻辑与电路

$$KM = KA_1 \cdot KA_2$$

逻辑与的真值表如表 2-2 所示。

表 2-2 逻辑与的真值表

KA_1	KA_2	$KM = KA_1 \cdot KA_2$
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

(二) 逻辑或

图 2-47 表示常开触头 KA_1 与 KA_2 并联的逻辑或电路, 当常开触头 KA_1 或 KA_2 闭合 (即 $KA_1=1$ 或 $KA_2=1$) 时, 则 KM 通电, 即 $KM=1$; 当 KA_1 、 KA_2 都不闭合时, $KM=0$ 。图 2-47 可用逻辑或关系式表示:



图 2-47 逻辑或电路

$$KM = KA_1 + KA_2$$

逻辑或的真值表如表 2-3 所示。

表 2-3 逻辑或的真值表

KA_1	KA_2	$KM = KA_1 + KA_2$
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

(三) 逻辑非

图 2-48 表示继电器 KA 的常闭触头 \overline{KA} 与接触器 KM 线圈的串联的逻辑非电路。当 KA 线圈通电 (即 $KA=1$) 时, 常闭触头 \overline{KA} 断开, 则 $KM=0$; 当 KA 断电 (即 $KA=0$) 时, 常闭触头 \overline{KA} 闭合, 则 $KM=1$ 。

图 2-48 可用逻辑非关系式表示:

$$KM = \overline{KA}$$

逻辑非的真值表如表 2-4 所示。

表 2-4 逻辑非的真值表

KA	$KM = \overline{KA}$
1	0
0	1

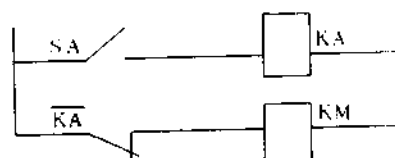
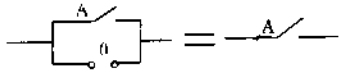
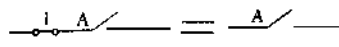
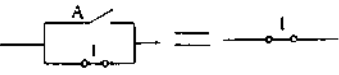
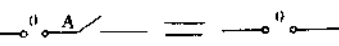
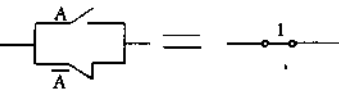
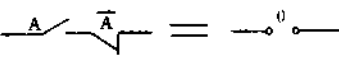
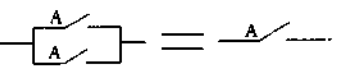
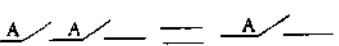
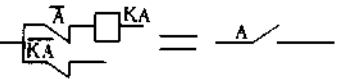
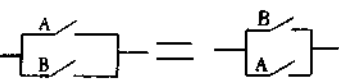
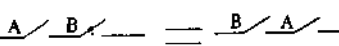
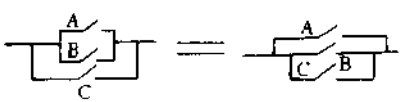
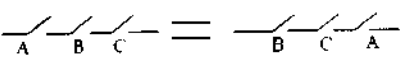


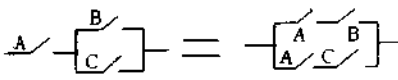
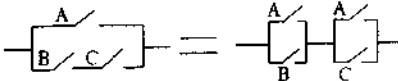
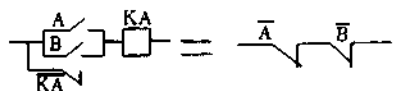
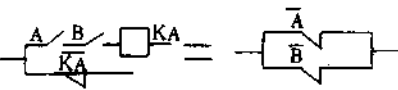
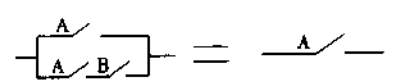
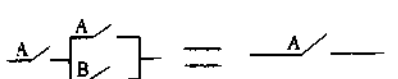
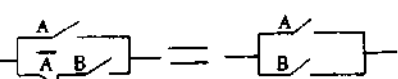
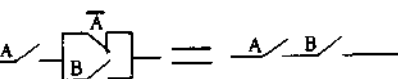
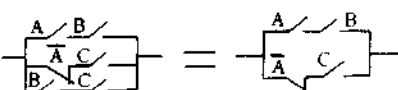
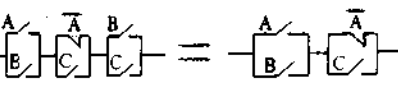
图 2-48 逻辑非电路

逻辑函数的化简可以使电器控制线路简化, 可运用逻辑运算的基本公式和运算规律进行化简, 表 2-5 列出了逻辑代数常用的基本公式和运算规律。

表 2-5 逻辑代数常用的基本公式和运算规律

序号	名称	恒等式	对应的继电控制线路
1	0 和 1 定则	$0 + A = A$	
2		$1 \cdot A = A$	
3		$1 + A = 1$	
4		$0 \cdot A = 0$	
5	互补定律	$A + \bar{A} = 1$	
6		$A \cdot \bar{A} = 0$	
7	同一律	$A + A = A$	
8		$A \cdot A = A$	
9	反转定律	$\bar{\bar{A}} = A$	
10	交换律	$A + B = B + A$	
11		$A \cdot B = B \cdot A$	
12	结合律	$(A + B) + C = A + (B + C)$	
13		$(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$	

(续)

序号	名称	恒等式	对应的继电控制线路
14	分配律	$A \cdot (B+C) = A \cdot B + A \cdot C$	
15		$A+B \cdot C = (A+B) \cdot (A+C)$	
16	摩根定理	$\overline{A+B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$	
17		$\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$	
18	吸收律	$A + A \cdot B = A$	
19		$A \cdot (A+B) = A$	
20		$A + \bar{A} \cdot B = A + B$	
21		$A \cdot (\bar{A} + B) = A \cdot B$	
22		$A \cdot B + \bar{A}C + B \cdot C = A \cdot B + \bar{A}C$	
23		$(A+B)(\bar{A}+C)(B+C) = (A+B)(\bar{A}+C)$	

$$\text{例 } KM = KA_1 \cdot KA_3 + \overline{KA_1} \cdot KA_2 + KA_1 \cdot \overline{KA_3}$$

$$= KA_1 (KA_3 + \overline{KA_3}) + \overline{KA_1} \cdot KA_2$$

$$= KA_1 + \overline{KA_1} \cdot KA_2$$

$$= KA_1 + KA_2$$

$$KM = KA_1 \cdot (KA_3 + \overline{KA_3}) + \overline{KA_2} \cdot (KA_2 + KA_1)$$

$$= KA_1 + KA_1 \cdot \overline{KA_2} + \overline{KA_2} \cdot KA_2 + \overline{KA_2} \cdot KA_1$$

$$= KA_1 + \overline{KA_2}$$

逻辑电路有两种基本类型：一种为逻辑组合电路；另一种为逻辑时序电路。

逻辑组合电路没有反馈电路（例如自锁电路），对于任何信号都没有记忆功能。控制线路的设计比较简单。

例如，某电动机只有在继电器 KA_1 、 KA_2 、 KA_3 中任何一个或任何两个继电器动作时才能运转，而在其它任何情况下都不运转，试设计其控制线路。

电动机的运转由接触器 KM 控制。

根据题目的要求，列出接触器通电状态的真值表，如表 2-6 所示。

表 2-6 接触器通电状态的真值表

KA_1	KA_2	KA_3	KM
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

根据真值表，继电器 KA_1 、 KA_2 、 KA_3 中任何一个继电器动作时，接触器 KM 通电的逻辑函数式为：

$$KM = KA_1 \cdot \overline{KA_2} \cdot \overline{KA_3} + \overline{KA_1} \cdot KA_2 \cdot \overline{KA_3} + \overline{KA_1} \cdot \overline{KA_2} \cdot KA_3$$

继电器 KA_1 、 KA_2 、 KA_3 中任何两个继电器动作时，接触器 KM 通电的逻辑函数关系式为：

$$KM = KA_1 \cdot KA_2 \cdot \overline{KA_3} + KA_1 \cdot \overline{KA_2} \cdot KA_3 + \overline{KA_1} \cdot KA_2 \cdot KA_3$$

因此，接触器 KM 通电的逻辑函数关系式为：

$$KM = KA_1 \cdot \overline{KA_2} \cdot \overline{KA_3} + \overline{KA_1} \cdot KA_2 \cdot \overline{KA_3} + \overline{KA_1} \cdot \overline{KA_2} \cdot KA_3 + KA_1 \cdot KA_2 \cdot \overline{KA_3} + KA_1 \cdot \overline{KA_2} \cdot KA_3 + \overline{KA_1} \cdot KA_2 \cdot KA_3$$

利用逻辑代数基本公式进行化简：

$$\begin{aligned} KM &= \overline{KA_1} (\overline{KA_2} \cdot \overline{KA_3} + KA_2 \cdot \overline{KA_3} + KA_2 \cdot KA_3) + KA_1 \cdot (\overline{KA_2} \cdot \overline{KA_3} + \overline{KA_2} \cdot KA_3 + KA_2 \cdot \overline{KA_3}) \\ &= \overline{KA_1} (KA_1 \cdot (\overline{KA_2} + KA_2) + KA_2 \cdot \overline{KA_3}) + KA_1 (\overline{KA_3} \cdot (\overline{KA_2} + KA_2) + \overline{KA_2} \cdot KA_3) \\ &= \overline{KA_1} \cdot (KA_3 + KA_2 \cdot \overline{KA_3}) + KA_1 \cdot (\overline{KA_3} + \overline{KA_2} \cdot KA_3) \\ &= \overline{KA_1} \cdot (KA_2 + KA_3) + KA_1 \cdot (\overline{KA_3} + \overline{KA_2}) \end{aligned}$$

根据简化了的逻辑函数关系式，可绘制如图 2-49 的电器控制线路。

逻辑时序电路具有反馈电路，即具有记忆功能，设计过程比较复杂，一般按照以下步骤进行：

① 根据工艺要求，作出工作循环图。

② 根据工作循环图作出执行元件和检测元件的状态表——转换表。

③ 根据转换表，增设必要的中间记忆元件（中间继电器）。

④ 列出中间记忆元件逻辑函数关系式和执行元件的逻辑函数关系式，并进行化简。

⑤ 根据逻辑函数关系式绘出相应的电气控制线路。

⑥ 检查并完善所设计的控制线路。

这种设计方法比较复杂，难度较大，在一般常规设计中，很少采用。

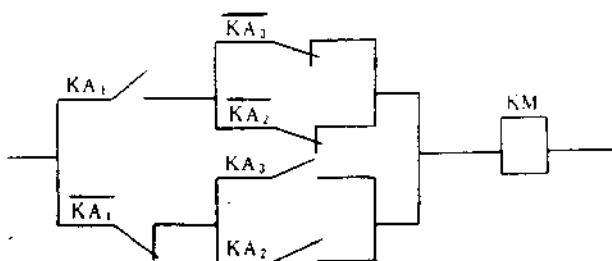


图 2-49 电器控制电路

第三章 生产机械的电气控制

生产机械种类繁多，其拖动方式和电气控制线路各不相同。下面通过一些典型的生产机械电气控制线路的分析，以期掌握阅读电气原理图的方法，培养读图能力并通过读图分析各种生产机械的工作原理，为电气控制线路的设计、安装、调试、维护打下良好基础。

第一节 普通车床的电气控制

一、普通车床的主要工作情况

普通车床是应用极为广泛的金属切削机床。主要用于车削外圆、内圆、端面螺纹和定型表面，也可用钻头、绞刀、镗刀等进行加工。

车床的切削加工包括主运动、进给运动和辅助运动。主运动为工件的旋转运动：由主轴通过卡盘或顶尖带动工件旋转。进给运动为刀具的直线运动：由进给箱调节加工时的纵向或横向进给量。辅助运动为刀架的快速移动及工件的夹紧、放松等。

根据切削加工工艺的要求，对电气控制提出下列要求：主拖动电动机采用三相笼型电动机，主轴的正、反转由主轴电动机正、反转来实现。调速采用机械齿轮变速的方法。中小型企业采用直接起动方法（容量较大时，采用星-三角减压起动）。为实现快速停车，一般采用机械制动或电气反接制动。控制线路具有必要的保护环节和照明装置。

二、C650 型普通车床的电气控制

图 3-1 为 C650 普通车床的电气控制原理图。

车床共有三台电动机： M_1 为主轴电动机，拖动主轴旋转，并通过进给机构实现进给运动。 M_2 为冷却电动机，提供切削液。 M_3 为快速移动电动机，拖动刀架的快速移动。

（一） M_1 的点动控制

调整车床时，要求 M_1 点动控制，工作过程如下：合上刀开关 QK → 按起动按钮 SB_2 → 接触器 KM_1 通电 → M_1 串接限流电阻 R 低速转动，实现点动。

松开 SB_2 → 接触器 KM_1 断电 → M_1 停转。

（二） M_1 的正、反转控制

正转 合上刀开关 QK → 按起动按钮 SB_3 → 接触器 KM 通电 → 中间继电器 KA 通电 → 时间继电器 KT 通电

→ 接触器 KM_1 通电 → 电动机 M_1 短接电阻 R 正向起动。主回路中电流表 A 被时间继电器 KT 常闭触头短接 → 延时 $t(s)$ 后 → KT 延时打开常闭触头断开 → 电流表 A 串接于主电路监视负载情况。

主电路中通过电流互感器 TA 接入电流表 A，为防止起动时起动电流对电流表的冲击，起动时利用时间继电器 KT 常闭触头把电流表 A 短接，起动结束，KT 常闭触头断开，电流表 A 投入使用。

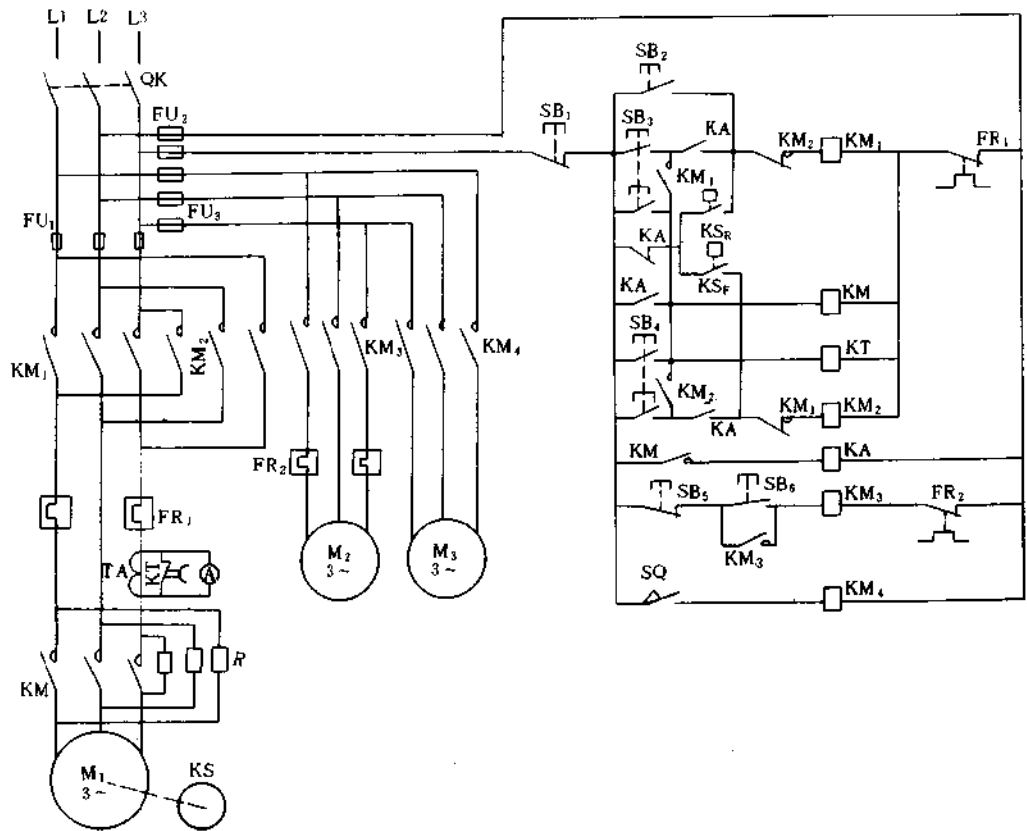


图 3-1 C650 普通车床的电气控制原理图

反转 合上刀开关 QK → 按起动按钮 SB₂ → 接触器 KM 通电 → 中间继电器 KA 通电 → 时间继电器 KT 通电

接触器 KM₂ 通电 → 电动机 M₁ 反接电源相序, 短接电阻 R 反向起动, 电流表 A 跟正转时作用相同。

停车 按停止按钮 SB₁ → 控制线路电源全部切断 → 电动机 M₁ 停转。

(三) M₁ 的反接制动控制

C650 车床采用速度继电器实现电气反接制动。速度继电器 KS 与电动机 M₁ 同轴连接, 当电动机正转时, 速度继电器正向触头 KS_F 动作, 当电动机反转时, 速度继电器反向触头 KS_R 动作。

M₁ 反接制动工作过程如下:

M₁ 的正向反接制动 电机正转时, 速度继电器正向常开触头 KS_F 闭合。制动时, 按下停止按钮 SB₁ → 接触器 KM、时间继电器 KT、中间继电器 KA、接触器 KM₁ 均断电, 主回路串入电阻 R (限制反接制动电流) → 松开 SB₁ → 接触器 KM₂ 通电 (由于 M₁ 的转动惯性, 速度继电器正向常开触头 KS_F 仍闭合) → M₁ 电源反接, 实现反接制动, 当速度 ≈ 0 时, 速度继电器正向常开触头断开 → KM₂ 断电 → M₁ 停转、制动结束。

M₁ 的反向反接制动 工作过程和正向相同, 只是电动机 M₁ 反转时, 速度继电器的反向

常开触头 KS_R 动作, 反向制动时, KM_1 通电, 实现反接制动。

(四) 刀架快速移动控制

转动刀架手柄压下限位开关 SQ → 接触器 KM_4 通电 → 电动机 M_3 转动, 实现刀架快速移动。

(五) 冷却泵电动机控制

按起动按钮 SB_6 → 接触器 KM_3 通电 → 电动机 M_2 转动, 提供切削液。

按下停止按钮 SB_5 → KM_3 断电 → M_2 停止转动。

第二节 平面磨床的电气控制

一、M7130 平面磨床的主要工作情况

平面磨床是用砂轮进行磨削加工各种零件表面的精密机床。主要由工作台、电磁吸盘、立柱、砂轮箱、滑座等组成。

平面磨床的主运动是砂轮的旋转运动。进给运动为工作台和砂轮的往复运动。辅助运动为砂轮架的快速移动和工作台的移动。

二、M7130 平面磨床的电气控制

平面磨床共有三台电动机拖动: 砂轮电动机 M_1 、冷却泵电动机 M_2 和液压泵电动机 M_3 。加工工艺要求砂轮电动机 M_1 和冷却泵电动机 M_2 同时起动或停止。为了使工作台运动时换向平稳且容易调整运动速度, 保证加工精度采用了液压传动。液压电动机 M_3 拖动液压泵, 工作台在液压作用下作进给运动。线路具有必要的保护环节和局部照明。

图 3-2 为 M7130 平面磨床的电气控制原理图。

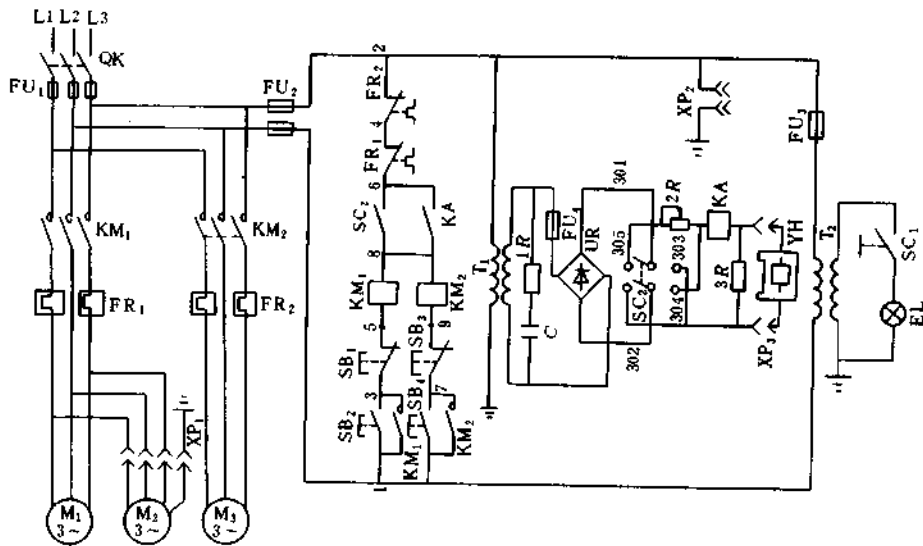


图 3-2 M7130 平面磨床电气控制原理图

(一) 主回路

砂轮电动机 M_1 由接触器 KM_1 控制。冷却电动机 M_2 经 KM_1 和插头 XP_1 控制。液压泵电

③ 整流装置的过电压保护。在整流装置中设有 $1R$ 、 C 串联支路并联在变压器 T_1 二次侧，用以吸收交流电路产生过电压和直流侧电路在接通、关断时在 T_1 二次侧产生浪涌电压，实现过电压保护。

④ 用熔断器 FU_1 、 FU_2 、 FU_3 、 FU_4 分别作电动机、控制线路、照明线路和电磁吸盘的短路保护。

⑤ 用热继电器 FR_1 、 FR_2 分别作电动机 M_1 和 M_3 的长期过载保护。

⑥ 由照明变压器 T_2 将 380V 交流电压降为 36V 的安全电压供照明线路，照明灯 EL 一端接地，由开关 SC_1 控制。

第三节 摇臂钻床的电气控制

一、摇臂钻床的主要工作情况

摇臂钻床是一种孔加工机床，可进行钻孔、扩孔、铰孔、镗孔和攻螺纹等加工。

摇臂钻床主要由底座、内外立柱、摇臂、主轴箱和工作台等组成。内立柱固定在底座的一端，在它外面套有外立柱，摇臂可连同外立柱绕内立柱回转。摇臂的一端为套筒，套装在外立柱上，并借助丝杆的正、反转可沿外立柱作上下移动。

主轴箱安装在摇臂的水平导轨上可通过手轮操作使其在水平导轨上沿摇臂移动。加工时，根据工件高度的不同，摇臂借助于丝杆可带着主轴箱沿外立柱上下升降。在升降之前，应自动将摇臂松开，再进行升降，当达到所需的位置时，摇臂自动夹紧在立柱上。

钻削加工时，钻头一面旋转一面作纵向进给。钻床的主运动是主轴带着钻头作旋转运动。进给运动是钻头的上下移动。辅助运动是主轴箱沿摇臂水平移动，摇臂沿外立柱上下移动和摇臂与外立柱一起绕内立柱的回转运动。

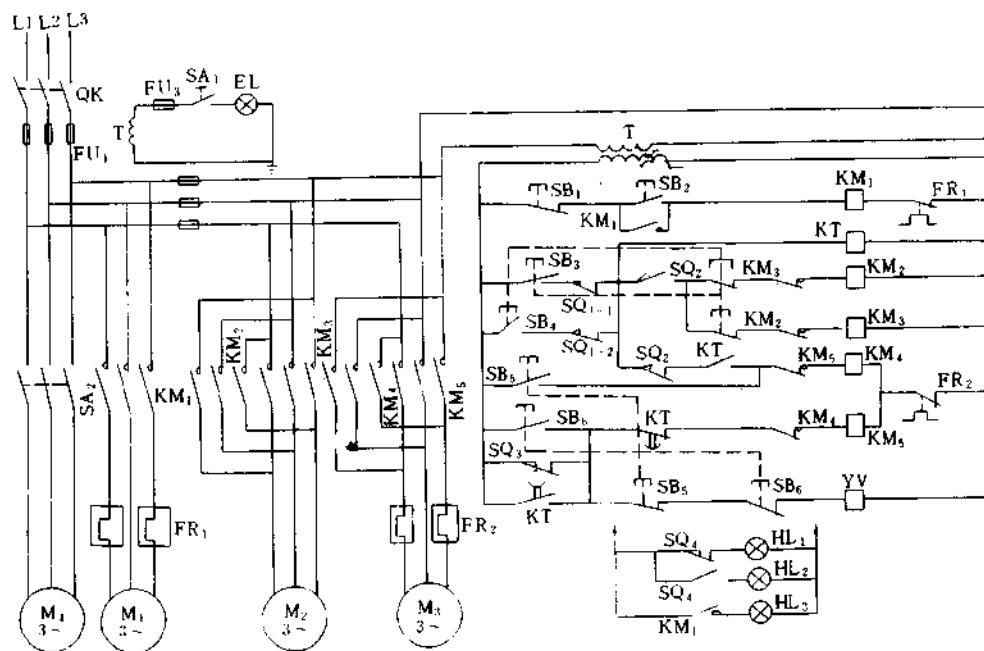


图 3-3 Z3040 摇臂钻床电气控制原理图

二、Z3040 摇臂钻床的电气控制。

图 3-3 所示为 Z3040 摇臂钻床的电气控制原理图。

摇臂钻床共有四台电动机拖动。 M_1 为主轴电动机。钻床的主运动与进给运动皆为主轴的运动，共由电动机 M_1 拖动，分别经主轴与进给传动机构实现主轴旋转和进给。主轴变速机构和进给变速机构均装在主轴箱内。 M_2 为摇臂升降电动机。 M_3 为立柱松紧电动机。 M_4 为冷却泵电动机。

(一) 主回路

电源由总开关 QK 引入，主轴电动机 M_1 单向旋转，由接触器 KM_1 控制。主轴的正、反转由机床液压系统操作机构配合摩擦离合器实现。摇臂升降电动机 M_2 由正、反转接触器 KM_2 、 KM_3 控制。液压泵电动机 M_4 拖动液压泵送出压力液以实现摇臂的松开、夹紧和主轴箱的松开、夹紧、并由接触器 KM_4 、 KM_5 控制正、反转。冷却泵电动机 M_4 用开关 SA_2 控制。

(二) 控制线路

1. 主轴电动机 M_1 的控制 按起动按钮 SB_2 → 接触器 KM_1 通电 → M_1 转动。按停止按钮 SB_1 → 接触器 KM_1 断开 → M_1 停止。

2. 摇臂升降电动机 M_2 的控制

摇臂上升：按上升起动按钮 SB_3 → 时间继电器 KT 通电 → 电磁阀 YV 通电，推动松开机

构使摇臂松开。

电动机 M_3 正转 → 松开机构压下限位开关 SQ_2 → KM_4 断电 → M_3 停转，停止松开。

上升接触器 KM_2 通电 → 升降电动机

M_2 正转，摇臂上升，到预定位置 → 松开 SB_3 → 上升接触器 KM_2 断电 → M_2 停转，摇臂停

止上升。

时闭合常闭触头闭合 → 接触器 KM_5 通电 → M_3 反转 → 电磁阀推动夹紧机构使摇臂夹紧 → 夹紧机构压动限位开关 SQ_3 → 电磁阀 YV 断电。

接触器 KM_5 断电 → 液压泵电动机 M_4 停转，夹紧停止。摇臂上升过程结束。

摇臂下降过程和上升情况相同，不同的是由下降起动按钮 SB_4 和下降接触器 KM_3 实现控制。

3. 主轴箱与立柱的夹紧与放松控制 主轴箱和立柱的夹紧与松开是同时进行的，均采用液压机构控制。工作过程如下：

松开 按下松开按钮 SB_5 → 接触器 KM_4 通电 → 液压泵电动机 M_4 正转，推动松紧机构使主轴箱和立柱分别松开 → 限位开关 SQ_4 复位 → 松开指示灯 HL_1 亮。

夹紧 按下夹紧按钮 SB_6 → 接触器 KM_5 通电 → 液压泵电动机 M_4 反转，推动松紧机构使主轴箱和立柱分别夹紧 → 压下限位开关 SQ_4 → 夹紧指示灯 HL_2 亮。

4. 照明线路 变压器 T 提供 36V 交流照明电源电压。

5. 摇臂升降的限位保护 摇臂上升到极限位置压动限位开关 $SQ_{1,1}$ ，或下降到极限位置

压动限位开关 $SQ_{1,2}$ ，使摇臂停止升或降。

第四节 铣床的电气控制

一、铣床的主要工作情况

铣床是用来加工各种形式的表面、平面、成形面、斜面和沟槽等，也可以加工回转体。铣床的主运动为主轴带动刀具的旋转运动。进给运动为工件相对铣刀的移动。

根据铣刀的直径、工件材料和加工精度不同，要求主轴通过变换齿轮实现变速。主轴电动机的正、反转用于改变主轴的转向，满足铣床顺铣和逆铣的需要。

工作台上下、左右、前后的进给运动，由进给变速箱获得不同的速度，再经不同的电气控制线路传递给进给丝杆来实现。

为使变速时齿轮更好地啮合，减少齿轮端面的冲击，要求电动机在变速时有短时的变速冲动。

二、主电路

图 3-4 所示为 X62W 型铣床的电气控制原理图。

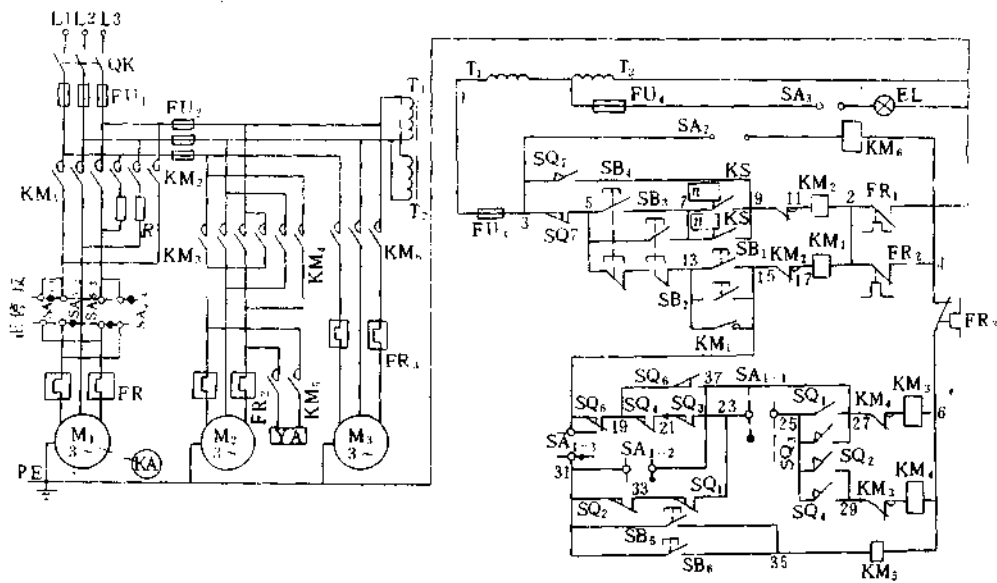


图 3-4 X62W 铣床的电气控制原理图

铣床共有三台电动机拖动： M_1 为主轴电动机，由接触器 KM_1 控制， M_1 的正、反转由开关 SA_3 控制。

开关 SA_3 在“正转、停止、反转”三个位置时各触头的通断情况如表 3-1 所示。

M_2 为进给电动机， M_2 的正、反转由接触器 KM_3 、 KM_4 控制。

表 3-1 开关 SA_3 的触头通断情况

触头	位置	正转	停止	反转
SA_{3-1}		-	-	+
SA_{3-2}		+	-	-
SA_{3-3}		+	-	-
SA_{3-4}		-	-	+

注：“+”表示闭合，“-”表示断开。

M_3 为冷却泵电动机,要求主轴电动机起动后, M_3 才能起动。采用接触器 KM_5 控制 M_3 的起动和停止。

三、电气控制电路

(一) 主轴电动机 M_1 的控制

1. M_1 的起动、停止在两地操作 一处是在升降台上; 一处是在床身上。

起动前, 先将开关 SA_5 扳到所需的旋转方向, 然后按起动按钮 SB_1 (或 SB_2) → 接触器 KM_1 通电 → 主轴电动机 M_1 转动。

2. M_1 的停止采用速度继电器 KS 实现反接制动 制动时, 按停止按钮 SB_3 (或 SB_4) → 接触器 KM_1 断电 → 速度继电器 KS 正转常开触头闭合 → 接触器 KM_2 通电 → 电动机 M_1 串入电阻 R 实现反接制动 → 当 $n \approx 0$ 时, 速度继电器 KS 常开触头复位 → 接触器 KM_2 断电 → M_1 停转, 反接制动结束。

3. 主轴的变速冲动 主轴变速可在主轴不动时进行; 也可在主轴旋转时进行, 无需先按停止按钮, 利用变速手柄与限位开关 SQ_7 的联动机构进行控制。

变速时, 先把变速手柄下压, 使它从第一道槽内拔出, (再转动变速盘, 选择所需速度), 然后慢慢拉向第二道槽, 通过手柄压下限位开关 SQ_7 , 其常闭触头先断开, 使接触器 KM_1 断电, 电动机 M_1 失电; SQ_7 常开触头后闭合, 使接触器 KM_2 通电, 使 M_1 反向冲动一下, 变速手柄迅速推回原位, 使限位开关 SQ_7 复位, 接触器 KM_2 断电, 电动机 M_1 停转, 变速冲动过程结束。

变速完成后, 需再次起动电动机 M_1 , 主轴将在新的转速下旋转。

(二) 进给电动机 M_2 的电气控制

工作台进给方向有左右 (纵向), 前后, 上下 (垂直) 运动。利用正向接触器 KM_3 和反向接触器 KM_4 控制 M_2 的正、反转。

接触器 KM_3 、 KM_4 是由两个机械操作手柄控制的, 其中一个为纵向手柄, 另一个是垂直手柄。操作手柄同时完成机械挂挡和压动相应的限位开关, 从而接通正反转接触器, 起动 M_2 , 拖动工作台按预定方向进给, 这两个手柄各有两套, 分别设在铣床工作台正面与侧面。

限位开关 SQ_1 、 SQ_2 与纵向手柄有机械联锁, 限位开关 SQ_3 、 SQ_4 与垂直和横向手柄有机械联锁。当扳动手柄时, 将压动相应限位开关。

SA_1 为圆工作台选择开关, 设有接通与断开两个位置, 三对触头通断情况如表 3-2 所示。

当不需要圆工作台时, 将 SA_1 置于断开位置, 然后起动主轴电动机 M_1 。下面对各种进给运动的电气控制线路进行分析:

表 3-2 圆工作台选择开关 SA_1 触头通断情况

触头	位置	接通	断开
	SA_{1-1}		-
SA_{1-2}		+	-
SA_{1-3}		-	+

1. 工作台左、右进给运动的控制 把纵向操作手柄扳“右” → 挂上纵向离合器 → 压动限位开关 SQ_1 → 正向接触器 KM_3 通电 → 进给电动机 M_2 正转, 拖动工作台向右运动。把纵向操作手柄扳“左” → 挂上纵向离合器 → 压动限位开关 SQ_2 → 反向接触器 KM_4 通电 → 进给电动机 M_2 反转, 拖动工作台向左运动。停止时, 把操作手柄扳“中间”位置 → 脱开纵向离合器 → 限位开关 SQ_1 (或 SQ_2) 复位 → 接触器 KM_3 (或 KM_4) 断电 → M_2 停转, 停止右 (或左) 进给运动。

2. 工作台前后和上下进给运动的控制 由十字开关操作,共有五个位置:上、下、前、后及中间位置。

“向前”进给 十字开关手柄扳前→挂上横向离合器→压动限位开关 SQ_3 →正向接触器 KM_3 通电→进给电动机 M_2 正转,拖动工作台向前进给。

“向下”进给 十字开关手柄扳下→挂上垂直离合器→压动限位开关 SQ_3 →正向接触器 KM_3 通电→进给电动机 M_2 正转,拖动工作台向下进给。

“向后”进给 十字开关手柄扳后→挂上横向离合器→压动限位开关 SQ_4 →反向接触器 KM_4 通电→进给电动机 M_2 反转,拖动工作台向后进给。

“向上”进给 十字开关手柄扳上→挂上垂直离合器→压动限位开关 SQ_4 →反向接触器 KM_4 通电→进给电动机 M_2 反转,拖动工作台向上进给。

停止时,十字开关扳中间位置→脱开挂上的相应离合器→限位开关 SQ_3 (或 SQ_4) 复位→接触器 KM_3 (或 KM_4) 断电→进给电动机 M_2 停转→工作台停止进给。

在铣床床身导轨旁设置了上、下两块挡块,当升降台上下运动到一定位置时,挡块撞动操作手柄,使其回到中间位置,实现上下进给的终端保护。同样,在工作台左侧底部设置挡块,实现前后进给的终端保护。

3. 工作台的快速移动

(1) 主轴转动时的快速移动 工作台的快速移动也由进给电动机 M_2 拖动。当工作台已经进行工作时,按下按钮 SB_5 (或 SB_6)→接触器 KM_5 通电→快速移动电磁铁 YA 通电→工作台快速移动→松开 SB_5 (或 SB_6)→接触器 KM_5 断电→快速移动电磁铁 YA 断电→快速移动停止。工作台仍按原来进给速度原方向继续进给。快速移动是点动控制的。

(2) 主轴不转动时的快速移动 将开关 SA_5 扳“停止”位置→按动 SB_1 (或 SB_2)→接触器 KM_1 通电并自锁,提供进给运动的电源→操作工作台手柄→进给电动机 M_2 转动→按下按钮 SB_5 (或 SB_6)→接触器 KM_5 通电→快速移动电磁铁 YA 通电→工作台快速移动。

4. 进给变速时的冲动控制 进给变速冲动是由进给变速手柄配合进给变速冲动位置开关 SQ_6 实现的。将进给变速手柄向外拉→对准所需速度,把手柄拉出到极限位置→压动限位开关 SQ_6 →接触器 KM_3 通电→进给电动机 M_2 正转,再把手柄推回原位,进给变速完成。

(三) 圆工作台进给的控制

圆工作台只作单向转动。工作过程如下:开关 SA_1 扳向“接通”位置→触头 $SA_{1-2(31-37)}$ 闭合→将工作台两个进给手柄扳向“中间”位置→按下按钮 SB_1 (或 SB_2)→接触器 KM_1 通电→主轴电动机 M_1 转动→接触器 KM_3 通电→进给电动机 M_2 起动→圆工作台回转。

圆工作台控制电路是经限位开关 $SQ_1 \sim SQ_4$ 的四对常闭触头形成回路的,所以操作任何一个长工作台进给手柄,压动相应的 SQ_1 、 SQ_2 、 SQ_3 、 SQ_4 ,都将切断圆工作台控制线路,实现圆工作台和长工作台的联锁控制。

圆工作台停止:按动 SB_3 (或 SB_4)→接触器 KM_1 断电→接触器 KM_3 断电→进给电动机 M_2 停止。

(四) 冷却泵电动机的控制和照明线路

冷却泵电动机的控制:把开关 SA_2 扳向“接通”位置→接触器 KM_6 通电→ M_3 起动,拖动冷却泵送出切削液。

机床局部照明由照明变压器 T_2 输出 36V 安全电压,由开关 SA_3 控制照明灯 EL 。

(五) 控制电路的联锁

X62W 铣床的运动较多，控制电路较复杂，为安全可靠地工作，具有必要的联锁。

1. 主运动与进给运动的顺序联锁，进给电气控制电路接在主电动机接触器 KM_1 自锁触头之后，这就保证了主轴电动机 M_1 起动后（若不需要 M_1 转动，可将开关 SA_2 扳至中间位置）才可起动进给电动机 M_2 。而主轴停止时，进给立即停止。

2. 工作台六个进给方向的联锁 铣床工作时，只允许一个进给方向运动，为此工作台六个进给方向运动都有联锁。工作台纵向操作手柄与横向、垂直操作手柄，均只能有一个工作位置，在电气原理图中，接点 (19-21-23) 及 (31-33-23) 的两条支路，一条由限位开关 SQ_3 、 SQ_4 的常闭触头串联组成，另一条由 SQ_2 、 SQ_1 的常闭触头串联组成，串联在接触器 KM_3 或 KM_4 线圈电路中，构成进给运动的联锁控制。当扳动纵向进给手柄时，压动限位开关 SQ_1 或 SQ_2 ，使支路 (23-31) 断开，但接触器 KM_3 或 KM_4 可经另一条支路 (15-19-21-23) 供电，若再扳动横向、垂直手柄，又将限位开关 SQ_3 或 SQ_4 压动，使另一支路又断开，进给电动机 M_2 不能通电，工作台不能自动进给。这就保证了不允许同时操作两个进给手柄，实现了工作台六个进给方向的联锁。

第五节 桥式起重机的电气控制

一、桥式起重机的主要工作情况

桥式起重机广泛应用于工矿企业、车站、港口、仓库、建筑工地等部门，一般具有提升重物的起升机构和平移机构，起升机构可将重物提升或放下。

桥式起重机由桥架（大车）、小车和提升机构组成。桥架沿着轨道作纵向移动，小车沿着轨道横向移动，提升机构安装在小车上，分有主起升机构和副起升机构。

起重机的拖动电动机是专为起重机设计的交、直流电动机。具有较高的机械强度和较大的过载能力。为了减小起动和制动时的能量损失，电枢做成细长，减小转动惯量，降低能量的损失，同时也加快过渡过程。电枢温升高于励磁绕组，因此提高了电枢绕组的热品质指标。

中小型起重机主要使用交流电动机，我国生产的交流起重专用机有 JZR（绕线转子型）和 JZ（笼型）两种型号。大型起重机则主要使用直流电动机，直流起重专用机有 ZZK 和 ZZ 两种型号，都有并励、串励和复励三种励磁方式。

为了提高起重机的生产率及可靠性，对起重机的电力拖动及自动控制提出下列要求：

- ① 空钩能快速升降，以提高生产率，轻载的起升速度大于额定负载时的起升速度。
- ② 具有一定的调速范围。普通起重机的调速范围为 3:1，要求高的为 5:1~10:1。
- ③ 起升或下放重物至预定位置附近时，都需低速，所以在 30% 额定速度内应分成几档，以便灵活操作。高速向低速过渡应能连续减速，保持平稳运行。
- ④ 起升的第一级是为了消除传动间隙，使钢丝绳张紧，以避免过大的机械冲击，所以起动转矩不能大，一般在额定转矩的 50% 以下。
- ⑤ 任何负载下降，起升电动机发出之转矩，可以是电动或制动的，二者的转换是自动进行的。
- ⑥ 采用电气制动以减轻机械抱闸的负担，机械抱闸用以防止因电源故障停电使重物自由下落造成事故。

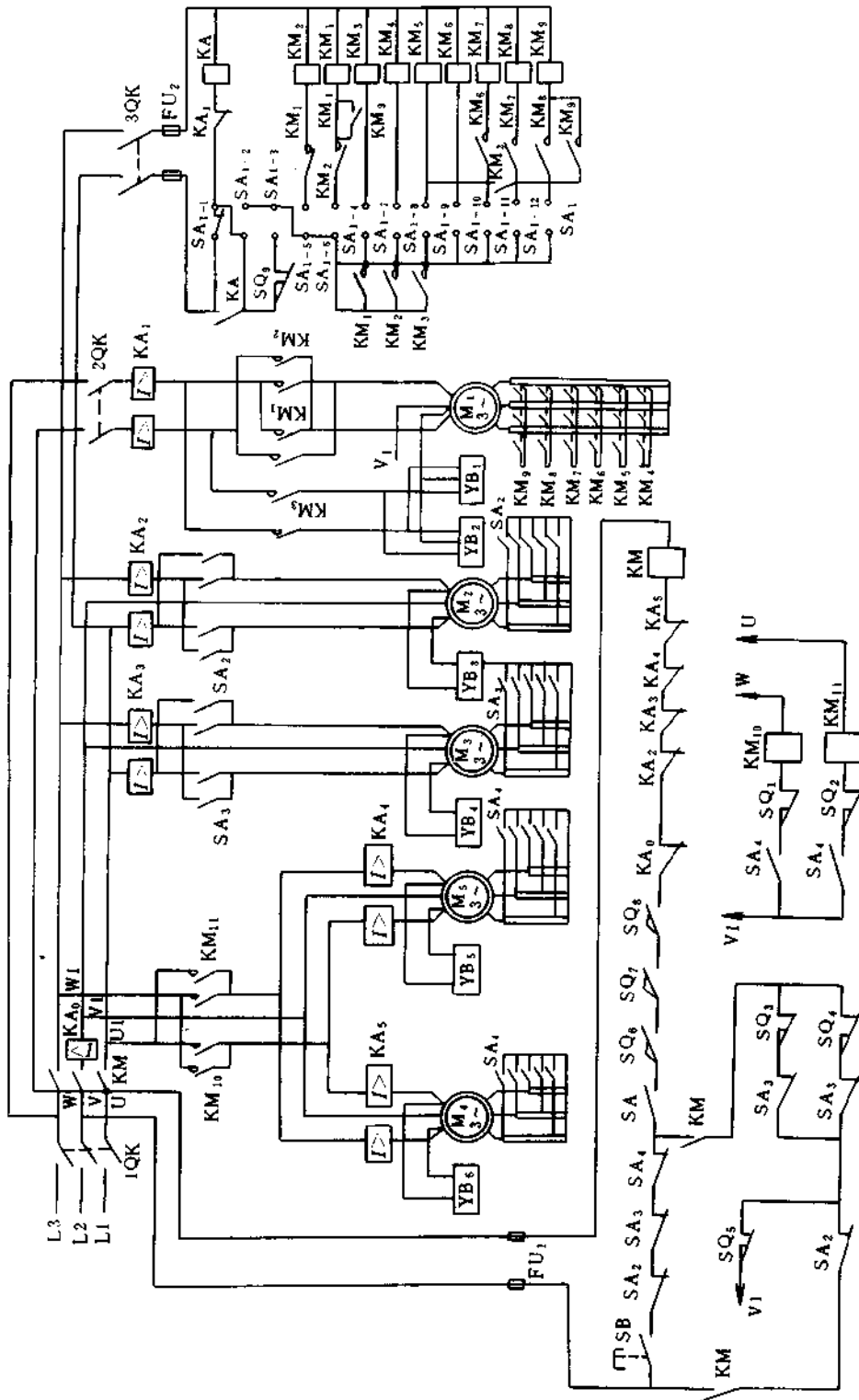


图 5-30-5 桥式起重机电气原理图

二、30/5t 桥式吊钩起重机电气控制

30/5t 桥式起重机为交流拖动，主钩的起升电动机由于功率较大，所以采用磁力控制屏和主令控制器操纵，其它电动机均用凸轮控制器操纵。

桥架的移动是由两台特性一致的交流绕线转子电动机拖动，分别安装在桥架的两端。

30/5t 桥式起重机的电气原理图如图 3-5 所示。

起重机共有五台电动机拖动 M_1 为主起升电动机； M_2 为副起升电动机； M_3 为小车电动机； M_4 、 M_5 为桥架电动机，是特性一致的交流绕线转子电动机，分别安装在桥架的两端。整个电路可分为三部分：标准控制柜的保护电路；由 PQR10 磁力控制屏构成的主起升电动机 M_1 的控制系统；由凸轮控制器控制的副起升电动机 M_2 、小车电动机 M_3 和桥架电动机 M_4 、 M_5 的电路。

控制柜的保护电路 通过接触器 KM 使电动机与车间电源接通，所以控制接触器 KM 就能对电动机进行保护。

电动机起动前，主令控制器 SA_1 和各凸轮控制器 SA_2 、 SA_3 、 SA_4 都在“零位”位置时，才允许接通交流电源。各控制器的触头情况如表 3-3~表 3-6 所示。

表 3-3 主起升主令控制器触头闭合表

触头	下 降						零 位	起 升						
	强 力			制 动				0	1	2	3	4	5	6
	5	4	3	2	1	C								
K1							×							
K2	×	×	×					×	×	×	×	×	×	×
K3				×	×	×								
K4	×	×	×	×	×			×	×	×	×	×	×	×
K5	×	×	×											
K6				×	×	×		×	×	×	×	×	×	×
K7	×	×	×		×	×		×	×	×	×	×	×	×
K8	×	×	×			×			×	×	×	×	×	×
K9	×	×								×	×	×	×	×
K10	×										×	×	×	×
K11	×											×	×	×
K12	×												×	×

表 3-4 辅助起升凸轮控制器 SA_2 触头闭合表

触头	上 升					零 位	下 降					
	5	4	3	2	1		0	1	2	3	4	5
K0						×						
K1						×	×	×	×	×	×	×
K2	×	×	×	×	×	×						
K3							×	×	×	×	×	×
K4	×	×	×	×	×							
K5							×	×	×	×	×	×
K6	×	×	×	×	×							
K7	×	×	×	×				×	×	×	×	×
K8	×	×	×						×	×	×	×
K9	×	×								×	×	×
K10	×										×	×
K11	×											×

表 3-5 小车凸轮控制器 SA₃ 触头闭合表

触头	向 后					零 位		向 前				
	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	
K0						✓						
K1						×	×	×	×	×		
K2	×	×	×	×	×	×						
K3							×	×	×			
K4	×	×	×	×	×							
K5							×	×	×	×		
K6	×	×	×	×	×							
K7	×	×	×	×				×	×	×	×	
K8	×	×	×						×	×		
K9	×	×								×	×	
K10	×										×	
K11	×										×	

表 3-6 大车凸轮控制器 SA₄ 触头闭合表

触头	向 左					零 位	向 右				
	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
K0						×					
K1							×	×	×	×	×
K2	×	×	×	×	×						
K3							×	×	×	×	
K4	×	×	×	×	×						
K5							×	×	×	×	
K6	×	×	×	×	×						
K7	×	×	×	×				×	×	×	×
K8	×	×	×						×	×	×
K9	×	×								×	×
K10	×										×
K11	×										×
K12	×	×	×	×				×	×	×	×
K13	×	×	×						×	×	×
K14	×	×								×	×
K15	×										×
K16	×										×

由凸轮控制器 SA₂、SA₃、SA₄ 控制的四台电动机：副起升电动机 M₂、小车电动机 M₃、桥架电动机 M₄、M₅ 都设置过电流保护，分别采用过电流继电器 KA₂、KA₃、KA₄、KA₅ 实现。电源电路则采用过电流继电器 KA₀ 实现过电流保护。限位开关 SQ₅、SQ₇、SQ₈ 分别是操作室门上安全开关及起重机端梁栏杆门上的安全开关，任何一个门没关好，电动机都不能起动。紧急开关 SA 用来在紧急情况下切断总电源。小车限位开关 SQ₃、SQ₄ 及副起升位置开关 SQ₂ 串接于接触器 KM 的自锁电路中。当小车行至极限位置和副起升机构上升至规定的高度时，相

应的限位开关常闭触头被压动而断开，使接触器 KM 断电，保证起重机安全工作。要使机构退出极限位置，必须将手柄都退至“零位”，这时自锁电路中常闭触头 SA₂、SA₃ 都闭合，可以起动接触器 KM，操纵凸轮控制器，使机构反方向运动，退出极限位置。桥架的限位开关 SQ₁、SQ₂ 分别串联在桥架拖动电动机正反向接触器 KM₁₀、KM₁₁ 电路中，在左行极限位置压动限位开关 SQ₁，切断左行接触器 KM₁₀，左行停止，但允许右行接触器 KM₁₁ 通电，控制大车向右退回，同样在极限位置 SQ₂ 动作，限制右行，可以左行退回。

副起升机构电气控制，采用凸轮控制器 SA₂ 操纵，正向与反向控制是对称的。

当凸轮控制器 SA₂ 从零位扳至上升（或下降）某一位置时，接通电源，电动机正转（或反转），拖动副起升机构上升（或下降）。根据不同档位位置，副起升电动机 M₂ 转子串接不同电阻的段数。与电动机通电同时，电磁制动器 YB₂ 工作，松开副起升机构的抱闸，允许副起升机构运动。

主起升机构电气控制 主起升机构电气原理图如图 3-6 所示。

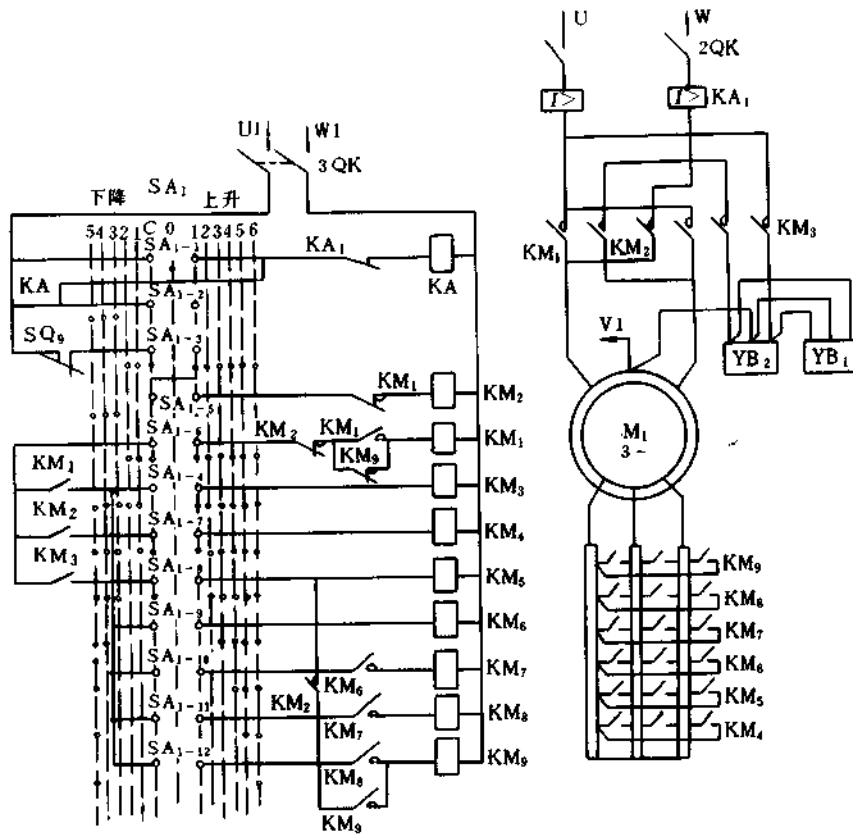


图 3-6 主起升机构电气原理图

把刀开关 2QK、3QK 合上，主令控制器 SA₁ 手柄处于零位，零电压继电器 KA 通电，接通控制电路电源。

当主令控制器 SA₁ 扳到“上升 1”档时→SA₁-3、SA₁-4、SA₁-6、SA₁-7 触点闭合→接触器 KM₁、KM₃、KM₄ 通电→松开制动闸→电动机 M₁ 正向起动，切除转子串接的第一段电阻。

若扳到第二档、第三档,则接触器 KM_5 、 KM_6 ……逐个通电,电动机 M_1 转子的外接电阻逐段被切除,最后一段为软化特性而固定接入的电阻,电动机正常运行。触头 $SA_{1,3}$ 接通,使上升限位开关 SQ_3 串接于控制电路的电源中,若 SQ_3 常闭触头断开,则切断了所有接触器电源,起到上升极限保护的作用。 SA_1 控制器手柄移至强力下降的第 3~5 档,可以重新起动电动机,使上升机构退出上升的极限位置。主起升电动机的机械特性如图 3-7 所示。图中第一象限的六条曲线,电动机处于电动工作状态。

下降共有六档,图 3-6 中 C 档除 $SA_{1,3}$ 触头接通电源外; $SA_{1,6}$ 触头闭合使接触器 KM_1 通电; $SA_{1,7}$ 触头闭合使接触器 KM_4 通电; $SA_{1,8}$ 触头闭合使接触器 KM_5 通电,切除两段电阻,其特性为第四象限的曲线 7,接触器 KM_3 不通电,实现机械抱闸。这一档的作用是当手柄由下降方向向零位扳动时,重物应由下降到停止,这时电动机反接制动,减轻机械抱闸负担,避免溜钩,以实现准确停车。

控制手柄扳至“下降 1”档,“下降 2”档时, $SA_{1,3}$ 触头仍接通电源, $SA_{1,6}$ 触头使 KM_1 通电,使电动机与电源接法和起升时相同,重物在位势转矩作用下,强迫电动机反转,它的运行特性在第四象限的曲线 8 和 9,是制动状态。

在轻载或空钩下放情况下,位势转矩不能使电动机运行在第四象限,电动机克服负载转矩将运行在第一象限,使提升机构上升,因而轻载或空钩应强力下放,不应在下降的“C 档、1 档和 2 档”。为防止误操作使空钩上升超过上升极限位置,只要电动机旋转磁场正转,控制电源都由触头 $SA_{1,3}$ 接通。

下降的“3~5”档, $SA_{1,2}$ 触头闭合, $SA_{1,6}$ 触头也闭合,使接触器 KM_2 通电,电动机反转,将吊钩强力下放,机械特性处于第三象限。 $SA_{1,7}$ 触头和 $SA_{1,8}$ 触头闭合,接触器 KM_4 、 KM_5 通电,切除两段电阻。下降第三档与上升第二档特性相似,为曲线 10。下降第四档, $SA_{1,6}$ 触头闭合,使接触器 KM_6 通电,切除第三段电阻,特性与上升三档相似,为曲线 11。下降第五档, $SA_{1,10}$ 、 $SA_{1,11}$ 、 $SA_{1,12}$ 触头闭合,使接触器 KM_7 、 KM_8 、 KM_9 通电,切除最后三段电阻,特性与上升第六档相似,为曲线 12。显然对于曲线 10、11、12,除可以工作在电动状态强力下放重物外,在位势负载转矩作用下,曲线也可以延伸至第四象限,成为发电制动状态,高速下放重物。

三、直流拖动的起重机电气控制

电动机容量较大的起重机都采用直流拖动,其可靠性高,适宜作频繁起、制动,一般采用主令控制器配合控制屏的操纵系统。图 3-8 为 DY-127 型控制屏的电气原理图。

起升电动机为串励电动机。下降时为了使特性能在第三、四象限平滑过渡,多采用磁场并励接法,使机械特性与纵坐标轴有交点。

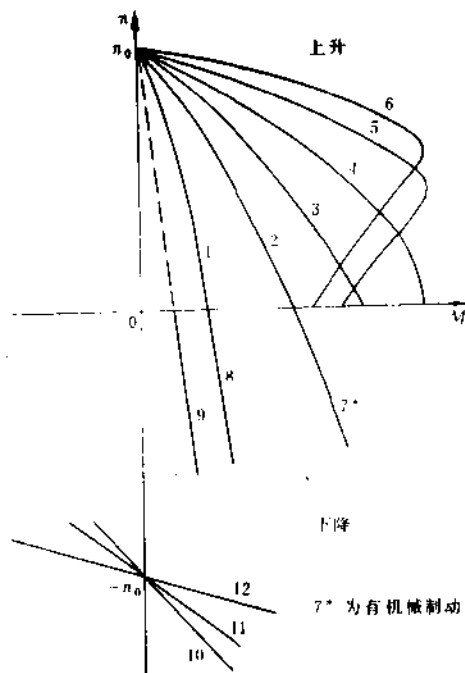


图 3-7 主起升电动机的机械特性

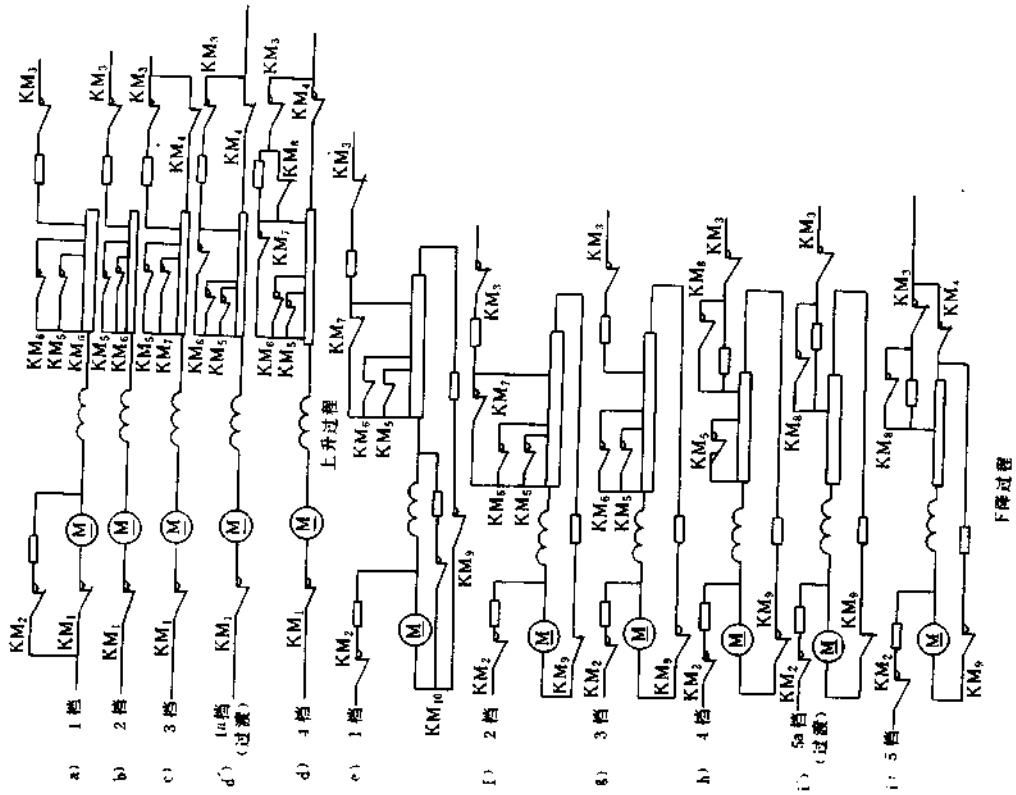


图 3-9 起升控制屏各档接线图

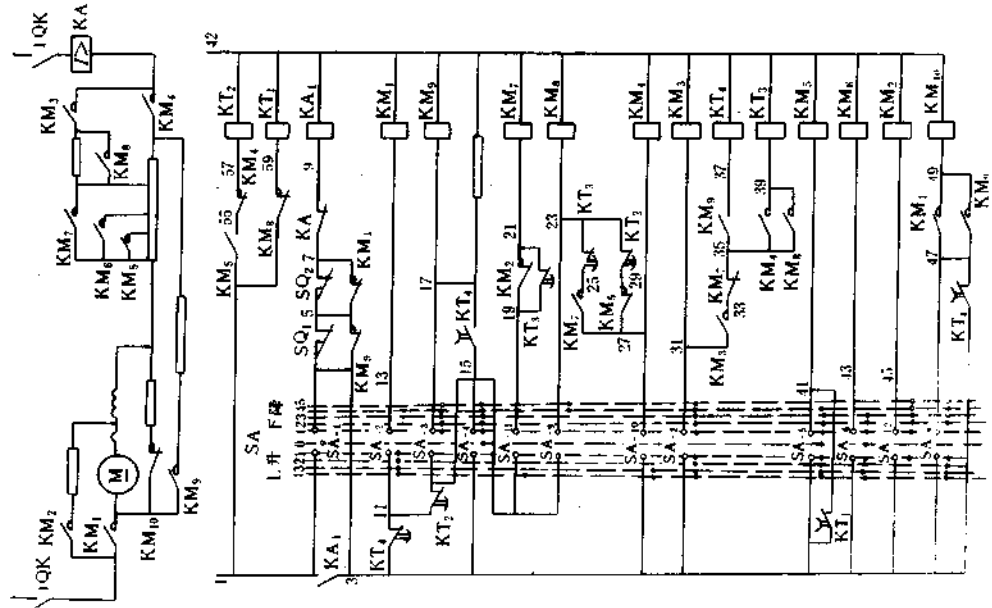


图 3-8 DY-127 型控制屏的电气原理图

线路的工作过程如下：主令控制器 SA 置于“零位”，零电压继电器 KA_1 通电，上升第一档，接触器 KM_1 、 KM_3 、 KM_2 通电，电动机接成电枢分路接法，可使特性延伸至第二象限，进行制动减速。其接线如图 3-9a 所示。图中常闭触头表示该档位置时触头是闭合的。相应的机械特性如图 3-10 中第一象限曲线 1 所示。

上升第二档时，接触器 KM_2 断电，线路中串入两段电阻，解除电枢并联分路，特性高于第一档，如图 3-9b 及图 3-10 中第一象限曲线 2 所示。

上升第三档时，接触器 KM_4 通电，减少串接的电阻，特性高于第二档，如图 3-9c 和图 3-10 第一象限曲线 3 所示。

上升第四档时，接触器 KM_7 通电，又切除一段电阻，使接线如图 3-9d' 所示，机械特性如图 3-10 曲线 4a 所示。接触器 KM_7 常闭触头断开使时间继电器 KT_3 断电， KT_3 延时闭合常闭触头延时 1s 闭合，使接触器 KM_8 通电，切除全部电阻，电动机达到额定转速，如图 3-9d 及图 3-10 曲线 4 所示。4a (过渡) 特性，是避免手柄由零位迅速拉向上升第四档时出现直接起动的电流冲击，使电动机至少在 4a 特性上运行 1s，再转换到第一象限曲线 4 上。

下降时，电动机接成并励，起动和调速采用改变电枢电阻、励磁电流及外加电压来实现。

下降第一档时，接触器 KM_2 通电，电枢极性与上升时相反，同时接触器 KM_9 通电，使电枢串联一电阻，接触器 KM_3 也通电，这时电动机运行在第四象限，为制动状态，如图 3-9e 及图 3-10 下降曲线 1 所示。

下降第二档时，接触器 KM_{10} 通电，使电枢电路串进阻值比下降一档时大的电阻，特性在第四象限，低于第一档的特性，如图 3-9f 及图 3-10 第四象限曲线 2 所示。

下降第三档时，接触器 KM_7 断电，磁场电阻增加，呈弱磁调速，特性比第二档低，如图 3-9g 及图 3-10 第四象限曲线 3 所示。

下降第四档时，接触器 KM_8 通电，接触器 KM_6 断电，增大磁场电阻，减少励磁电流，特性进入第三象限，成为电动状态，可强力下放，如图 3-9h 及图 3-10 第三象限曲线 4 所示。

下降第五档时，接触器 KM_5 断电，呈最大弱磁状态。如图 3-9i' 及图 3-10 曲线 5a 所示。接触器 KM_5 断电使时间继电器 KT_2 断电，延时 1.5s 使接触器 KM_4 通电，又切除一段电阻，如图 3-9i 及图 3-10 曲线 5 所示。手柄快速从“零位”拉向下降第五档时，接触器 KM_5 延时 1.5s 通电，使特性要由下降曲线 4 经 5a 过渡到曲线 5，以避免过大的电流冲击。

手柄快速由下降三、四、五档拉向“零位”时，时间继电器 KT_4 的常开触头使接触器 KM_9 、 KM_{10} 延时 2~3s 断开，使电动机处于能耗制动状态，以保持电动机的必需制动转矩，其特性如图 3-10 中曲线 0。

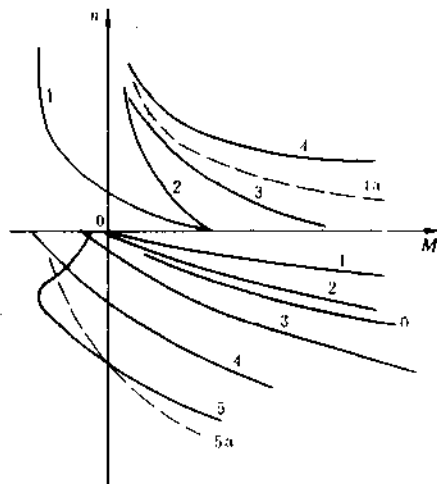


图 3-10 起升控制屏各档对应的机械特性

第四章 电机扩大机及其控制系统

在现代工业生产中，大量的生产机械要求在不同场合采用不同速度进行工作，电气调速应用较广。在电气调速中，直流电动机具有良好的调速性能，故在需要速度精确控制的场合都采用直流调速系统。应用较多的是电机扩大机——（发电机）——电动机调速系统和晶闸管——（发电机）——电动机调速系统。

电机扩大机的出现，使电器控制系统从断续控制发展为连续控制。连续控制系统可随时检查控制对象的工作状态，将输出量与给定量的偏差反馈到输入端，对控制对象自动进行调整。它的快速性和控制精度大大超过断续控制。

第一节 电机扩大机的结构、原理和特性

一、电机扩大机的结构和工作原理

（一）电机扩大机的结构

电机扩大机是一种特殊的直流发电机，定子铁心和电枢都采用高导磁低损耗的硅钢片分层叠压而成。

定子铁心冲有大、中、小三种槽，嵌有五种绕组，如图 4-1 所示。

大槽内装有 2~4 个控制绕组和部分的补偿绕组，去磁绕组绕在大槽磁轭上，中槽内嵌放换向绕组和助磁绕组（也叫横向绕组），小槽内嵌放部分的补偿绕组。

控制绕组：实现励磁控制。为综合多种反馈信号，设置 2~4 个控制绕组，通过各自产生的磁通去控制电机扩大机的输出电动势。

去磁绕组：由专门的交流电源供电，通以工频交流电，电压一般为 3~5V，电流为 3~5A。去磁绕组的作用是产生一个交变的去磁磁动势，以减小电机的剩磁和磁滞回环。

补偿绕组：与电枢绕组串联，作用是补偿电机扩大机直轴电枢反应的去磁作用。补偿绕组并联一可调电阻，调节电阻可改变补偿绕组中的电流大小，从而改变补偿程度。

换向绕组：电机扩大机的转速高，换向条件差，所以在直轴回路上串接换向绕组，中槽间的定子齿形成直轴换向极。换向绕组的作用是改善直轴换向。

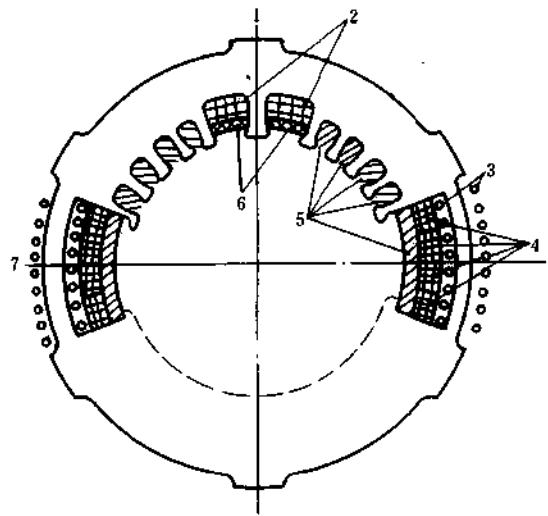


图 4-1 电机扩大机定子上各绕组的分布
1—直轴 2—换向绕组 3—去磁绕组 4—控制绕组
5—补偿绕组 6—助磁绕组 7—交轴

助磁绕组：串联于交轴电路中，由于在大槽内存放的绕组较多，无法安装换向极，故串接助磁绕组，使回路电阻增加，减小了交轴电流，从而改善了交轴换向。

电机扩大机电枢和一般直流发电机相同，由铁心、电枢绕组和换向器等组成。但在换向器上安放两对电刷：一对安放在交轴轴线 qq' 上，并用导线短接起来；一对安放在直轴轴线 dd' 上。电机扩大机的绕组接线图如图 4-2 所示。

(二) 电机扩大机的工作原理

如图 4-3 所示。当控制绕组接上电压 U_c 、流过电流 I_c 时，则产生磁动势 F_c 和磁通 Φ_c 。如果电枢由原动机拖动以转速 n 顺时针方向旋转，电枢导体切割磁力线而产生交轴感应电动势 E_q ，其方向由右手定则确定，因电刷 qq' 被短接，其感应电流 I_q 将很大，为了限制 I_q ，必须使 E_q 很小（通常为几伏），因此电机扩大机需要的控制安匝是很小的，通常 I_c 只有几十毫安，控制功率小，适宜作放大元件用。 I_q 流过电枢导体，于是又产生一个磁动势 F_q 和磁通 Φ_q ，其方向按右手螺旋定则决定。 Φ_q 和控制磁通 Φ_c 相互垂直， Φ_q 切割电枢导体，在直轴电刷 dd' 两端产生感应电动势 E_d ，如将输出端接上负载，将有电流 I_d 输出。

当电机扩大机接上负载后， I_d 也会产生电枢反应磁动势 F_d 和磁通 Φ_d ，而它们恰好与控制绕组的 F_c 和 Φ_c 方向相反，而比 F_c 和 Φ_c 大得多。强烈的去磁作用，将使电机扩大机根本不能带动负载运行。为克服直轴电枢反应的影响，在定子上绕有补偿绕组与输出电路串联，补偿绕组产生的磁势 F_{co} 正比于 I_d 而方向与 F_d 相反，这样电机扩大机就能带动负载正常运行了。

二、电机扩大机的静态特性

电机扩大机的静态特性是指空载特性和负载特性。

(一) 空载特性

空载特性是指在额定转速下，负载电路开路时，电机扩大机直轴电动势 E_d 与控制安匝 $I_c N_c$ 相对应的关系曲线，即 $E_d = f(I_c N_c)$ 。如图 4-4 所示。

电机扩大机是放大元件，通常以安匝放大倍数 K_F 来表示其放大能力， $K_F = E_d / (I_c N_c)$ 。式中 N_c 表示控制绕组的匝数。也可以用电压放大倍数 K_U 来表示其放大能力， $K_U = E_d / (I_c R_c)$ 。式中 R_c 为控制绕组的电阻。则 $K_U = K_F \times N_c / R_c$ ，同一台电机扩大机各控制绕组的匝数、额定电流值各不相同，但额定安匝数相同，因此同一条空载

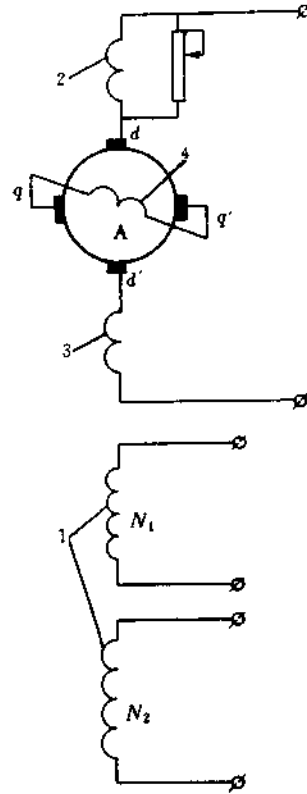


图 4-2 电机扩大机绕组接线图
1—控制绕组 2—补偿绕组
3—换向绕组 4—横向绕组

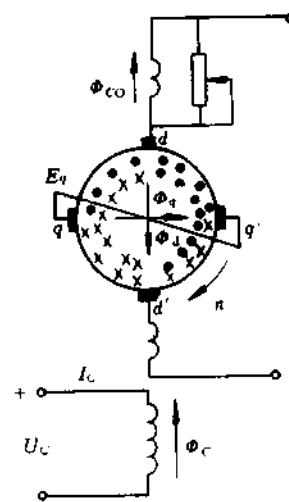


图 4-3 电机扩大机的工作原理图

特性适用于所有控制绕组，而各控制绕组的安匝放大倍数相同。但由于匝阻比不同，因而电压放大倍数也不同。电机扩大机的功率放大倍数 $K_P = E_a I_a / (I_c^2 R_c)$ 。

(二) 负载特性 (也叫外特性)

负载特性是指电机扩大机的转速和控制绕组的电流保持额定值时，输出电压 U_a 与负载电流 I_a 的关系曲线，即 $U_a = f(I_a)$ ，如图 4-5 所示。

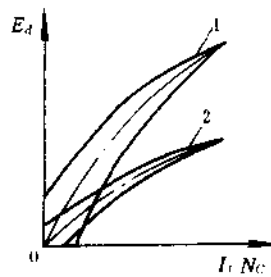


图 4-4 电机扩大机空载特性
1—电机扩大机空载特性
2—普通直流发电机空载特性

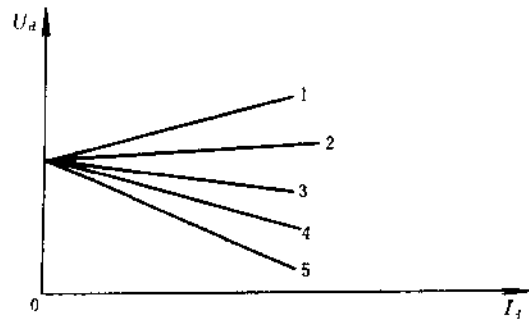


图 4-5 电机扩大机负载特性
1—强过补偿 2—临界补偿
3—过补偿 4—全补偿 5—欠补偿

电机扩大机直轴电动势 E_a 和端电压 U_a 的差别在于电枢电阻压降和补偿绕组的补偿度。假如补偿绕组的磁动势恰好补偿直轴电枢反应磁动势，则电机扩大机的负载特性只和电枢电阻有关，这时称为全补偿。假如补偿绕组磁动势小于直轴电枢反应磁动势，称为欠补偿。无补偿时，带上负载， U_a 也迅速降到零，不能正常工作。假如补偿绕组磁动势大于直轴电枢反应磁动势，称为过补偿，过补偿将会产生自励或振荡，使电机扩大机不能正常工作。当补偿绕组磁动势恰好补偿直轴电枢反应和电枢电阻压降时，则称临界补偿，它是过补偿的一个特殊情况。

为了保持电机扩大机的稳定运行，一般均调整为稍低于全补偿的欠补偿状态。

第二节 电机扩大机速度负反馈调速系统

一、工作原理

为了提高调速系统静特性硬度，扩大调速范围，可采用速度负反馈自动调速系统。由电机扩大机直接作为发电机供电给直流电动机的速度负反馈系统，如图 4-6 所示。当电动机容量较大，需要较大容量的发电机供电时，电机扩大机可作为发电机的励磁机工作，组成电机扩大机-发电机-电动机调速系统。

假设直流电动机 M 工作于理想空载状态，转速为 n_0 ，此时相对应的给定电压 U_g 与测速发电机感应电动势 E_{TG} 之差即 $U_g - E_{TG}$ ，在控制绕组中产生磁动势 $I_c N_c$ ，使电机扩大机建立直轴电动势 E_a ，在这里，电机扩大机作发电机用，所以直轴电动势 E_a 就是发电机电动势。

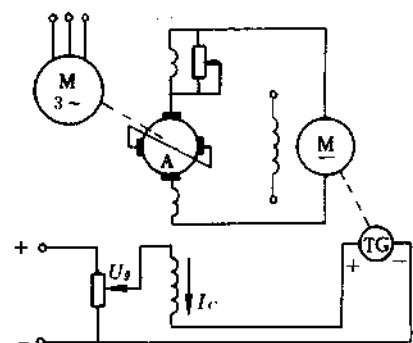


图 4-6 速度负反馈调速系统原理图

当有负载时,电动机转速下降,测速发电机电势 E_{TG} 也随之下降,合成磁动势增加,电机扩大机直轴电动势增加,使电动机转速回升。这样因负载变化使电动机转速变化时,系统将会起到稳速作用。改变给定电压的数值,电动机的速度将随之改变。

二、系统静特性分析

系统静特性是指具有反馈的控制系统的机械特性。分析静特性的方法可用解析法、结构框图法和图解法,下面介绍前两种方法。

1. 解析法 这种方法是在线性条件下求解联立方程组,获得系统静特性,计算简便,应用较多。

设电机扩大机空载特性为直线,全补偿,忽略剩磁和磁滞回环的影响,测速发电机的电动势和转速成正比关系。根据速度负反馈调速系统原理图图 4-6 建立的基本方程式如下:

$$\left. \begin{aligned} \text{主回路} \quad E_d &= E_M + IR = C_e n + IR \\ \text{电机扩大机} \quad E_d &= KI_c N_c \\ \text{控制回路} \quad I_c N_c &= \frac{U_g - E_{TG}}{R_{CS}} N_c \end{aligned} \right\} \quad (4-1)$$

式中, $E_{TG} = C_{eTG} n$, C_{eTG} 为测速发电机的电动势系数; $R_{CS} = R_{PEQ} + R_c + R_{TG}$; U_g 为给定电压, E_M 为电动机反电动势; I 为主回路电流; R 为主回路总电阻; R_{CS} 为控制回路总电阻,包括控制绕组电阻 R_c 、测速发电机电枢电阻 R_{TG} 及给定电压电位器等值电阻 R_{PEQ} 等。

解联立方程式 (4-1) 得:

$$n = \frac{U_g K_c}{C_e (1 + K_c K_{TG})} - \frac{IR}{C_e (1 + K_c K_{TG})} \quad (4-2)$$

式中, $K_c = K \frac{N_c}{R_{CS}}$; $K_{TG} = \frac{C_{eTG}}{C_e}$ 。

2. 结构框图法 利用系统结构框图研究系统的静、动特性是一种常用的方法。当系统的运动方程用拉氏变换式表示, S 的各次项为零时系统达到稳态。这一方法比较明确且直观地表达了系统结构,以及各物理量之间的关系。由原理图图 4-6 得出的静态负反馈系统结构框图如图 4-7 所示。

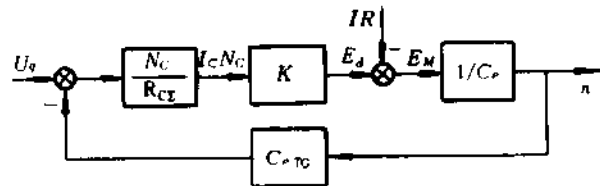


图 4-7 速度负反馈系统静态结构框图

根据线性叠加原理知:几个信号同时作用于一个线性系统,所对应的输出量为各个信号单独作用时所对应的输出量之和。

对于给定量 U_g 的结构框图如图 4-8 所示。

则

$$n = \frac{U_g K_c \frac{1}{C_e}}{1 + K_c \frac{1}{C_e} C_{eTG}} = \frac{U_g K_c}{C_e (1 + K_c K_{TG})}$$

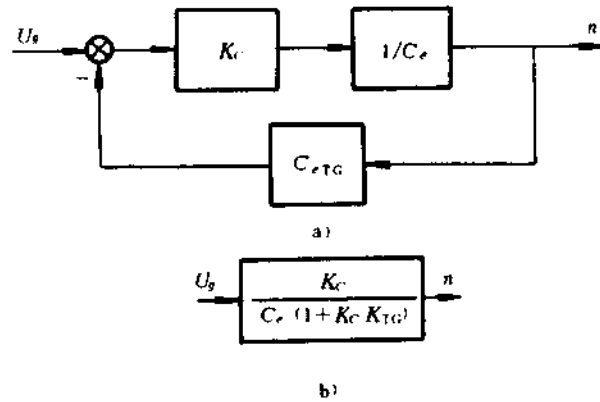


图 4-8 给定量 U_g 的结构框图

对于扰动量 IR 的结构框图如图 4-9 所示。

$$\text{则 } n = \frac{-IR}{C_s(1 + K_c K_{TG})}$$

将给定信号和干扰信号叠加起来可得：

$$n = \frac{U_g K_c}{C_s(1 + K_c K_{TG})} - \frac{IR}{C_s(1 - K_c K_{TG})} \quad (4-3)$$

可见，用解析法和用结构框图法，得出的结果是一致的。

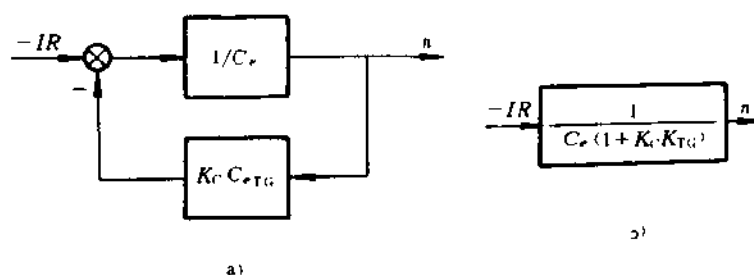


图 4-9 扰动量 IR 的结构框图

系统开环时的机械特性为

$$n = \frac{U_g K_c - IR}{C_s}$$

与式 (4-2) 相比，采用了速度负反馈使转速降减小，提高了静特性硬度。采用速度负反馈后，给定电压所对应的转速也相应减小，一般用加大给定电压的方法保持 n_0 值。

$K_c K_{TG}$ 是闭环系统的开环放大倍数，即当测速发电机反馈断开时，测速发电机输出电压与电机扩大机输入电压之比。

3. 提高放大倍数的措施 提高放大倍数 $K_c K_{TG}$ 常用下述方法：

(1) 合理选择控制绕组 同一型号的电机扩大机绕组数目确定之后，尽管每个绕组的匝数、电阻值不同，但每一个绕组在扩大机定子中所占截面积是相同的。例如匝数多的线径细，匝数少的线径粗。在选择控制绕组时，先决定测速发电机电枢电阻 R_{TG} 和给定电位器等值电阻 R_{PEQ} ，或预选某一控制绕组后再验算系统能否满足要求。在已知各电阻值后，应使控制绕组的电阻值尽量等于控制电路中其它电阻值之和，即 $R_c = R_{TG} + R_{PEQ}$ ，使 K_c 值为最大。

(2) 控制绕组并联使用 并联后等效匝阻比等于各控制绕组匝阻比之和，即 $N_{EQ}/R_{EQ} = N_1/R_{c1} + N_2/R_{c2} + N_3/R_{c3} + \dots$ 式中的 N_{EQ} 、 R_{EQ} 为并联后的等效匝数和电阻； N_1 、 N_2 、 N_3 、 \dots 和 R_{c1} 、 R_{c2} 、 R_{c3} 、 \dots 为各控制绕组的匝数和电阻。控制绕组并联后可提高等效匝阻比，即提高 K_c 值。

(3) 选用 C_{TG} 较大和 R_{TG} 较小的测速发电机 这样可提高 K_{TG} 值，但也会使测速机尺寸增大，给定电位器容量增加。

(4) 选用电阻值较小的给定电位器 即 R_{PEQ} 小，增大 K_c 值。要使电位器中流过的电流是控制电路电流的 5~10 倍，但不能把电位器功率选得过大。

(5) 加中间放大器 在控制绕组和给定信号间加中间放大器，可进一步减小转速降，增大调速范围，还可减小测速发电机和给定电位器的尺寸。

三、系统动特性分析

通过静特性的分析可知：要扩大调速范围，提高静特性硬度，则需加大调速系统放大倍数 ($K_c K_{TG}$)，但 $K_c K_{TG}$ 值越大，系统越不稳定，故必须采用稳定装置来解决静、动特性的矛盾。下面主要讨论系统的稳定性。

(一) 系统中各元件的传递函数及系统的结构框图

速度负反馈系统动态结构框图如图 4-10 所示 (用于系统时 K_c 表示电机扩大机总放大倍数， T_{CZ} 为各控制绕组和补偿绕组的时间常数之和， T_q 为第 2 级时间常数， T_T 为电动机机电时间常数， $\lambda = 1 + \beta K_2$ (β 为比例系数， K_2 为第二级电压放大倍数。))

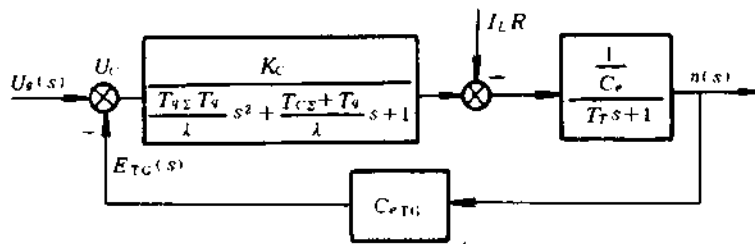


图 4-10 速度负反馈系统动态结构框图

(二) 判断系统的稳定性

当负载电流 $I_L = 0$ 且只有一个输入量 U_g 作用时，系统的传递函数为

$$\frac{n_1(s)}{U_g(s)} = \frac{K_c / C_e}{\left(\frac{T_{CZ} T_q}{\lambda} s^2 + \frac{T_{CZ} + T_q}{\lambda} s + 1 \right) (T_T s + 1) + K_c K_{TG}}$$

当 U_g 不变，只有扰动量 I_L 时，系统的传递函数

$$\frac{n_2(s)}{-I_L(s)} = \frac{1/C_e \left(\frac{T_{CZ} T_q}{\lambda} s^2 + \frac{T_{CZ} + T_q}{\lambda} s + 1 \right) R}{\left(\frac{T_{CZ} T_q}{\lambda} s^2 + \frac{T_{CZ} + T_q}{\lambda} s + 1 \right) (T_T s + 1) + K_c K_{TG}}$$

可近似看作线性系统。采用叠加原理，这时电动机转速的拉氏变换式为：

$$\begin{aligned} n(s) &= n_1(s) + n_2(s) \\ &= \frac{U_g(s) K_c / C_e - \frac{I_L(s) R}{C_e} \left(\frac{T_{CZ} T_q}{\lambda} s^2 + \frac{T_{CZ} + T_q}{\lambda} s + 1 \right)}{\left(\frac{T_{CZ} T_q}{\lambda} s^2 + \frac{T_{CZ} + T_q}{\lambda} s + 1 \right) (T_T s + 1) + K_c K_{TG}} \end{aligned}$$

根据自动控制理论，线性系统稳定性主要由特征方程判定，上式的特征方程为：

$$\begin{aligned} &\left(\frac{T_{CZ} T_q}{\lambda} s^2 + \frac{T_{CZ} + T_q}{\lambda} s + 1 \right) (T_T s + 1) + K_c K_{TG} = 0 \\ &\frac{T_{CZ} T_q T_T}{\lambda} s^3 + \frac{T_{CZ} T_q + T_{CZ} T_T + T_q T_T}{\lambda} s^2 + \left(\frac{T_{CZ} + T_q}{\lambda} + T_T \right) s + (1 + K_c K_{TG}) = 0 \end{aligned}$$

三阶特征方程通式为：

$$a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3 = 0$$

根据霍尔维茨判据，系统稳定条件为：

第一，各项系数 a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 均为正实数。

第二，应满足 $a_1 a_2 > a_0 a_3$

因此系统的稳定条件是

$$\frac{(T_{c2}T_q + T_{c2}T_T + T_T T_q) \left(\frac{T_{c2} + T_q}{\lambda} + T_T \right)}{T_{c2}T_q T_T} > 1 + K_c K_{T0}$$

可见系统的放大系数 $K_c K_{T0}$ 越大，系统越趋向于不稳定。

根据

$$1 + K_c K_{T0} \geq \frac{D(1-s)IR}{sC_r n_{max}}$$

显见系统静态工作时，欲使调速范围 D 增大，静差度 s 减小，要求有足够大的放大倍数 $K_c K_{T0}$ 。因此静态、动态指标的要求是有矛盾的。为了提高系统的稳定性，同时又不降低静态指标的要求，可以在系统中引入稳定环节。

(三) 电机扩大机系统中常用的稳定环节

要求稳定环节结构简单、可靠、并易于实现稳定工作。

1. 阻容稳定环节如图 4-11 所示。给定信号加在控制绕组 N_3 中，用另一个控制绕组 N_1 作为稳定绕组与 RC 串联后，并接在电机扩大机的输出端，构成阻容稳定环节。当系统处于稳定运行时， E_d 为一常量， $i_c = 0$ ，稳定绕组不起作用。当系统处于过渡过程（例如在起动过程中）时，由于强励作用， E_d 增长很快，出现超调，此时，阻容电路流过一个充电电流 i_c ，在稳定绕组中产生磁动势 F_c ， F_c 方向和给定绕组所产生的磁动势 F_d 方向相反，对电机扩大机的 E_d 变化起阻尼作用。如果系统发生了振荡，电机扩大机输出电压以一定频率振荡，就会在稳定绕组中流过阻止 E_d 变化的同频率交流电流，使 E_d 振幅减小到符合系统性能指标要求。在调试过程中，应注意稳定绕组的极性接法，否则将使系统更不稳定。

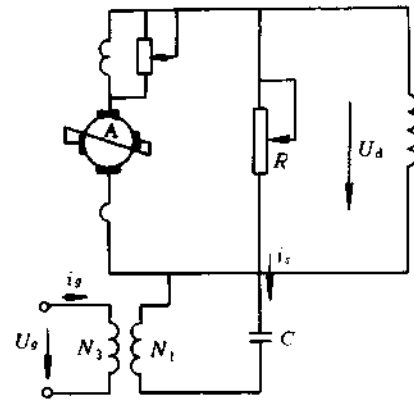


图 4-11 阻容稳定环节

2. 变压器稳定环节 如图 4-12 所示。变压器 T 并接在电机扩大机的输出端，以检测 E_d

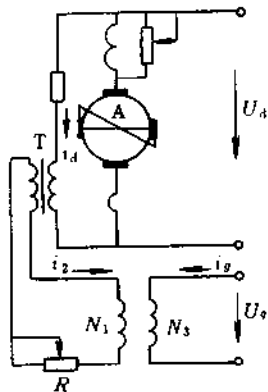


图 4-12 变压器稳定环节

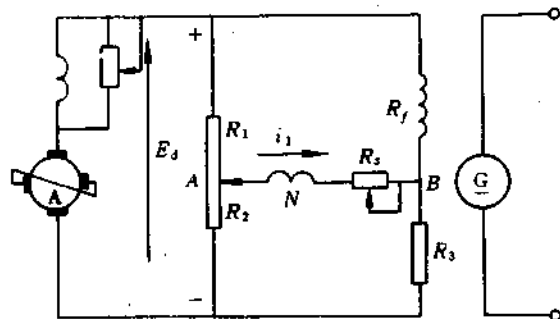


图 4-13 桥形稳定环节

的变化。在稳定运行时, E_a 为一常量, 稳定变压器二次侧无输出, 稳定绕组不起作用。当系统处于过渡过程(如起动过程)时, E_a 迅速增大, 则稳定变压器二次侧产生感应电动势, 流过变化电流 i_2 , 稳定绕组极性接法和控制绕组相反, 因而使稳定绕组对 E_a 的增加起阻尼作用, 达到稳定的目的。

3. 桥形稳定环节 如图 4-13 所示。由并联于电机扩大机输出端的电阻 R_1 、 R_2 以及发电机的励磁绕组 R_f 和电阻 R_3 组成桥形电路。在桥路的对角线 A 、 B 上接上电机扩大机的控制绕组。适当调整 R_1 、 R_2 、 R_3 的数值, 使桥形电路平衡: $R_1 R_3 = R_2 R_f$ 。

当系统稳定运行时, E_a 为常量, A 、 B 两点等电位, 控制绕组无电流流过, 稳定绕组不起作用。当处于过渡过程(如起动过程)时, E_a 迅速增大, 由于 R_1 与 R_2 阻值相等, 其分压比不变, 但 R_f 与 R_3 串联电路由于发电机励磁绕组的电感作用, 使 R_f 分得的电压较 R_3 高, 因而 $V_A > V_B$, 桥臂电路不平衡, 稳定绕组中就有电流 i_1 流过, 控制绕组的接法和 F 的方向相反, 起到阻止 E_a 增长的阻尼作用, 加强了系统的稳定性。

4. 转速负反馈自动调速系统的特点

① 在相同的理想空载转速时, 由于负反馈的作用, 必须增大给定电压, 使系统放大倍数减小。

② 转速降减小, 静特性硬度提高, 扩大了调速范围。

③ 减小了剩磁引起的转速波动, 从而消除了电动机的爬行。

④ 减小了铁磁材料非单值性造成的稳态误差, 提高了调速精度。

⑤ 加快过渡过程。在减速、反向、停车等过程中, 转速负反馈都是加快过渡过程的。但要注意, 太强的负反馈作用造成超调量增大, 振荡次数增多, 调整时间过长, 因而都需设置稳定环节。

第三节 电机扩大机的性能和特点

电机扩大机具有的优点, 使其在直流调速系统中曾得到广泛的应用, 在现阶段, 由电机扩大机控制的 A 系列龙门刨床仍在批量生产。

一、电机扩大机的优点

(一) 具有较好的快速性能

电机扩大机的电枢和定子铁心都是用硅钢片分层叠成的, 减少了铁心涡流, 提高了快速性。

(二) 功率放大倍数大

电机扩大机是两级放大, 只要在控制绕组中输入很小功率, 就能得到较大的输出功率, 通常功率放大倍数在 1000~10000 之间, 电压放大倍数在 10~100 之间。

(三) 实现综合多种控制信号

电机扩大机控制功率小, 因而控制绕组体积小, 在大槽中可装置几个控制绕组, 为综合多种控制信号实现自动控制提供了可能性。

二、电机扩大机的缺点

1. 换向困难 电机扩大机转速高, 又有两对电刷, 所以换向比较困难, 必须对换向采取措施, 对电刷也有严格要求。

2. 工作点不稳定 由于电机扩大机是两级励磁,所以磁滞回环比较大,影响了工作点的稳定性,可采用去磁绕组加以克服。

3. 造价较高 由于铜、铁用量较多且加工要求高,所以价格较高。

三、电机扩大机的型号和规格

国产电机扩大机有 ZKK、ZKG、KY 等系列。如 ZKK 表示为直流控制用。型号 ZKK-12J-4-12: 数字 12 表示功率,该数字为电机扩大机功率的 10 倍,即功率实为 1.2kW, J 表示原动机为交流电动机,数字 4 表示控制绕组数目,最后的数字 12 表示绕组序号。

ZKK 系列电机扩大机功率自 0.15~50kW,电压有 115, 230, 460V 等。

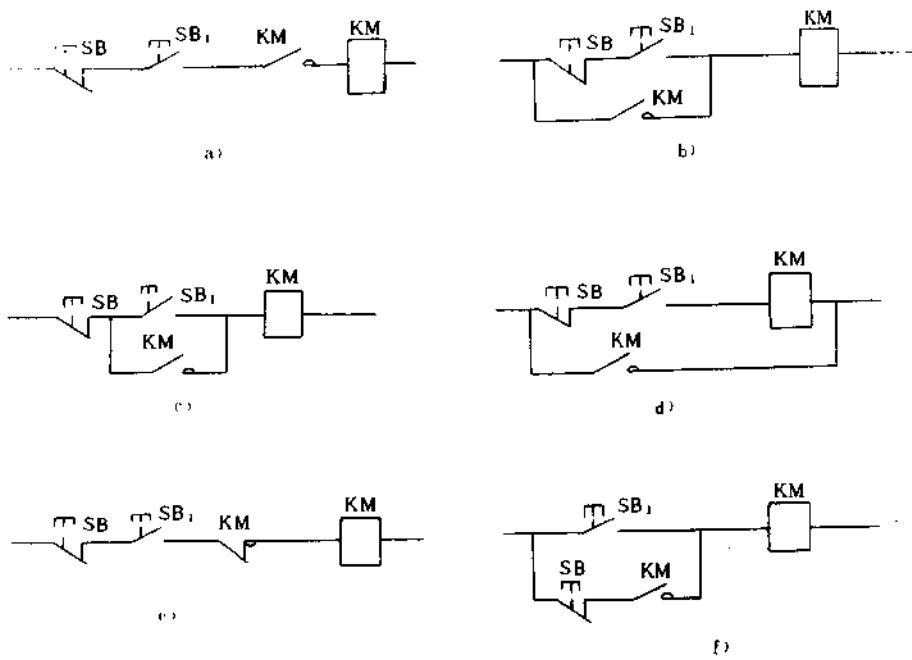
ZKK 系列电机扩大机的控制绕组有 2~4 个,二控制绕组的每绕组所需功率为 0.5W,三控制绕组的每绕组所需功率为 0.75W,四绕组的各为 0.9W。

选用电机扩大机时,额定电压应使励磁系统具有一定的强励能力以加快过渡过程,并使稳态时工作点选择在空载特性的线性段,从而使系统有较好的灵敏度。额定电流的选择一般为最大负载电流的 1.1~1.3 倍。

另外,使用时还应注意,电刷在出厂时放在几何中性线上,如果为了加强稳定、避免过励或减少剩磁,可允许电刷沿旋转方向移动 2~3mm。由于电刷位置的偏移,电机扩大机必须按机上标示的方向旋转,一般为顺时针旋转。电机扩大机的励磁系统,无论在什么情况下,都应避免自励而造成电机扩大机产生过电压。

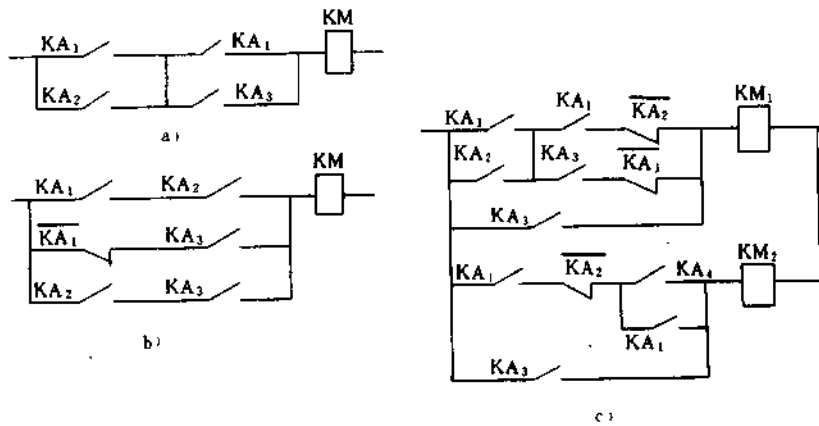
第一篇习题

1. 单相交流电磁机构为何要设置短路环?它的作用是什么?三相交流电磁铁要不要装设短路环?
2. 从结构特征上如何区分交流、直流电磁机构?
3. 交流接触器线圈通电后,衔铁长时间被卡死不能吸合,会产生什么后果?
4. 交流电磁线圈误接入直流电源,直流电磁线圈误接入交流电源,会发生什么问题?为什么?
5. 两个相同的交流电磁线圈能否串联使用?为什么?
6. 如何调整电磁式继电器的返回系数?
7. 电器控制线路中,既装设熔断器,又装设热继电器,各起什么作用?
8. 试为一台交流 380V、4kW ($\cos\varphi=0.88$)、 Δ 联结的三相笼型异步电动机选择接触器、热继电器和熔断器。
9. 分析图篇 1-1 所示线路中,哪种线路能实现电动机正常连续运行,哪种不能?为什么?
10. 试采用按钮、刀开关、接触器和中间继电器,画出异步电动机点动、连续运行的混合控制线路。
11. 试设计用按钮和接触器控制异步电动机的起动、停止、用组合开关选择电动机旋转方向的控制电路(包括主回路、控制回路和必要的保护环节)。
12. 电器控制线路常用的保护环节有哪些?各采用什么电器元件?
13. 试设计电器控制线路,要求:第一台电动机起动 10s 后,第二台电动机自动起动,运行 5s 后,第一台电动机停止,同时第三台电动机自动起动,运行 15s 后,全部电动机停止。
14. 试设计龙门刨床横梁升降控制线路,要求:1) 横梁上升、下降由电动机 M_1 经传动机构来实现;2) 横梁的夹紧,放松由电动机 M_2 带动夹紧装置实现;3) 按动按钮,首先使夹紧机构放松;4) 横梁放松后,能上升或下降,上升或下降到所需位置,松开按钮,横梁自动夹紧;5) 夹紧后电机自动停止运动;6) 应有限位保护, M_2 电动机应有过流保护,保证有一定的夹紧力;7) 各运动间具有必要的联锁。
15. 供油泵向两处地方供油,油都到达规定油位时,油泵停止供油,只要有一处油不足,则继续供油,试用逻辑设计法设计控制线路。



图篇 1-1 习题 9 图

16. 某电动机只有在继电器 KA_1 、 KA_2 、 KA_3 中任何一个或任何两个动作时才能运转，而在其它条件下都不运转，试用逻辑设计法设计控制线路。
 17. 化简图篇 1-2 所示控制电路。



图篇 1-2 习题 17 图

18. 电厂的闪光电源控制电路如图篇 1-3 所示，当发生故障时，事故继电器 KA 通电动作，试分析信号灯发出闪光的工作原理。
 19. 试分析 C650 型车床主轴正反转控制和正反转反接制动的工作过程。
 20. 简述平面磨床上磁、去磁的工作过程，电磁吸盘中设置欠电流继电器的作用是什么？
 21. 试述 23040 摇臂钻床的摇臂下降的工作过程。
 22. 试述 X62W 万能铣床的工作台六个方向进给控制的工作过程。

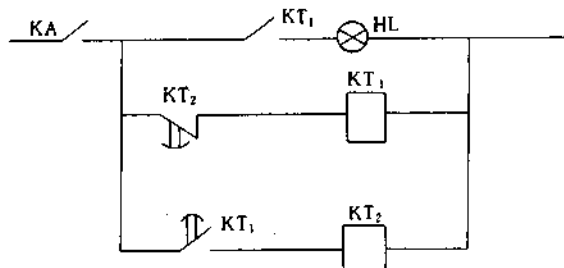
23. 试述主令控制器与磁力控制屏控制起重机主提升机构的工作过程。

24. 电机扩大机定子中嵌放哪几种绕组？各自的作用是什么？

25. 电机扩大机的补偿绕组并联的调节电阻开路及短路时对外特性有何影响？

26. ZKK12J 型电机扩大机的额定输出电压为 115V，额定电流为 10.4A，控制绕组之一的直流电阻为 100Ω ，额定电流为 95mA，试求该电机扩大机的功率放大倍数和电压放大倍数。

27. 试说明电机扩大机转速负反馈调速系统的工作原理，它是如何起到速度调节的作用的？



图篇 1-3 习题 18 图

第二篇 可编程序控制器应用技术

在第一篇中已比较全面系统地介绍了电器控制技术，包括常用的低压控制电器，基本的电器控制线路和实用的电气控制系统等。这为学习第二篇打下了基础。在第二篇中将论述可编程序控制器的基本构成、工作原理、指令系统、编程方法、编程器的使用、采用可编程序控制器控制系统的设计、安装和维护及实际应用等。

第五章 可编程序控制器概论

第一节 可编程序控制器的产生与功能特点

一、可编程序控制器的产生

在第一篇中介绍的各种电器，能完成逻辑“与”、“或”、“非”等运算功能，实现弱电对强电的控制，且由于结构简单，价格便宜，掌握容易等优点，因而几十年来已得到了广泛的应用，并在工业控制等领域中曾经占过主导地位。但继电接触控制系统存在如下缺点：设备体积大，开关动作慢，功能较少，接线复杂，触点易损坏，改接麻烦，灵活性较差等。

随着社会的发展，科技的进步，新的控制器件及其控制系统不断涌现。1968年美国通用汽车公司（GM）公开招标研制功能更强，使用更方便，价格便宜，可靠性更高的新型控制器。一年后美国数字设备公司（DEC）根据GM公司的招标要求，研制成功世界上第一台可编程序控制器，型号为PDP-14，并在GM公司汽车生产线上首次应用成功。这就较好地使继电接触控制简单易懂，使用方便、价格低等优点与计算机功能完善、灵活性强、通用性好的优点结合起来，并将继电接触控制的硬连线逻辑转变为计算机的软件逻辑编程的设想逐步变为现实。当时人们把这第一台可编程序控制器叫做可编程序逻辑控制器PLC，只是用来取代继电接触控制，仅有执行继电器逻辑、计时、计数等较少的功能。

70年代中期出现了微处理器和微型计算机，人们把微机技术应用到可编程序控制器中，使得它兼有计算机的一些功能，不但用逻辑编程取代了硬连线逻辑，还增加了运算、数据传送与处理及对模拟量进行控制等功能，使之真正成为一种电子计算机工业控制设备。

1980年美国电气制造协会（National Electrical Manufacturers Association简称NEMA）把这种新的控制设备正式命名为可编程序控制器（Programmable Controller简称PC）。但为了与个人计算机的专称PC相区别，故常常把可编程序控制器简称为PLC，而本书均用PC表示可编程序控制器。1987年美国电气制造协会给出的可编程序控制器的定义为：可编程序控制器是一种带有指令存储器、数字或模拟I/O接口，以位运算为主，能完成逻辑、顺序、定时、计数和算术运算功能，用于控制机器或生产过程的自动控制装置。随着科学技术的进步和可编

程序控制器的不断发展，功能不断增强，其定义也会发生变化。

二、可编程序控制器的功能特点

(一) PC 的功能

近年来 PC 把自动化技术、计算机技术和通信技术融为一体。它可完成以下功能：

1. 逻辑控制 PC 具有逻辑运算功能，它设置有“与”、“或”、“非”等逻辑指令，能够描述继电器触点的串联、并联、串并联、并串联等各种连接。因此它可以代替继电器进行组合逻辑与顺序逻辑控制。

2. 定时控制 PC 具有定时控制功能。它为用户提供了若干个定时器并设置了定时指令。定时值可由用户在编程时设定，并能在运行中被读出与修改，使用灵活，操作方便。

3. 计数控制 PC 还具有计数功能。它为用户提供了若干个计数器并设置了计数指令。计数值可由用户在编程时设定，并可在运行中被读出或修改，使用与操作都很灵活方便。

4. 步进控制 PC 能完成步进控制功能。步进控制是指在完成一道工序以后，再进行下一道工序，也就是顺序控制。PC 为用户提供了若干个移位寄存器，或者直接有步进指令，可用于步进控制，编程与使用很方便。

5. A/D、D/A 转换 有些 PC 还具有“模数”转换 (A/D) 和“数模”转换 (D/A) 功能，能完成对模拟量的控制与调节。

6. 数据处理 有的 PC 还具有数据处理能力，并具有并行运算指令，能进行数据并行传送、比较和逻辑运算，BCD 码的加、减、乘、除等运算，还能进行字“与”、字“或”、字“异或”、求反、逻辑移位、算术移位、数据检索、比较、数制转换等操作，并可对数据存储器进行间接寻址，与打印机相连而打印出程序和有关数据及梯形图。

7. 通信与联网 有些 PC 采用了通讯技术，可以进行远程 I/O 控制，多台 PC 之间可以进行同位链接，还可以与计算机进行上位链接，接受计算机的命令，并将执行结果告诉计算机。由一台计算机和若干台 PC 可以组成“集中管理、分散控制”的分布式控制网络，以完成较大规模的复杂的控制。

8. 对控制系统监控 PC 配置有较强的监控功能，它能记忆某些异常情况，或当发生异常情况时自动终止运行。在控制系统中，操作人员通过监控命令可以监视有关部分的运行状态，可以调整定时或计数等设定值，因而调试、使用和维护方便。

可以预料，随着科学技术的不断发展，PC 的功能也会不断拓宽和增强。

(二) PC 的特点

PC 有如下一些主要特点：

1. 编程简单 PC 的设计者在设计 PC 时已充分考虑到使用者的习惯和技术水平及用户的方便，构成一个实际的 PC 控制系统一般不需要很多配套的外围设备；PC 的基本指令不多；常用于编程的梯形图与传统的继电接触控制图有许多相似之处；编程器的使用简便；对程序进行增减、修改和运行监视很方便。因此对编制程序的步骤和方法，容易理解和掌握，只要具有一定文化水平和电工知识，都可以在较短的时间内学会。

2. 可靠性高 PC 是专门为工业控制而设计的，在设计与制造过程中均采用了诸如屏蔽、滤波、隔离、无触点、精选元器件等多层次有效的抗干扰措施，因此可靠性很高，其平均故障时间间隔为 2 万小时以上。此外，PC 还具有很强的自诊断功能，可以迅速方便地检查判断出故障，缩短检修时间。

3. 通用性好 PC 品种多, 档次也多, 可由各种组件灵活组合成不同的控制系统, 以满足不同的控制要求。同一台 PC 只要改变软件则可实现控制不同的对象或不同的控制要求。在构成不同的 PC 的控制系统时, 只需在 PC 的输入输出端子上接上不同的相应的输入输出信号, PC 就能接收输入信号和输出控制信号。可见, PC 通用性好。

4. 功能强 在前面已介绍过, PC 具有很强的功能, 能进行逻辑、定时、计数和步进等控制, 能完成 A/D 与 D/A 转换、数据处理和通信联网等功能。而且 PC 技术发展很快, 功能会不断增强, 应用领域会更广。

5. 使用方便 PC 体积小, 重量轻, 便于安装。PC 编程简单, 编程器使用简便。PC 自诊断能力强, 能判断和显示出自身故障, 使操作人员检查判断故障方便迅速, 而且接线少, 维修时只需更换插入式模块, 维护方便。修改程序和监视运行状态也容易。

6. 设计、施工和调试周期短 上面已介绍过, PC 在许多方面是以软件编程来取代硬件接线, 用 PC 构成的控制系统比较简单, 编程容易, 安装使用方便, 目前的 PC 已商品化, 硬件软件较齐全, 为模块化积木式结构, 不需要很多配套的外围设备和大量的复杂的接线, 程序调试修改也很方便。因此可大大缩短 PC 控制系统的设计、施工和投产周期。

从上述 PC 的功能特点可见, PC 控制系统比传统的继电接触控制系统具有许多优点, 在许多方面可以取代继电接触控制。但是 PC 也有其缺点: 目前价格还比较高, 一般来说比电器控制的高, 比一般的单板机系统也高; 工作速度比计算机慢; 使用中档和高档 PC, 要求使用者具有相当的计算机知识; PC 制造厂家和 PC 品种类型很多, 而指令系统和使用方法不尽相同, 这给用户带来不便。

第二节 PC 的应用与发展概况

自从美国研制出世界上第一台 PC 以后, 日本、德国、法国等工业发达国家相继研制出各自的 PC。70 年代中期在 PC 中引入了微机技术, 使 PC 的功能不断增强, 质量不断提高, 应用日益广泛。目前 PC 已广泛应用于石油、化工、冶金、轻工、机械、电力等各行各业, 实现逻辑、步进、数字、机器人、模拟量等的自动控制, 有人认为 PC 已成为工业控制领域中占主导地位的基础自动化设备。据资料介绍, 美国一家公司曾经对美国石油化工、冶金、食品、制药、机械等行业 400 多个工厂企业进行调查的结果表明, PC 的需求量占各类自动化仪表或自动化控制设备之首, 有 82% 的厂家使用 PC, 43% 的厂家使用计算机控制技术、36% 的厂家使用专用控制器。进入 90 年代, 在美国登记的 PC 公司已有 88 家, 产品 377 种。

1971 年日本从美国引进 PC 技术, 很快就研制出日本第一台 DSC-8 型 PC, 早在 1984 年日本就有 30 多个 PC 的生产厂家, 产品 60 种以上。西欧在 1973 年已研制出它们的第一台 PC, 并且发展很快, 年销售增长率在 20% 以上。目前世界上众多 PC 制造厂家中, 比较著名的几个大公司有美国 AB 公司、哥德公司、德州仪器公司、通用电气公司, 德国的西门子公司, 日本的三菱、东芝、富士和立石公司等。它们的产品控制着世界上大部分的 PC 市场。PC 技术已成为工业自动化三大技术 (PC 技术、机器人、计算机辅助设计与分析) 支柱之一。

我国研制与应用 PC 起步较晚, 1973 年开始研制, 1977 年开始应用, 80 年代初期以前发展较慢, 80 年代随着成套设备或专用设备引进了不少 PC, 例如宝钢一期工程整个生产线上就使用了数百台的 PC, 二期工程将使用更多的 PC。近几年来国外 PC 产品大量进入我国市场,

我国已有许多单位在消化吸收引进 PC 技术的基础上，仿制或研制了 PC 产品。80 年代中后期，我国开发应用 PC 技术发展迅速，例如资料介绍东风汽车公司装备系统从 1986 年起，全面采用 PC 对老设备进行更新改造，至 1991 年止一共改造设备 1000 多台，并取得了明显的经济效益。1995 年广州第二电梯厂，已把 PC 成功地应用于技术要求复杂的高层电梯控制上，并已投入批量生产。广东佛山市中联自动控制工程公司，近几年来已为多个厂家设计制造了 PC 控制装置几十套，成功应用于陶瓷窑炉、瓷砖输送线等生产线和其它自动控制生产设备上。从近几年召开的学术会议及有关文献介绍可见，我国研制尤其是应用 PC 技术日益广泛，日趋成熟。

目前 PC 发展方向主要是朝着小型化、廉价化、标准化、系列化、智能化、高速化、大容量化、网络化方向发展，这将使 PC 功能更强，可靠性更高，使用更方便，适用面更广。

第六章 可编程序控制器的基本结构与工作原理

第一节 PC 的基本结构

传统的继电接触控制系统通常由输入设备、控制线路和输出设备三大部分组成，如图 6-1 所示。显然这是一种由许多“硬”的元器件连接起来的控制系统。

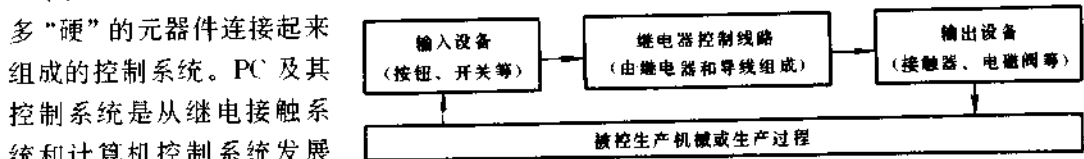


图 6-1 继电接触控制系统

PC 及其控制系统是从继电接触系统和计算机控制系统发展而来的，因此 PC 与这两种控制系统有许多相同或相似之处，PC 的输入输出部分与继电接触控制系统的大致相同，PC 的控制部分用微处理器和存储器取代了继电器控制线路，其控制作用是通过用户软件来实现的。PC 的基本结构如图 6-2 所示。

一、输入与输出部件

这是 PC 与输入控制信号和被控制设备连接起来的部件，输入部件接收从开关、按钮、继电器触点和传感器等输入的现场控制信号，并将这些信号转换成中央处理器能接收和处理的数字信号。输出部件接收经过中央处理器处理过的输出数字信号，并把它转换成被控制设备或显示装置所能接收的电压或电流信号，以驱动接触器、电磁阀和指示器件等。

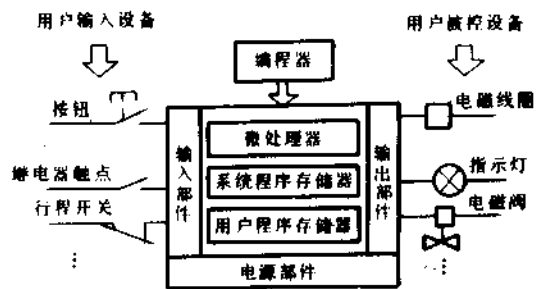


图 6-2 PC 的基本结构

二、中央处理单元

中央处理单元包括微处理器、系统程序存储器和用户程序存储器。微处理器是 PC 的核心部件，整个 PC 的工作过程都是在中央处理器的统一指挥和协调下进行的，它的主要任务是按一定的规律和要求读入被控对象的各种工作状态，然后根据用户所编制的应用程序的要求去处理有关数据，最后再向被控对象送出相应的控制（驱动）信号。

存储器是保存系统程序和用户程序的器件。系统存储器主要用于存放系统正常工作所必须的程序，如管理、监控、指令解释程序，这些程序与用户无直接关系，已由厂家直接固化进 EPROM 中。用户存储器主要用于存放用户按控制要求所编制的程序，可通过编程器进行必要的修改。

三、电源部件

电源部件是把交流电转换成直流电源的装置，它向 PC 提供所需要的直流电源。

四、编程器

编程器是 PC 必不可少的重要外围设备。它主要用于对用户程序进行输入、检查、调试和修改，并用来监视 PC 的工作状态。

第二节 PC 的基本工作原理

一、PC 的等效电路

从上一节介绍的 PC 基本组成电路中可见，PC 的等效电路可用图 6-3 来表示。它主要由输入部分、输出部分和内部控制电路组成。

输入部分的作用是收集被控设备的信息或操作指令。图中若干个输入端外接按钮、开关等的触点，而内连输入继电器 X 线圈（图中 X400 为输入继电器）。输入接线方式分为两种：一种是分隔式输入接线方式，即每个输入回路只有两个接线端口，其中一个为输入端公共端口 COM，各个输入点之间是相互隔离的；另一种是汇点接线方式，即所有输入端只有一个公共点（汇集点），也可以是几个输入端共用一个输入公共点（COM）。

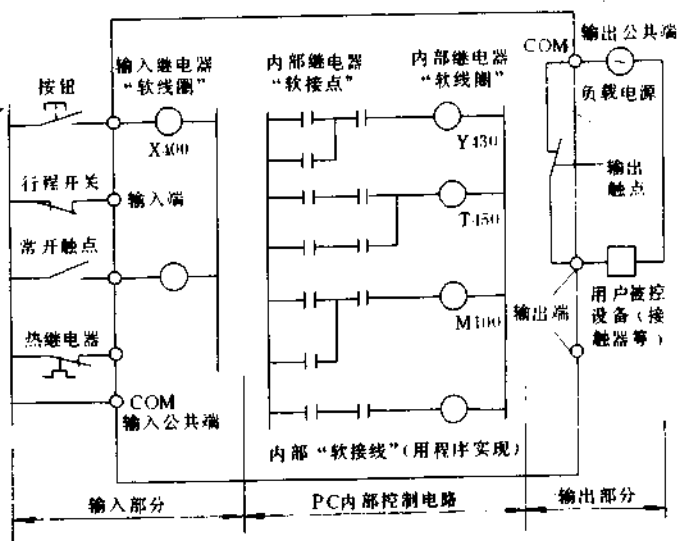


图 6-3 PC 的等效电路

输出部分的作用是驱动外部负载。图中输出端外接用户设备，而内连输出继电器 Y 的触点（图中 Y430 为输出继电器）。输出也有两种接线方式：一是分隔式，即每个输出回路彼此独立，用户提供工作电源，显然分隔式接线方式输出回路之间相互关联与影响很小；二是汇点式，即所有输出端点或几个端点共用一个用户提供的交流或直流电源。外部负载驱动电源的一端接到输出公共端子（COM）上。

内部控制电路的作用是对从输入部分得到的信息进行运算、处理，并判断哪些功能应输出。图中 T450 为定时器，M100 为辅助继电器，PC 内部还有计数器 C 等。PC 内部有许多“软”继电器或继电器“软”触点和“软”接线，这些都是用编程软件来实现的。

二、PC 的工作过程

PC 的工作过程一般可分为三个主要阶段：输入采样（输入扫描）阶段、程序执行（执行扫描）阶段和输出刷新（输出扫描）阶段，如图 6-4 所示。

（一）输入采用阶段

PC 以扫描工作方式按顺序将所有输入信

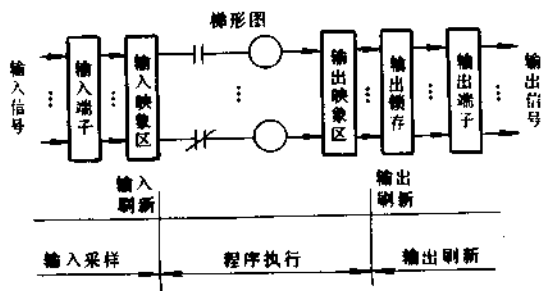


图 6-4 PC 的工作过程

号,读入到寄存输入状态的输入映象寄存器中存储,这一过程称为采样。在本工作周期内这个采样结果的内容不会改变,而且这个采样结果将在PC执行程序时被使用。

(二) 程序执行阶段

PC按顺序对程序进行扫描,即从上到下、从左到右地扫描每条指令,并分别从输入映象寄存器和输出映象寄存器中获得所需的数据进行运算、“处理”,再将程序执行的结果写入寄存执行结果的输出映象寄存器中保存。但这个结果在整个程序未执行完毕之前不会送到输出端口上。

(三) 输出刷新阶段

在执行完用户所有程序后,PC将映象寄存器中的内容送入到寄存输出状态的输出锁存器中,再去驱动用户设备,这就是输出刷新。

PC重复执行上述三个阶段,每重复一次的时间称为一个扫描周期。PC在一个工作周期中,输入扫描和输出刷新的时间一般为4ms左右,而程序执行时间可因程序的长度不同而不同。PC一个扫描周期一般为40~100ms之间。

PC的一个工作周期主要有上述三个阶段,但严格来说还应包括下述四个过程,但这四个过程都是在输入扫描过程之后进行的。

- ① 系统自监测。检查程序执行是否正确,如果超时则停止中央处理工作。
- ② 与编程器交换信息,这在使用编程器输入和调试程序时才执行。
- ③ 与数字处理器交换信息,这只有在PC中配置有专用数字处理器时才执行。
- ④ 网络通信,当PC配置有网络通信模块时,应与通信对象(如磁带机、其它PC或计算机等)进行数据交换。

从上述PC工作过程中可以看出:

PC采用循环扫描工作方式。PC工作的主要特点是输入信号集中批处理,执行过程集中批处理和输出控制也集中批处理。PC的这种“串行”工作方式,可以避免继电器接触控制中触点竞争和时序失配的问题。这是PC可靠性高的原因之一,但是又导致输出对输入在时间上的滞后,这是PC的缺点之一。

PC在执行程序时所用到的状态值不是直接从实际输入端口所获得的,而是来源于输入映象寄存器和输出映象寄存器。输入映象寄存器的状态值,取决于上一扫描周期从输入端子中采样取得的数据,并在程序执行阶段保持不变。输出映象寄存器中的状态值,取决于执行程序输出指令的结果。输出锁存器中的状态值是由上一个扫描周期的刷新阶段从输出映象寄存器转入的。

还需指出一点:在PC中常采用一种称之为“看门狗”(Watchdog)的定时监视器来监测PC的实际工作时间周期是否超出预定的时间,以避免PC在执行程序过程中进入死循环,或PC执行非预定的程序而造成系统故障瘫痪。

第三节 PC的性能指标及分类

一、PC的性能指标

PC的性能通常是用以下多种指标来综合表述的。

(一) 编程语言

PC 常用的编程语言有梯形图语言、助记符语言、流程图语言及某些高级语言等，目前使用最多的是前两者。不同的 PC 可能采用不同的语言。

(二) 指令种数

用以表示 PC 的编程功能。

(三) I/O 总点数

PC 的输入和输出量有开关量和模拟量两种。对于开关量，I/O 用最大 I/O 点数表示，而对模拟量，I/O 点数则用最大 I/O 通道数表示。

(四) PC 内部继电器的种数和点数

包括辅助继电器、特殊继电器、定时器、计数器、移位寄存器等。

(五) 用户程序存储量

用户程序存储器用以存储通过编程器输入的用户程序，其存储容量通常是以字为单位来计算的。约定 16 位二进制数为一个字（注意一般微处理机是以 8 位为一个字节的），每 1024 个字为 1K 字。中小型 PC 的存储容量一般在 8K 以下，大型 PC 的存储容量有的已达 256K 字以上。编程时，通常对于一般的逻辑操作指令，每条指令占一个字，计时、计数和移位指令占 2 个字，对于一般的数据操作指令，每条指令占 2 个字。须指出，有的 PC 其用户程序存储容量是用编程的步数来表示的，每编一条语句为一步。

(六) 扫描速度

以 ms/K 字为单位表示。例如 20ms/K 字表示扫描 1K 字的用户程序需要的时间为 20ms。

(七) 工作环境

一般都能在下列环境条件下工作：温度 0~55℃，湿度小于 85%（无结露）。

(八) 特种功能

有的 PC 还具有某些特种功能，例如自诊断功能，通信联网功能，监控功能，特殊功能模块，远程 I/O 能力等。

(九) 其它

还能列出其它一些指标，比如输入/输出方式、某些主要硬件（如 CPU、存储器）的型号等。

二、PC 的分类

目前 PC 的品种很多，规格性能不一，且还没有一个权威的统一的分类标准，准确分类是困难的。但是目前一般按下面几种情况进行大致分类。

(一) 按结构形式分类

按 PC 结构形式分类，可分为整体式和模块式两种。

整体式（箱体式）PC，将 PC 的电源、中央处理器、输入输出部件等集中配置在一起，有的甚至全部安装在一块印制电路板上，装在一个箱体内，通常称为主机。例如 F₁ 系列 PC。整体式结构紧凑、体积小、质量小、价格低，但主机 I/O 点数固定，使用不灵活。小型 PC 常使用这种结构。

模块式（积木式）PC，它把 PC 的各部分以模块形式分开，如电源模块、CPU 模块、输入模块、输出模块等，把这些模块插入机架底板上，组装在一个机架内。这种结构配置灵活，装配方便，便于扩展。一般中型和大型 PC 常采用这种结构。例如 GE-1、GE-1 型 PC 等。这种结构较复杂，造价高。

(二) 按输入输出点数和存储容量分类

按输入输出点数和存储容量来分, PC 大致可分为大、中、小型三种。

小型 PC 的输入输出点数在 256 点以下, 用户程序存储器容量在 2K 字以下。

中型 PC 的输入输出点数在 256 到 2048 之间, 用户程序存储器容量一般为 2~8K 字。

大型 PC 的输入输出点数在 2048 以上, 用户程序存储器容量达 8K 字以上。

(三) 按功能分类

按 PC 功能强弱来分, 可大致分为低档机、中档机、高档机三种。

低档机 PC 具有逻辑运算、定时、计数等基本功能, 有的还增设模拟量处理、算术运算、数据传送等功能。可实现逻辑、顺序、计时计数控制等。

中档机 PC 除具有低档机的功能外, 还具有较强的模拟量输入输出、算术运算、数据传送、通信联网等功能。可完成既有开关量又有模拟量控制的任务。

高档机 PC 除具有中档机的功能外, 增设带有符号算术运算、矩阵运算等, 使运算能力更强, 还具有模拟调节、联网通信、监视、记录和打印等功能, 使 PC 的功能更多更强, 能进行智能控制、远程控制、大规模过程控制, 构成分布式控制系统成为整个工厂的自动化网络。

随着 PC 的发展, 对 PC 的分类也将会做出相应的改变, 使 PC 的分类更科学更严密。

第四节 PC 与其它工业控制系统的比较

一、PC 与继电接触控制系统的比较

从某种意义上看, PC 是从继电接触控制发展而来的。两者既有相似性又有不同之处。

① 继电接触控制全部用硬器件、硬触点和“硬”线连接, 为全硬件控制; PC 内部大部分采用“软”电器、“软”接点和“软”线连接, 为软件控制。

② 继电接触控制系统体积大; PC 控制系统结构紧凑, 体积小。

③ 继电接触控制全为机械式触点, 动作慢; PC 内部全为“软接点”, 动作快。

④ 继电接触控制功能改变, 需拆线接线乃至更换元器件, 比较麻烦; PC 控制功能改变, 一般仅修改程序即可, 极其方便。

⑤ PC 控制系统的设计、施工与调试比继电接触控制系统周期短。

⑥ PC 控制的自检和监控功能比继电接触控制的强。

⑦ PC 的适用范围比继电接触控制的广泛。

⑧ PC 可靠性比继电接触控制的高。

二、PC 与微型计算机的比较

PC 也是随着微型计算机的发展而发展, PC 实质上就是一台专为工业生产控制设计的专用计算机。两者既有相近性又有差别, 主要差别表现在以下几个方面。

① PC 输入输出接口较多, 中大型 PC 输入输出接口更多, 便于多路多点控制。

② PC 编程简便, 因为 PC 是采用易于用户理解、接受和使用的梯形图方式, 指令又不多, 而计算机使用汇编语言或其它高级语言编程, 比 PC 编程复杂。

③ PC 可靠性高, 因为 PC 是为工作环境条件比较恶劣的工业控制设计的, 设计与制造 PC 时已采取了多种有效的抗干扰和提高可靠性措施。

- ④ PC 技术容易掌握, 使用维护方便, 对使用者的技术水平要求比使用计算机低。
- ⑤ PC 采用扫描方式进行工作, 加之其它一些原因, 所以 PC 输入输出响应比计算机慢。
- ⑥ 此外 PC 体积小, 调试周期短。

三、PC 的可靠性

前面多次提到 PC 的可靠性很高, 究其原因归纳起来主要在于目前 PC 在硬软件方面一般都采用了下述措施:

① PC 内部有许多“软”继电器、“软”触点和“软”线连接, 控制功能主要由软件来实现, “硬”器件、“硬”触点和“硬”线连接大为减少。

② 设置滤波。在 PC 中一般都在输入输出接口处设置 π 形滤波器, 它不仅可滤除来自外界的高频干扰, 而且还可减少内部模块之间信号的相互干扰。

③ 设有隔离。在 PC 系统中 CPU 和各 I/O 回路 (主要指数字口) 几乎都设有光耦合器作隔离, 以防止干扰或可能损坏 CPU 等。

④ 设置屏蔽。屏蔽有两类: 一类是例如对变压器采取磁场和电场的双重屏蔽, 这时要用既导磁又导电的材料作为屏蔽层; 另一类是例如对 CPU 和编程器等模块仅作电磁场的屏蔽, 此时可用导电的金属材料作屏蔽层。

⑤ 采用模块式结构。PC 通常采用积木式结构, 这便于用户检修和更换模板, 同时在各模板上都设有故障检测电路, 并用相应的指示器标志它的状态, 使用户能迅速确定故障的位置。

⑥ 设有联锁功能。PC 中各输出通道之间设有联锁功能, 以防止各被控对象之间误动作可能造成的事故。

⑦ 设置环境检测和诊断电路。这部分电路负责对 PC 的运行环境 (例如电网电压、工作温度、环境的湿度等) 进行检测, 同时也完成对 PC 中各模块工作状态的监测。这部分电路往往是与软件相配合工作的, 以实现故障自动诊断和预报。

⑧ PC 中的电源尤其是为 CPU 模块供电的 +5V 主电源, 都具有很强的抗电网电压波动和 高频扰动的能力, 同时还具有过电压过电流保护措施, 以防止 PC 的损坏可能导致系统的混乱。

⑨ 设置 Watchdog 电路。PC 中的这种电路是专门监视 PC 运行进程是否按预定的顺序进行的, 如果 PC 中发生故障或用户程序区受损, 则因 CPU 不能按预定顺序 (预定时间间隔) 工作而报警。

⑩ PC 是以扫描方式进行工作的, 即 PC 对信号的输入、数据的处理和控制信号的输出, 分别在一个扫描周期内的不同时间间隔里, 以批处理方式进行, 这不仅使用户编程简单、不易出错, 而且也不易使 PC 的工作受到外界干扰的影响; 同时 PC 所处理的数据比较稳定, 从而减少了处理中的错误; 另外, PC 的输入输出的控制较简单, 不容易产生由于时序不合适而造成的问题。

简言之, 因为 PC 是专为工作环境条件较恶劣的工业应用而设计的, 在设计制造时已充分考虑到可靠性问题, 并采取了多层次多种有效措施来提高 PC 的可靠性, 因此, 实用证明 PC 的可靠性很高。

第七章 F 系列可编程序控制器

PC 的种类很多,不同厂家生产的 PC 机、大中小型 PC 机的结构功能不尽相同,但它们的基本工作原理大体相同。日本三菱公司生产的 F、F₁ 系列 PC,设计合理,结构紧凑,体积小,重量轻,具有很强的抗干扰能力和负载能力及优良的性能价格比,在我国是应用比较多,影响比较广的 PC 之一。本章着重介绍 F 系列 PC,在第十章将介绍 F₁ 系列 PC。读者学习掌握这两种 PC 后,对学习其它 PC 则可触类旁通,举一反三。

第一节 F 系列 PC 的型号、单元和技术特性

一、F 系列 PC 的型号

为了满足用户不同的控制要求, F 系列 PC 有多种型号规格,其型号表示方法如下:

型号: F-① ② ③-④

例如: F-20 M R-E

①—表示输入/输出总点数

②—表示本单元的类型: M 为基本单元, E 为扩展单元。

③—表示输出类型: R 为继电器输出, T 为晶体管输出, S 为晶闸管输出。

④—表示电源电压种类: V 为 100/110 交流, E 为 220/240V 交流, D 为 24V 直流。

二、基本单元和扩展单元及组合

基本单元又称为主机, F 基本单元的类型如表 7-1 所示。

扩展单元又叫做扩展机,它没有中央处理机,不能单独使用,只能通过扁平电缆与主机相连,以增加输入输出点数。扩展单元的外形与基本单元的大体相同,扩展单元的类型如表 7-2 所示。

表 7-1 F 基本单元的类型

型 号	输入点数	输出点数	扩展接口数
F-12M	6	6	1
F-20M	12	8	1
F-40M	24	16	2
F-60M	36	24	1

表 7-2 F 扩展单元的类型

型 号	输入点数	输出点数	扩展接口数
F-10E	4	6	1
F-20E	12	8	1
F-40E	24	16	2

根据需要,可采用基本单元和扩展单元的组合构成不同输入输出点数的 PC 控制系统。表 7-3 列出了 80 点以下的多种组合。同一基本单元或扩展单元的全部输出点都是同类型的形式输出,但在组合中基本单元和扩展单元的输出形式可以不同,例如基本单元的输出形式可以是继电器,而扩展单元可以是晶闸管输出形式,两组可以组合。

表 7-3 基本单元和扩展单元的组合

总点数	输入点数	输出点数	组 合
22	10	12	F-12M+F-10E
30	16	14	F-20M+F-10E
32	18	14	F-12M+F-20E
40	24	16	F-40M 或 F-20M+F-20E
50	28	22	F-40M+F-10E
60	36	24	F-60M 或 F-40M+F-20E
60	32	28	F-40M+F-10E+F-10E
70	40	30	F-60M+F-10E
80	48	32	F-40M+F-40E 或 F-60M+F-20E

三、主要技术特性和输入输出方式

(一) 总体技术特性

F-20M 与 F-40M 这两种型号为 F 系列中最常用的, 现把这两种型号的总体技术特性和数据列于表 7-4 中。

表 7-4 F 系列 PC 总体技术特性和数据

项 目		F-20M	F-40M
电 源	功 耗	<11VA	<25VA
	电 压	AC100~110V +10% -15% AC200~220V +10% -15%	50/60Hz
计 时	点 数	8 点	16 点
	设定位数	2 位	3 位
	设定范围	0.1~99S	0.1~999S
计 数	点 数	8 点	16 点
	设定方式	编程数字设定, 复位优先	
	设定范围	1~99	1~999
辅助继电器		64 个(其中 16 个有掉电保持)	192 个(其中 64 个有掉电保持)
编程步数容量 (用户存储器容量)	数制	八进制	十进制
	数量	477	890
运 算	指 令	继电器符号方式	
	速 度	100 μ s/步序(平均)	45 μ s/步序(平均)
可 靠 性 措 施 和 情 况	电池保护	锂电池, 可连续使用五年, 保持 RAM 程序	
	瞬时停电补偿	<20ms 瞬间停电可不出错, 继续运转	
	抗电干扰能力	1000V	1 μ s
	耐振动能力	10~55Hz, 0.5mm, 最大 2g (重力加速度)	
	CPU 出错自诊断	监视器, 求和校验	
	电池电压监视	电压不足指示灯亮	
一 般	环境温度	0~+55 $^{\circ}$ C (储存温度 -15~+65 $^{\circ}$ C)	
	环境湿度	85%RH 以下 (无结露)	
	绝缘电阻	>5M Ω (DC500V)	
	绝缘耐压	AC 1500V	1min
	外形尺寸 (mm)	255 \times 80 \times 100	305 \times 110 \times 110
	质 量	1.5kg	2.5kg

(二) 输入的技术特性和数据

F 系列 PC 的输入技术特性和数据如表 7-5 所示。

表 7-5 输入技术特性和数据

项 目		DC24V	AC110V	AC220V
额定输入电压		DC24V±4V (内部供电)	+10% AC100~110V-15% 50~60Hz	+10% AC200/220V-15% 50/60Hz
输入阻抗		约 3.7KΩ	约 9.6KΩ/50Hz	约 21.2kΩ/50Hz
工作电流	断→通	DC 最小 4mA	AC 最小 8mA	AC 最小 7mA
	通→断	DC 最大 1.5mA	AC 最大 3mA	AC 最大 3mA
响应时间	断→通	约 10ms	约 15ms	约 15ms
	通→断	约 5ms	约 8ms	约 8ms
隔 离		光电隔离		
指 示		当有输入时发光二极管亮		

(三) 输出技术特性和数据

F 系列 PC 的输出技术特性和数据如表 7-6 所示。

表 7-6 输出技术特性和数据

		继电器输出 AC 100、200V DC 24V	晶闸管输出 AC 100V、200V	晶体管输出 DC 24V
额定输出电流 (电阻负载)		2A/1点	1A/1点 4A/8点合计	1A/1点 4A/8点合计
最大负载	电感性	80VA	50VA (AC 100V) 100VA (AC 200V)	24W (DC 24V)
	灯 泡	100W	100W	3W
	冲击电流	10A/周期	10A/周期	DC 3A
最小负载	电感性	—	1.6VA (AC 200V) 0.4VA (AC 100V)	—
	灯 泡	—	1W (AC 200V) 0.5W (AC 100V)	—
响应时间	断→通	约 5ms	<1ms	<1ms
	通→断	约 10ms	最大 10ms	<1ms
隔 离		继电器隔离	光控晶闸管	光耦合
指 示		当继电器接通时发光二极管亮	当晶闸管导通时发光二极管亮	当光耦合器开通时发光二极管亮

(四) 输入方式

F 系列 PC 输入方式按输入回路电流来分, 有直流输入和交流输入两种, 其它 PC 有的还有交直流输入方式。直流输入电路见图 7-1 所示。直流电源由 PC 内部提供。交流输入电路见图 7-2, 由 PC 外部提供交流电源。从图 7-1 和 7-2 可见, 由于输入信号经过光耦合器的隔离,

这就提高了 PC 的抗干扰能力。

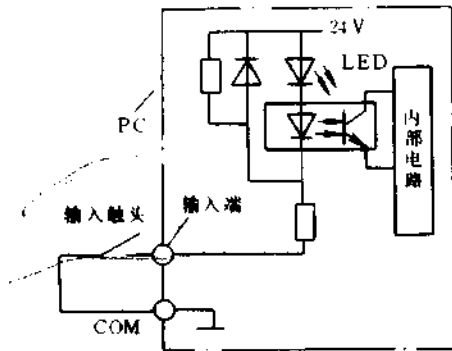


图 7-1 直流输入电路

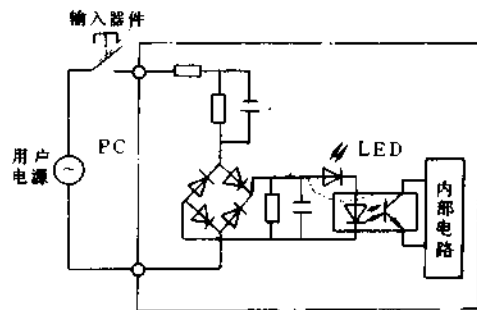


图 7-2 交流输入电路

按 PC 的输入模块与外部用户设备的接线形式来分，有汇点式输入接线和分隔式输入接线两种基本形式。汇点式输入接线如图 7-3 所示，各输入回路有一个公共端（汇集端）COM，可以是全部输入点为一组共用一个公共端和一个电源，如图 7-3a 所示；也可以将全部输入点分为 n 个组，每组有一个公共端和一个单独电源，如图 7-3b 所示。汇点式输入接线可用于直流也可用于交流输入模块，直流输入模块的电源一般由 PC 内自身的电源提供，而交流输入模块的电源通常由用户提供。分隔式输入接线如图 7-4 所示，每一个输入回路有两个接线端，由单独的一个电源供电，这一交流电源由用户提供。控制信号是通过用户输入设备（如开关、按钮、行程开关、继电器和传感器）的触点输入的。

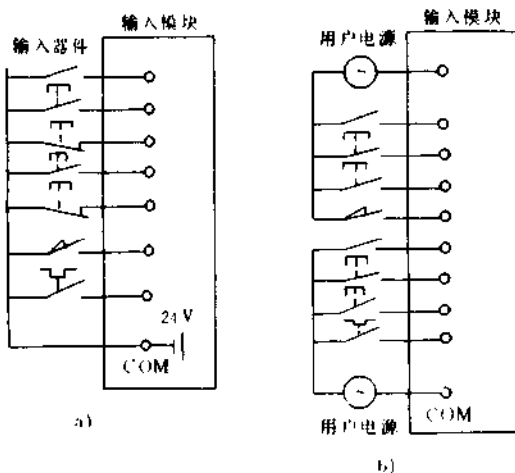


图 7-3 汇点式输入接线
a) 直流模块 b) 交流模块

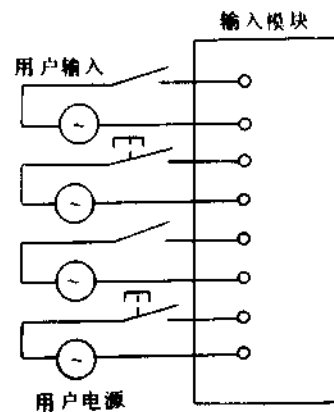


图 7-4 分隔式输入接线

(五) 输出方式

F 系列 PC 输出方式按负载使用的电源（即用户电源）来分，有直流输出、交流输出和交直流输出三种方式。按输出开关器件的种类来分，有晶体管、晶闸管和继电器三种输出方式。

晶体管输出电路如图 7-5 所示,图中仅画出一个输出点的电路原理图,其它输出点的输出电路与此电路图相同。晶体管输出电路只能带直流负载,属于直流输出方式,直流电源由用户提供。双向晶闸管输出电路如图 7-6 所示,这种输出方式只能带交流负载,属于交流输出方式,交流电源由用户提供,图中输出两端并接**浪涌吸收器**起限幅作用,它将晶闸管两端电压限制在一定数值以下,以保护晶闸管等。继电器输出方式电路图如图 7-7 所示,它可带直流也可带交流负载,属于交直流输出方式,电源由用户提供。以上三种输出方式,均设置有光耦合器,进行隔离,以提高可靠性。

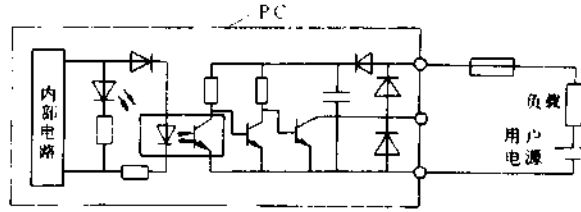


图 7-5 晶体管输出电路图

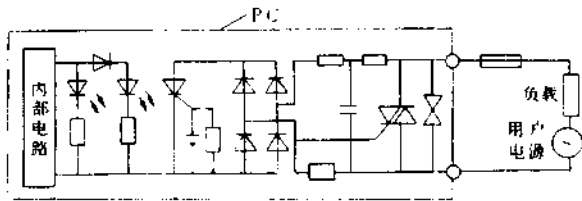


图 7-6 晶闸管输出电路图

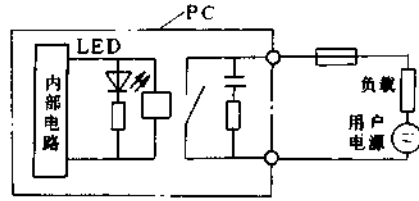


图 7-7 继电器输出电路图

按输出模块与外部用户输出设备的接线形式分,有汇点式输出和分隔式输出接线两种基本形式。汇点式输出接线形式如图 7-8 所示,图 7-8a 表示把全部输出点汇集成一组共用一个公共端 COM 和一个电源,图 7-8b 表示将所有输出点分成 n 个组,每组有一个公共端 COM 和一个单独电源,两种形式的电源均由用户提供,根据实际情况确定选用直流或交流电源。分隔式输出接线形式如图 7-9 所示。每个输出点构成一个单独回路,由用户单独提供一个电源,这样每个输出点之间是相互隔离的,负载电源按实际情况可选用直流也可选用交流。

此外,有的 PC 设置有 I/O 双重功能的 I/O 模块,这种模块既有若干个输入点,又有若干个输出点,如图 7-10 所示,各输入回路的直流电源由 PC 内部电源提供,各输出回路的负载电源由用户提供,可以是直流也可能是交流,视具体情况而定。需指出,不同的 PC 其输入输出接线方式可能有所

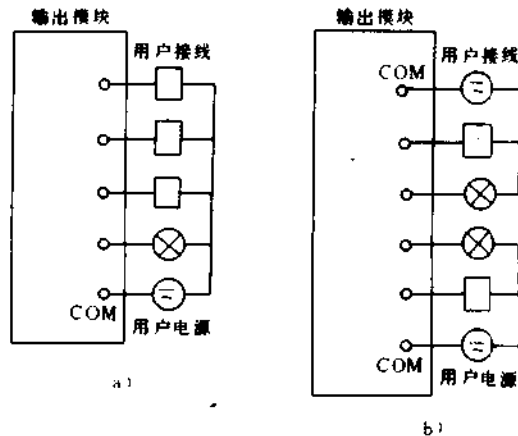


图 7-8 汇点式输出接线

a) 汇集为一组输出 b) 分为若干组输出

不同，使用前应查阅 PC 的使用说明。

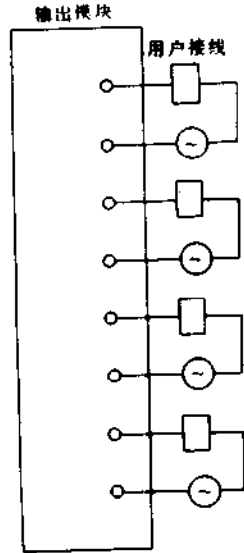


图 7-9 分隔式输出接线

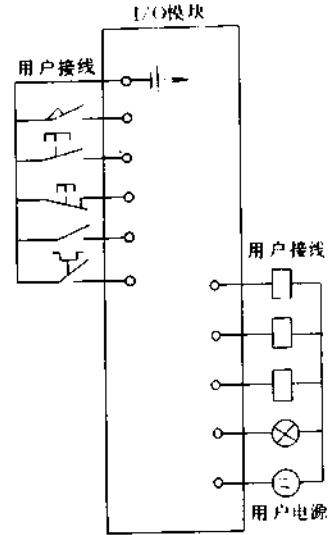


图 7-10 I/O 模块的外接线

X 的线圈与 PC 的输入端相连。

第二节 输入与输出继电器的编号及功能

编号是 PC 编程中的一个重要内容，编号可以明确表示出程序中用了哪些软件继电器及 I/O 点，执行什么功能。

一、输入继电器编号与功能

输入继电器 X 是 PC 接收来自外部输入设备开关信号的接口。输入继电器 X 的线圈与 PC 的输入端相连，并带有许多常开接点和常闭触点供编程时使用。输入继电器由外部信号驱动，即由外接开关控制。输入继电器编号采用八进制编制，如表 7-7 所示。输入继电器电路如图 7-11 所示。

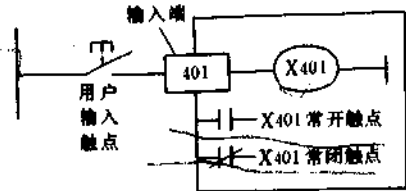


图 7-11 输入继电器电路

表 7-7 F 系列 PC 输入继电器 X 的编号

单元	型号	编号
基本单元	F-12	X00~X05
	F-20	X00~X07 X10~X13
	F-40	X400~X407 X410~X413 X500~X507 X510~X513
扩展单元	F-10	X14~X17
	F-20	X14~X17 X20~X27
	F-40	X414~X417 X420~X427 X514~X517 X520~X527

二、输出继电器的编号与功能

输出继电器 Y 是 PC 向外部负载传送信号的器件，其输出触点连接到 PC 的输出端子上。输出继电器触点的通和断是由程序执行结果来决定的，它有一对外部输出的常开触点，有许多常开和常闭“软”触点可供在编程中使用。输出继电器电路如图 7-12 所示。输出继电器编号采用八进制编写，如表 7-8 所示。

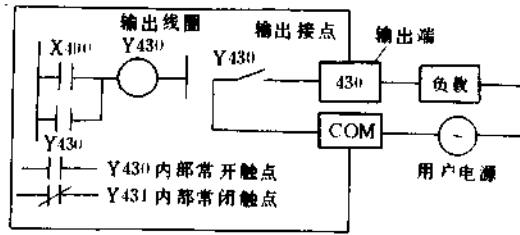


图 7-12 输出继电器电路

表 7-8 F 系列 PC 输出继电器 Y 的编号

单 元	型 号	编 号
基本单元	F-12	Y30~Y35
	F-20	Y30~Y37
	F-40	Y430~Y437 Y530~Y537
扩展单元	F-10	Y40~Y45
	F-20	Y40~Y47
	F-40	Y440~Y447 Y540~Y547

第三节 辅助继电器与特殊辅助继电器的编号及功能

PC 中设有许多辅助继电器 M，它有若干对常开触点和常闭触点，它必须由 PC 中其它器件的触点接通驱动 M 的线圈之后，触点才能动作，这和继电器控制线路中的中间继电器工作情形相似，供中间转换环节使用，所以辅助继电器有时也叫做中间继电器。但辅助继电器不能直接驱动外部负载，要驱动外部负载必须通过输出继电器才行。

一、辅助继电器

辅助继电器又可分为通用辅助继电器和保持（或叫保护）辅助继电器两种，均用八进制编号。

（一）通用辅助继电器

型号为 F-12M 和 F-20M 的编号为：M100~M157，共 48 个。型号为 F-40M 和 F-60M 的编号为 M100~M277，共 128 个。

（二）保持辅助继电器

型号为 F-12M 和 F-20M 的编号为：M160~M177，共 16 个。型号为 F-40M 和 F-60M 的编号为：M300~M377，共 64 个。

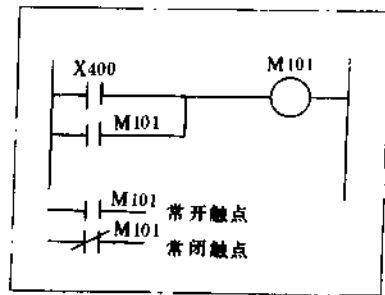


图 7-13 辅助继电器电路

因为这两种辅助继电器的编号都采用八进制，所以号码中最后一个数字不会出现 8 和 9。

当电源中断时由于后备锂电池能保持供电，所以保持辅助继电器能够保持它们原来的状态。这就是保持辅助继电器可用于要求保持断电前状态那种场合的原因所在。因此也叫做保护辅助继电器。

辅助继电器电路图如图 7-13 所示。

二、特殊辅助继电器

特殊辅助继电器有时也称为专用辅助继电器，下面说明几个这种继电器的功能用途。

(一) M70 运行监视继电器

当 PC 运行时，M70 自动处于接通状态，当 PC 停止运行时，M70 处于断开状态，如图 7-14a 所示。因此可利用 M70 的接点经输出继电器 Y，在外部显示程序是否运行，达到运行监视的目的。

(二) M71 初始化脉冲继电器

当 PC 一开始投入运行时，M71 就接通，自动发出宽度为一个扫描周期的单窄脉冲，如图 7-14b 所示。M71 常用作计数器、移位寄存器和保持辅助继电器等的初始化信号，即开机清零信号。

(三) M72 100ms 时钟脉冲发生器

M72 产生周期为 100ms 的时钟脉冲如图 7-14c 所示，可用于驱动计数器或移位寄存器，以便执行监视定时器功能。它也可和计数器联用，起到定时器的作用。

(四) M76 电池电压下降指示

如果 PC 中供电电池电压下降，则 M76 接通，并可以经输出继电器使外部指示灯亮。

(五) M77 禁止输出继电器

一旦 M77 继电器接通时，则所有输出继电器 Y 的输出自动断开，但这不会影响 PC 内部程序的执行。常用于控制系统发生故障时切断输出，而保留 PC 内部程序的正常执行，这有利于系统故障的检查和排除。

日本三菱 F₁ 系列 PC 除了具有上述 F 系列特殊辅助继电器外，还增加了其它特殊继电器，例如：M73-10ms 时钟发生器，M470-高速计数器，M471-加/减计数选择，M472-高速计数器计数起动信号，还有错误和进位标志继电器等。

三、移位寄存器

用辅助继电器可以组成移位寄存器，每 8 个或 16 个辅助继电器为一组，构成一个移位寄存器，移位寄存器的编号就是第一个辅助继电器的编号。当某组辅助继电器已用作移位寄存器时，则这一组辅助继电器不能再作其它用途。

移位寄存器的分组和编号（八进制）如下：

对型号为 F-12 和 F-20 的 PC，它们各有 64 个辅助继电器，把它们分成 8 组，每组 8 个继电器，则相应组成 8 个移位寄存器，如下所示。

移位寄存器编号	对应的辅助继电器组	说 明
M100	M100~M107	
M110	M110~M117	
M120	M120~M127	
M130	M130~M137	
M140	M140~M147	
M150	M150~M157	

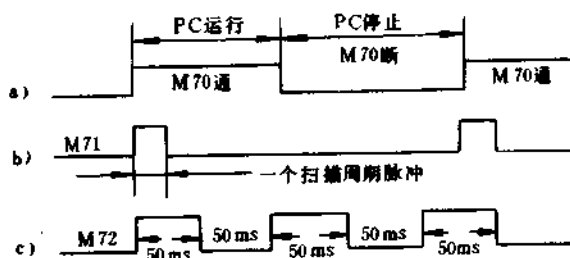


图 7-14 特殊辅助继电器工作波形

M160 M160~M167
M170 M170~M177 } 具有停电保持功能

型号为 F-40M 和 F-60M 的 PC，分别有 192 个辅助继电器，把它们分成 12 组，每组 16 个继电器，则相应构成 12 个移位寄存器，如下所示。

移位寄存器编号	对应的辅助继电器组	说 明
M100	M100~M117	
M120	M120~M137	
M140	M140~M157	
M160	M160~M177	
M200	M200~M217	
M220	M220~M237	
M240	M240~M257	
M260	M260~M277	
M300	M300~M317	} 具有停电保持功能
M320	M320~M337	
M340	M340~M357	
M360	M360~M377	

第四节 定时器 T 与计数器 C

一、定时器 T

PC 中设有定时器，不同规格和型号的 PC，其定时器个数和定时长短是不完全相同的。F 系列 PC 定时器的编号（八进制）、个数和定时范围，如表 7-9 所示。

表 7-9 定时器 T 的编号、个数和定时范围

PC 型号	T 的编号	T 的个数	定时范围 (s)	最小设置单位 (s)
F-12M F-20M	T50~T57	8	0.1~99	0.1
F-40M F-60M	T450~T457 T550~T557	16	0.1~999	0.1

这些定时器都带有若干个常开触点和常闭触点，供定时和限时选用。定时器工作时间和通过编程器设定的。

F₁ 系列 PC 比 F 系列 PC 多 8 个定时器：T650~T657，定时范围为 0.01~99.9s。

二、计数器 C

F 系列 PC 计数器的编号（八进制）、个数和计数值范围，如表 7-10 所示。

计数器计数值的大小，通过编程器来设定。这里的计数器是按减 1 计数的，当计数器的输入每次由断开到接通时，计数器从设定值开始减 1，且每接通一次就将当前值减去 1，一直到 0 为止，这时计数器的常开触点接通，常闭触点断开。每个计数器均有后备电池，所以当电源因故中断时，当前计数值能被保存下来。

F₁ 比 F 系列 PC 多 8 个计数器：C660~C667。

表 7-10 计数器 C 的编号个数及计数值范围

PC 型号	C 的编号	个数	计数值范围
F-12M F-20M	C60~C67	8	1~99
F-40M F-60M	C460~C467 C560~C567	16	1~999

现把常用的 F-20M 和 F-40M 这两种 PC 的器件编号与个数归纳成表 7-11，以便查找。

表 7-11 F-20M 和 F-40M 器件编号一览表

基本单元 器件名称代号	F-20M		F-40M	
	个数	编号	个数	编号
输入继电器 X	12	00~07	24	400~413
		10~13		500~513
输出继电器 Y	8	30~37	16	430~437 530~537
		50~57		450~457 550~557
计数器 C	8	60~67	16	460~467 560~567
		100~157 160~177 ^①		128 64
特殊辅助继电器 M	5	70~72	5	70~72
		76~77		76~77

① 该组具有停电保持功能。

第八章 PC 的指令系统及编程方法

第一节 PC 的常用编程语言

PC 是以程序的形式进行工作的，所以必须把控制要求变换成 PC 能接受并执行的程序，编制程序应用编程语言。PC 常用的编程语言有以下几种：梯形图语言、助记符语言、逻辑功能图语言和某些高级语言，但目前使用最多最普遍的是梯形图语言及助记符语言。

一、梯形图编程语言

梯形图及用梯形图语言编程的主要特点，概括起来主要有：

① 梯形图是一种图形语言，它沿用继电器的触点、线圈、串并联等术语和图形符号，并增加了一些继电器控制中没有的符号，因此梯形图与继电器控制图的形式及符号有许多相同或相仿的地方。梯形图按自上而下，从左到右的顺序排列，最左边的竖线称为起始母线也叫左母线，然后按一定的控制要求和规则连接各个触点，最后以继电器线圈结束，称为一逻辑行或叫一“梯级”，一般在最右边还加上一竖线，这一竖线称为右母线。通常一个梯形图中有若干逻辑行（梯级），形似梯子，如图 8-1 所示，梯形图由此而得名。梯形图比较形象直观，容易掌握，用得很多，堪称用户第一编程语言。

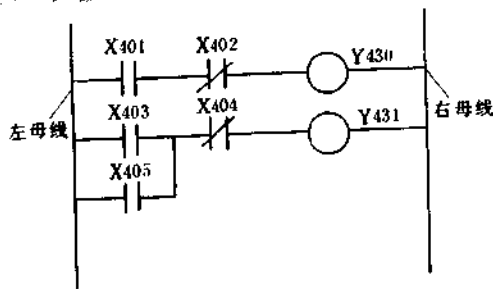


图 8-1 梯形图

② 梯形图中接点（触点）只有常开和常闭接点，它可以是 PC 输入点接的外部开关（启动按钮、行程开关等）接点，但通常是 PC 内部继电器接点或内部寄存器、计数器等状态。不同 PC 内每种接点有自己特定的号码标记，以示区别。

③ 梯形图中的继电器线圈不全是实际继电器线圈，它包括输出继电器、辅助继电器线圈等，其逻辑动作只有线圈接通之后，才能使对应的常开或常闭接点动作。

④ 梯形中触点可以任意串联或并联，但继电器线圈只能并联而不能串联。

⑤ 内部继电器、计数器、移位寄存器等均不能直接控制外部负载，只能作中间结果供 PC 内部使用。

⑥ PC 是按循环扫描方式沿梯形图的先后顺序执行程序，在同一扫描周期中的结果保留在输出状态暂存器中，所以输出点的值在用户程序中可以作为条件使用。

⑦ 程序结束时要有结束标志 END。

二、助记符编程语言

助记符语言，就是用表示 PC 各种功能的助记功能缩写符号和相应的器件编号组成的程序表达方式。例如 LD X400。像这样的每句助记符编程语言就是一条指令或程序。助记符语言比微机中使用的汇编语言直观易懂，编程简单。但不同厂家制造的 PC 所使用的助记符不尽

相同，所以对于同一个梯形图来说，写成对应的程序（语句表）也不尽相同，要将梯形图语言转换成助记符语言，必须先弄清楚所用 PC 的型号及内部各种器件的标号、使用范围及每条助记符使用方法。

三、逻辑功能图

也可采用逻辑功能图来编写程序，所以逻辑功能图也是 PC 的一种编程语言。这种编程方式基本上沿用了半导体逻辑电路的逻辑框图来表达。一般用一个运算框图表示一种功能，框图内的符号表达了该框内的运算功能。控制逻辑常用“与”、“或”、“非”三种逻辑功能来表达。框的左边画输入，右边画输出。

四、高级语言

在大型 PC 中为了完成比较复杂的控制，有的也采用 BASIC 等计算机高级语言，这样 PC 的功能就更强。

目前各种类型的 PC，一般都同时具备两种或两种以上的编程语言，而且大多数都能同时使用梯形图语言和助记符语言。虽然不同厂家和类型的 PC 的梯形图、指令系统和使用符号有些差异，但编程的基本原理和方法是相同或相仿的。因此掌握了一种型号 PC 的编程语言和方法，再学另一种类型 PC 的编程语言和方法就容易了。本书结合日本三菱公司 F 系列 PC，介绍使用梯形图编程语言和助记符编程语言。

第二节 PC 的指令系统及编程方法

F 系列 PC 使用相互对应的梯形图和助记符两种编程语言。F 系列 PC 提供多条基本指令，基本指令用于接点的逻辑运算、输入输出操作、定时及计数等。这些指令可以从编程器上与它的助记符相对应的键输入。下面介绍这些指令。

一、LD、LDI、OUT 指令

LD (Load)；LD 指令适用于梯形图中与左母线相连的第一个常开触点，表示一个逻辑行的开始，如图 8-2a 梯形图中的 X400 的常开触点。

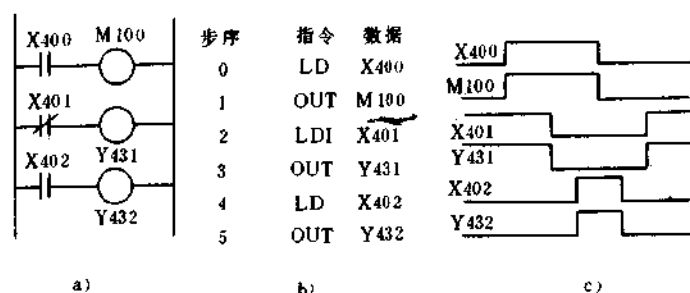


图 8-2 LD、LDI、OUT 指令的用法

a) 梯形图 b) 指令程序 c) 波形图

LDI (Load Inverse)；LDI 指令适用于梯形图中与左母线相连的第一个常闭触点，如图 8-2a 中的 X401 常闭触点。

LD 和 LDI 指令有的分别叫做取指令、取反指令。这两种指令在梯形图分支起点处，应与后述的 ANB 指令一起使用。

OUT (Out): 线圈驱动指令 (又叫输出指令), 适用于将运算结果驱动输出继电器、辅助继电器、定时器和计数器的线圈, 但不能用于输入继电器。但OUT指令用于计数器和定时器时必须有常数K值紧跟, K分别表示定时器的定时时间或计数器的计数次数, 它也作为一个步序。OUT指令用法如图8-2所示。

书写指令程序时, 每条指令写一行, 左边为步序号, 中间为助记符或常数K, 右边为器件的编号或是定时器和计数器的设定常数K值, 器件的编号和K值合称为数据, 如图8-2b中指令程序所示。LD、LDI、OUT指令使用方法见图8-2。

二、AND、ANI指令

AND (And): AND指令 (又叫“与”指令) 适用于和触点串联的常开触点, 如图8-3a中X402的常开触点。

ANI (And inverse): 本指令 (又叫与反指令) 适用于和触点串联的常闭触点, 如图8-3a中X404常闭触点。

这两条指令是用于串联一个触点的指令, 串联的触点数量理论上不限, 即可多次使用这两条指令。

以上两条指令使用方法如图8-3所示。

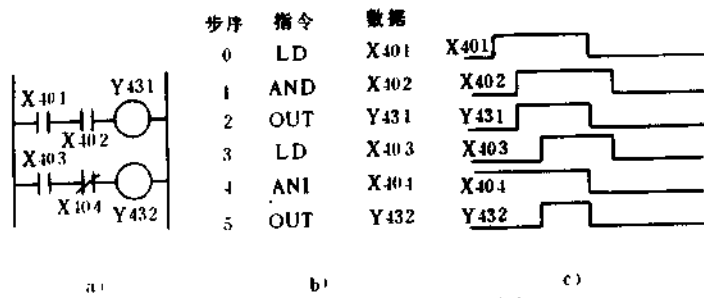


图8-3 AND、ANI指令的用法

a) 梯形图 b) 指令程序 c) 波形图

三、OR、ORI指令

OR (Or): 这条指令 (又叫“或”指令) 适用于和触点并联的常开触点, 如图8-4a中的常开触点X402。

ORI (Or inverse): 这条指令 (又叫“或”反指令) 适用于和触点并联的常闭触点, 如图8-4a中的常闭触点X404。

这两条指令是用于并联连接仅含有一个触点支路的指令, 这种支路并联的数量理论上不



图8-4 OR、ORI指令的用法

a) 梯形图 b) 指令程序 c) 波形图

受限制。但是，如果要把含有两个以上的触点串联电路进行并联连接时，就要用到后面介绍的 ORB 指令。OR、ORI 指令的用法如图 8-4 所示。

四、ORB 指令

ORB (Or Block)：块“或”指令，或者称为串联电路块（组）并联连接指令，适用于两个或两个以上触点串联连接电路块（组）的并联。这时并联支路块都是从 LD 或者 LDI 指令开始，而在该支路的终点要用 ORB 指令，且 ORB 指令后面不带数据。此外，并联电路块（组）的个数理论上没有限制。ORB 指令的用法如图 8-5 所示。从图 8-5 可见，实际上是触点串联支路的并联连接。

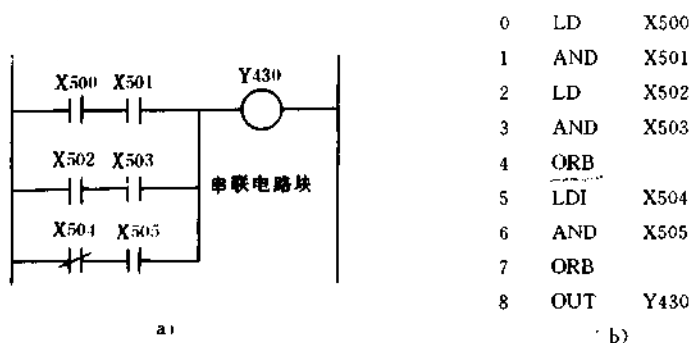


图 8-5 ORB 指令的用法

a) 梯形图 b) 指令程序

五、ANB 指令

ANB (And Block)：块“与”指令，或者称为并联电路块（组）的串联连接指令。适用于两个或两个以上触点并联电路块（组）的串联连接。使用本指令时，并联电路块都是从 LD 或 LDI 指令开始。每完成两个并联电路块串联连接后用 ANB 指令，但 ANB 指令后面不带数据，在使用 ANB 指令将并联电路与前面电路串联连接前，应先完成并联电路块的程序编制。多个并联电路块从左到右按顺序串联连接时，可以多次使用 ANB 指令。ANB 指令用法如图 8-6 所示。

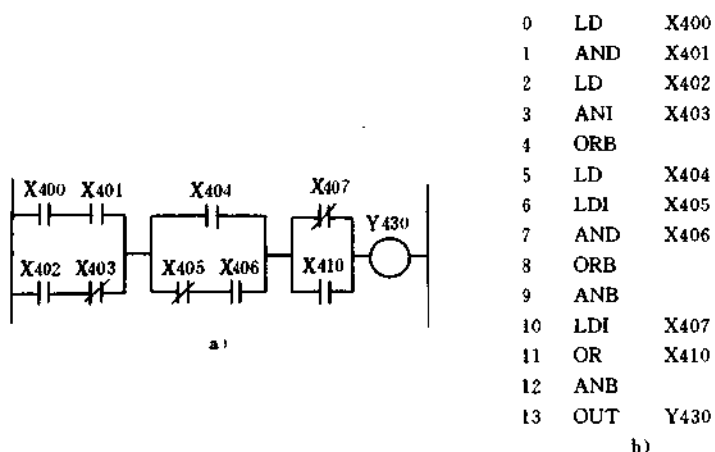


图 8-6 ANB 指令的用法

a) 梯形图 b) 指令程序

六、RST 指令

RST (Reset): 计数器和移位寄存器的复位指令。适用于将计数器的当前值回复到设定值或清除移位寄存器中所有位的信息即清零。

计数器有计数输入和复位输入两个输入端。图 8-7 表示计数电路和 RST 指令的使用方法。当计数输入端触点 X401 每次从断开到接通时, 计数器的值(图中设定值为 5)减 1, 当 X401 通断 5 次后, 则计数器的当前值为 0, 此时计数器的线圈 C460 接通, 其常开触点闭合, 输出继电器 Y430 接通。此后 C460 的状态值是连续保持的。如果要计数器从当前值回到最初设定值, 则要接通复位输入端的触点 X407, RST 起复位作用, 此时 C460 的线圈断开, 其常开触点断开。RST 指令总是优先执行的, 因此当 RST 的输入保持时, 对计数器或移位寄存器的输入不再接受。

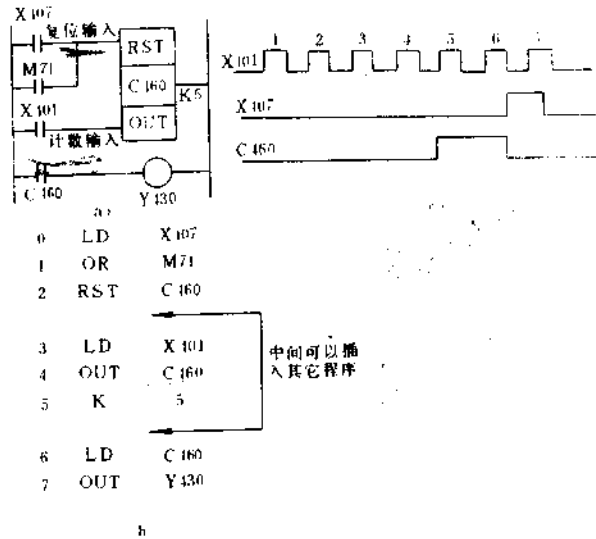


图 8-7 计数器电路及 RST 指令的用法

a) 计数器电路 b) 指令程序 c) 计数器波形图

前面已介绍过所有计数器和部分寄存器具有掉电保护功能。所以当不必再保持计数器或移位寄存器原有状态时, 在工作开始之前, 要使用特殊辅助继电器 M71, 在主机投入运行的瞬时, 产生的初始化脉冲, 使计数器或移位寄存器复位。

七、PLS 指令

PLS (Pulse): 脉冲指令。本指令适用于计数器、移位寄存器的复位输入。因为使用本指令能使辅助继电器触点接通产生一个宽度等于一个扫描周期的脉冲。PLS 的用法如图 8-8 所示。从图中可见, 每当 X400 由断态变为通态时, 在这一输入信号的上升沿产生微分脉冲信号。

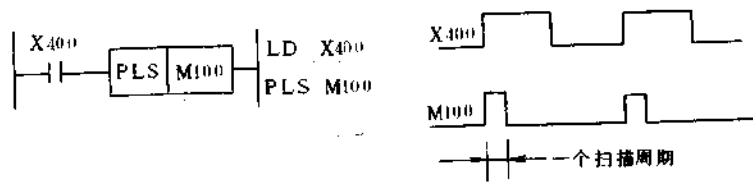


图 8-8 PLS 指令的用法

八、SFT 指令

SFT (Shift): 移位指令。本指令适用于将移位寄存器中的内容作移位操作。前面已述可由 8 个或 16 个辅助继电器组成移位寄存器。移位寄存器电路与 SFT 指令的用法如图 8-9 所示。

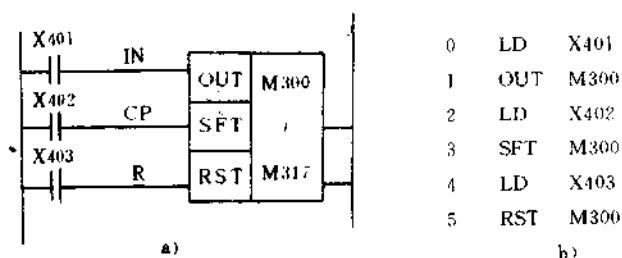


图 8-9 移位寄存器电路与 SFT 指令用法

a) 移位寄存器电路 b) SFT 指令程序

移位寄存器三个输入端功能介绍如下:

数据输入端 IN: 当连接 IN 端的触点 (图中 X401) 接通时, 表示把“1”送到移位寄存器的最低位 (图中为 M300), 反之则把“0”送到此位。

移位信号输入端 CP: 当连接 CP 端的触点 (图中 X402) 每由断变通一次, 来一个脉冲时, 移位寄存器的内容从编号小的低位 (图中 M300), 向编号大的高位 (图中 M317) 顺序移动一位, 最高位原来的数据丢失。

复位信号输入端 R: 当连接 R 的触点 (图中 X403) 接通时, 对应的辅助继电器 (图中 M300 ~ M317) 全部断开, 即移位寄存器全部清零。如果 R 端连接的触点一直处于接通状态, 则数据输入和移位输入的信号全无效。

如果需要用两个 16 位移位寄存器构成 32 位移位寄存器, 则这两组移位寄存器应“串联”使用, 后一级寄存器的程序应放在前面, 用前级移位寄存器的最高一位的输出, 作为后级移位寄存器的数据输入信号, 而且两组移位寄存器的移位输入端外接的触点、复位输入端外接的触点之器件号应相同。移位顺序为 M100→M101……→M107→M110→M111……→M117→M120→M121……→M127→M130→M131……→M137。移位寄存器的串联使用如图 8-10 所示。

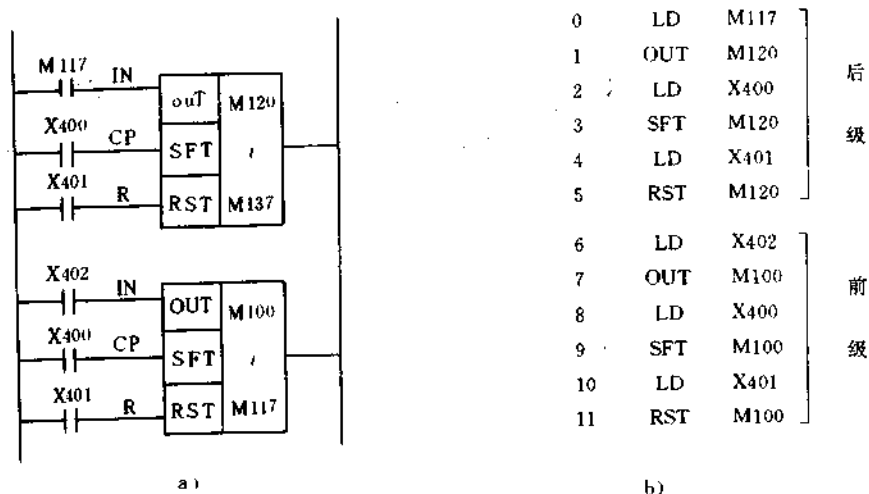


图 8-10 移位寄存器的串联使用

a) 梯形图 b) 指令程序

九、S、R 指令

S (Set): 置位指令。

R (Reset): 复位指令。

这两条指令用于输出继电器 Y 和辅助继电器 M200~M377 线圈的自保持和复位。S 为置位端使线圈接通, R 为复位端使线圈断电。这两条指令的用法如图 8-11 所示。在图 8-11 中,一旦 X400 闭合,即使 X400 再断开, M200 仍保持接通状态。一旦 X401 闭合,即使它又断开, M200 还保持断开状态。可见这两条指令均有“记忆”功能。在 S 与 R 指令程序区间内可插入其他程序。在这两条指令程序之间没有插入其它程序,如果 X400 与 X401 同时闭合,优

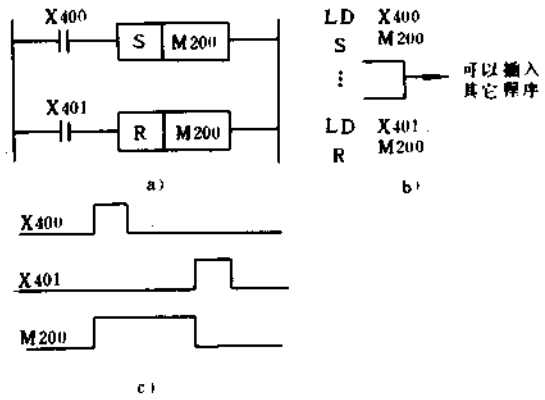
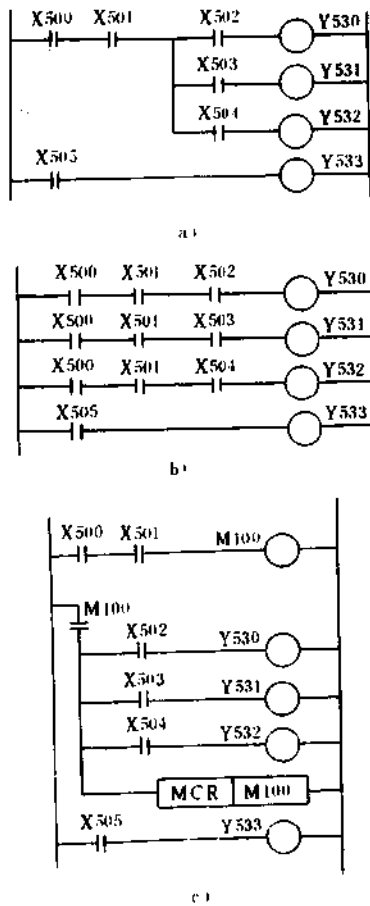


图 8-11 S、R 指令的用法
a) 梯形图 b) 指令程序 c) 波形图



```

0  LD  X500
1  AND X501
2  OUT M100
3  MC  M100
4  LD  X502
5  OUT Y530
6  LD  X503
7  OUT Y531
8  LD  X504
9  OUT Y532
10 MCR M100
11 LD  X505
12 OUT Y533
13 END
    
```

图 8-12 多路输出和 MC、MCR 电路

a) 多路输出电路 b) 转换后的多路输出电路 c) MC、MCR 电路 d) 指令程序

先执行 R 指令。

十、MC、MCR 指令

MC (Master Control): 主控开始指令, 用于在相同控制条件下多路 (每条支路一般都含有串联触点) 输出。

MCR (Master Control Reset): 主控返回指令, 用于 MC 指令的复位指令, 即主控结束时返回母线。这一对指令使用的器件为辅助继电器 M100~M177。

图 8-12a 有多个继电器 (Y530、Y531、Y532) 同时受一个触点或一组触点 (图中 X500、X501) 控制, 这种控制称为主控。可以把多个继电器分别编在独立的逻辑行 (梯级) 中, 而每个继电器都由相同的条件控制, 如图 8-12b 所示。但这样编程较长和占用了较多的用户存储区, 不理想。如果用主控指令来解决图 8-12a 的编程问题, 则简洁明了, 如图 8-12c 所示。这样 MC 指令与原来的母线相连, 即将原来的母线移到新的母线上, 再用 MCR 指令使各支路起点回到原来的母线上。

须注意, MC 和 MCR 是一对指令, 必须成对使用。在主控指令 MC 后面均由 LD 或 LDI 指令开始。

十一、CJP、EJP 指令

(一) CJP、EJP 指令的功能与基本用法

CJP (Condition Jump): 转移开始 (条件转移) 指令。

EJP (End of Jump): 转移结束 (转移目的地指示) 指令。

CJP、EJP 后面的编号用 3 位八进制数 700~777 表示, 共 64 个。当连接 CJP 的触点闭合时, 则停止执行 CJP 与 EJP 之间的程序, 转移去执行 EJP 之后的程序, 否则按顺序执行程序, 这就是这对指令的功能。CJP、EJP 指令执行过程如图 8-13 所示。在图 8-13 中, 当 X400 闭合时, 则跳过程序 B, 转去执行程序 C, 否则按顺序执行程序 A→B→C。显然, 使用转移指令可减少执行程序的时间。使用转移指令举例如图 8-14

所示。如果图 8-14a 中 X411 闭合, 则转移开始, 跳去执行 EJP700 下面那一条指令, 即 X403 接通时, Y431 线圈也接通。而被跳过的 Y432、M102 等保持原来状态; 计数器 C461 中断计数操作, 保留现行值, 待转移无效后继续计数; 定时器的的工作情形, 对不同 PC 和定时器不尽相同, (参见图 8-19), 后面将作较具体介绍。

(二) 具有相同转移目标的多条转移指令

在同一个程序中, 如果需要多个 CJP 转移到相同的目的地, 则用相同的编号, 如图 8-15 所示。只要图中任何一个触点 X400、X402、X404 闭合, 则所有 CJP 701 都接通, 这时跳到执行 EJP701 后面的程序, 即当 X406 闭合时, Y434 线圈被接通。

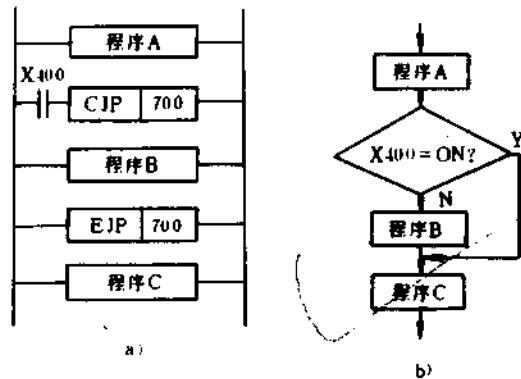
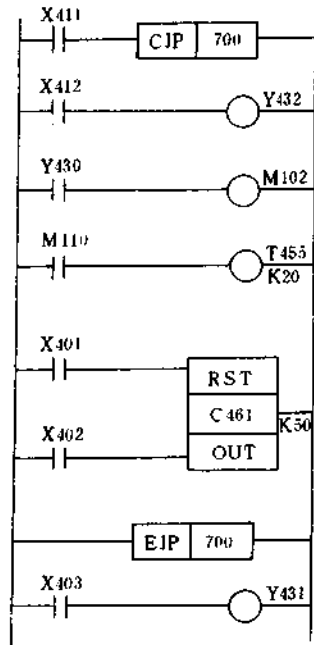


图 8-13 CJP、EJP 指令执行过程

a) 梯形图 b) 流程图



0	LD	X411
1	CJP	700
2	LD	X412
3	OUT	Y432
4	LD	Y430
5	OUT	M102
6	LD	M110
7	OUT	T453
8	K	20
9	LD	X401
10	RST	C461
11	LD	X402
12	OUT	C461
13	K	50
14	EJP	700
15	LD	X403
16	OUT	Y431

a)

b)

图 8-14 转移指令基本用法举例

a) 梯形图 b) 指令程序

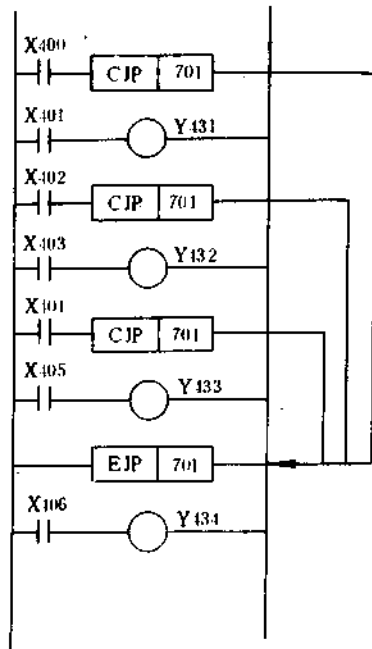


图 8-15 具有相同转移目标的多条转移指令

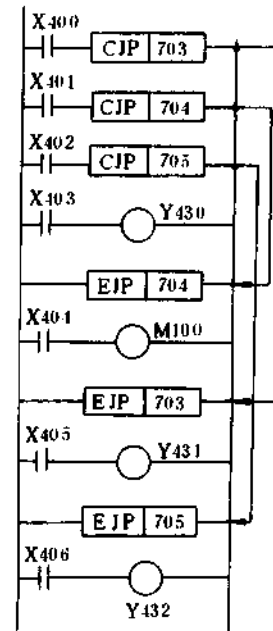


图 8-16 多重转移指令

(三) 多重转移指令

多重转移指令即为 CJP、EJP 指令的嵌套用法，如图 8-16 所示。多个 CJP 指令嵌套使用的情况下，外围的跳转指令起作用，而内圈的将不起作用。假设图 8-16 中 X400 接通时，则 CJP703 起作用，而 CJP704 和 CJP705 不起作用。当 X401 闭合时，CJP704 起作用，而 CJP705 不起作用。

(四) 主控指令和转移指令的配合使用

CJP、EJP 和 MC、MCR 指令的配合使用，如图 8-17 所示。在这种情况下程序执行比较复杂，现分几种情况进行说明。

1. 从 MC 外部到 MC 外部的转移 如图中由 CJP700 跳到 EJP700，这种转移与 MC 指令无关。

2. 从 MC 外部到 MC 内部的转移 如图中从 CJP701 转到 EJP701，这种转移与 MC 状态无关，即使 MC M100 是断开的，仍可看成接通状态，执行转移之后的程序。

3. 从 MC 内部到 MC 内部的转移 如图中从 CJP702 转到 EJP702，当 MC M100 接通时，执行转移指令，否则转移无效。

4. 从 MC 内部到 MC 外部的转移 如从图中 MC M100 内的 CJP703 转移到 EJP703，如果 MC M100 接通，那么转移指令有效，但 MCR 指令无效。若 MC M100 断开，则不执行转移。

5. 从 MC 内部到其它 MC 内部的转移 如图中下方，从 MC M101 内部到 MC M102 内部的转移，只要 MC M101 接通，执行转移。这时无无论 MC M102 接通或断开，都把它当作接通，转移去执行 EJP704 后面的程序，此时 MCR M101 无效。

(五) 使用转移指令应注意的问题

1. CJP、EJP 指令 该指令必须成对使用，缺一不可，而且 CJP 指令总是在前，EJP 指令居后，此外配对使用的 CJP、EJP 指令后面的编号应一致。

2. 双线圈与转移指令 这种指令如图 8-18 所示。图中两个程序段的转移条件刚好相反，第一程序段转移条件是常开触点 X400，而第二程序段转移条件是常闭触点 X400，

但两个程序段中都有相同的输出继电器 Y430。这时哪个程序段在执行，则这段程序中的 OUT 指令便按条件执行。如果 X400 常开触点闭合，则转移到执行第二程序段，X501 闭合时则 Y430 输出，否则无输出。假设 X400 常开触点断开时，则执行第一段程序，当 X500 闭合时 Y430 有输出，否则没有输出。

3. 在转移指令中含有定时器 这种情况如图 8-19 所示。X410 接通执行转移时，如果 X411 和 X412 断开，则定时器 T451 和 T651 不计；但是，假定 X411 和 X422 已闭合，定时

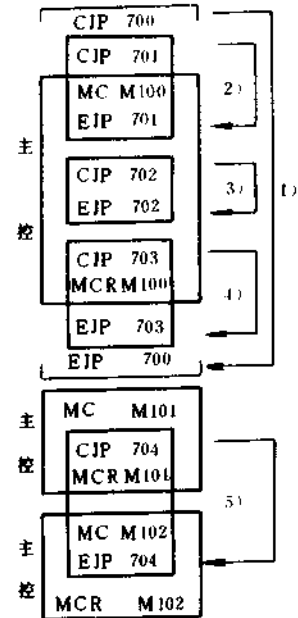


图 8-17 主控与转移指令配合使用

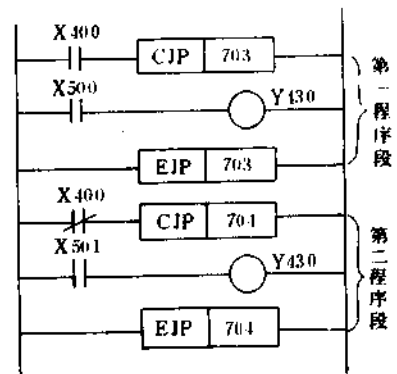


图 8-18 双线圈与转移指令

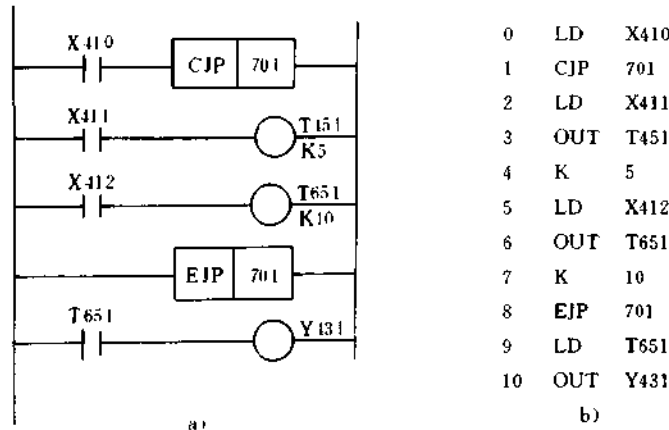


图 8-19 定时器与转移指令
a) 梯形图 b) 指令程序

器正在计时，这时不同型号的定时器工作方式则不同：

① 对 F-40 的 PC 的 T450~T457、T550~T557 (0.1s 定时器) 定时器继续计时，到定时结束时输出触点接通。

② 对 F₁、F₂-40M 和 60M 的 PC，T50~T57、T450~T457、T550~T557 (0.1s 定时器) 中断计时，待转移指令无效后继续计时。

③ 对 T650~T657 的 0.01s 定时器 (F₁ 系列 PC) 继续计时，但是，即使计时达到设定值时，定时器输出接点仍断开，待转移指令无效时，输出触点才接通。

十二、NOP 指令

NOP (Nop)：无操作 (空操作) 指令。NOP 后面无须任何数据。执行本指令时，不完成任何操作，只是占用一步的时间，本指令通常可用于以下几个方面。

① 指定某些步序编号 (地址) 内容为空，相当于指定存储器中某些单元内容为空，留作以后插入或修改程序用。

② 短接电路中某些触点。必要时可用 NOP 指令把电路中某些触点短接。如图 8-20a 中用 NOP 指令短接 X402、X403 触点。又如用 NOP 指令把图 8-20b 中的 X401 和 X402 触点短接，这时 0、1 和 4 号步序都要用 NOP 指令，不能像某些资料介绍的那样仅在 4 号步序用 NOP 指令，因为这样处理上机则通不过。

③ 删除某些触点。必要时可用 NOP 指令删除电

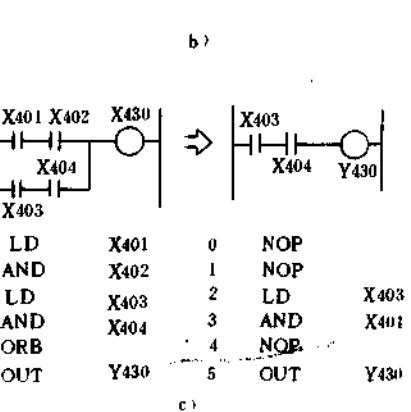
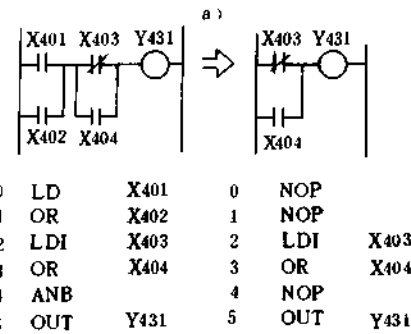
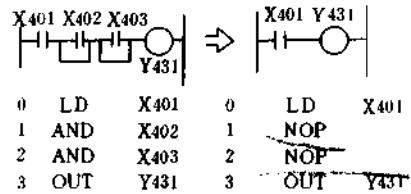


图 8-20 NOP 指令的用法
a) 短接触点 X402、X403
b) 短接触点 X401、X402
c) 删除触点 X401、X402

路中某些触点。如图 8-20c 中，用 NOP 指令删除（注意不是短接）触点 X401 和 X402，这时步序号 0、1 和 4 都要用 NOP 指令。强调指出，对这种情况不能像某些资料那样只用 NOP 指令取代 ORB 指令，否则出错。

需注意，使用 NOP 指令时，使电路构成发生了变化，往往容易出现错误，因此尽可能少用或不用该指令，且使用时要特别细心。比如要用 NOP 指令短接图 8-20c 中触点 X401，必须同时把 AND X402 改为 LD X402。

十三、END 指令

END 为程序结束指令。END 指令后面无须任何数据。常用此指令表示程序的结束，或在调试程序时，把程序分成为若干个程序段，将 END 指令插入每个程序段之末尾，这样可以分段调试程序，该段程序调试完毕后则可删去 END，如此逐段调下去，直到全部程序调试完成为止。

以上介绍了 F 系列 PC 的指令系统，为了便于查找，把这些指令列于表 8-1 中。

随着 PC 及其应用技术的不断发展，也不断涌现出功能更强的 PC，比如日本三菱公司产的 F₁、F₂ 系列 PC，比 F 系列 PC 增加了一些特殊功能继电器或模块，相应增多一些功能指令，因此使 PC 功能更强、适用更广。但它们对 F 系列有兼容性。因此掌握了 F 系列 PC 的功能与用法之后，学习和掌握 F₁ 或 F₂ 系列乃至其它型号的 PC 的功能与用法也就不难了。

表 8-1 F 系列 PC 指令功能与用法

指令类型	指令符号	功能	
		触点类型	用法
触点连接指令	LD	常开	接左母线或在分支回路起始处用
	LDI	常闭	
	AND	常开	触点串联
	ANI	常闭	
	OR	常开	触点并联
	ORI	常闭	
	ANB	电路块（组）的串联	
	ORB	电路块（组）的并联	
输出指令	OUT	驱动：输出继电器、辅助继电器、定时器、计数器	
	RST	将计数器复位至设定值或移位寄存器清零	
	PLS	使辅助继电器产生宽度为一个扫描周期的脉冲	
	SFT	使移位寄存器移位	
	S	使输出继电器、辅助继电器操作置位且保持	
	R	使输出继电器、辅助继电器操作复位且保持	
其它指令	MC	把多个并联支路与母线连接	
	MCR	使 MC 指令复位（主控结束时返回母线）	
	CJP	给出条件转移起点（转移开始）	
	EJP	给出条件转移终点（转移结束）	
	NOP	空操作（留空、短接或删除部分触点或电路）	
	END	程序结束（也可用于程序分段调试）	

第三节 编程基本规则与技巧

掌握了通用性编程方式梯形图编程语言和 PC 指令系统后,便可根据控制要求进行编程。为了使编程正确、快速和优化,必须掌握编程的基本规则和一些技巧。

① 梯形图按自上而下,从左到右的顺序排列,每一行起于左母线,终于右母线。继电器线圈与右母线直接连接,在右母线与线圈之间不能连接其它元素,如图 8-21 所示。

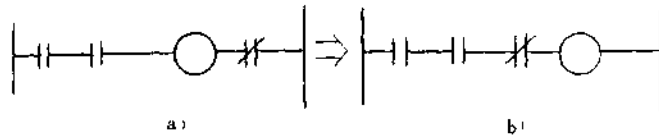


图 8-21 线圈置放的位置

a) 线圈置放位置错误 b) 线圈置放位置正确

② 在一梯形图中,同一编号的线圈如果使用两次或两次以上称为双线圈输出,一般情况下只能出现一次,因为双线圈输出容易引起操作错误。

③ 输入继电器、输出继电器、辅助继电器、定时器、计数器的触点可以多次使用,不受限制。

④ 在梯形图中,每行串联的触点数和每组并联电路的并联触点数,理论上没有受限制。但如果使用图形编程器由于受到屏幕尺寸的限制(例如使用 GP-80 图形编程器),则每行串联点数不应超过 11 个。

⑤ 输入继电器的线圈是由输入点上的外部输入信号控制驱动的,所以梯形图中输入继电器的触点用以表示对应点上的输入信号。

⑥ 把串联触点最多的支路编排在上方,如图 8-22a 所示,如果将串联触点多的支路安排在下面,如图 8-22b 所示,则需增加一条 ORB 指令,显然这种编排不好。

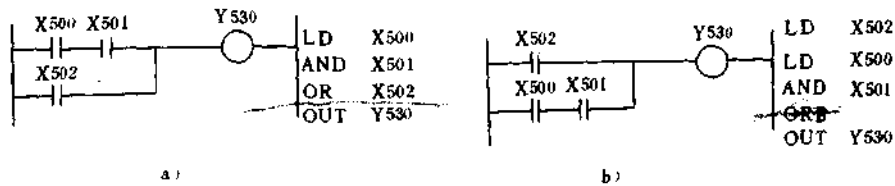


图 8-22 电路块并联的编排
a) 编排得好的电路 b) 编排得不好的电路

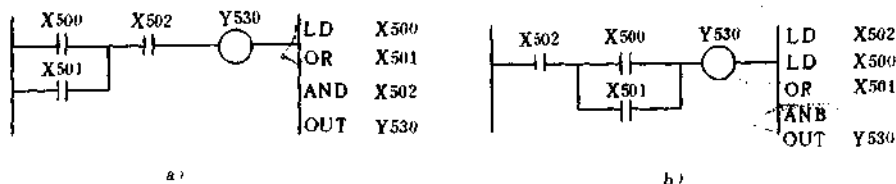


图 8-23 并联电路的串联编排
a) 编排得好的电路 b) 编排得不好的电路

⑦ 把触点最多的并联电路编排在最左边,如图 8-23a 所示,这比编排得不好的图 8-23b 可省去一条 ANB 指令。

⑧ 对桥式电路的编程处理。桥式电路如图 8-24a 所示,图中触点 5 有双向电流通过,这是不可编程的电路,因此必须根据逻辑功能,对该电路进行等效变换成可编程的电路,如图 8-24b 所示,图 8-24a 中线圈接通的条件为:

触点 1 和 2 同时接通,或者触点 3、5 和 2 同时接通;或者触点 1、5 和 4 同时接通;或者触点 3 和 4 同时接通。根据这些逻辑控制关系,可作出相对应的可编程的电路,如图 8-24b 所示,我们还可把图 8-24b 简化成图 8-24c。

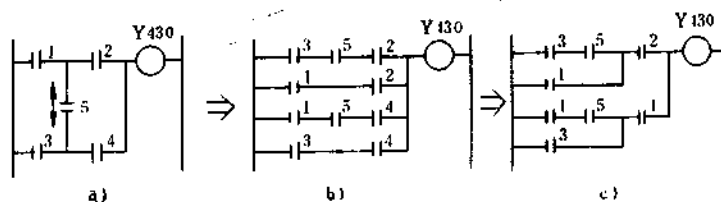


图 8-24 对桥式电路进行逻辑功能变换

a) 不可编程桥式电路 b) 可编程电路 c) 简化的可编程电路

⑨ 对复杂电路的编程处理。对结构复杂的电路,像上面一样对电路进行逻辑功能的等效变换处理,这样能使编程清晰明了,简便可行,不易出错。图 8-25a 电路,可等效变换成图 8-25b 电路。

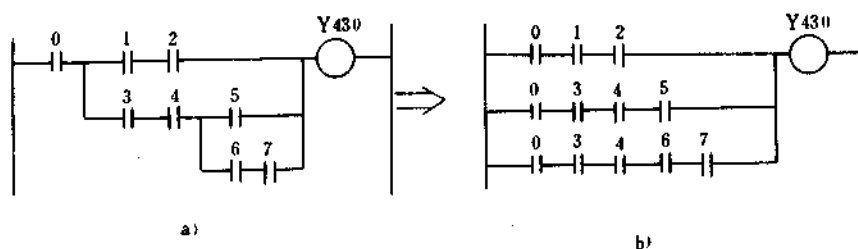


图 8-25 对复杂电路的等效变换

a) 复杂电路 b) 等效电路

⑩ 对常闭触点输入的编程处理。对输入外部控制信号的常闭触点,在编制梯形图时要特别小心,不然可能导致编程错误。现在在第一篇中介绍过的常用的电动机起动和停止控制线路为例,进行分析说明。

电动机起动停止的继电接触控制线路,如图 8-26a 所示,使用 PC 控制的对应梯形图如图 8-26b 所示,PC 控制的输入输出接线图如图 8-26c 所示。图 8-26c 中 SB₁ 为起动按钮(常开触点),SB₂ 为停机按钮(常闭触点)。从图 8-26c 中可见,由于常闭的 SB₂ 和 PC 的公共端 COM 已接通,在 PC 内部电源作用下输入继电器 X402 线圈已接通,其在图 8-26b 中的常闭触点 X402 已断开,所以按下起动按钮 SB₁ 时,输出继电器 Y431 不动作,电动机不能起动。解决这类问题的方法有两种:一是把图 8-26b 中常闭触点 X402,改为常开触点 X402,如图 8-26d 所示。二是把停止按钮 SB₂ 改为常开触点,这样就可采用图 8-26b 的梯形图。

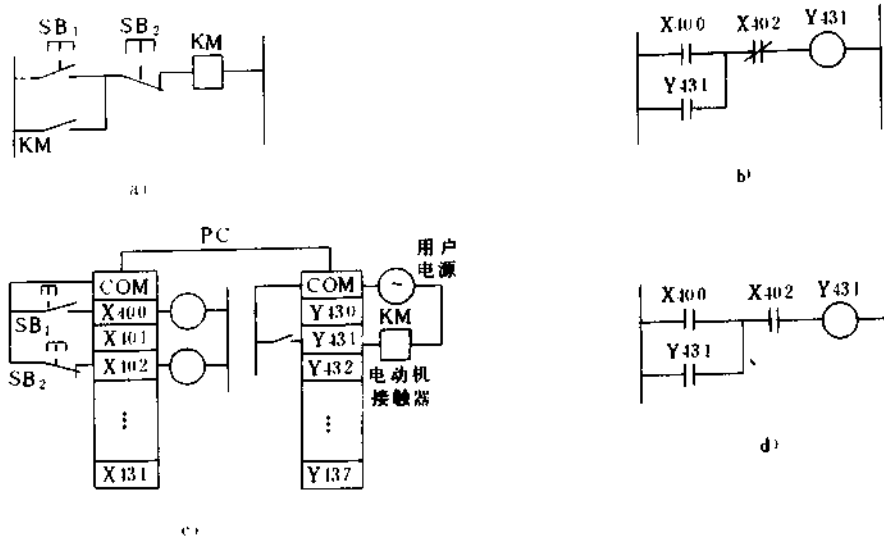


图 8-26 电动机起动停止控制线路

a) 继电器接触控制线路 b) 梯形图 c) PC 控制的输入输出接线 d) 梯形图

从上面分析可见，如果外部输入为常开触点，则编制的梯形图与继电器接触控制原理图一致。但是，如果外部输入是常闭触点，那么编制的梯形图与继电器接触控制原理图刚好相反。

上面介绍了 F 系列 PC 的指令系统、编程方法与技巧、内部继电器等。这些和将于第十章中介绍的 F₁ 系列 PC 的一样，两者兼容。但 F₁ 系列 PC 增加了一些继电器和功能指令等，这些在第十章中将作介绍。

第四节 编程举例

本节将介绍应用 PC 控制的一些电路的编程例子。

一、限位控制

双向限位的继电器接触控制线路如图 8-27 所示。采用 PC 控制的工作过程如下：输入输出接线示意图如图 8-27b 所示。梯形图如图 8-27c 所示。对应的指令程序如图 8-27d 所示。

图中 SQ₁ 和 SQ₂ 为限位开关，安装在预定位置上。按下正向起动按钮 SB₁，输入继电器 X400 常开触点闭合，输出继电器 Y430 线圈接通并自锁，Y430 的常闭触点断开输出继电器 Y431 的线圈，实现互锁，这时接触器 KM₁ 得电吸合，电动机正向运转，运动部件向前运行，当运行到终端位置时，装在运动物件上的挡铁（撞块）碰撞限位开关 SQ₁，SQ₁ 的常开触点闭合，使输入继电器 X404 的常闭触点断开，Y430 线圈断开，KM₁ 失电释放，电动机断电停转，运动部件停止运行。按下反向起动按钮 SB₂ 时，输入继电器 X401 常开触点闭合，输出继电器 Y431 线圈接通并自锁，接触器 KM₂ 得电吸合，电动机反向运行，运动部件向后运行至挡铁碰撞限位开关 SQ₂ 时，X405 的常闭触点断开 Y431 的线圈，KM₂ 失电释放，电动机停转，部件停止运行。停机时按下停机按钮 SB₃，X402 的两对常闭触点断开 Y430 或 Y431 的线圈，KM₁

或 KM_2 失电释放，电动机停下来。过载时热继电器 FR 常开触点闭合，X403 的两对常闭触点断开，Y430 或 Y431 线圈断开，电动机停下来。

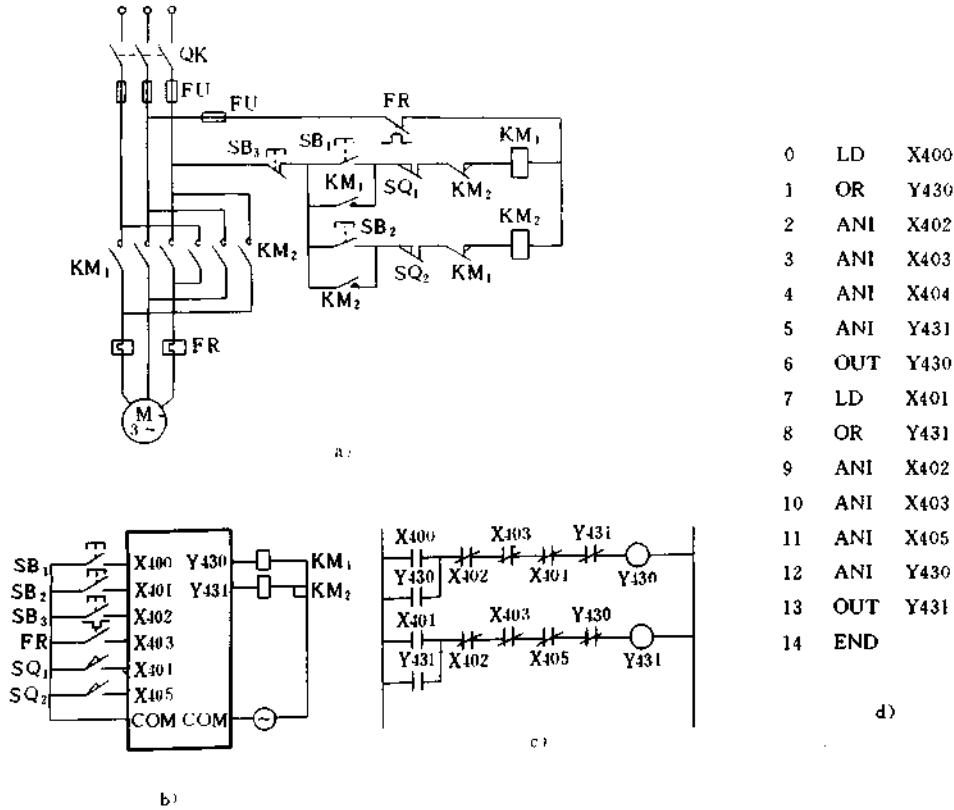


图 8-27 限位控制

a) 继电器接触控制 b) PC 控制的输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

二、具有电气联锁的电动机正反转控制

具有电气联锁的电动机正反转控制线路电气原理图，如图 8-28a 所示。PC 控制的输入输出接线图如图 8-28b 所示。梯形图如图 8-28c 所示。对应的指令程序如图 8-28d 所示。工作过程如下：

合上电源开关 QK，按下正向起动按钮 SB_1 ，输入继电器 X401 的常开触点闭合，输出继电器 Y430 线圈接通并自锁，接触器 KM_1 得电吸合，电动机正转。与此同时，Y430 的常闭触点断开 Y431 的线圈， KM_2 不能吸合，实现电气互锁。按下反向起动按钮 SB_2 时，X402 常开触点闭合，Y431 线圈接通， KM_2 得电吸合，电动机反转。与此同时，Y431 的常闭触头断开 Y430 的线圈， KM_1 不能吸合，实现电气联锁。停机时按下按钮 SB_3 ，X400 常闭触点断开；过载时热继电器触点 FR 闭合，X403 的常闭触点断开，这两种情况都使 Y430 或 Y431 线圈断开，进而使 KM_1 或 KM_2 失电释放，电动机停下来。

三、两台电动机顺序起动联锁控制线路之一

这种线路的继电器接触控制线路图如图 8-29 所示。PC 控制的输入输出接线图如图 8-29b 所示。梯形图如图 8-29c 所示。对应的指令程序如图 8-29d 所示。工作过程如下：

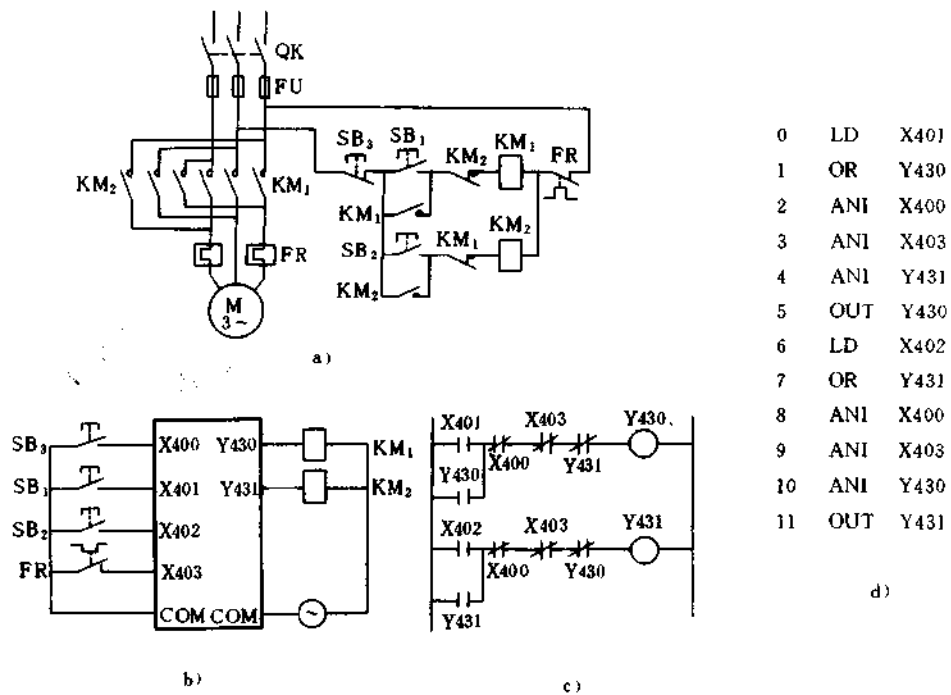


图 8-28 具有电气联锁的电动机正反转控制

a) 继电器控制 b) PC 输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

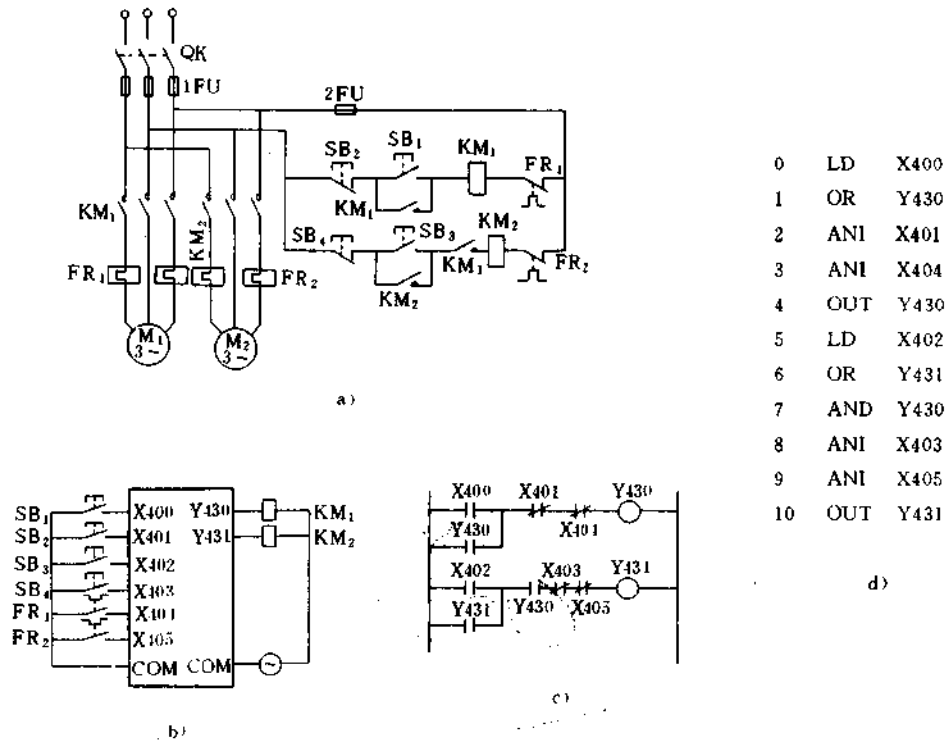


图 8-29 两台电动机顺序起动联锁控制线路之一

a) 继电器控制 b) PC 控制输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

按下起动按钮 SB₁, 输入继电器 X400 常开触点闭合, 输出继电器 Y430 线圈接通并自锁, 接触器 KM₁ 得电吸合, 电动机 M₁ 起动, 同时 Y430 的常开触点闭合, 为起动电动机 M₂ 作准备。可见, 只有电动机 M₁ 先起动, 电动机 M₂ 才能起动, 这时如果按下按钮 SB₃, X402 常开触点闭合, Y431 线圈接通, KM₂ 得电吸合, M₂ 起动。按下停机按钮 SB₂, X401 常闭触点断开; M₁ 过载时热继电器 FR₁ 常开触点闭合, X404 常闭触点断开, 这两种情况都能使 Y430 和 Y431 线圈断开, 两台电机都会停下来。而按下停止按钮 SB₄ 时, X403 常闭触点断开; M₂ 过载时, FR₂ 触点闭合, X405 常闭触点断开, 这两种情况均使 Y431 线圈断开, M₂ 停转, 而 M₁ 仍运行。

四、两台电动机顺序起动联锁控制线路之二

这种线路的继电器接触控制线路图如图 8-30 所示。PC 控制的输入输出接线如图 8-30b 所示。梯形图如图 8-30c 所示。对应的指令程序如图 8-30d 所示。工作过程如下:

合上电源开关 QK, 按下起动按钮 SB₁, 输入继电器 X400 常开触点闭合, 输出继电器 Y430 线圈接通并自锁, 接触器 KM₁ 得电吸合, 电动机 M₁ 起动。同时 Y430 常开触点闭合, 定时器 T450 开始计时 (K 值由用户设定), 延时 K 值时间后, T450 常开触点闭合, Y431 线圈接通并自锁, KM₂ 得电吸合, 电动机 M₂ 起动。可见只有 M₁ 先起动, M₂ 才能起动。按下停机按钮 SB₂, X401 常闭触点断开; M₁ 过载时, 热继电器 FR₁ 常开触点闭合, X402 常闭触点断开, 这两种情况都能使 Y430、Y431、T450 线圈断开, KM₁ 和 KM₂ 失电释放, 两台电动机都停下来。如果 M₂ 过载时, FR₂ 和 X403 动作, Y431 和 KM₂ 线圈都断开, M₂ 停转, 但 M₁ 仍继续运行。如果 M₂ 过载之后, 过一定时间 FR₂ 恢复常态, 则 M₂ 又自动起动运转。

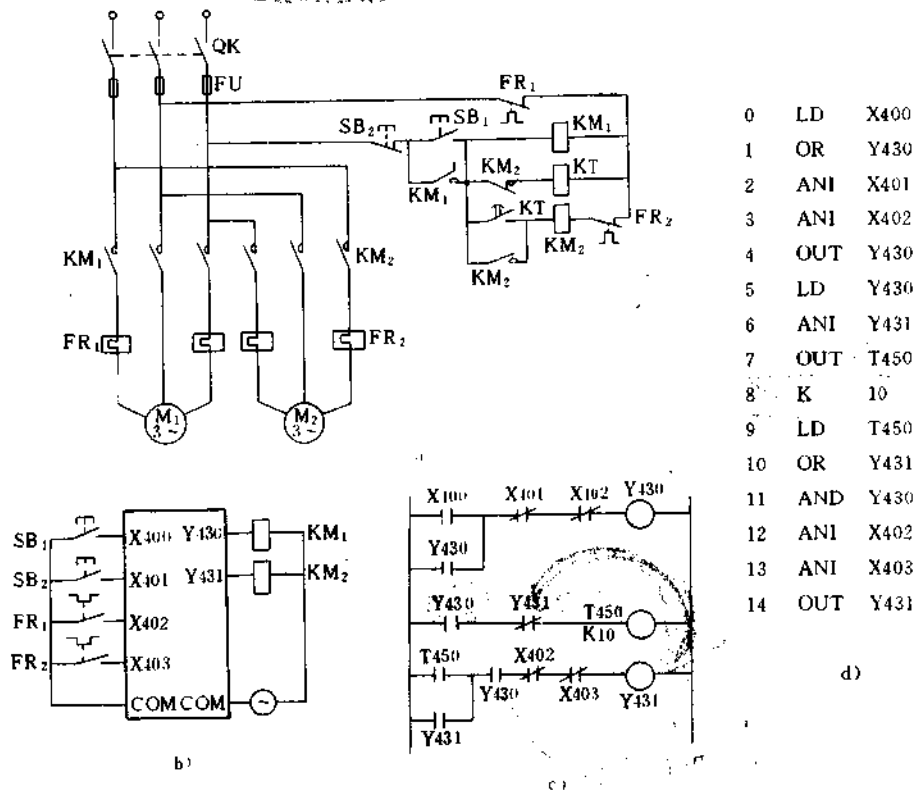


图 8-30 两台电动机顺序起动联锁控制线路之二

a) 继电器接触控制 b) PC 控制输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

五、电动机间歇运行控制

电动机间歇运行的继电接触控制线路,如图 8-31 所示。可用于机床自动间歇润滑控制等。PC 控制的输入输出接线如图 8-31b 所示。梯形图如图 8-31c 所示。对应的指令程序如图 8-31d 所示。工作过程如下:

合上电源开关 QK 和控制开关 S 后,输入继电器 X400 的常开触点闭合,定时器 T450 线圈接通,经过延时设定时间 K (K 值由用户设定) 后, T450 常开触点闭合, T451 和输出继电器 Y430 线圈接通,接触器 KM 得电吸合,电动机起动运行。经过一定时间延时后, T451 (其定时时间 K 值由用户设定) 常开触点闭合,辅助继电器 M100 线圈接通,其常闭触点断开 T450 线圈,进而使 T451、Y430、M100 线圈断开,电动机停下来。此时 M100 常闭触点又接通 T450 线圈,电动机停转一段 T450 设定的延时时间后, T450 常开触点又接通 T451 和 Y430 的线圈, KM 又得电吸合,电动机又起动运行,延时一定时间后又停止运行,电动机就这样周而复始地间歇运行下去。只有断开控制开关 S, X400 触点断开 T450 线圈,电动机才停止运转。

电动机运行时间的长短由定时器 T451 控制,停止时间的长短由定时器 T450 控制。延时时间根据实际要求确定。

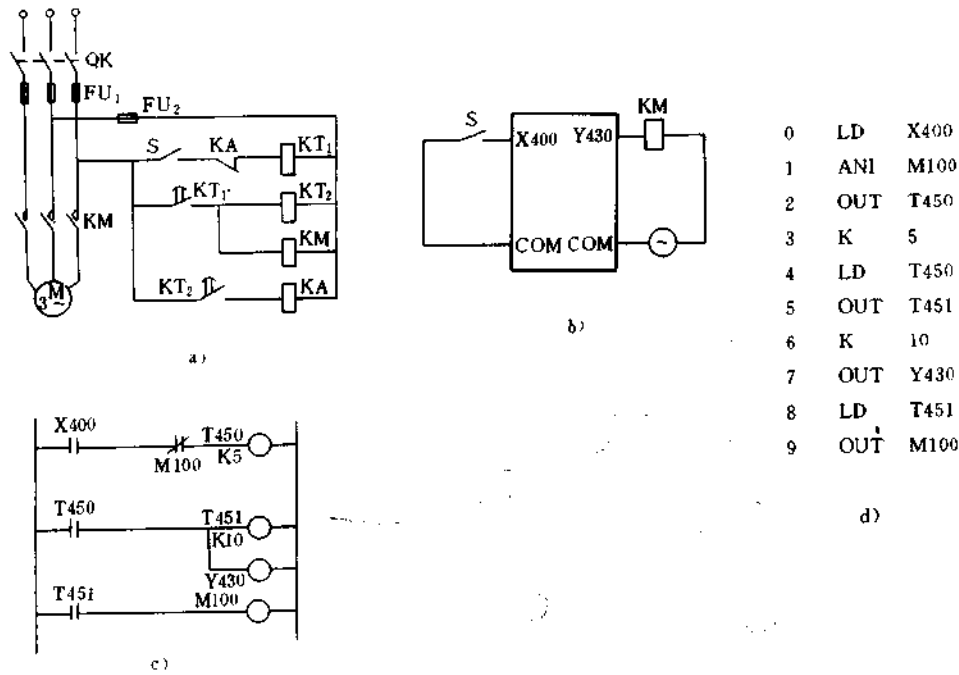


图 8-31 电动机间歇运行控制

a) 继电接触控制 b) PC 控制的输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

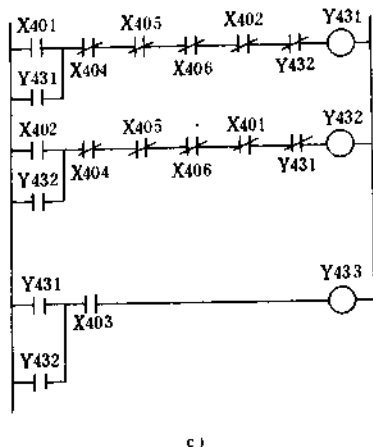
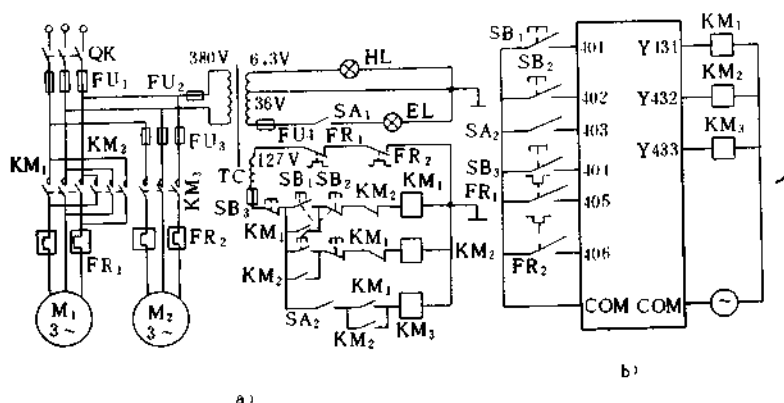
六、L-3 型普通车床的控制

L-3 型普通车床的继电接触控制线路,如图 8-32 所示。PC 控制的输入输出接线如图 8-32b 所示。梯形图如图 8-32c 所示。对应的指令程序如图 8-32d 所示。工作过程如下:

图 8-32 中 M₁ 为主拖动电动机,要求正反转控制, M₂ 为冷却泵电动机。SA₁ 和 SA₂ 为控制开关。

按下主电动机起动按钮 SB₁, 输入继电器 X401 常开触点闭合, 接通输出继电器 Y431 线

圈并自锁，使交流接触器 KM_1 得电吸合， M_1 正向运行。按下按钮 SB_2 时，X402 常开触点接通 Y432 线圈并自锁， KM_2 获电吸合， M_1 反向运行。不论主电动机是在正转或反转运行，Y431 或 Y432 线圈接通，它们常开触点 Y431 或 Y432 中有一对闭合，这时合上 SA_2 ，X403 常开触点接通 Y433 线圈， KM_3 有电吸合，电动机 M_2 起动运行，冷却泵工作，冷却液喷出，机床可加工工件。



0	LD	X401	10	ANI	X404
1	OR	Y431	11	ANI	X405
2	ANI	X404	12	ANI	X406
3	ANI	X405	13	ANI	X401
4	ANI	X406	14	ANI	Y431
5	ANI	X402	15	OUT	Y432
6	ANI	Y432	16	LD	Y431
7	OUT	Y431	17	OR	Y432
8	LD	X402	18	AND	X403
9	OR	Y432	19	OUT	Y433

图 8-32 L-3 型普通车床的控制

a) 继电器接触控制 b) PC 控制的输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

按下停机按钮 SB_3 ，X404 两对常闭触点分别断开 Y431 和 Y432 线圈，进而断开 Y433 线圈。 M_1 过载时，热继电器 FR_1 触点闭合，X405 两对触点断开 Y431 和 Y432 线圈，进而断开 Y433 线圈。 M_2 过载时， FR_2 触点动作，使 X406 常闭触点断开 Y431、Y432 和 Y433 线圈。以上三种情况，均使 KM_1 或 KM_2 及 KM_3 失电释放，两台电动机都停止运行。

在图 8-32c 中，Y431 和 Y432 的各一对常闭触点，互相串接于 Y432 和 Y431 线圈回路中，而且 X401 和 X402 也分别串接于 Y432 和 Y431 线圈回路中，这起到双重电气互锁的作用，以防止 M_1 正反转转换时，造成电源相间短路。

七、锅炉鼓风机和引风机的控制

锅炉鼓风机和引风机的控制要求为：开机时，先起动引风机， t_1 (s) 后开鼓风机；停机

时，先关鼓风机， t_2 (s) 后关引风机。引风机由接触器 KM_1 控制，鼓风机由接触器 KM_2 控制。控制时序图如图 8-33a 所示。延时时间 t_1 和 t_2 由用户设定，图中设定为 $t_1=10s$, $t_2=15s$ 。PC 控制工作过程如下：

开机时按下起动按钮 SB_1 ，输入继电器 $X401$ 的常开接点接通输出继电器 $Y431$ 和定时器 $T451$ 的线圈， $Y431$ 自锁， KM_1 有电吸合，引风机先起动，同时 $T451$ 开始计时，延时 t_1 (s) 后，接通 $Y432$ 的线圈， KM_2 得电吸合，鼓风机后起动，这时鼓风机和引风机都在工作运行。

停机时按下停机按钮 SB_2 ， $X402$ 接点接通辅助继电器 $M100$ 的线圈并自锁， $M100$ 的常闭接点断开 $Y432$ 的线圈， KM_2 失电释放，鼓风机先停止工作，与此同时 $M100$ 的一对常开接点闭合，定时器 $T452$ 线圈接通并开始计时，延时 t_2 (s) 后，它的常闭接点断开 $Y431$ 和 $M100$ 的线圈， KM_1 失电释放，引风机也停下来。

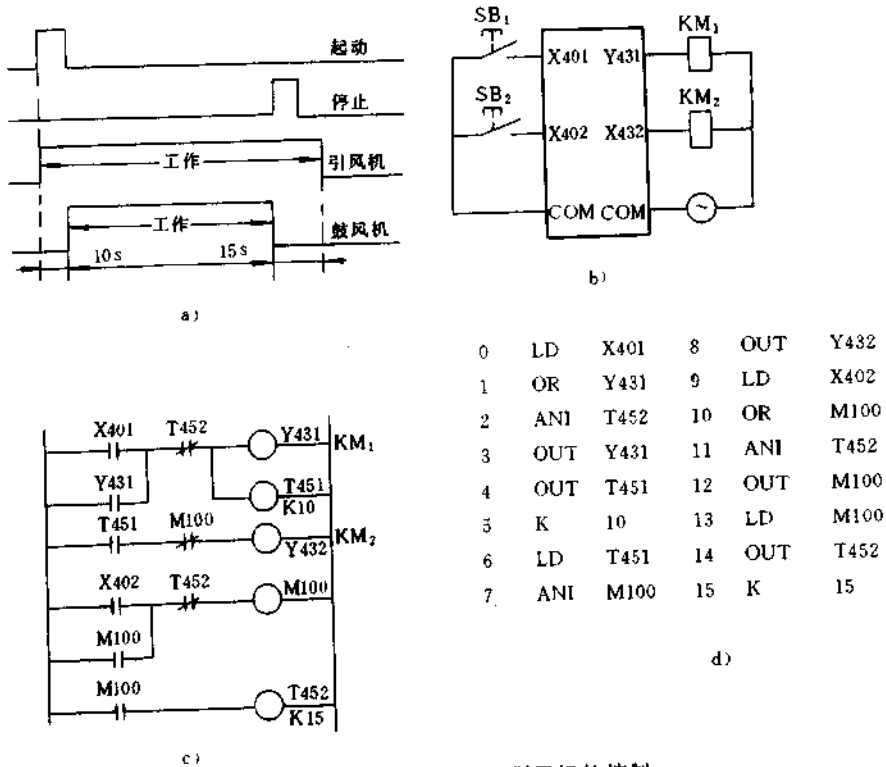


图 8-33 锅炉鼓风机和引风机的控制

a) 时序图 b) PC 控制输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

八、顺序脉冲发生器

顺序脉冲时序波形图，如图 8-34a 所示。当输入继电器 $X400$ 触点闭合时，输出继电器 $Y431$ 、 $Y432$ 、 $Y433$ 按设定顺序产生脉冲信号。当 $X400$ 断开时，所有输出都断开。用定时器产生这种顺序脉冲，梯形图如图 8-34b 所示。对应指令程序如图 8-34c 所示。工作原理如下：

当 $X400$ 接通时，定时器 $T450$ 开始计时，同时 $Y431$ 接通产生脉冲，当定时设定时间（此处 K 值均设定为 $10s$ ）到了， $T450$ 常闭触点断开 $Y431$ 线圈。 $T450$ 常开触点闭合， $T451$ 线圈接通并开始计时，同时 $Y432$ 接通输出脉冲，当 $T451$ 定时时间到，其常闭触点断开， $Y432$

输出也断开。与此同时，T451常开触点闭合，使T452和Y433线圈接通，T452开始计时，Y433输出脉冲。T452定时时间到，Y433断开。只要X400还接通，则重新开始产生顺序脉冲，如此反复下去，直至X400断开为止。定时器T450、T451、和T452的延时时间K值由用户设定。

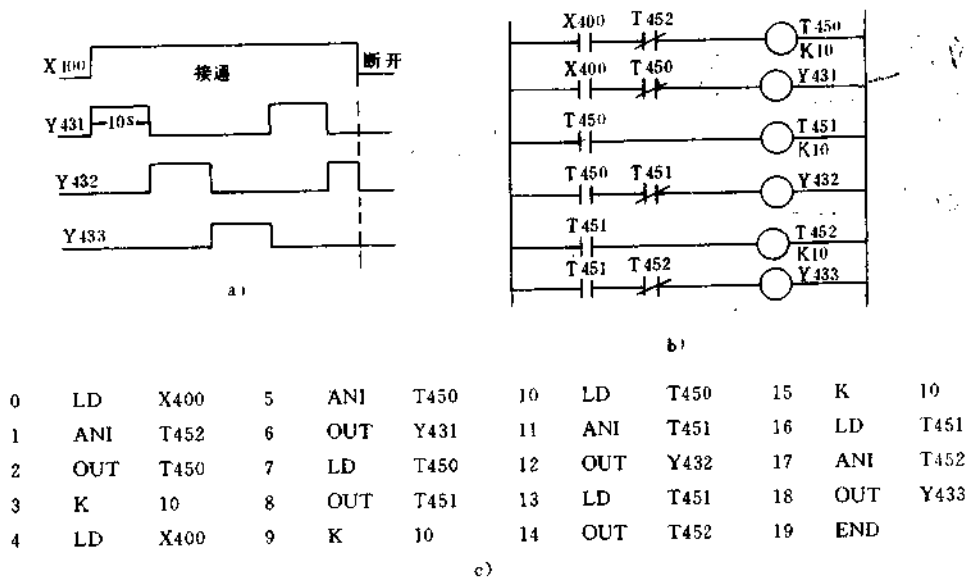


图 8-34 顺序脉冲发生器

a) 顺序脉冲波形图 b) 梯形图 c) 指令程序

九、方波与占空比可调的脉冲信号发生器

该发生器由两个定时器和一个输出继电器构成。定时器T450控制Y430接通时间，T451

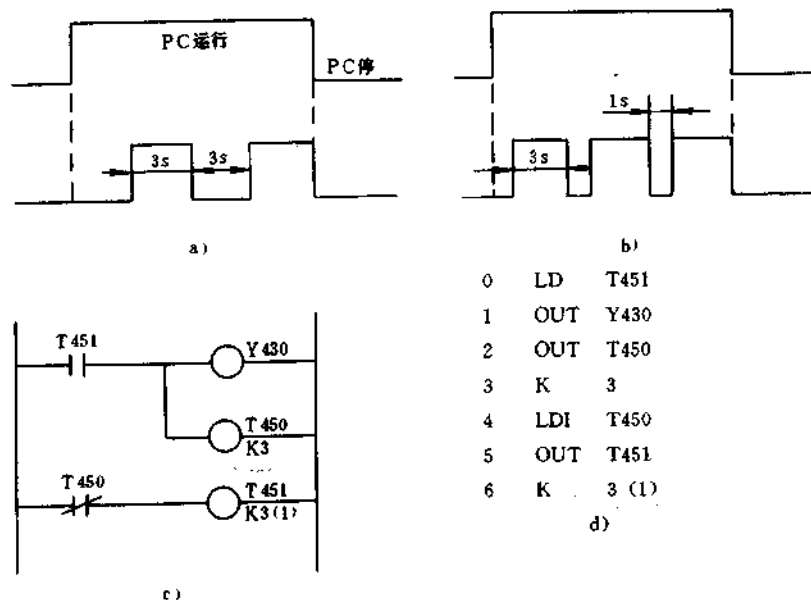


图 8-35 方波与占空比可调的脉冲信号发生器

a) 方波波形图 b) 脉冲波形图 c) 梯形图 d) 指令程序

控制 Y430 断开时间。Y430 作为方波或脉冲信号输出用。如果整定 T450 和 T451 定时时间相同，则输出为方波信号。假定调整两个定时器定时时间不同，则输出为占空比可调的脉冲信号。此处，若设定两个定时器时间设定值为 3s，则此时输出方波波形图如图 8-35a 所示。这里，调整占空比为 3:1，即 Y430 接通 3s，断开 1s，或称为输出高电平 3s，低电平 1s，这时输出波形图如图 8-35b 所示。梯形图如图 8-35c 所示，指令程序如图 8-35d 所示。

十、送料车自动循环控制

送料车工作示意图如图 8-36 所示。车子由电动机拖动，电动机正转车子前进，电动机反转车子后退。对送料车自动循环控制的要求为：第一次按动送料按钮，预先装满料的车子前进送料，到达卸料处 (SQ₂) 自动停下来卸料，经过卸料所需设定时间 t₂ 延时后，车子则自动返回到装料处 (SQ₁)，经过装料所需设定时间 t₁ 延时后，车子自动再次前进送料，卸完料后车子又自动返回装料，如此自动循环装料送料，送料车工作示意图如图 8-36a 所示。要求采用 PC 控制。

采用 PC 控制的输入输出配置接线图，如图 8-36b 所示。梯形图如图 8-36c 所示。对应的指令程序如图 8-36d 所示。工作过程如下：

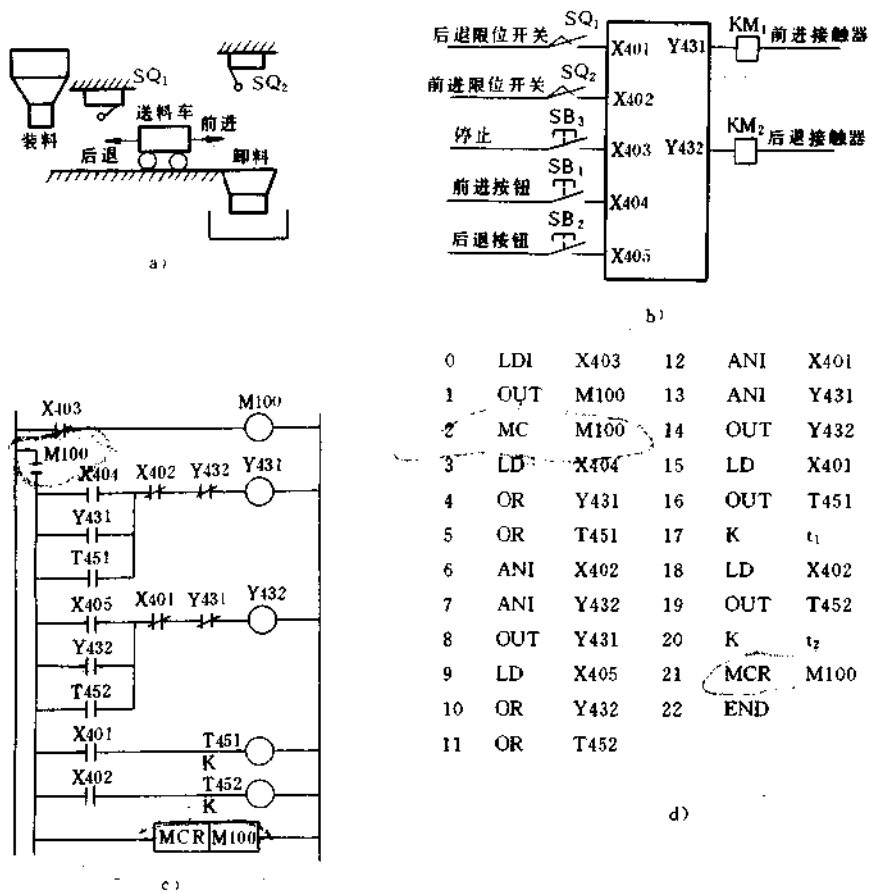


图 8-36 送料车自动循环控制

a) 送料车工作示意图 b) PC 控制输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

按下前进送料按钮 SB_1 ， X_{404} 接通 Y_{431} 线圈并自锁，前进接触器 KM_1 得电吸合，车子前进到卸料处，限位开关 SQ_2 动作， X_{402} 常闭触点断开 Y_{431} 线圈，电机停下，开始卸料，同时 X_{402} 常开触点闭合，定时器 T_{452} 开始计时，卸料所需延时时间 t_2 到， T_{452} 触点闭合，接通 Y_{432} 线圈，后退接触器 KM_2 得电吸合，车子返回。车子返回装料处，限位开关 SQ_1 动作， X_{401} 常闭触点断开，切断 Y_{432} 线圈通路， KM_2 失电释放，电动机停下来，进行装料，与此同时， X_{401} 接通 T_{451} ， T_{451} 开始装料计时，装料计时时间 t_1 到， T_{451} 触点接通 Y_{431} ， KM_1 获电吸合，电动机又正转，车子又前进送料。上述过程循环反复。按下停机按钮 SB_3 ， X_{403} 断开 M_{100} ，进而断开 Y_{431} 和 Y_{432} 线圈， KM_1 或 KM_2 失电释放。电动机停转，车子停止工作。延时时间 t_1 和 t_2 ，由用户设定其 K 值。

第九章 编程器的结构功能与使用操作

第一节 编程器的结构类型与功能用途

一、功能用途

编程器是PC的重要外围设备,也可看作是PC的一个智能模块,是每种PC必备的设备。它的主要功能用途在于:编辑与输入用户程序,调试与修改用户程序,监控程序的运行。随着PC功能在不断增强,编程器的功能也会逐步增加。

二、基本结构

编程器通用性基本结构如图9-1所示。它的结构与一个单板机基本相似,手携式编程器的外形与一个普通计算器大致相仿,日本产的F₁-20P编程器就是手携式编程器中的一种。下面主要叙述键盘功能、类型与显示器、选择开关、面版显示说明等。F₁-20P简易编程器面板图如图9-2所示。

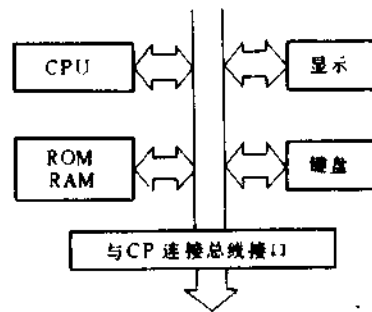


图9-1 编程器通用性基本结构图

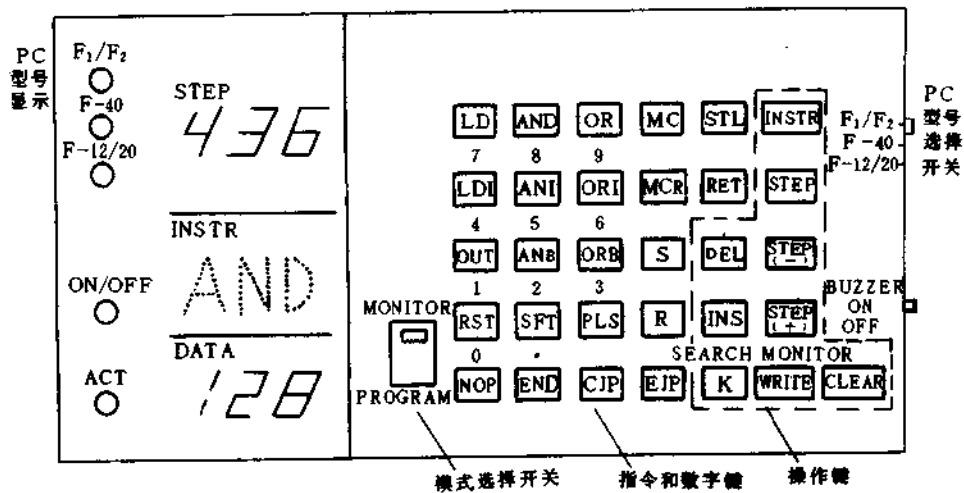


图9-2 F₁-20P简易编程器面板图

三、键盘功能

编程器键盘上的键按功能分类,通常可分为三类:数字键、指令键和操作(编辑)键。

1) 数字键主要用于输入程序中的器件号(数据)、定时器和计数器的设定数值或其它以数字形式出现的参数。

2) 指令键用于输入PC的指令。部分指令键与数字键公共,为双重功能键。对于双重功

能键，当前该实现哪一种功能，是由上一次按键自动决定的，即上一次操作若为指令键，则当前操作为数字键。

3) 程序编辑键（操作键）用于写入、插入、查找、修改、删除、显示程序和监视程序运行等。F₁-20P 手持式编程器操作键的功能如表 9-1 所示，具体用法后面将予以介绍。

表 9-1 F₁-20P 手持式编程器操作键功能表

键符号	功能说明
CLEAR (清除键)	清屏、在开始操作时使用
INSTR (指令键)	显示步序和指令
STEP (步序键)	显示或确定指令的步序号
STEP (-) (步序减键)	显示当前步序上一个步序号或指令
STEP (+) (步序加键)	显示当前步序下一个步序号或指令
DEL (删除键)	按此键即把当前显示的那一条程序删除
INS (插入键)	键一条新指令程序后按此键，即将这条新指令程序插入程序中
WRITE/MONITOR (写或监视键)	双功能键，编程时按此键将程序写入 PC；监控时，使用此键可监视器件工作状态
K/SEARCH (常数或搜索键)	双功能键，使用 K 键时输入设定常数；使用 SEARCH 时，从程序中搜索某一指定步序的指令或某一指定指令的步序号

四、编程器的分类与显示器

编程可分为三类：

1) 手携（持）式编程器又称简易编程器。通常把它直接插入 PC 的专用插座，与 PC 相连接，并由 PC 提供电源。通过按键将指令程序输入，并用数码管或单行显示器加以显示。但它只能与 PC 直接联机编程，不能脱机编程。这种编程器体积比普通计算器大不了多少，携带方便，适用于小型 PC 的编程与监控。日本产的 F₁-20P 编程器就是常用简易编程器的一种，本章就以 F₁-20P 为例介绍编程器。

2) 带有显示屏的编程器，又称图形编程器。它的显示屏用液晶显示（LCD）或用阴极射线管（CRT）作屏幕。图形显示屏可用来显示编程内容、继电器占用情况、程序容量、程序调试与执行时各种信号状态和错误提示等。操作键盘设有各种编程方式所需的功能键、字符键、数字键和显示屏控制键，可在显示屏上提供各种操作指示，编程操作很方便。这种编程器既可联机又可脱机编程，可用多种编程语言编程，尤其是可以直接编制梯形图，很直观，而且这种编程器可以和打印机、盒式磁带录音机、绘图仪等设备相连，监控功能强，但价格贵，适用于中、大型 PC 的编程。

3) 用通用计算机作为编程器。有的生产厂家在 IBM-PC 等通用微机中，配上适当的硬件接口和软件包，能使这些微机满足编程要求，也可直接编制梯形图，监控功能也较强，这对已有通用计算机的用户，可省去一台编程器。用计算机配有的显示屏进行显示，直观清楚。

五、选择开关

F₁-20P 编程器有三个选择开关。

1) 装在面板上的编程（PROGRAM）和监控（MONITOR）两种工作状态选择开关。开关置于编程状态时，可对用户程序进行写入、编辑和修改等，并将程序写入 PC 的存储器中。

开关置于监控状态时，用户可运行或监视已存在 PC 中的程序执行情况。

2) 装在右侧上端的 PC 型号选择开关。根据用户所使用的 PC 的型号选择下面中的一种：F₁/F₂ 系列，F-40M 系列，F-12/20M 系列，并配有相应的 PC 型号指示。

3) 装在右侧下端的蜂鸣器 BUZZER 选用开关。开关置于 ON 时，每接通一次键，发出“的”的声音一次，置于 OFF 时，按下键时，没有声音发出。

六、指示与显示

F₁-20P 编程器面板上设有以下指示和显示：

1. PC 型号指示灯 分为三类型号指示，F₁/F₂、F-40 和 F-12/20，PC 型号选择开关位置由用户选定。

2. ON/OFF 指示灯 当用编程器监控某器件工作状态时，如果器件接通则指示灯亮，反之不亮。

3. ACT 指示灯 当用编程器监视某指令时，如果某一触点接通则指示灯亮，否则不亮。

4. STEP 显示 显示步序号。

5. INSTR 显示 显示指令字符。

6. DATA 显示 显示数据，即显示器件编号或常数值。

第二节 编程器的编程工作方式

不同类型的 PC 都配有相应的编程器，因此编程器的种类较多，结构与功能有所不同，但是编程原理大同小异。下面以 F、F₁、F₂ 系列 PC 中使用的具有代表性的简易编程器 F₁-20P 为例，叙述其编程和监控工作方式。

程序编辑和调试操作过程如图 9-3 所示。F 系列 PC 基本单元有运行和停止两种模式。编程时基本单元置于停止模式；而 PC 系统处于工作运行或对程序执行情况监视时，基本单元(主机)应置于运行模式。有的 PC，不将其公共端子 COM 和运行端子 RUN 连接起来，就是停止模式，即相当于把基本单元置于 STOP 位置。编程时，必须使主机处于停止模式，同时把编程器置于“PROGRAM”编程位置。在进入编程工作方式下，可进行下列操作。

一、清除用户程序存储器内容

其操作为：依顺序按键，CLEAR→STEP→步序号 0→STEP→最终步序地址→DEL。最终步序地址，不同 PC 有些不同，比如 F-20M 为 477，F-40M 为 889，F₁ 系列 PC 为 999，为了确保清零，对 F 和 F₁ 系列宜键入 999。按上述操作后，STEP 显示为

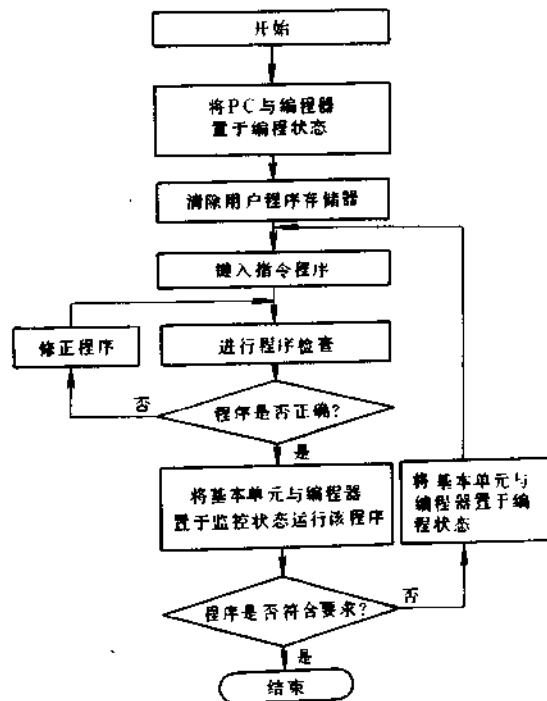


图 9-3 程序编辑与调试操作过程

000。再按 CLEAR→INSTR 键，则 INSTR 显示为 NOP，DATA 显示为 000。表明已清除用户程序存储器内容。

二、写入程序

操作为：依顺序按键，CLEAR→STEP→第一个步序号→INSTR→指令键→器件号或常数→WRITE。如果从 000 步序开始写入程序，则可省去第 2 和第 3 步，按写入键 WRITE，步序自动加 1，不需再按步进键 STEP (+)。每键完一条指令程序，必须按写入键 WRITE，就像按普通微机回车键一样，才能把程序输入存储器。接着用相同的步骤方法依次写入各条指令程序。

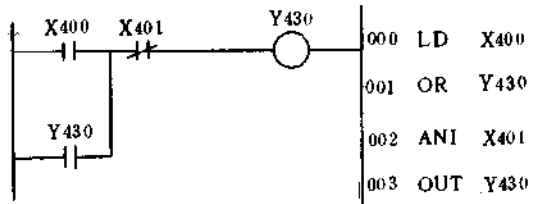


图 9-4 交流电动机起停控制程序

例如，对交流电动机起动与停止控制的基本程序（如图 9-4 所示）的输入步骤和显示如下：

依次按键		STEP 显示 (步序)	INSTR 显示 (指令)	DATA 显示 (数据)
CLEAR	INSTR	0 0 0	NOP	0 0 0
LD	4 0 0	0 0 0	LD	4 0 0
WRITE		0 0 1	NOP	0 0 0
OR	4 3 0	0 0 1	OR	4 3 0
WRITE		0 0 2	NOP	0 0 0
ANI	4 0 1	0 0 2	ANI	4 0 1
WRITE		0 0 3	NOP	0 0 0
OUT	4 3 0	0 0 3	OUT	4 3 0
WRITE		0 0 4	NOP	0 0 0

从上面写入程序步骤和显示可见，每次按写入键 WRITE，STEP 显示步序号自动加 1 后，指令显示 INSTR 为 NOP，数据显示 DATA 为 000，这表示上一条指令程序已写入，可写入下一条指令程序。

三、读出程序

读出程序可从 000 步开始，也可从任意步开始。其操作为：CLEAR→STEP→步序号→INSTR→STEP (+) 或 STEP (-)。如果从 000 步开始，则可省略第 2 和第 3 步。按 STEP (+) 键，步序号加 1，显示下一条指令程序。按 STEP (-) 键，步序号减 1，读出上一条指令程序；如果连续多次按 STEP (+) 或 STEP (-) 键，步序号超出用户步序号范围时，则 INSTR 显示为 NOP，DATA 显示为 000。假设多次按 STEP (-) 键，使步序号显示为 0，再按 STEP (-) 键时，则 STEP 显示 PC 的最大地址数，例如 F1-30MR 显示为 999。

例如，用步序号读出图 9-4 的程序（从 000 步开始），其操作和显示如下：

依次按键		STEP 显示	INSTR 显示	DATA 显示
CLEAR	INSTR	0 0 0	LD	4 0 0
STEP (+)		0 0 1	OR	4 3 0

STEP (+)	0 0 2	ANI	4 0 1
STEP (+)	0 0 3	OUT	4 3 0
STEP (+)	0 0 4	NOP	0 0 0
STEP (-)	0 0 3	OUT	4 3 0
STEP (-)	0 0 2	ANI	4 0 1

四、搜索程序

在未给出步序号时要找出某一条给定的指令，可按下面步骤进行操作：CLEAR→指令符号→器件号码→SEARCH(搜索功能键)，即可显示要寻找的指令步序号，再按SEARCH键，则可显示要寻找指令的第二个步序号(如果没有相应的第二个步序号，则STEP显示最大地址数)，如有必要可一直操作至STEP显示PC最大地址数。显示出寻找的指令步序号后，再按INSTR键，则可显示出寻找的指令。

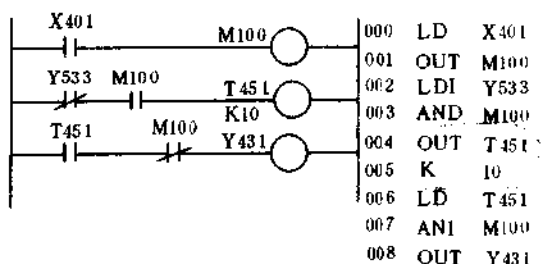


图 9-5 搜索程序和常数举例

例如，假设要寻找图 9-5 中与 M100 触点有关的某条指令程序，其操作与显示如下：

依次按键		STEP 显示	INSTR 显示	DATA 显示
CLEAR	AND	1 0 0	AND	1 0 0
SEARCH		0 0 3		
SEARCH		0 0 7		
INSTR		0 0 7	AND	1 0 0
STEP (-)		0 0 6	LD	4 5 1

上面这个操作过程不能直接用于寻找常数。需要寻找常数，假设已按上述操作过程，寻找出被寻找指令步序号与寻找常数步序号相距很近，可用STEP(+)或STEP(-)键很快找到。例如要寻找图 9-5 中 T451 的常数 K，则在上述操作过程显示出 007 AND 100 后，按STEP(-)键两次，则显示出 005 K 10，即找出常数 K 了。但是要寻找常数 K，通常先找出对应的 OUT 指令，然后再按STEP(+)键即可找到。其操作过程如下：CLEAR→指令符号→器件号→SEARCH→INSTR→STEP(+)。

例如要寻找图 9-5 中 T451 常数 K，其操作与显示如下：

依次按键		STEP 显示	INSTR 显示	DATA 显示
CLEAR	OUT	4 5 1	OUT	4 5 1
SEARCH		0 0 4		
INSTR		0 0 4	OUT	4 5 1
STEP (+)		0 0 5	K	1 0

五、删除和插入程序

如果要在程序中删除某条指令，则应按上面的方法找到所要求删除的指令，然后按下DEL键，该指令即被删除去，而该指令之后的步序号均自动减 1。

假设要在程序中插入一条指令，则先按上述方法找到与所要插入指令的相应的下一条指

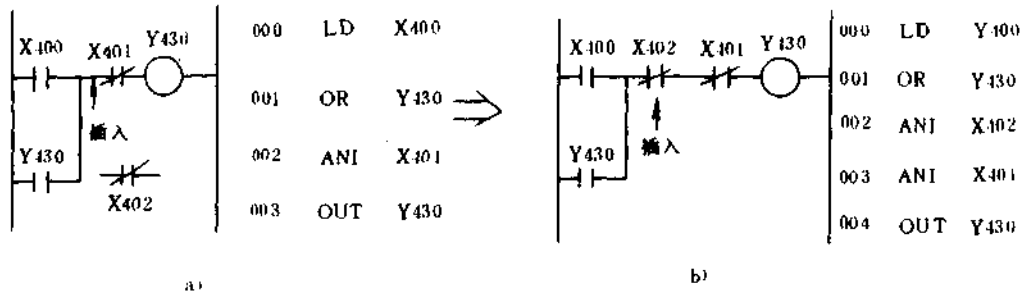


图 9-6 插入程序举例

a) 原来的程序 b) 插入一条程序

令，然后键入要插入的指令符号和器件号，接着按 **INS** 键，该指令即被插入了。而该指令后的步序号均自动加 1。例如在图 9-6a 中插入一条指令后变成图 9-6b，其操作过程与显示如下 (F₁-20MR)：

依次按键	STEP 显示	INSTR 显示	DATA 显示
<u>CLEAR</u> <u>ANI</u> <u>4 0 1</u> <u>SEARCH</u> <u>INSTR</u>	0 0 2	ANI	4 0 1
<u>ANI</u> <u>4 0 2</u>	0 0 2	ANI	4 0 2
<u>INS</u>	0 0 3	ANI	4 0 1
<u>STEP (+)</u>	0 0 4	OUT	4 3 0

六、修改程序

需修改某条程序，用上面介绍的方法找出要修改的指令程序，再写入新的指令程序，接着按下写入键 **WRITE**，则旧程序被新程序所代替。例如，把图 9-7a 的程序修改成图 9-7b 的程序，其操作与显示如下：

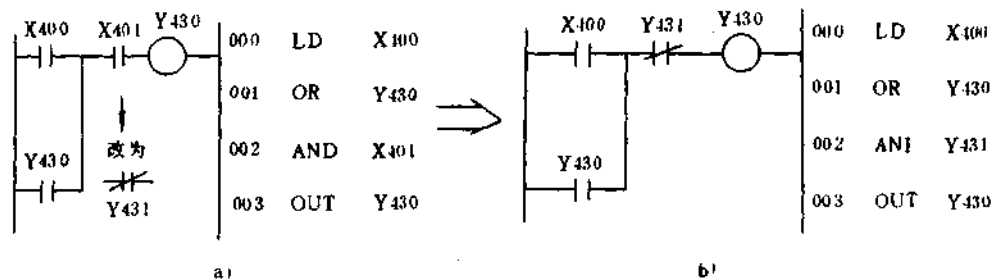


图 9-7 修改程序举例

a) 原来程序 b) 修改后的程序

依次按键	STEP 显示	INSTR 显示	DATA 显示
<u>CLEAR</u> <u>AND</u> <u>4 0 1</u> <u>SEARCH</u> <u>INSTR</u>	0 0 2	AND	4 0 1
<u>ANI</u> <u>4 3 1</u>	0 0 2	ANI	4 3 1
<u>WRITE</u>	0 0 3	OUT	4 3 0

七、检验程序

(一) 检验语法

要检验写完的程序中有没有语法错误,操作如下: CLEAR→STEP→1→WRITE→(如果语法有错,则 DATA 显示其错误代码)→INSTR(显示出有错的步序号的指令)。用1代表语法检验,语法错误代码为:

1-1 表示使用器件号不正确(例如 X900),或指令符号与器件号不匹配(例如 OUT X401)。

1-2 表示编程时漏掉定时器或计数器的设定值 K(按 INSTR 键后,显示相应的 OUT 指令)。

1-3 表示设定值不正确,即超出规定的设定值范围。

当程序中存在有语法上的错误时,按 WRITE 键后则在 DATA 区显示出错误代码,或闪动显示。语法没有错误时,则 DATA 无显示。实际上,若数据超出规定范围,或不符合语法,则在编程时要么写不入,要么显示闪动,在监控时,主机 PROG·E 指示灯闪动。

(二) 检验线路

其操作为: CLEAR→STEP→2→WRITE(若线路有错误则显示出错误代码)→STEP(显示出有错的步序号)→INSTR(显示有错误的步序号的指令程序)。用2代表线路检验,线路错误代码为:

2-1 为 LD 或 LDI 在一逻辑行(线圈)中使用达8次或超过8次。

2-2 为 LD/LDI 和 ANB/ORB 使用不正确。MC、MCR、EJP 或 END 没有连到母线上。线圈接左母线。或一逻辑行右端没有接线圈。

2-3 为步进梯形指令不符合规定(F₁系列 PC)。

(三) 校验求和

求和校验操作为: CLEAR→STEP→3→WRITE(如果显示出代码3-1,则表示两次求和值不等)。用校验求和。

(四) 检查双线圈

所谓双线圈是指:在程序中同一个器件的线圈两次或两次以上使用 OUT 指令。使用双线圈应特别注意,不然较易出错。检查双线圈操作为: CLEAR→STEP→4(用于双线圈检查)→WRITE。

第三节 编程器监控工作方式

在进行监控操作时,把基本单元(主机)置于工作方式(把 RUR 和 COM 这两个端子连接起来,主机上 RUN 指示灯亮),把编程器选择开关置于“MONITOR”位置,在监控状态下可进行以下几种操作。

一、监控器件的工作状态

监控某个指定器件工作状态时，操作为：CLEAR→要监控的器件号→MONITOR。器件接通时，ON/OFF 指示灯亮，反之不亮。监控定时器或计数器时，显示剩余的时间或计数值（PC 在 STOP 工作方式时，F-40M 和 F₁ 系列显示设定的常数，而 F-12M、F-20M 则显示 000）。当定时或计数完成时 ON/OFF 指示灯亮。

例如，对图9-8闪烁电路中定时器 T451 延时及动作进行监视，操作如下：CLEAR→451→MONITOR，这时 DATA 显示 K 的设定值。当 X400 接通时，可看到 K 值不断减小，当定时时间到时（即 K 值为 0），则 ON/OFF 指示灯发亮。

又如，对图9-9中计数器 C460 的计数状态监视操作为：CLEAR→460→MONITOR，此时 DATA 显示设定的计数次数 K 值。每当 X400 接通一次，K 值自动减 1，当计数次数到时（即 K 值减至 0）ON/OFF 指示灯亮。

二、监控指令

其操作如下：CLEAR→要监控的器件号→SEARCH（显示指定器件号的 OUT、PLS 或 S 指令相应的步序号）→MONITOR（显示指令，相应的器件接通时 ACT 指示灯亮）→STEP (+) 或 STEP (-)（按照步序号监控下一步或前一步的指令）。

常用于监控程序中触点或线圈的接通状态，包括常开触点动作，常闭触点不动作，输出线圈接通，计时器或计数器线圈接通（不论定时器计时或计数器的计数是否完成）。但对定时器或计数器监控时，对剩余时间或未计的次数不能监控；对有转移指令的程序段也不能监控。当被监控的触点或线圈处于接通状态时，ACT 指示灯亮。

例如，要监视图9-8电路中 T451 线圈接通与否，操作如下：CLEAR→451→SEARCH（显示步序号为 002）→MONITOR（显示相应指令），假设 X400 接通，则 T451 线圈接通且 ACT 指示灯亮。假如还须监视图9-8中第二逻辑行里的 T451 常开触点的通断情况，则在上述基础上，按 STEP (+) 键两次，ACT 灯亮表示 T451 接点接通，灯不亮表示该触点处于断开状态。

三、改变常数设定值

改变定时器或计数器常数设定值 K，操作如下：CLEAR→指定的计时器或计数器的器件号→SEARCH（显示相应步序号）→MONITOR（显示相应的指令，监控指定计时器或计数器的线圈）→STEP (+)（显示要修改的常数）→键入新的常数值→WRITE（已输入新的常数值）。如果计时器或计数器正在执行中对其常数进行修改，那么只有等待到计时或计数完成后，常数才会改为新值。

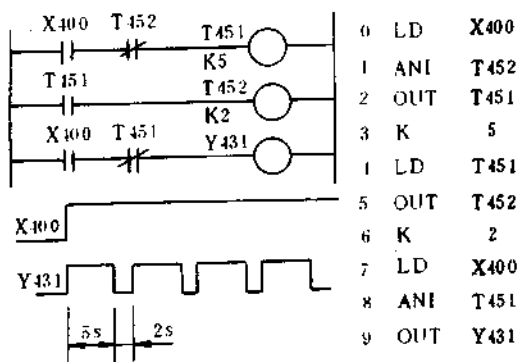


图9-8 闪烁电路

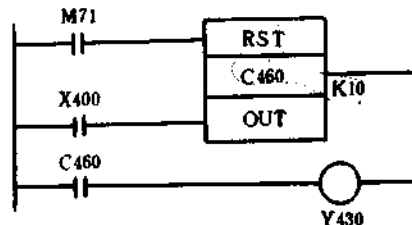


图9-9 监控计数器计数状态举例

例如,要改动图9-8中 T451的 K 值为3,其操作为: CLEAR→451→SEARCH→MONITOR→STEP(+)(这时显示原 K 值为5)→键入新常数3→WRITE。这样 K 值已从5改为3。

四、强迫接通/断开

在执行程序过程中,必要时可以对定时器等器件进行强制性接通或断开,其操作为: CLEAR→要强迫接通/断开的器件号→MONITOR (ON/OFF 显示)→S (或8)强迫接通(一个扫描周期)或 R (或9)强迫断开(一个扫描周期)。

由于强迫接通/断开仅持续一个程序执行的扫描周期,因此对定时器的作用是强制计时加快或强制复位,对计数器是强制计数加快或强制复位。在停机状态下输出尚可强迫接通,且能保持接通状态。为了复位,就要强迫断开。

例如,对图9-10电路,在输入端 X401没有输入(未闭合)时,要强迫 M301接通和断开的操作为: CLEAR→301→MONITOR→S, M301被强制接通, ON/OFF 指示灯亮。这时,如果要 M301断开,则按9或 R 键, M301断开, ON/OFF 灯熄灭。

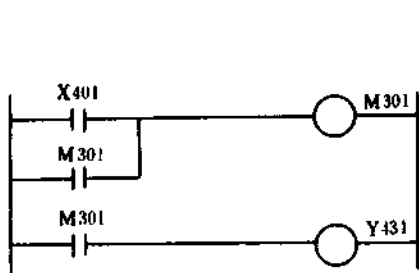


图9-10 强迫接通/断开举例

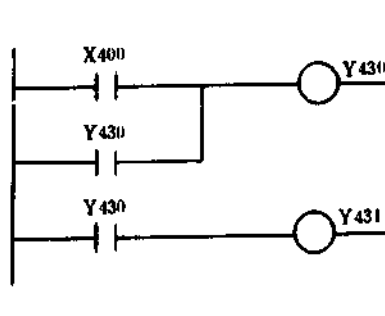


图9-11 强迫接通/断开举例

又如,对图9-11的梯形图,在 X400没有接通的情况下,需要强迫 Y430接通时,对 F₁-30MR 操作为:依次按键: CLEAR→430→MONITOR→8 (或 S), Y430被强制接通且自保, ON/OFF 指示灯亮,同时 Y430和 Y431指示灯也发亮。如果需要强制断开 Y430,则按下9或 R 键便可, ON/OFF、Y430和 Y431指示灯均熄灭了。如果依次按键: CLEAR→400→MONITOR→8 (或 S),也能接通 Y430,但按 R (或9)键, Y430断不开,因为 Y430有自保,只有依次按键: CLEAR→430→MONITOR→R (或9),才能断开 Y430,如果依次按键: CLEAR→431→MONITOR→8,则 Y431被强制接通一个扫描周期, Y431输出指示灯闪亮瞬间。

F₁-20P 简易编程器除了具有上述功能用法外,还可用来把调试好的程序(对于 F₁、F₂系列 PC)固化在 EPROM 或 EEPROM 中,这将在第十一章第六节中介绍。对于 F 系列 PC 也有相应的 ROM 写入器 F-20MW,可将 F 系列 PC 中的程序固化于 ROM 或 EPROM 中,具体功能用法参见第十一章第五节。

第十章 F₁系列可编程序控制器

在前面已较系统地介绍了F系列可编程序控制器,F₁系列可编程序控制器是在F系列PC基础上开发出来的,因此两者在结构功能、基本指令、编程方法及使用操作方面都有许多相同之处。但是F₁系列毕竟与F系列还有所不同,尤其是在功能方面增强较多。本章将介绍F₁系列PC,并着重叙述与F系列不同之处。这样,读者就能较全面地掌握三菱公司的F、F₁乃至F₂系列PC的功能结构、指令系统及编程方法,并能容易地更换或兼容地使用这三种系列PC。

第一节 F₁系列PC的结构功能与器件编号

一、F₁系列PC的组成与性能简介

F₁系列PC属于小型低档机,为整体式结构,包括基本单元(主机)、扩展单元、特殊单元三种。每个PC控制系统必须要一台主机,若要增加输入输出点数,应连接扩展单元。若要增加控制功能,则可连接特殊单元,如高速计数单元、模拟量单元等。

F₁系列PC的芯片为8039单片机芯片,执行速度平均为12 μ s/步。程序容量为1000步。而F₂系列程序容量为2000步,输出方式像F系列PC一样也为三种,即晶体管输出(用T表示)、晶闸管输出(用S表示)、继电器输出(用R表示)。

F₁系列PC除了可用F₁-20PE简易编程器外,还可用GP-20F-E和GP-80F₂A-E图形编程器和IBM机及其兼容机进行编程,并可以外接录音机、打印机和磁盘驱动器。

二、基本单元和扩展单元

F₁系列PC共有五种基本单元M(均采用相同型号的CPU和编程器)和四种扩展单元E。如表10-1所示。但F₂系列PC扩展单元多2个(F₂-12EX、F₂-8EY)。

表10-1 F₁系列PC的基本单元和扩展单元

单元	型号	输入点数	输出点数
基本单元	F ₁ -12MR	6	6
	F ₁ -20MR	12	8
	F ₁ -30MR	16	14
	F ₁ -40MR	24	16
	F ₁ -60MR	36	24
扩展单元	F ₁ -10ER	4	6
	F ₁ -20ER	12	8
	F ₁ -40ER	24	16
	F ₁ -60ER	36	24

三、器件功能及编号

(一) 输入继电器 X

输入继电器是PC接受外部输入设备开关信号的接口,其基本单元和扩展单元的编号(八

进制编制)如表10-2所示。每种型号的F₁系列PC机面板上,通常都标出该机的X编号和Y的编号。

表10-2 输入继电器 X 的编号

单元	型号	编号
基本单元	F ₁ -12MR	X400~X405
	F ₁ -20MR	X400~X407, X410~X413
	F ₁ -30MR	X400~X407, X410~X413, X500~X503
	F ₁ -40MR	X400~X413, X500~X513
	F ₁ -60MR	X000~X013, X400~X413, X500~X513
扩展单元	F ₁ -10ER	X () 14~X () 17
	F ₁ -20ER	X () 14~X () 27
	F ₁ -40ER	X414~X427, X514~X527
	F ₁ -60ER	X014~X027, X414~X427, X514~X527

注:表中()号中的数字可以取0或取4、或取5,这取决于电缆接在基本单元哪个扩展口上

(二) 输出继电器 Y

输出继电器的输出端是PC向外部负载传送信号的接口。输出继电器的编号为(八进制):

基本单元:Y030~Y037, Y430~Y437, Y530~Y537

扩展单元:Y040~Y047, Y440~Y447, Y540~Y547

(三) 辅助(中间)继电器 M

辅助继电器编号也采用八进制,编号为

普通辅助继电器:M100~M177, M200~M277,共128个。

保持(护)辅助继电器:M300~M377,共64个,由机内电池支持,因而具有掉电保持功能。

(四) 移位寄存器

每16个辅助继电器为一组,构成16位的移位寄存器。分组及编号为:

M100 (M100~M117), M120 (M120~M137)

M140 (M140~M157), M160 (M160~M177)

M200 (M200~M217), M220 (M220~M237)

M240 (M240~M257), M260 (M260~M277)

M300 (M300~M317), M320 (M320~M337)

M340 (M340~M357), M360 (M360~M377)

其中M300~M360这四个移位寄存器具有断电保持功能。

(五) 特殊(专用)辅助继电器

1. M70 运行监视。
2. M71 初始化脉冲。
3. M72 100ms 时钟脉冲。
4. M73 10ms 时钟脉冲。
5. M74 和 M75在PC开机后始终处于接通状态。
6. M76 电池电压下降时接通。
7. M77 输出禁止(M77接通时,所有Y自动断开)。

8. M470 内部计数或外部高速计数方式选择。C660和 C661是一对计数器，组成6位十进制计数器，称为计数器对。C660作为3位低位数，C661作为3位高位数。当 M470接通时，6位计数器可对外部高速脉冲（最高为2kHz）进行计数。M470断开时，C660/C661转为 PC 内部计数方式，此时计数速度取决于 PC 执行周期，通常为几十 Hz。

9. M471 加/减计数选择。当 M471接通时，C660/C661作加法计数，有时亦称正向计数。当 M471断开时，C660/C661作减法计数，亦称反向计数。

10. M472 高速计数器计数起动信号。M472接通时，C660/C661计数器开始高速计数。M472断开时，C660/C661停止计数。须注意，只有 M470接通，使 C660/C661设置成高速计数器时，M472才有效。

11. M473 标志。当计数器的现行值由999999再加1变为0（加法计数）或由0再减1变为999999（减法计数）时，M473接通。可用功能指令 F670K110（或 K10）复位。

12. M570 错误标志。在使用功能指令过程中，如果出现指令使用器件编号错误或线圈设一定错误时，则 M570接通，当设定正确时，M570断开。

13. M571 为进位标志，M572为零位标志，M573为借位标志。当对现行计数器执行比较功能指令时，若现行值比设定值大时，M571接通。若现行值与设定值相等时，M572接通。当现行值小于设定值时，M573接通。

14. M574 状态转移禁止。在步进指令中，M574接通时，所有的状态转移停止。

15. M575 状态转移起动。M575接通时，状态开始自动转移。

（六）状态继电器 S

F₁系列 PC 提供40个状态继电器，通常与步进指令一起使用，它们均为断电保护。状态继电器编号（八进制）如下：

S600~S607, S610~S617, S620~S627, S630~S637, S640~S647。

（七）数据寄存器 D

F₁系列 PC 的内部提供64个数据寄存器，主要用于算术运算、数据比较和传送等，可存放二进制、八进制和十进制的数据。数据寄存器的编号为（八进制）：

D700~D707, D710~D717, D720~D727, D730~D737, D740~D747, D750~D757, D760~D767, D770~D777。

（八）定时器 T

F₁系列 PC 共有24个0.1~999s 定时器和8个0.01~99.9s 定时器，它们的编号及定义设定值如表10-3所示。F₁系列 PC 定时器均为接通延时定时器。

表10-3 定时器编号及设定值

定时器编号	定时范围	定时设定值	
		带小数点时	不带小数点时
T050~T057 T450~T457 T550~T557	0.1~999S	K0.1=0.1s K99.9=99.9s K25.0=25s	K1=1s K999=999s K25=25s
T650~T657	0.01~99.9S	K0.1=0.1s K99.9=99.9s K23.0=23s	K1=0.01s K999=9.99s K23=0.23s

(九) 计数器 C

F₁系列 PC 共有32个计数器，全部计数器均由电池支持，有断电保护。用八进制编号如下：

C060~C067, C460~C467, C560~C567, C660~C667

除 C660和 C661以外，其余30个计数器均为减法计数器，计数范围为0~999。

C660~C661可构成“计数器对”，计数范围为6位十进制数0~999999，并通过设定可以构成加法或减法计数器，也可构成最高计数频率为2kHz的高速计数器。

(十) 功能指令线圈

F₁系列 PC 提供近90条功能指令，主要用来实现输入输出的高速处理、算术运算、数据传送等，从而增强了 PC 的功能，扩大了 PC 的应用范围。而这些功能指令的实现是用功能线圈 F670~F677来完成的。其中 F671~F675为设定线圈，用于设定条件。F676为执行线圈，用于设定功能。

第二节 F₁系列 PC 的基本指令及编程方法

一、与 F 系列 PC 相同的基本指令

在前面已较详细地介绍了 F 系列 PC 的指令系统及编程方法，以下20条 F₁系列 PC 的基本指令的符号、功能及用法和 F 系列的 PC 相同，因此不作介绍。

1. LD	8. ANB	15. MC
2. LDI	9. ORB	16. MCR
3. OUT	10. S	17. CJP
4. AND	11. R	18. EJP
5. ANI	12. PLS	19. NOP
6. OR	13. RST	20. END
7. ORI	14. SFT	

本节主要介绍计数指令及编程方法。在 F 系列 PC 中没有的步进指令 STL/RET 及编程方法见下一节。

二、计数指令及编程方法

计数器分为加法计数器和减法计数器。F 系列 PC 中计数器只能作减法计数器用，在 F₁系列 PC 总共32个计数器中，只有 C660/C661“计数器对”既可作为加法计数器也可作为减法计数器用，其余的都只能作减法计数器。如果“计数器对”与特殊辅助继电器配合使用时，还可作为高速计数器用。下面介绍与 F 系列 PC 不同的计数方法。

(一) C660与 C661构成6位加/减计数器

C660与 C661构成一个6位十进制加/减计数器，C661为高3位计数器，C660为低3位的计数器。6位计数器可设置成普通计数器，这时计数输入信号频率和其余30个计数器的相同；也可设置成高速计数器，此时计数输入信号频率最大为2kHz。

6位普通计数器设置方法如图10-1所示，图 a 为梯形图，图 b 为相应指令程序。计数工作如下（图中 CP 为计数信号输入端，R 为计数器复位信号输入端）：

PC 开始运行时，M70自动处于接通状态，所以图中 M70的常闭触点断开 M470继电器线

圈，把 C660 与 C661 设置成普通计数方式。

当输入继电器 X401 常开触点闭合，接通 M471 线圈时，把 C660 与 C661 设置成加法计数器。当 X401 常开触点断开 M471 线圈时，将“计数器对”设置成减法计数器。

由 C660 与 C661 构成的 6 位计数器，先对计数器设置高 3 位数值 (C661)，后设置低 3 位数值 (C660)。

当 X403 触点每从断开到接通一次，“计数器对”计数一次。只要 X402 触点闭合，输入复位信号，则 C660 复位，C661 也自动复位。

当计数值从“000001”变为“0” (减法) 或由“999999”变为“0” (加法) 时，C660 的常开触点接通 Y431 的线圈，即此时为“计数器对”输出接点动作。

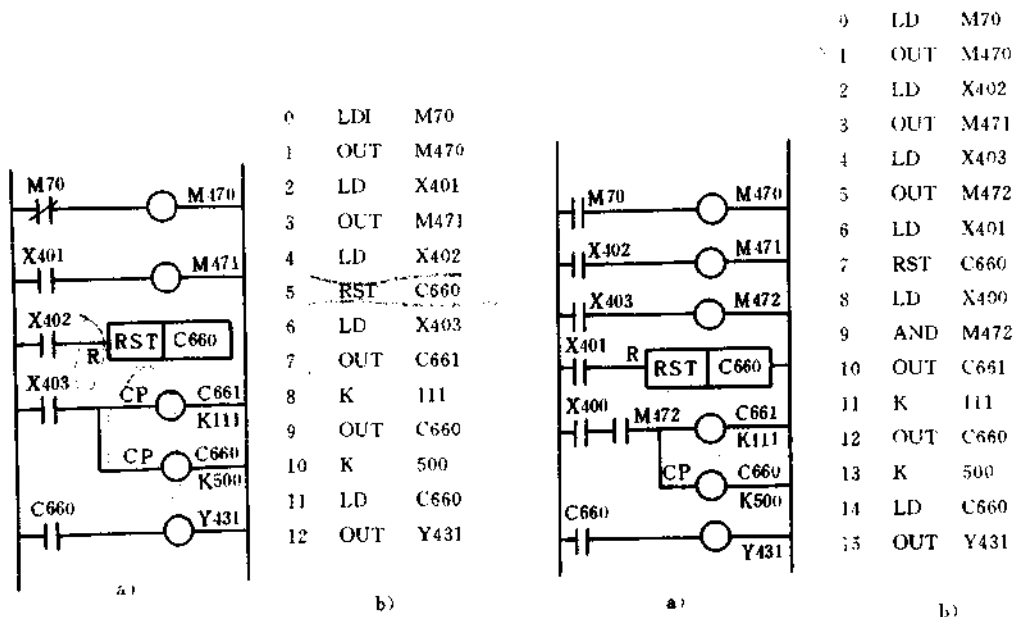


图10-1 6位普通计数器设置方法
a) 梯形图 b) 指令程序

图10-2 C660与C661构成6位
高速计数器的设置方法
a) 梯形图 b) 指令程序

(二) C660与C661构成6位高速计数器

C660与C661构成6位高速计数器的设置方法如图10-2所示，图 a 为梯形图，图 b 为指令程序。计数工作如下：

当 PC 运行开始 M70 常开触点接通 M470 线圈时，C660 与 C661 设置为高速计数方式。

当 X402 触点接通 M471 线圈时，C660 与 C661 设置成加法计数器，断开 M471 线圈时设置为减法计数器。

当 X403 触点接通 M472 线圈时，起动高速计数器开始计数。X400 触点闭合时，输入计数脉冲，执行高速计算。X401 为固定接至复位输入端。

当计数输入 X400 闭合之后，计数值从“000001”变为“0”或从“999999”变成“0”时，输出接点 C660 接通。

第三节 步进指令 STL/RET 及编程方法

一、步进指令及步进梯形图

STL (step ladder): 步进接点指令;

RET (return): 步进返回指令。

STL/RET 步进指令使用状态继电器 S600~S647共40个, 状态继电器均由电池支持。

使用步进指令时, 用状态转换图设计步进梯形图, 这两种图如图10-3所示, 状态转换图中的每个状态表示顺序工作的一个操作, 因此步进指令常用于控制时间和位移等顺序的操作过程。使用步进指令不但可以直观地表示顺序操作的流程, 而且可以减少指令程序的条数和容易被人们理解。

步进接点只有常开接点, 而没有常闭接点。指令用 STL 表示, 连接步进接点的其它继电器接点用 LD 或 LDI 指令表示, 如图10-3c 所示。

从状态图中可见, 每一状态提供三个功能: 驱动负载、指定转换条件、置位新状态 (同时转移源自动复位)。当步进接点 S600接通时, 输出继电器 Y430线圈接通。当 X401接通时, 新状态置位 (接通), 步进接点 S601也接通。这时原步进接点 S600自动复位 (断开), 这就相当于把 S600的状态转到 S601, 这就是步进转换作用。其它状态继电器之间的状态转移过程, 依此类推。

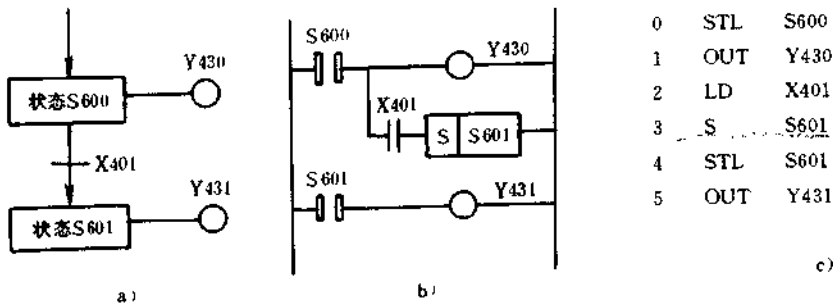


图10-3 步进指令的用法

a) 状态转换图 b) 步进梯形图 c) 指令程序

二、使用步进指令的说明

① 步进接点须与梯形图左母线连接。使用 STL 指令后, LD 或 LDI 指令点则被右移, 所以当把 LD 或 LDI 点返回母线时, 需要使用步进返回指令 RET。也就是说, 凡是以步进接点为主体的程序, 最后必须用 RET 指令返回母线。步进返回指令的用法如图10-4所示。由此可见, 步进指令具有主控功能。

② 使用 S 指令后的状态继电器 (有时亦称步进继电器), 才具有步进控制功能。这时除了提供步进常开接点外, 还可提供普通的常开接点与常闭接点如图10-5所示, 但 STL 指令只适用于步进接点。

③ 只有步进接点接通时, 它后面的电路才能动作。如果步进接点断开, 则其后面的电路将全部断开。当需保持输出结果时, 可用 S 和 R 指令来实现, 如图10-6所示。图中, 只有 S620接通时, Y430才断开, 即从 S610接通开始到 S620接通为止, 这段时间为 Y430持续接通时间。

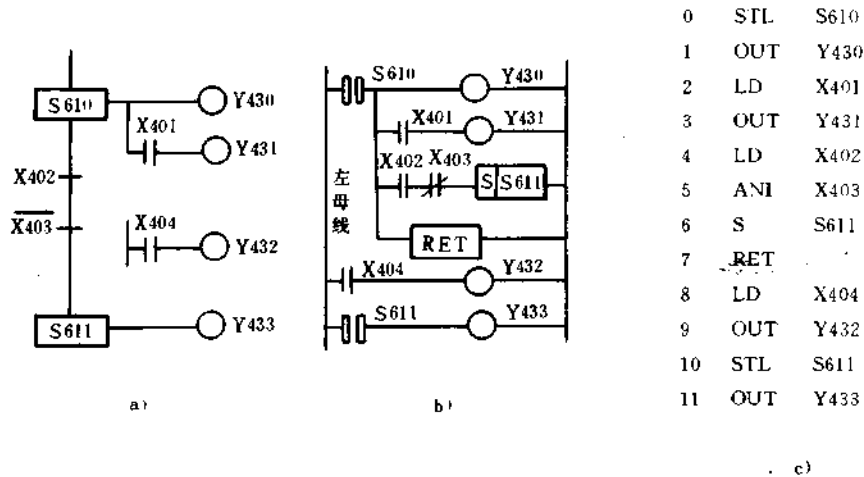


图10-4 步进返回指令的用法

a) 状态转换图 b) 梯形图 c) 指令程序

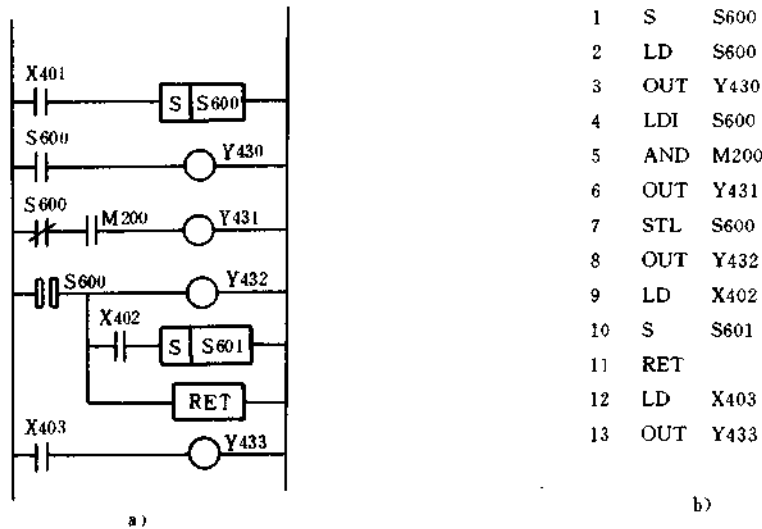


图10-5 步进继电器提供步进接点和普通接点

a) 梯形图 b) 指令程序

④ 使状态继电器复位的方法。状态继电器均具有断电保护功能，即断电后再次通电，动作从断电时的状态开始。但在某些情况下需要从初始状态开始执行动作，这时则需要复位所有的状态。此时应使用功能指令实现状态复位操作，如图10-7所示。当M71接通时，从功能指令线圈F671的K编号开始至F672的K编号结束，所有映象寄存器全部复位，F671的K编号一定要小于F672的K的编号，否则只对开始编号的器件复位。F670 K26（或K103），用于执行所确定范围内的映象寄存器复位操作，对应的使用器件为：Y30~Y547，M100~M377，S600~S647。在本图中，当M71接通时，指令执行的结果使S600~S647的状态全部复位（断开）。在实际应用时，F671的K值为设定复位开始器件的编号，F672的K值为设定复位结束器件的编号。

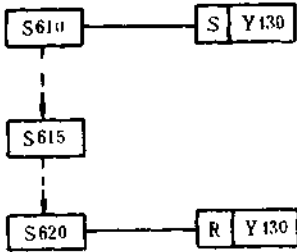


图10-6 用 S/R 指令保持输出

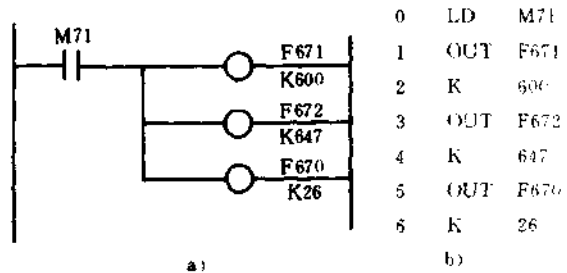


图10-7 用功能指令对状态复位

a) 梯形图 b) 指令程序

⑤ 如果不用 STL 步进接点时，状态继电器可作为普通辅助（中间）继电器 M 用，这时其功能与 M 相同。

⑥ 步进指令后面可以使用 CJP/EJP 指令，但不能使用 MC/MCR 指令。

⑦ 在时间顺序步进控制电路中，只要不是相邻步进工序，同一个定时器可在这些步进工序中使用，这可节省定时器。

对于复杂的多流程步进控制的处理及编程方法，将在下一节中介绍。

第四节 多流程步进控制的处理方法

一、多流程步进结构方式

在顺序步进控制过程中，有时需要将同一控制条件转向多条支路，或把不同的条件转向不同的支路，或跳过某些工序或重复某些操作。以上这些称之为多流程步进控制。常用的多流程步进结构方式如图10-8所示。

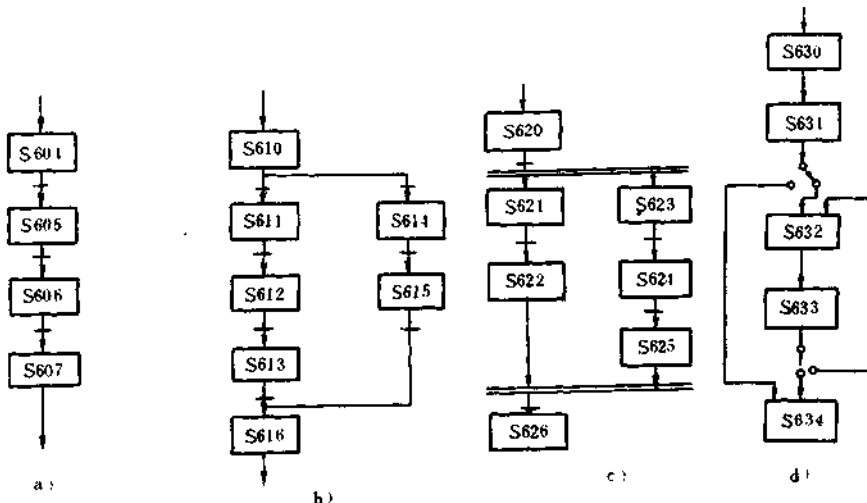


图10-8 多流程步进结构方式

a) 单流程 b) 条件分支与联接 c) 并联分支与联接 d) 跳步与循环

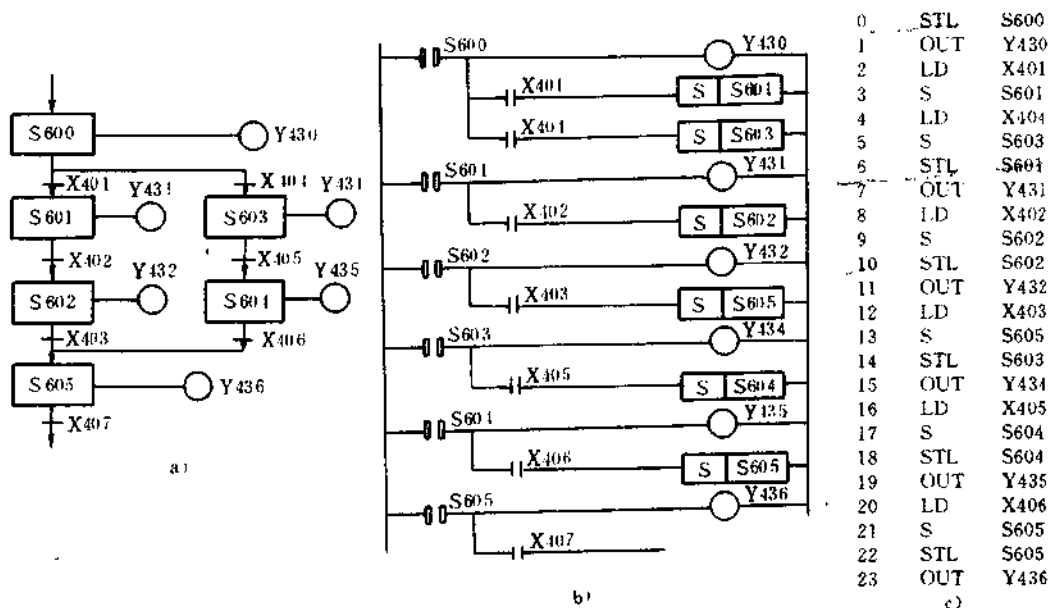


图10-9 条件分支与联接

a) 状态转换图 b) 步进梯形图 c) 指令程序

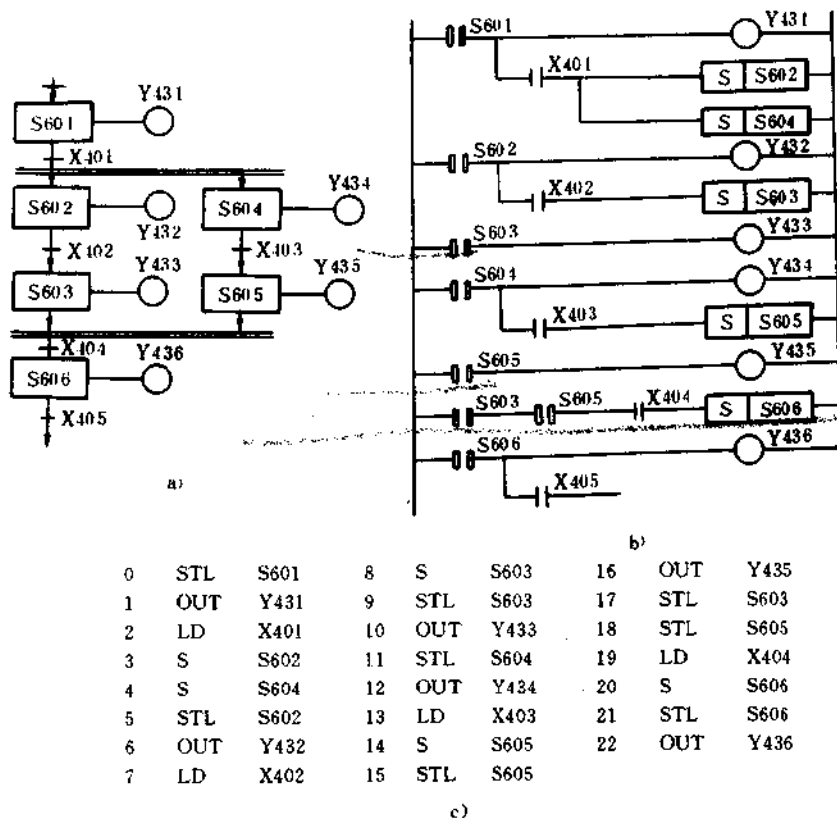


图10-10 并联分支与联接

a) 状态转换图 b) 步进梯形图 c) 指令程序

二、多流程步进控制的处理方法

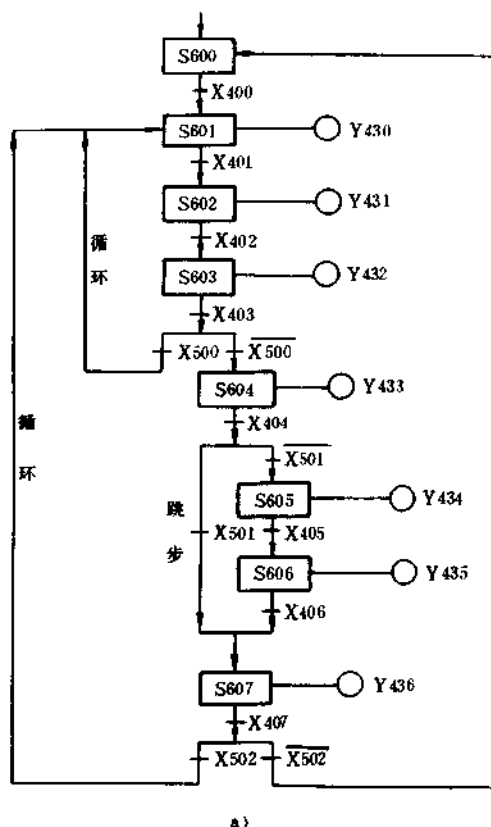
(一) 条件分支与联接步进流程的编程

条件分支与联接，用于多流程的分支选择，每个分支的动作由转换条件决定，但每次只能选择一个支路转换条件，即状态不能同时转移，如图10-9所示。图中X401和X404为选择转换条件。当X401接通时，S600状态转向S601；X404接通时，状态转向S603，但X401和X404不能同时接通。当S601或S603置位（接通）时，S600自动复位（断开）。当S601置位时，执行S601起始的步进过程，当S603置位时，执行S603起始的步进过程。状态S605由状态S602、X403或由状态S604、X406置位（接通）。

(二) 并联分支与联接步进流程的编程

并联分支与联接步进流程的状态转换图、步进梯形图和指令程序如图10-10所示。当转换条件X401接通时，状态同时转换，S602和S604同时置位，这两个分支同时执行各自步进流程，S601自动复位。X402接通时，状态从S602转向S603，S602自动复位。当X403接通时，状态从S604转向S605，S604自动复位。在S603和S605置位（接通）后，若X404接通，则S606置位，而S603和S605自动复位（断开）。连续使用STL指令次数不能超过8次，即并联支路数最多不能超过8条。

(三) 跳步与循环流程的编程



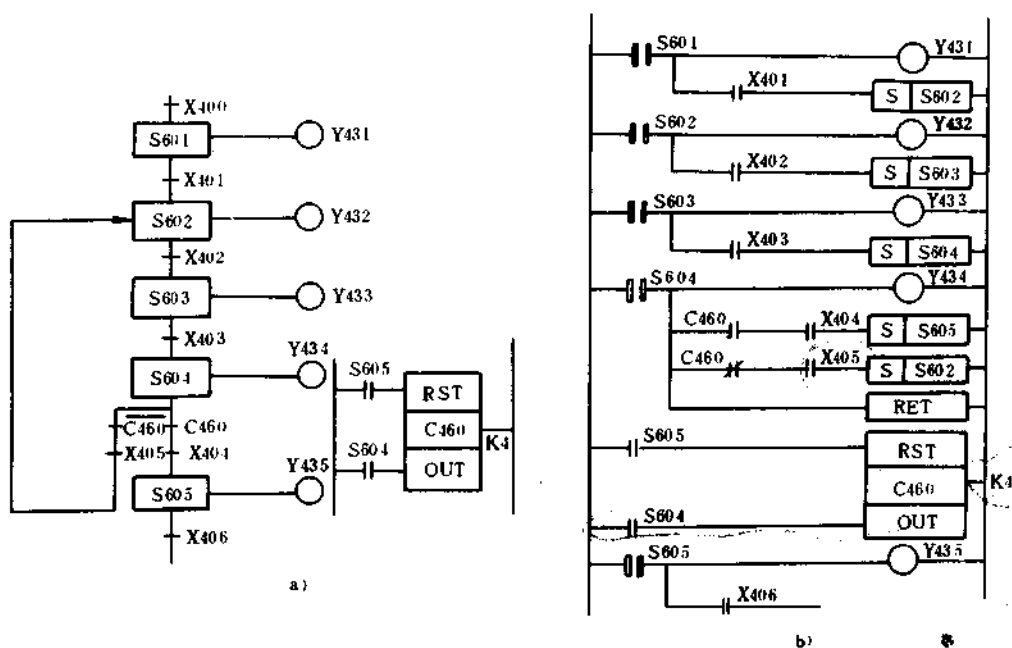
0	STL	S600	22	AND	X501
1	LD	X400	23	S	S607
2	S	S601	24	LD	X404
3	STL	S601	25	ANI	X501
4	OUT	Y430	26	S	S605
5	LD	X401	27	STL	S605
6	S	S602	28	OUT	Y434
7	STL	S602	29	LD	X405
8	OUT	Y431	30	S	S606
9	LD	X402	31	STL	S606
10	S	S603	32	OUT	Y435
11	STL	S603	33	LD	X406
12	OUT	Y432	34	S	S607
13	LD	X403	35	STL	S607
14	AND	X500	36	OUT	Y436
15	S	S601	37	LD	X407
16	LD	X403	38	AND	X502
17	ANI	X500	39	S	S601
18	S	S604	40	LD	X407
19	STL	S604	41	ANI	X502
20	OUT	Y433	42	S	S600
21	LD	X404	43	RET	

图10-11 跳步与循环

a) 状态转换图 b) 指令程序

跳步与循环的状态转换图如图10-11a所示。相应指令程序如图10-11b所示。当X500接通时，状态循环返回到S601，否则，按顺序执行。当X501接通时，状态从S604跳步到S607，否则按顺序执行。当X502接通时，状态从S607循环返回到S601，否则返回到状态S600。

可以用计数器来控制程序中循环操作次数，如图10-12所示。当状态S604置位后，计数器C460计数，此时当X405接通时，S604状态循环到S602，状态循环4次后C460动作，C460常开接点闭合，如果X404接通，则S605置位。同时C460常闭接点断开，状态停止循环。



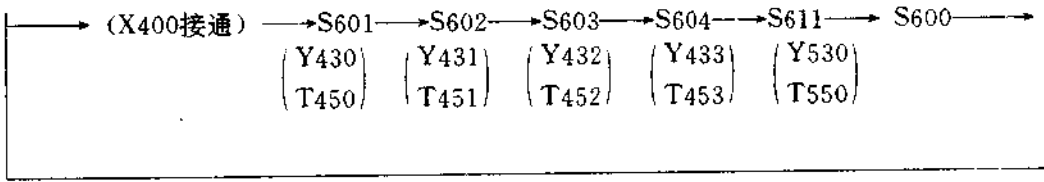
0	STL	S601	10	LD	X403	19	S	S605
1	OUT	Y431	11	S	S604	20	RET	
2	LD	X401	12	STL	S604	21	LD	S605
3	S	S602	13	OUT	Y434	22	RST	C460
4	STL	S602	14	LDI	C460	23	LD	S604
5	OUT	Y432	15	AND	X405	24	OUT	C460
6	LD	X402	16	S	S602	25	K	4
7	S	S603	17	LD	C460	26	STL	S605
8	STL	S603	18	AND	X404	27	OUT	Y435
9	OUT	Y433						

图10-12 用计数器控制循环操作次数
a) 状态转换图 b) 梯形图 c) 指令程序

(四) 混合分支与联接

在顺序步进控制流程中，有的既有条件选择分支，又有并联分支的混合分支与联接，这种情况的一个例子如图10-13所示。选择分支、并联分支的步进流程如下（假设初始状态已满足）：

当 X500接通 (选择此分支) 时



当 X500断开 (X500闭合, 选择此分支) 时

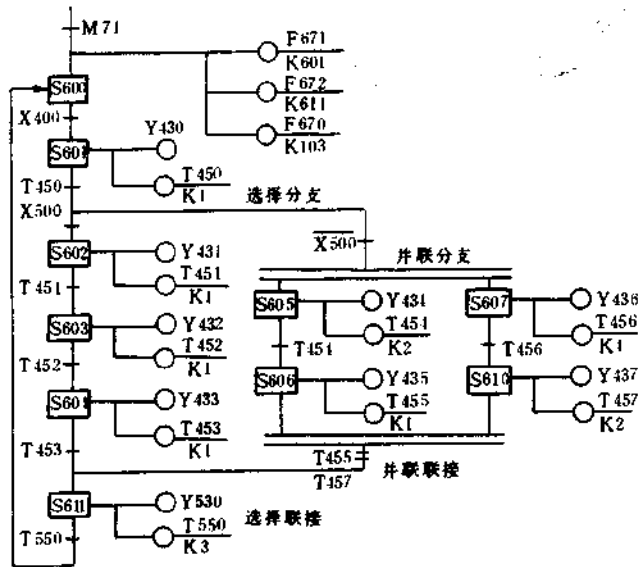
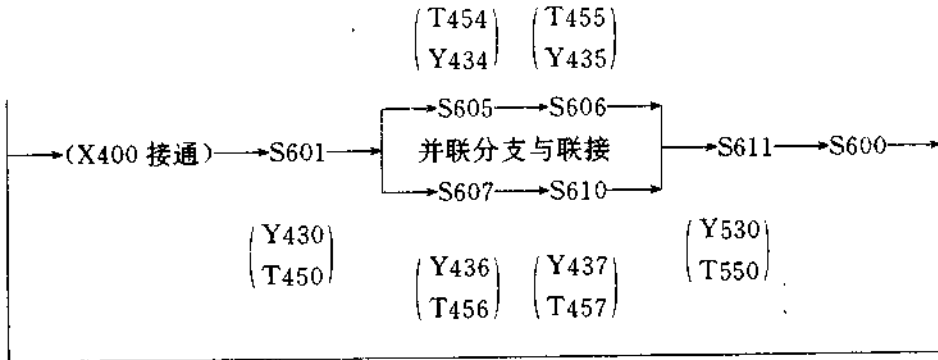


图10-13 混合分支与联接状态图

当 PC 开始运行时, M71 产生初始化脉冲, 使图中所有状态继电器复位 (断开)。功能指令线圈 F671 后面 K 的数据, 即为复位开始的器件号 (图中为 S601), F672 线圈后面 K 的数据, 即为复位结束的器件号 (图中为 S611), F670 K103 (或 K26) 为执行复位指令, 即当 M71 接通时, 指令执行的结果使 S601~S611 的状态全部复位, 从初始条件开始执行步进操作, 图中 X400 外接起动按钮。

根据状态转换图编制的指令程序如下:

步序	指令	数据	步序	指令	数据	步序	指令	数据	步序	指令	数据
0	LD	M71	18	LD	T450	36	OUT	T453	54	LD	T456
1	OUT	F671	19	ANI	X500	37	K	1	55	S	S610
2	K	601	20	S	S605	38	LD	T453	56	STL	S610
3	OUT	F672	21	S	S607	39	S	S611	57	OUT	Y437
4	K	611	22	STL	S602	40	STL	S605	58	OUT	T457
5	OUT	F670	23	OUT	Y431	41	OUT	Y434	59	K	2
6	K	103	24	OUT	T451	42	OUT	T454	60	STL	S606
7	S	S600	25	K	1	43	K	2	61	STL	S610
8	STL	S600	26	LD	T451	44	LD	T454	62	LD	T455
9	LD	X400	27	S	S603	45	S	S606	63	AND	T457
10	S	S601	28	STL	S603	46	STL	S606	64	S	S611
11	STL	S601	29	OUT	Y432	47	OUT	Y435	65	STL	S611
12	OUT	Y430	30	OUT	T452	48	OUT	T455	66	OUT	Y530
13	OUT	T450	31	K	1	49	K	1	67	OUT	T550
14	K	1	32	LD	T452	50	STL	S607	68	K	3
15	LD	T450	33	S	S604	51	OUT	Y536	69	LD	T550
16	AND	X500	34	STL	S604	52	OUT	T456	70	S	S600
17	S	S602	35	OUT	Y433	53	K	4	71	RET	

第五节 步进指令应用举例

有一小车运行过程如图10-14所示, 小车原位处于后端, 压下后限位开关, 当合上起动开关时, 小车前进, 当运行至压下前限位开关后, 打开翻斗门, 延时8s后小车向后运行, 到后端时压下后限位开关, 打开小车底门(停6s), 完成一次动作。对小车运行控制要求为

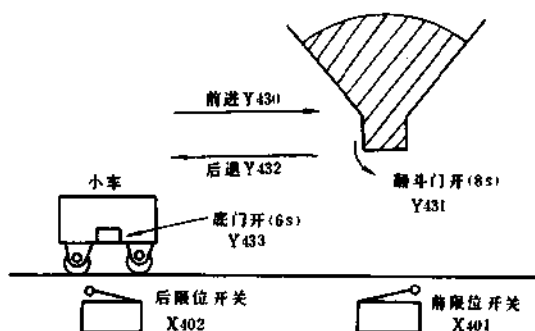


图10-14 小车运行过程

- ① 手动操作: 能手动控制小车向前运行, 向后运行, 打开翻斗门, 打开小车底门。
- ② 连续往返自动控制: 当小车起动后, 能自动连续往返运行。使用步进指令对小车连续运

行进行控制。

PC 的输入输出分配如图10-15所示。

根据控制要求，程序主要由手动操作和自动控制两大部分组成。

手动操作梯形图如图10-16所示。X500断开时，执行手动操作程序。小车前进和后退设有互锁，并设置前进和后退限位保护。当选择手动操作工作方式时，把开关置于手动，X500常闭接点断开，执行手动操作程序。当按前进按钮时，X404接通 Y430线圈，小车前进，当按后退按钮时，X405接通 Y432线圈，小车后退。当小车在前端且按翻门按钮时，X406接通 Y431线圈，打开翻斗门。当小车在后端且按开底门按钮时，X407接通 Y433线圈，打开底门。

自动控制状态图如图10-17所示。当选择自动控制工作方式时，把开关置于自动，X501常闭接点断开，执行自动控制程序。自动控制梯形图如图10-18所示。特殊辅助继电器 M574接通后禁止状态自动转移。

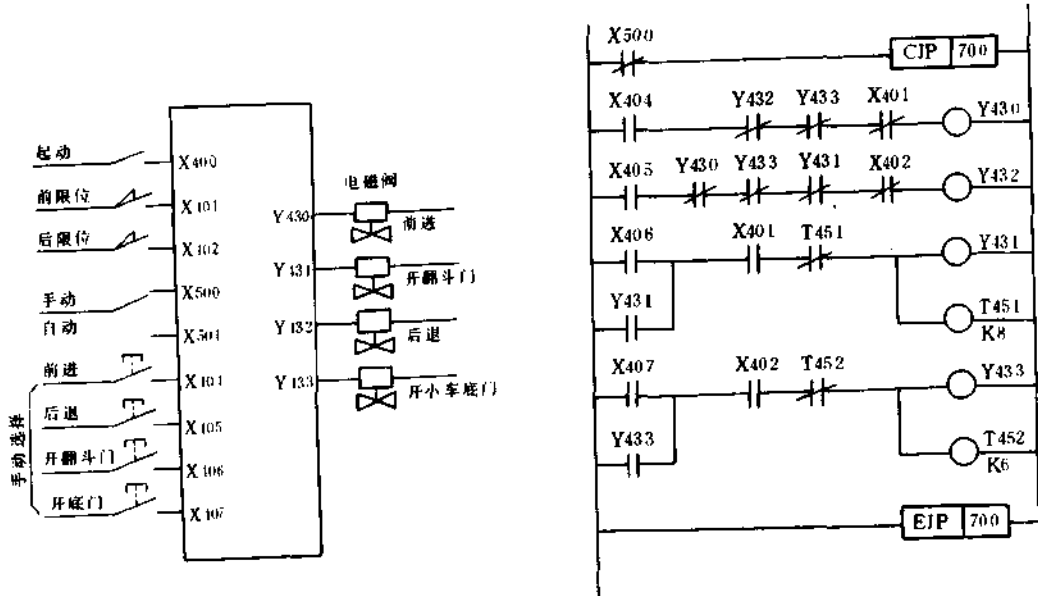


图10-15 PC 输入输出分配图

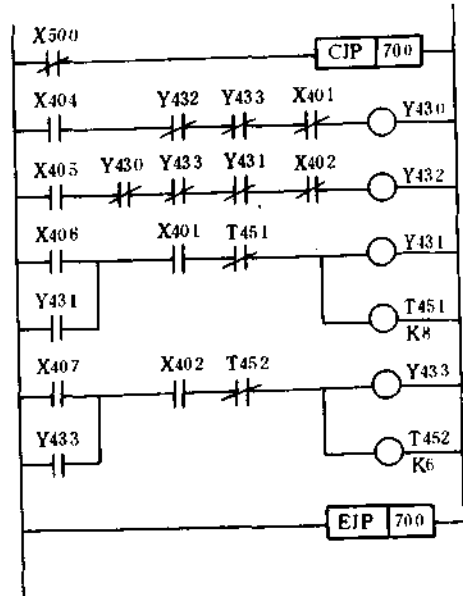


图10-16 手动操作梯形图

小车运行自动控制过程如下：

PC 开始运行时，M71产生初始化脉冲，F671、F672和 F670起作用，使状态 S600~S604均复位清零。小车原位在末端，X402接通。当开关 X400接通时，状态 S600转移到 S601，S600自动复位（断开），Y430线圈接通。小车前进。小车压到前限位开关时 X401接通，状态 S601转移到 S602，S601自动复位，此时 Y431接通，翻斗门打开，同时定时器 T450开始计时。8s 后 T450动作，状态 S602转移到 S603（S602自动复位），Y432接通，小车后退。小车压到后限位开关时，X402接通，状态从 S603转移到 S604（S603自动复位），Y433接通，底门打开，同时 T451开始计时，6s 后 T451常开接点闭合，当工作方式选择自动连续时，X501常开接点已闭合，此时，状态从 S604转移到 S601（S604自动复位），小车完成了一个工作过程后，Y430又接通，小车又前进，开始第二个工作过程，小车就这样自动连续往返运行下去。打开 PC 运行开关和起动车时，小车则停止运行。

小车手动操作和自动控制总的程序如下：

第六节 功能指令及编程方法

F_i系列 PC 提供近90条丰富的功能指令，本节介绍其中一部分，大部分用表格形式综述，读者可举一反三。

一、功能指令基本概念与表达方式

功能指令可以用来实现数据处理、算术运算、高速处理等等。功能指令表达方式与基本指令不同，基本指令是用逻辑操作符（亦称助记符）表示，它的梯形图就是继电器接点和线圈的连接图。功能指令用功能号表示（功能指令的第一个字母均用“F”），也就是用子程序号表示，其梯形图表示为功能线圈。

功能指令的表达方式如图10-19所示。其梯形图由三部分组成：输入条件、设定线圈和执行线圈。输入条件用常开接点，当输入条件接通（ON）时，设定线圈和执行线圈才有效。用执行线圈 F670后面 K 的数据来设定执行功能，即设定实现某种特定操作。而用设定线圈 F671~F675后面 K 的数据进一步说明指令执行的具体条件。

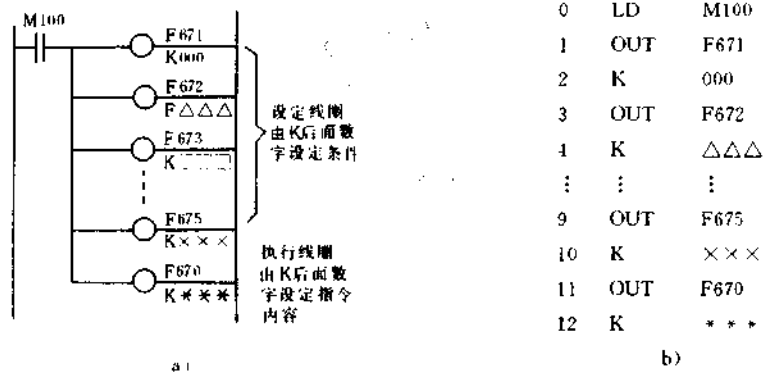


图10-19 功能指令表达方式

a) 梯形图 b) 指令程序

二、输入/输出高速处理指令

输入与输出高速处理指令如表10-4所示。

表10-4 输入与输出高速处理指令表

指令	功能摘要	指令使用器件
K00 (K100)	刷新全部输入点	X00~X27, X400~X427, X500~X527
K101	刷新部分输入点	X400~X407
K02 (K102)	刷新全部输出点	Y30~Y47, Y430~Y437, Y530~Y537
K112, K113	测量 X400输入信号上升沿	X400
K114, K115	测量 X401输入信号上升沿	X401
K122	测量 X402输入脉冲信号宽度	X402
K123	测量 X403输入脉冲信号宽度	X403
K124	计 X400输入点正脉冲信号个数 (0~999)	X400
K125	计 X401输入点正脉冲信号个数 (0~999)	X401

注：表中指令须与 F670配合使用

现以 F670 K00 (或 K100) 指令为例, 说明上表指令的基本用法。K00 指令用法如图 10-20 所示。当输入条件 M200 接通时, 所有输入点的全部开关信息将被刷新, 写入到输入映像寄存器。当 M200 断开时, 该功能指令无效。

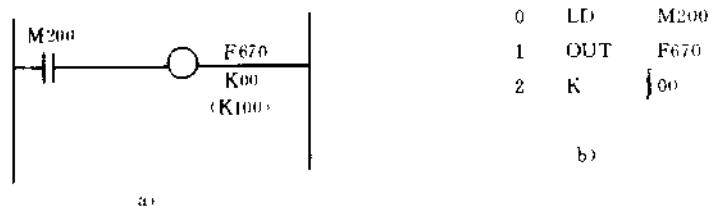


图10-20 K00指令的用法

a) 梯形图 b) 指令程序

三、复位指令

复位指令如表10-5所示。

表10-5 复位指令表

指令	功能摘要	使用器件
K26 (或 K103)	指定范围内的映像寄存器复位	Y30~Y547, M100~M377, S600~S647
K10 (或 K110)	M473复位	M473
K11 (或 K111)	“计数器对” C660与 C661的接点 C660复位	C660与 C661
K116	禁止用 X401输入信号作计数器对高速计数复位信号	C660与 C661计数器对
K14	进位标志 M571置位	M571
K15	进位标志 M571复位	M571
K16	零标志 M572置位	M572
K17	零标志 M572复位	M572
K18	借位标志 M573置位	M573
K19	借位标志 M573复位	M573
K46	数据寄存器零校验	D700~D777
K48	指定位清零	D700~D777

注: 表中指令须与 F670 配合使用。

(一) F670 K46

用于检验数据寄存器中的值是否为零。

本指令用法如图 10-21 所示。F671 线圈用于设定所要检验的数据寄存器编号 (图中为 D710)。当执行条件 (图中 X400) 接通时, 执行零检验指令。如果 D710 中的数值为 0, 则零标志 M572 接通, Y432 接通其指示灯亮。如果数据寄存器编号设置错误, 则错误标志 M570 接通。

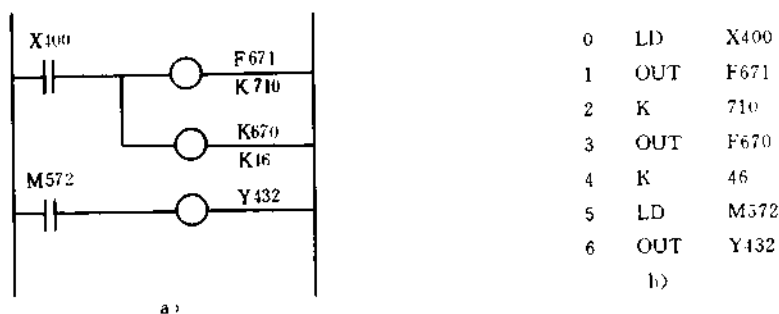


图10-21 K46指令的用法
a) 梯形图 b) 指令程序

(二) F670 K14~K19

用于标志位 M571、M572、M573的置位或复位。

指令的梯形图如图10-22a所示，相应指令程序见图b。这些指令只有执行线圈，每个线圈都要输入条件触点，图中为 X404~X411接点。当某一输入条件触点接通时，相应的标志位置位（接通）或复位（断开）。如果指令有错误，错误标志 M570接通。

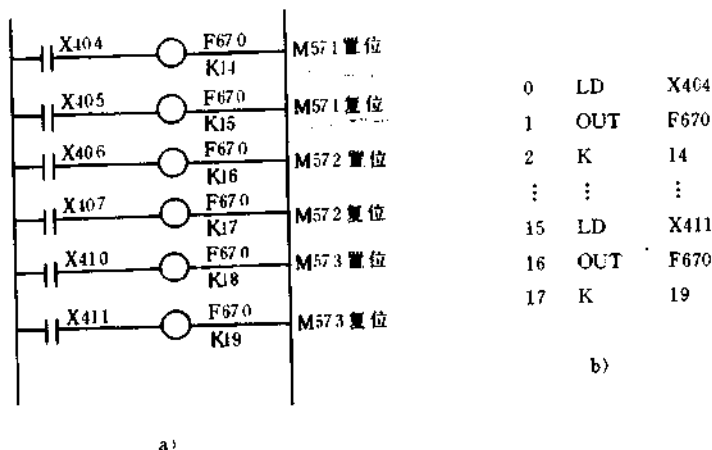


图10-22 K14~K19指令的用法
a) 梯形图 b) 指令程序

四、数据传送功能指令

数据功能指令适用于对指定器件赋值，也适用于把运算结果传送到指定器件中。当指令设定错误时，错误标志 M570接通，且不执行传送。但传送功能指令不影响标志 M571、M572、M573。数据传送功能指令如表10-6所示。

(一) F670 K27

用于把1~3位的十进制数传送到 Y、M 或 S 中。

本指令用法如图10-23所示。F671线圈用于设定被传送的十进制常数（图中为963）。F672线圈用于设定传送数据的位数（图中为3位）。F673线圈用于设定存放 BCD 数最低位的器件的编号（图中为 M100），且编号最末尾应为“0”，否则出错标志 M570接通，不执行指令。当执

表10-6 数据传送功能指令表

指令	传送源 (存放源数据的器件编号或常数)	传送目标 (存放目标数据的器件编号)	传送数据类型与说明
K105	C60~C667	M260~M273	3位BCD数
K104	M260~M273	C60~C667	3位BCD数
K36	X、Y、M100~M377、S	D700~D777	3位BCD数
K37	D700~D777	Y、M100~M377、S	3位BCD数
K29	X、Y、M、S	Y、M、S	N位(1~16位)二进制数
K35	T、C、D	Y、M、S	加偏移量传送
K34	M、S	T、C、D	1~3位BCD数
K27	常数	Y、M、S	1~3位BCD数
K28	常数(0~377)	Y、M、S	3位8进制数
K33	常数	T、C、D	3位BCD数
K109	常数(2组0~999)	$K_L \rightarrow M240 \sim M253$	6位BCD数
		$K_H \rightarrow M250 \sim M273$	
K51	T、C、D	T、C、D	3位BCD数
K38	常数(0~999)	$\xrightarrow[N \text{次}]{(1 \sim 64)}$ $D_i (D_1, D_{11}, \dots)$ (D700~D777)	3位BCD数送到以 D_i 为首的数据寄存器
K39	$\xrightarrow[N \text{次}]{(1 \sim 64)}$ D_1 (D700~D777)	D_2 (D700~D777)	D_1 的数据传送到以 D_2 为首的数据寄存器
K52	(D_1) (D700~D777)	$\rightarrow D_2$ (D700~D777)	间接传送
K53	D_1 (D700~D777)	$\rightarrow (D_2)$ (D700~D777)	间接传送
K54	(D_1) (D700~D777)	$\rightarrow (D_2)$ (D700~D777)	间接传送

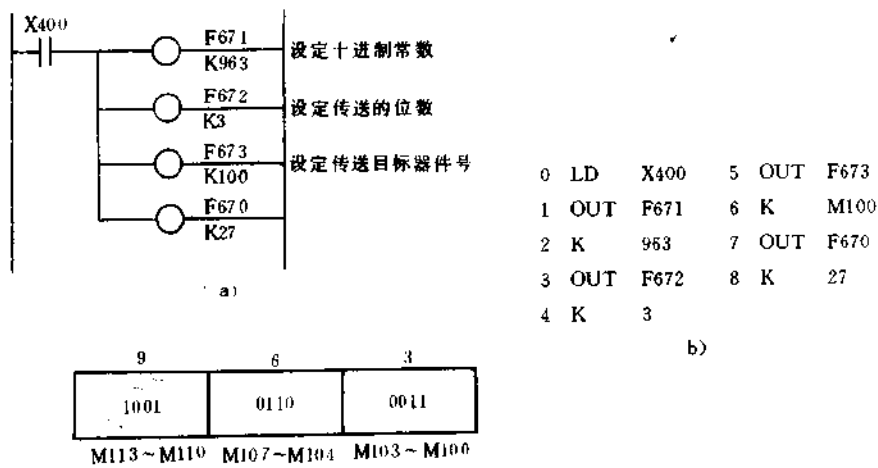


图10-23 K27指令的用法

a) 梯形图 b) 指令程序 c) 传送数据结果

行条件 X400 接通时, 数据 963 被传送到 M 中。此时 M100、M101、M105、M106、M110、M113 状态为“1”, 如图 c 所示。同理, 如果 F673 线圈后面 K 的设定为 430, 则数据传送到 Y 中, 此时, 传送 963 的结果为: Y430、Y431、Y435、Y436、Y440、Y443 为“1”态, 即接通。

(二) F670 K37

用于把存放在数据寄存器中 3 位十进制 (BCD) 数, 传送到 Y、M100~M377、S 中。

本指令用法如图 10-24 所示, F671 线圈用于设定传送源数据寄存器的编号 (图中为 D700, 且设存放的数据为 357)。F672 线圈用于设定传送目标器件编号 (图中为 M200), 编号最低位应为“0”, 否则出错标志 M570 接通, 且不执行指令。当执行条件 X400 接通时, 执行传送指令。

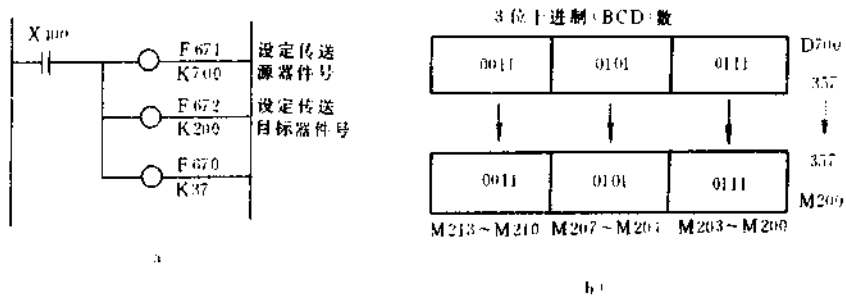


图 10-24 K37 指令的用法

a) 梯形图 b) 数据传送

(三) F670 K33

用于把 3 位十进制数传送到定时器 T, 计数器 C, 数据寄存器 D。

本指令的用法如图 10-25 所示, F671 线圈用于设定被传送的十进制数, 如果传送目标是数据寄存器 D 或计数器 C, 则设定数的范围为 0~999。如果传送目标是定时器, 则整数和小数都有效。F672 用来设定传送目标器件号。图中设把常数 759 传送到数据寄存器 D700。

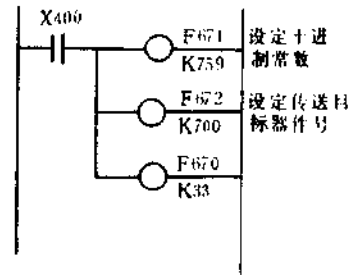


图 10-25 K33 指令的用法

五、数据比较功能指令

数据比较功能指令用来比较两个数值的大小。这两个数据分别存放在比较源和比较目标器件中, 执行比较指令后, 比较源和比较目标中存放的数据不变。当输入条件接通时, 执行比较指令, 断开时不执行比较功能, 如果指令设定错误, 则错误标志 M570 接通, 不执行比较。比较结果有下面三种情况:

- 当比较源数据小于比较目标数据时, M571 接通。
 - 当比较源数据等于比较目标数据时, M572 接通。
 - 当比较源数据大于比较目标数据时, M573 接通。
- 数据比较功能指令如表 10-7 所示。

表10-7 数据比较功能指令表

指令 (与 F670 配合使用)	比较源	比较目标	比较数据类型与说明
K107	M (260~273) ↔ C (60~667)		M 中 3 位 BCD 数与 C 的现行值比较
K42	X、Y、M、S ↔ C、D		X、Y、M、S 中 3 位 BCD 数与 C、D 现行值比较
K41	X、Y、M、S ↔ T、C、D		X、Y、M、S 中十进制数如偏移量与 T、C、D 现行值比较
K45	C60~C667、D700~D777 ↔ C60~C667、D700~D777		D 或 C 现行 3 位 BCD 数之间比较
K10	常数 K ↔ T、C、D		3 位 BCD 数与 T、C、D 现行值比较
K106	C (60~667) ↔ 常数 A 与 B ($B \geq A$)		C 的现行值与 3 位 BCD 数 A 和 B 取值范围比较
K43	T、C、D ↔ 常数 A 与 B ($B \geq A$)		T、C、D 现行值与 3 位 BCD 数 A 和 B 取值范围的比较
K14	C、D ↔ 常数 A 与 B ($B \neq A$)		C、D 现行值与 6 位 BCD 数 A 和 B 取值范围的比较
K168	C60~C667 ↔ 常数 A 与 B ($B \geq A$)		C 现行值与 6 位 BCD 数 A 和 B 取值范围的比较

(一) F670 K107

用于将 M260~M273 中 3 位十进制 (BCD) 数与计数器 C 的现行值比较。

本指令的用法如图 10-26 所示。应先用 K27 指令把 3 位十进制 (BCD) 数 (图中为 111) 传送到 M260~M273 中。F671 线圈用于设定比较目标器件号 (图中为 C460, 且设定其值为 109)。当执行条件 (图中为 X402) 接通时, 执行比较。若 M260~M273 的数据小于 C460 中的现行值, 则进位标志 M571 接通。若 M260~M273 的数据等于 C460 的现行值, 则零位标志 M572 接通。若 M260~M273 的数据大于 C460 现行值, 借位标志 M573 接通。如果数据设置错误, 则出错标志 M570 接通, 且不执行指令。本图中设定的数据使 M573 接通, Y433 接通其指示灯亮。

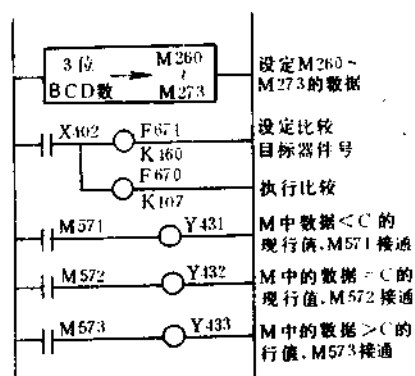


图10-26 K107指令的用法

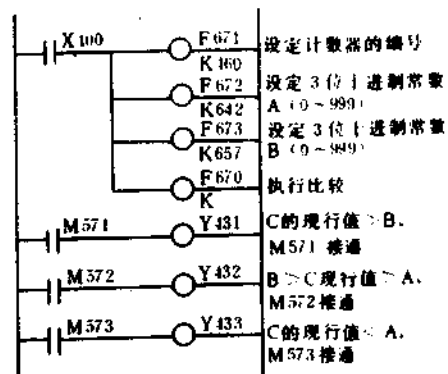


图10-27 K106指令的用法

(二) F670 K106

用于将计数器中现行值与3位BCD数A和B取值范围的比较。

本指令用法如图10-27所示。F671线圈用于设定计数器的编号(C60~C667,图中为C460,且设定其值为753)。F672线圈用于设定3位十进制(BCD)数A(0~999,图中设定为642)。F673线圈用于设定3位十进制数B(0~999,图中设定为657)。设定数据时应使 $B \geq A$ 。如果 $A > B$,则只与A作比较。当执行条件X400接通时,执行比较:

当C的现行值 $>B$ 的数据,则M571接通。

当 $B \geq C$ 的现行值 $\geq A$,则M572接通。

当C的现行值 $<A$,则M573接通。

本图中设定的数据使M571接通。Y431接通其指示灯亮。

六、算术运算功能指令

算术运算功能指令执行加、减、乘、除四则运算。运算结果存放在数据寄存器中。运算数据类型有3位八进制数、3位十进制数和6位十进制数三种。算术运算主要是在常数和数据寄存器以及数据寄存器之间进行。算术运算结果如果产生进位,则进位标志M571接通,若产生借位,则借位标志M573接通,若结果为0,则零位标志M572接通。但乘法和除法运算对标志M571、M572和M573不发生影响。

算术运算功能指令均按梯形图格式设定,当F670线圈接通时,执行功能指令。但在以下几种情况下,指令不执行,这时错误标志M570接通。

- ① 执行除法运算时,除数为0。
- ② 执行3位八进制数运算时,参与运算的数据不在0~777之间。
- ③ 执行6位十进制数运算时,参与运算的数据寄存器编号为奇数。
- ④ 数据寄存器编号不在D700~D777之间。

算术运算功能指令如表10-8所示。

表10-8 算术运算功能指令表

运算	指令	功能	运算数据类型与说明
加	K57	$D_1 + D_2 = D_3$	将两个D中的3位BCD数相加,结果存放在 D_3 中
	K61	$D + 1 \Rightarrow D$	将D中3位BCD数加1,结果仍存于原D中
	K64	$C + 1 \Rightarrow C$	将C中存放的3位十进制数加1,结果仍存于原C中
法	K60	$D_1 + D_2 = D_3$	将两个D中的3位八进制数相加,结果存放于 D_3 中
	K63	$D + 1 \Rightarrow D$	将数据寄存器中3位八进制数加1,结果又存于原D中
	K55	$D_1 + K + C_Y = D_2$	将D中3位BCD数、3位BCD数K、及进位 C_Y 相加
	K58	$D_1 + D_2 + C_Y = D_3$	将两个D间3位BCD数带进位相加
	K62	$D_{i-1}D_i + 1 \Rightarrow D_{i+1}D_i$	将D中6位BCD数加1,结果仍存放在原D中
	K56	$D_{i-1}D_i + A_nA_i + C_Y = D_{i+1}D_i$	将D中6位BCD数与6位BCD数及进位相加
K59	$D_{i+1}D_i + D_{k+1}D_k + C_Y = D_{j-1}D_j$	将两组D之间6位BCD数及进位相加	

(续)

运算	指令	功能	运算数据类型与说明
减 法	K87	确定运算结果存放形式	补码或绝对值形式
	K68	$D_1 - D_2 \Rightarrow D_3$	将两个 D 中的 3 位 BCD 数相减
	K71	$D - D_2 \Rightarrow D_3$	将两个 D 中的 3 位八进制数相减
	K72	$D - 1 \Rightarrow D$	将 D 中 3 位 BCD 数减 1, 结果仍存于原 D 中
	K74	$D - 1 \Rightarrow D$	将 D 中 3 位八进制数减 1, 结果仍存在原 D 中
	K75	$C - 1 \Rightarrow C$	将 C 中 3 位 BCD 数减 1, 结果仍存在原 C 中
	K73	$D_{i+1}D_i - 1 \Rightarrow D_{i+1}D_i$	将 D 中 6 位 BCD 数减 1, 结果仍存放于原 D 中
	K66	$D_i - K - B_i = D_2$	将 D 中 3 位 BCD 数与 3 位 BCD 数 K 及借位 B_i 相减
	K69	$D_1 - D_2 - B_i = D_3$	两个 D 中 3 位 BCD 数带借位相减
	K67	$D_{i+1}D_i - A_H A_L - B_i = D_{i+1}D_i$	将 D 中 6 位 BCD 数与 6 位 BCD 数及借位 B_i 相减
乘 法	K70	$D_{i+1}D_i - D_{k+1}D_k - B_i = D_{i+1}D_i$	将两个 D 中 6 位 BCD 数带借位相减
	K77	$D_i \times K = D_{i+1}D_i$	将 D 中 3 位 BCD 数与 3 位 BCD 数 K 相乘
	K79	$D_i \times D_k = D_{i+1}D_i$	两个 D 中的 3 位 BCD 数相乘
	K78	$D_{i+1}D_i \times A_H A_L = D_{i+1}D_i - 2D_{i+1}D_i$	将 D 中 6 位 BCD 数与 6 位 BCD 数相乘
除 法	K80	$D_{i+1}D_i \times D_{k+1}D_k = D_{i+1}D_i + 2D_{i+1}D_i$	两个 D 中 6 位 BCD 数相乘
	K81	$D_i \div K = D_i, D_{i+1}$ (余数)	D 中 3 位 BCD 数被 3 位 BCD 数 K 除
	K83	$D_i \div D_k = D_i, D_{i+1}$ (余数)	两个 D 中 3 位 BCD 数作除法运算
	K82	$D_{i+1}D_i \div A_H A_L = D_{i+1}D_i, D_{i+1}D_{i+2}$ (余数)	D 中 6 位 BCD 数除以 6 位 BCD 数
K84	$D_{i+1}D_i \div D_{k+1}D_k = D_{i+1}D_i, D_{i+1}D_{i+2}$ (余数)	两个 D 中 6 位 BCD 数作除法运算	

注: 表中数据寄存器 D 编号为 D700~D777, 计数器 C 的编号为 C60~C667, C_V 表示进位, B_i 表示借位。表中指令与 F670 配合使用, $D_{i+1}D_i$ 表示数据寄存器 D 中 6 位 BCD 数 (D_{i+1} 为高 3 位, D_i 为低 3 位), $A_H A_L$ 表示 6 位 BCD 数 (A_H 为高 3 位, A_L 为低 3 位)

(一) 加法运算指令

在执行加法运算指令时, 参与运算的进位 C_V 的值取决于执行指令之前 M571 的通或断状态, 即为“1”或为“0”态。在运算结果中, 若产生进位则进位标志 M571 接通, 若为零则零标志 M572 接通, 但加法运算不对借位标志 M573 发生影响。

1. F670 K55 用于将数据寄存器中 3 位十进制 (BCD) 数与 3 位十进制 BCD 常数 K (0~999) 及进位相加。

本指令用法如图 10-28 所示, F671 功能线圈用于设定存放被加数的数据寄存器编号 (图中为 D701, 设存放值为 456), F672 用于设定 3 位十进制 (BCD) 常数 K (图中为 678), F673 用于设定存放和的数据寄存器编号 (图中为 D702)。当执行条件 X401 接通时, 执行运算。图中设定数据运算的结果进位, M571 接通, D702 存放数据为 134 (3 位十进制 BCD 数)。

2. F670 K56 用于将数据寄存器中 6 位十进制 (BCD) 数与 6 位十进制 (BCD) 数及进位 C_V 相加。

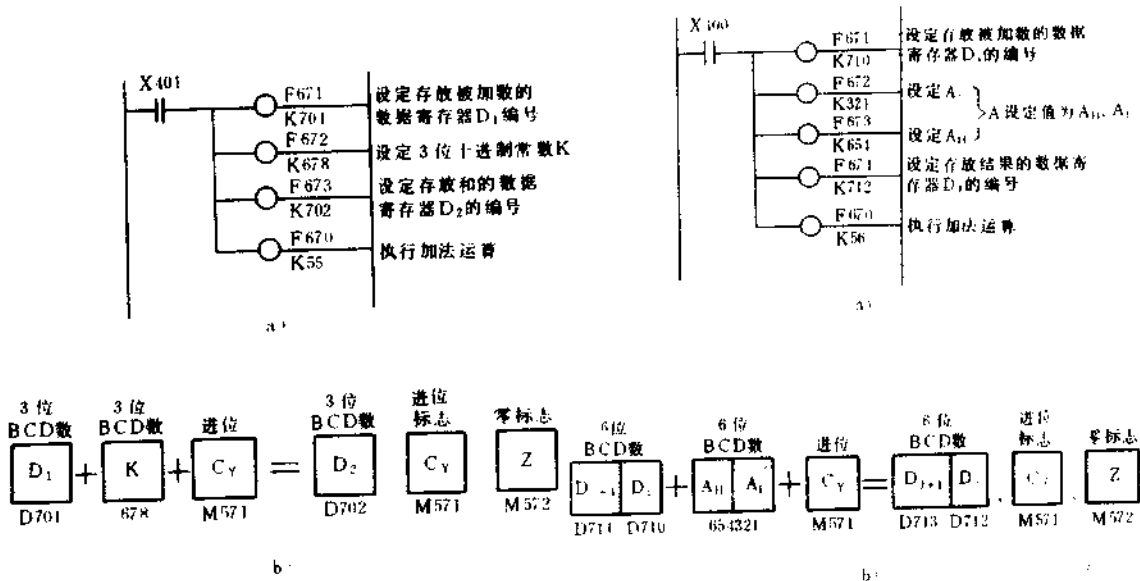


图10-28 K55指令的用法
a) 梯形图 b) 运算过程

图10-29 K56指令的用法
a) 梯形图 b) 运算过程

本指令用法如图10-29所示。F671线圈用于设定存放被加数低3位数数据寄存器的编号(图中为D710, 应为偶数编号, 设存放值为543), 高3位数存放寄存器编号自动在存放低3位数寄存器编号基础上加1(图中应为D711, 设存放数据为876)。F672线圈用于设定常数的低3位A_L, 而F673线圈用于设定高3位A_H。F674线圈用于设定存放运算结果中低3位的数据寄存器的编号(图中为D712), 编号应为偶数, 存放高3位的数据寄存器编号自动加1(图中应为D713)。图中A_H=654, A_L=321, 即常数A_HA_L=654321, 执行条件X400接通时, 执行运算。

(二) 减法运算指令

执行减法运算指令时, 参与运算的借位B_r值取决于执行该减法指令之前M573的通、断状态。若运算结果产生借位时, 借位标志M573接通。若结果为零则零标志M572接通, 但减法运算对进位标志M571不发生影响。

1. F670 K68 用于把两个数据寄存器中存放的3位十进制数(BCD)相减。K68指令用法如图10-30所示。F671线圈用于设定存放被减数的数据寄存器的编号(图中为D710)。F672线圈用来设定存放减数的数据寄存器的编号(图中为D711)。F673线圈用来设定存放运算结果的数据

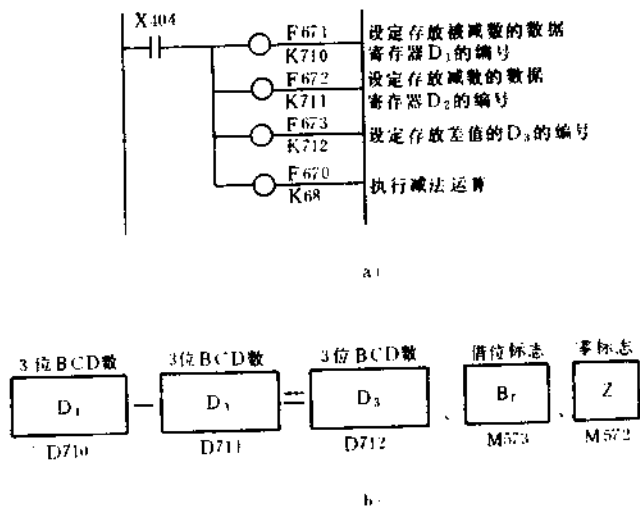


图10-30 K68指令用法
a) 梯形图 b) 运算过程

寄存器的编号（图中为 D712）。

假设被减数为123，减数为321，当 X404接通时，运算结果为（-198）。当差值为负时，可用绝对值表示，也可用补码形式表示，这取决于 F670 K87指令状态。当 K87指令输入条件接通（ON）时，用绝对值表示，当 K87指令输入条件断开（OFF）时，用补码表示。因此在使用减法指令之前需设定 K87的标志，即确定减法运算结果存放形式。

2. F670 K87 用于确定减法运算结果存放形式

K87指令梯形图如图10-31所示。当输入条件（图中为 M100）接通时，执行 K87指令。当 K87指令后面的减法指令执行结果为负值时，则用绝对值表示，例如：123 - 321 = -198，执行 F670 K68指令后，（-198）用绝对值198表示，且借位标志 M573接通。当输入条件 M100断开时，K87指令后面的减法指令执行结果用10的补码表示，例如：（123 - 321）的结果表示为802（从高位借1，相当于1123 - 321 = 802），同时借位标志 M573接通。

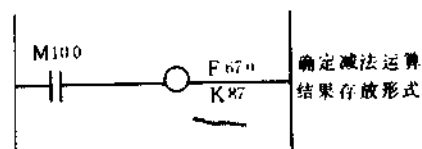


图10-31 K87指令梯形图

（三）乘法运算指令

执行乘法运算指令时，若是两个3位十进制（BCD）数相乘，则乘积为6位十进制数（BCD），若是两个6位十进制（BCD）数相乘，则乘积为12位十进制（BCD）数。但乘法运算不对 M571、M572和 M573标志产生影响。

1. F670 K77 用于将数据寄存器中的3位十进制（BCD）数与3位十进制（BCD）常数 K 相乘。

K77指令用法如图10-32所示。F671线圈用于设定存放被乘数的数据寄存器编号（本图为 D710）。F672线圈用来设定乘数 K（图中为321）。F673线圈用于设定存放乘积低3位的数寄存器的编号（图中为 D712），该编号应为偶数，存放积的高3位数的寄存器的编号自动加1（图中应

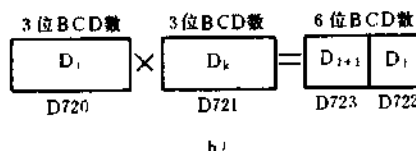
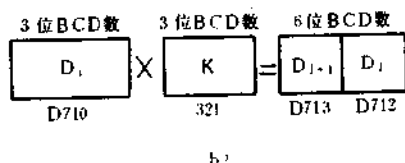
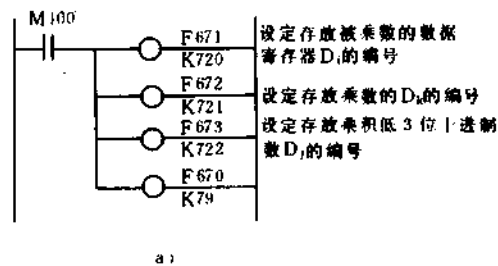
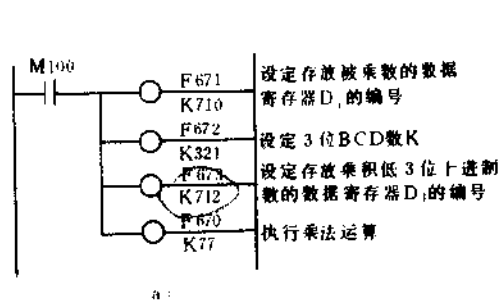


图10-32 K77指令的用法

a) 梯形图 b) 运算过程

图10-33 K79指令的用法

a) 梯形图 b) 运算过程

为 D713)。假设本图中已用 K33 指令把被乘数 456 送入 D710 中, 则乘积为 146376, 此时 146 被传送到 D713, 376 被传送至 D712 中存放起来。M100 接通时, 才执行运算。

2. F670 K79 用于将两个数据寄存器中存放的 3 位十进制 (BCD) 数相乘。

本指令用法如图 10-33 所示。F671 线圈用于设定存放被乘数的数据寄存器编号 (图中为 D720, 设存放数据为 876)。F672 线圈用来设定存放乘数的数据寄存器编号 (图中为 D721, 设存放数据为 543)。F673 线圈用来设定存放乘积低 3 位的数据寄存器的编号 (应为偶数, 图中为 D722), 存放乘积高 3 位数的数据寄存器的编号自动加 1 (图中应为 D723)。执行运算指令后 (图中 M100 接通), 乘积低 3 位 BCD 数 668 存放于 D722 中, 高 3 位 BCD 数 475 存放在 D723 中, 即乘积为 6 位 BCD 数 475668。

(四) 除法运算指令

执行除法运算指令, 如果是两个 3 位十进制数 (BCD) 相除, 则商和余数都是 3 位十进制数 (BCD)。如果两个 6 位十进制数 (BCD) 相除, 则商和余数均为 6 位十进制数 (BCD)。但除法运算对进位标志 M571、零位标志 M572 和借位标志 M573 不发生影响。

1. F670 K83 用于两个数据寄存器中 3 位十进制 (BCD) 数作除法运算。

本指令用法如图 10-34 所示。F671 线圈用于设定存放被除数的数据寄存器编号 (图中为 D720, 设存放数据为 964)。F672 线圈用于设定存放除数的数据寄存器编号 (图中为 D721, 设存放数据为 321)。F673 线圈用于设定存放商数的数据寄存器的编号 (图中为 D722), 此编号应为偶数, 此编号自动加 1 的数据寄存器存放余数 (图中应为 D723)。执行除法运算指令 (图中 M200 接通) 后, 设定数据运算结果, 商数 3 存放于 D722 中, 而余数 1 存放于 D723 中。

2. F670 K81 用于将数据寄存器中的 3 位十进制 (BCD) 数除以 3 位十进制 (BCD) 常数 K。

指令用法如图 10-35 所示。F671 线圈用于设定存放被除数寄存器的编号 (图中为 D700, 并

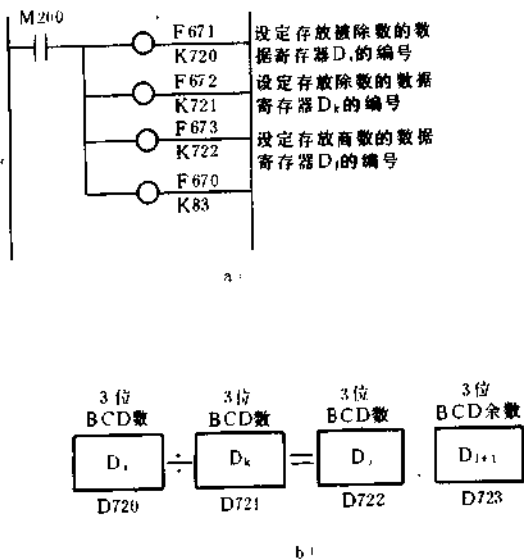


图 10-34 K83 指令的用法
a) 梯形图 b) 运算过程

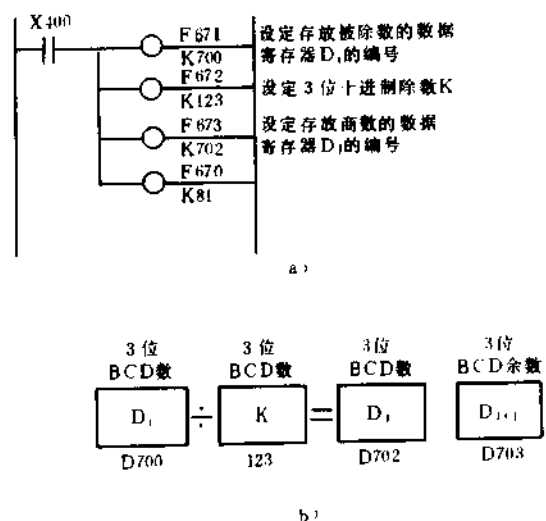


图 10-35 K81 指令的用法
a) 梯形图 b) 运算过程

为其设值732)。F672线圈用于设定3位十进制(BCD)数(图中为123)。F673线圈用于设定存放商数的寄存器的编号且为偶数(图中为D702)。余数自动存入D703。当X400接通时,执行运算结果(本图中)为:商为5,余数为119。这可用K37指令把数据寄存器中的数据传送到辅助继电器M中,再从M中读出D702和D703中的数值。在执行指令之前,应用K33指令把732送到D700中。

七、其它功能指令

除上面介绍的功能指令外,F₁系列PC还提供其它功能指令,如表10-9所示(仅列出一部分)。

表10-9 其它功能指令表

指令	功能	使用器件
K88	检验某两个寄存器之间所有数据寄存器存放的数据是否为3位BCD数	D700~D777
K49	将两个数据寄存器中的数据互换	D700~D777
K131	将3位BCD(十进制)数转换成10位BIN(二进制)数	BCD存于: X、Y、M100~M377、S BIN存于: Y、M100~M377、S
K132	将10位BIN数转换成3位BCD数	BIN存于: X、Y、M100~M377、S BCD存于: Y、M100~M377、S
K130	将指定寄存器中存放的数据由低位向高位或从高位向低位移动N(0~192)位	M100~M377
K85	A/D: 模拟量→8位二进制数→3位BCD(0~255)→D	D700~D777等
K86	D/A: 3位BCD数(0~255)→8位二进制数→模拟量	D700~D777等

(一) F670 K49

用于将两个数据寄存器中存放的数据互相交换。

本指令用法如图10-36所示。F671线圈用于设定数据寄存器D₁的编号(图中为D710)。F672用于设定数据寄存器D₂的编号(图中为D720)。当输入条件M100接通时,即将两个寄存器中存放的数据进行互换。执行指令前,设D710存放数据为135, D720存放数据为246, 执行本指令后,则D710存放数据为246, D720存放数据为135。当传送器件设置错误,则错误标志M570接通,不执行数据互换。

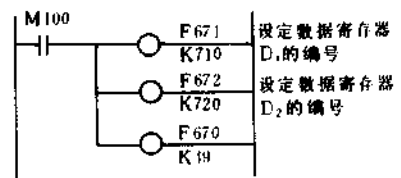


图10-36 K49指令的用法

(二) F670 K131

用于将3位BCD(十进制)数转换成10位BIN(二进制)数。BCD数存放于X、Y、M100~M377或S中。BIN数存放于Y、M100~M377或S中。本指令用法如图10-37所示。F671线圈用于设定存放3位BCD数最低位的器件号(图中为

M200)。F672用于设定存放10位二进制数最低位的器件号（图中为M220）。存放BCD及BIN数的器件号的最低位应为0，否则出错标志M570接通。且不执行转换。设图中M200存放的3位BCD数为865，转换后M220中存放的10位二进制数应为1101100001。

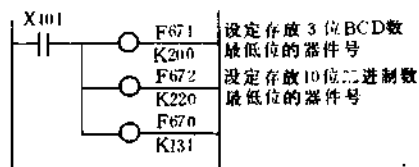
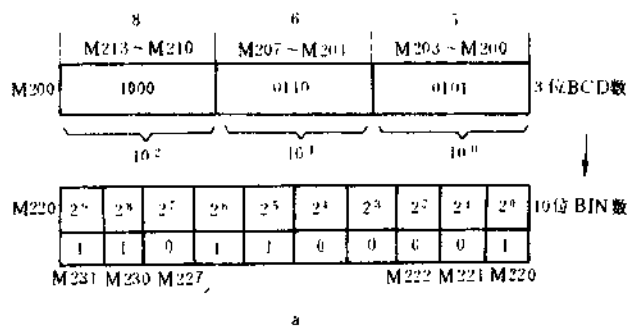


图10-37 K131指令的用法
a) 梯形图 b) 执行转换结果

第十一章 PC 控制系统的设计

学习掌握了 PC 的基本结构与工作原理、指令系统与编程方法、编程器的功能用途与操作使用以后,就可以分析与设计一个 PC 控制系统了。本章主要介绍 PC 控制系统设计的基本原则与内容,设计的一般步骤与方法,PC 控制系统的设计举例和 ROM 写入器的使用。

第一节 PC 控制系统设计简述

一、设计的基本原则

设计任何一个 PC 控制系统时,如同设计任何一种电气控制系统一样,应遵循以下基本原则:

- ① 最大限度地满足被控制对象和用户的控制要求。
- ② 在满足要求的前提下,力求使控制系统简单,一次性投资小,使用后节约能源。
- ③ 保证控制系统安全、可靠,使用与维修方便。
- ④ 考虑到今后的发展和工艺的改进,在配置硬件设备时应留有一定的裕量。

二、设计的一般步骤与内容

(一) 系统设计

1. 分析工艺要求,首先对被控制对象的工艺过程、工作特点、环境条件、用户要求及其它相关情况,进行仔细的全面的分析,然后绘制供设计时用的必要图表。

2. 控制方案选定,在分析被控制对象及其控制要求的基础上,根据 PC 的技术特点,在与继电接触控制系统和计算机控制系统进行综合比较后,优选控制方案。如果被控制系统具有以下特点,则宜优先选用 PC 控制。

- ① 输入输出以开关量为主。
- ② 输入输出点数较多,一般有 20 点左右就可选用 PC 控制。
- ③ 控制系统使用环境条件较差,对控制系统可靠性要求高。
- ④ 系统工艺流程复杂,用常规的继电接触控制难以实现。
- ⑤ 系统工艺有可能改进或系统的控制要求有可能扩充。

选定 PC 控制后,就要着手 PC 控制的整体及其各个组成部分的设计。

(二) 硬件设计

1. 可编程序控制器的选择,主要考虑以下几个因素。

(1) PC 功能与控制要求相适应,对于开关量控制的及对控制速度要求不高的项目,应选用一般的低档机。对于以开关量控制为主,带有少量模拟量控制的项目,可选用带有 A/D, D/A 转换、加减运算的低档机。对于控制比较复杂、功能要求较高的项目,例如要求实现 PID 调节,闭环控制、通信联网等,应选用中型或大型 PC。PC 功能少了,不能满足要求,多了则投资大。

(2) PC 结构合理、机型统一,对于工艺过程比较稳定,使用环境条件比较好的场合,宜

选用结构简单、体积小、价格低的整体式结构的 PC。对于工艺过程变化较多，使用环境较差，尤其是用于大型的复杂的工业设备上，应选用模块式结构的 PC，这便于维修更换和扩充，但价格较高。对于应用 PC 较多的单位，应尽可能选用统一的机型，这有利于购置备件，也便于维修和管理。

(3) 在线编程或离线编程。离线编程的 PC，主机和编程器共用一个 CPU，在编程器上有一个“编程/运行”选择开关。选择编程状态时，CPU 只为编程器服务，不再对现场进行控制，这就是“离线”编程。程序编好后，当选择运行状态时，CPU 只为现场控制服务，这时不能进行编程，这种离线编程方式可以降低系统的成本，而且又能满足大多数 PC 控制系统的要求，因此现今中小型 PC 常采用离线编程。

对于在线编程方式，主机和编程器各有一个 CPU。编程器的 CPU 可以随时处理由键盘输入的编程指令。主机的 CPU 负责对现场控制，并在一个扫描周期的末尾和编程器通信，编程器把编好的或修改好的程序发送给主机，从下一个扫描周期开始，主机将按新送入的程序运行，控制现场，这就是“在线”编程。在线编程的 PC 增加了硬件和软件，价格高，但使用方便，能满足某些应用场合的要求。大型 PC 多采用在线编程。

对于定型设备和工艺不常变动的设备，应选用离线编程的 PC；反之，可考虑选用在线编程的 PC。

(4) 存储器容量，根据系统大小和控制要求的不同，选择用户存储器容量不同的 PC。厂家一般提供 1K、2K、4K、8K、16K 程序步等容量的存储器。用户程序占用多少内存与许多因素有关，目前只能作粗略估算，估算方法有下面两种，供参考用：

① PC 内存容量（指令条数）约等于 I/O 总点数的 10~15 倍。

② 指令条数 $\approx 6(I/O) + 2(T+C)$ 。式中 T 为定时器总数，C 为计数器总数。还应增加一定的裕量。

(5) I/O 点数，统计出被控设备对输入和输出总点数的需求量，据此确定 PC 的 I/O 点数。必要时增加一定裕量。

(6) PC 的输入输出方式，根据实际情况选定合适的输入输出方式的 PC。

(7) PC 处理速度 PC 以扫描方式工作，从接收输入信号到输出信号控制外围设备，存在着滞后现象，但能满足一般控制要求，如果某些设备要求输出响应快，可采用快速响应的模块，优化软件缩短扫描周期或中断处理等措施。

(8) 是否要选用扩展单元。

2. 外围设备的选择 包括对外围输入设备和外围输出设备两部分的选择。从现场向 PC 输入控制信号的外围设备，例如按钮、开关、传感器等；由 PC 输出信号直接驱动的接触器或电磁阀的线圈、指示器件等。对这些外围设备应按控制要求，从实际出发，选定合适的类别，型号和规格。

3. 其它硬件的设计或选择，包括设计或选定控制柜（台）；选定有关的仪表、熔断器、导线等元器件和材料；选定电源模块等。

(三) 软件设计

这是设计 PC 控制系统中工作量最大的一项工作。其主要内容包括：对复杂的控制系统应绘制工艺流程图或控制功能图；编制梯形图，这是最关键也是较难的一步；根据梯形图编写程序单；对复杂的程序首先进行分段调试，然后进行总调试，并作必要的修改，直到满足要

求为止。

(四) 施工设计

和一般电气施工设计一样, PC 控制系统的电气施工设计也应包括以下主要内容:

- ① 画出完整的电路图, 必要时还要画出控制环节(单元)电气原理图。
- ② 画出 PC 的输入输出端子接线图。
- ③ 画出 PC 的电源进线接线图和输出执行电器的供电接线图。
- ④ 电气柜内元器件布置图, 相互间接线图。
- ⑤ 控制柜(台)面板元器件布置图。
- ⑥ 如果大的系统有多个电气柜时, 应画出各个电气柜间连接线图。
- ⑦ 其它必须的施工图。

施工时应特别注意安装要安全、正确、可靠、合理、美观, 特别要注意提高系统的抗干扰能力。

三、系统调试

PC 控制系统设计和安装好了以后, 就可进行系统总调试了。在检查接线等无差错后, 先对各单元环节和各电柜分别进行调试, 然后再按系统动作顺序, 模拟输入控制信号, 逐步进行调试, 并通过各种指示灯显示器, 观察程序执行和系统运行是否满足控制要求, 如果有问题, 先修改软件, 必要时再调整硬件, 直到符合要求为止。接着进行模拟负载, 或空载或轻载调试, 没有问题时, 最后进行额定负载调试, 并投入运行考验。

四、将程序固化

在程序调试好并投入运行考验成功后, 一般都把程序固化在有永久性记忆功能的只读存储器 EPROM 中。这一内容将在本章第五和第六节中介绍。

五、编写技术文件

系统调试和运行考验成功后, 整理技术资料, 编制技术文件(包括设计资料、材料清单、调试情况)及使用、维护说明等。

第二节 扩展计数值和定时值的范围

每一种 PC 的定时器的定时范围和计数器的计数范围都是有一定的限度的, 例如 F 系列 PC 定时器最大的定时时间为 999s, 计数器最大的计数值为 999。但是在实际应用中, 有时需要的设定值大于这个数, 这是设计 PC 控制系统时将会遇到的实际问题。为此, 本节将介绍扩展计数值和定时值范围的一些方法。

一、计数值范围的扩展

计数器计数值范围的扩展, 可以通过计数器级联组合的方法来实现。图 11-1 为两个计数器级联组合扩展电路, X401 每断/通一次, C460 计数 1 次, 当 X401 断/通 50 次时, C460 的常开接点接通, C461 计数 1 次, 与此同时 C460 另一对常开接点动作, 使 C460 复位, 重新从零开始对 X401 的断/通进行计数, 每当 C460 计数 50 次时, C461 计数一次, 当 C461 计数到 40 次时, 此时 X401 总计接通 $50 \times 40 = 2000$ 次, C461 常开接点闭合, Y431 接通。可见本电路计数值为两个计数器计数值的乘积。

图 11-2 是用三个计数器级联组合扩展计数值范围的电路, 该电路的计数值为三个计数器

计数值的乘积。其计数工作过程，读者可仿照上述思路，方法自行分析。每个计数器设定值 K 由用户设定。图中 M71 在程序开始运行时产生初始化脉冲，使相应计数器复位。

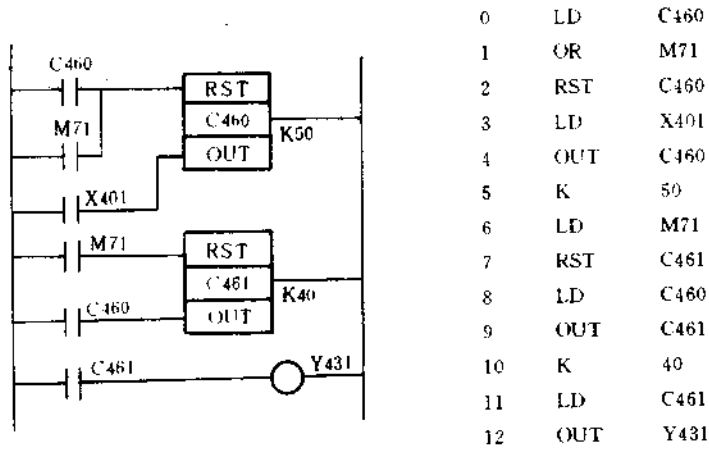


图 11-1 用两个计数器级联扩展

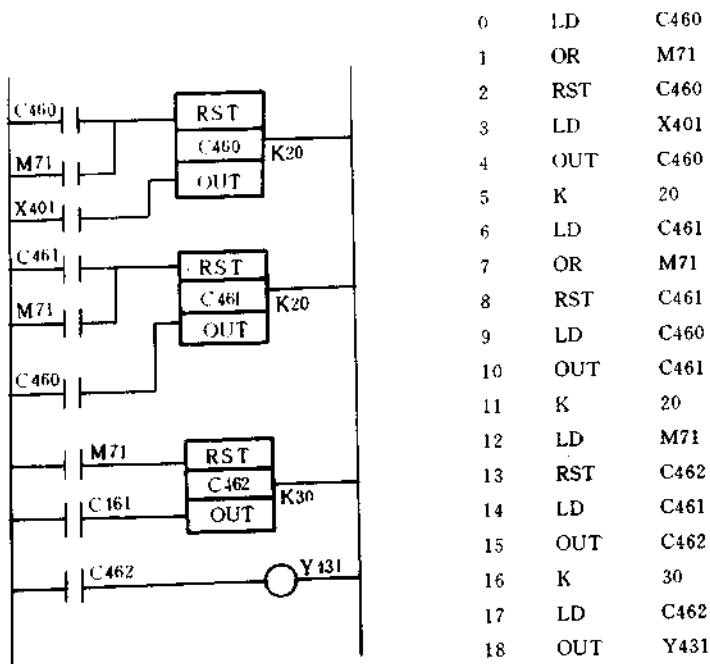


图 11-2 用三个计数器级联扩展

二、定时值范围的扩展

下面介绍两种扩展定时器定时值范围的方法。

(一) 定时器与定时器的级联

扩展定时器定时值范围的方法与扩展计数器计数值范围的方法类似。图 11-3 是用两个定时器级联组合扩展的电路。X400 一闭合，定时器 T450 开始计时，延时 700s T450 的常开触点接通，T451 线圈接通。又经过 800s，T451 常开触点接通 Y431 线圈。从 X400 接通开始到 Y431

接通, 定时时间为: $(700+800) \text{ s} = 1500 \text{ s}$ 。可见本电路总的定时时间为两个定时器定时值之和。同理, 也可用三个定时器级联组合扩展定时值范围, 这时总的定时时间为三个定时器定时时间之和。依此类推, 必要时可用多个定时器级联组合, 使定时值扩展得更大。每个定时器设定值 K 由用户设定。

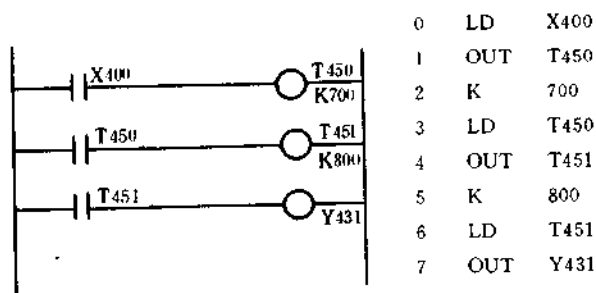


图 11-3 定时器与定时器级联扩展

(二) 定时器与计数器级联组合

图 11-4 是这种级联组合的扩展电路图。图中 T451 形成一个设定值为 20s 的自复位定时器, 当 X401 接通, 在 T451 线圈接通 20s 后, 其常闭触点断开, T451 定时器线圈断开自复位, 待下一次扫描时, T451 常闭触点才闭合, T451 线圈又重新接通。T451 延时 20s 其常开触点闭合, 为计数器输入一个脉冲信号, 计数器 C461 计数 1 次, 当 C461 计数 100 次时, 其常开触点接通 Y431 线圈。可见从 X401 接通到 Y431 接通, 延时时间为定时器和计数器设定值的乘积, 即本电路延时时间为 2000s。程序开始运行时 M71 产生初始化脉冲, 使 C461 复位。

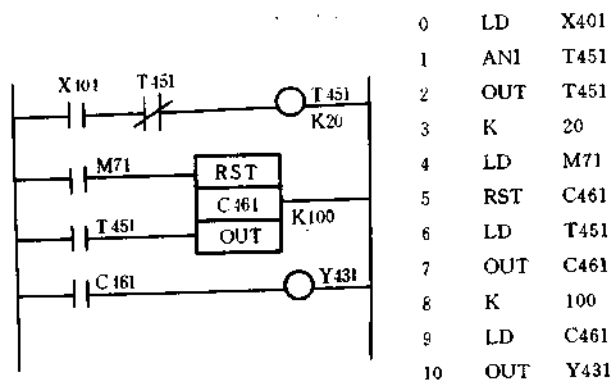


图 11-4 定时器与计数器级联扩展

第三节 输入输出点数的简化

PC 输入输出的点数是有限的, 在设计一个 PC 控制系统时, 可能会遇到 PC 点数不足的问题, 虽然可选定点数多的 PC 或通过扩展单元增加输入输出点数, 但投资增大, 因此需要简化输入输出点数。下面介绍几种简化输入输出点数的方法。

一、输入点数的简化

(一) 控制功能相同的操作开关并联连接

多处控制电动机起动、停止的继电器控制电路如图 11-5 所示。如果 PC 输入输出点数足够，可按图 11-6 接线，这种接线的优点是对外部输入故障的判断，比较容易和直观，但占用 PC 输入点数多。因为停止按钮 SB₁、SB₂、SB₃ 和热继电器触点 FR，具有使电动机停转的功能，起动按钮 SB₄、SB₅ 具有相同的起动电动机功能，所以可按图 11-7 的简化方法接线，即将具有相同控制功能的操作开关并联连接。显然这种接线方式与图 11-6 的接线方式相比，不仅占用 PC 输入点数少了四个，而且梯形图简化了，程序也简短了。

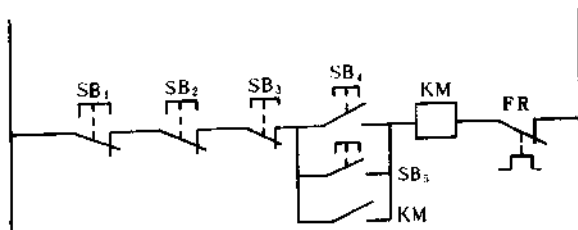


图 11-5 多处控制电动机起动、停止的电路

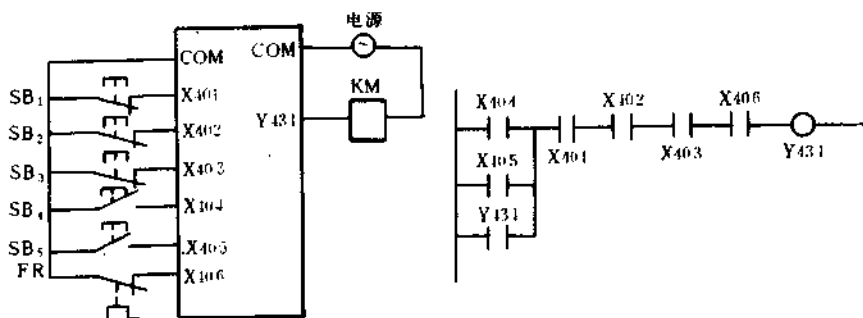


图 11-6 PC 控制电动机的起动、停止

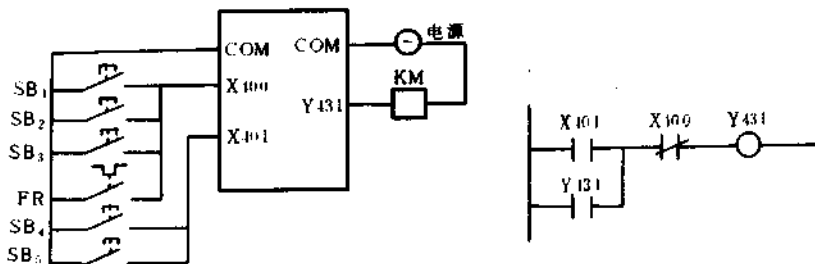


图 11-7 PC 控制电动机的起动、停止

(二) 用单按钮控制起动和停止

用计数器实现这种控制功能的梯形图如图 11-8 所示。在图 11-8 中, X401 接至外部按钮, Y431 用于驱动控制电动机的接触器线圈。当第一次按下按钮时, X401 短时接通, M101 产生微分脉冲, M101 的常开触点动作, Y431 线圈接通并自锁, 使电动机启动。与此同时 M101 的另一对常开触点动作, 计数器 C461 的计数输入端有信号输入, C461 数值减 1。第二次按下按钮时, M101 又产生一个脉冲, 同理使 C461 数值再减 1, 这时 C461 计数次数到 2 次, 其常闭触点断开 Y431 的输出, 电动机停下来。与此同时 C461 的常开触点闭合, 使计数器复位(恢复设定值), 为下一次计数作好准备。这就达到了用一个普通按钮控制启动和停止, 又少占 PC 一个输入点的目的。

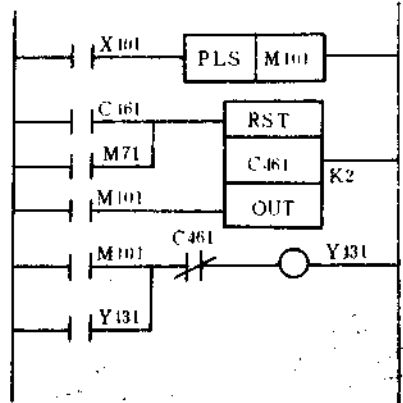


图 11-8 用计数器实现单按钮控制启动和停止

单按钮控制启动、停止, 也可用移位寄存器的移位来实现, 如图 11-9 所示。图中 Y431 输出驱动用户设备, X401 外接按钮。第一次按下按钮时, X401 的两个触点同时短时接通移位寄存器的数据输入和移位输入端, M100 为“1”态, 并立即移位到 M101 (此时 M100 为“0”态), 使 M101 为“1”态, M101 的常开触点闭合, 使 Y431 有输出, 用户设备启动, 同时 M101 的常闭触点断开。第二次按下按钮时, X401 又闭合, 已断开的 M101 常闭触点封锁第 2 次数据输入信号, 于是移位信号将 M100 的“0”移到 M101, 使 M101 变为“0”态, 其常开触点切断 Y431 的输出, 用户设备停止工作。此时电路恢复最初常态, 为第 3 次按下按钮进行启动作好准备。这样就实现了用单个普通按钮控制启动和停止, 又能节省 PC 输入点数的目的。

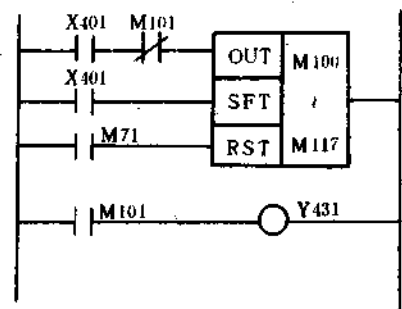


图 11-9 用移位寄存器实现单按钮控制启动和停止

以上介绍了两种实现单按钮控制启动和停止的方法。还有其他实现方法, 可参见第二篇习题第 19~22 题。

(三) 用转移指令处理自动/手动控制方式

有些生产设备设有自动和手动两种工作方式, 常用转换开关进行选择, 这通常要占用 PC 两个输入点, 但输入点不够用时, 可用转移指令和一个开关配合使用, 以达到两种工作方式的选择。用转移指令处理自动/手动控制方式的电路图如图 11-10 所示。设开关接 X401, 当合上开关时, X401 常开触点闭合, CJP701 转移条件成立, 跳过自动工作程序, 而 X401 常闭触点断开, CJP702 转移条件不成立, 执行手动工作程序。打开开关时, X401 常开触点断开, 执行自动工作程序, 而 X401 常闭触点接

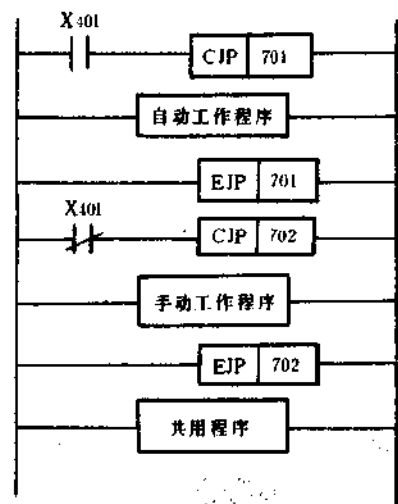


图 11-10 用转移指令处理自动和手动控制方式

通，手动工作程序被跳过不执行。这样，仅用一个输入点就能实现自动和手动两种操作。

二、输出点的简化

(一) 状态指示灯与输出负载并联

指示灯与负载并联如图 11-11 所示，这可节省 PC 输出点。采用这种方法的条件是负载和指示灯的电压必须一致，且两者总的负荷容量不得超过 PC 输出电路允许的负载容量。

(二) 利用接触器辅助触点

许多控制系统尤其是中大功率系统中，通常都含有接触器。必要时可考虑用接触器的辅助触点进行电气联锁或控制指示灯等，这样可少用 PC 输出点。

(三) 用数字显示器代替指示灯

如果工作状态的指示灯或程序步比较多，推荐用数字显示代替指示灯，也可节省 PC 输出点数。例如，16 步程序需要 16 点输出驱动指示灯，如果使用 BCD 码的数字显示，只需 8 点输出驱动 2 行数字显示器即可。2 行数字显示器可显示 00~99，即 100 个状态。具体用法读者可参考有关资料。

(四) 多种故障显示或报警并联连接

有些系统可能有多种故障显示或报警，例如设有过压、过载、超速、越位、失磁、断相等显示或报警，只要条件允许，可把部分或全部显示或报警电路并联连接，用一个或少用几个输出继电器驱动，这也可少占用 PC 输出点数。

简化 PC 输入输出点的方法是多样的，使用者应从实际出发，选用或设计切实有效的方案。

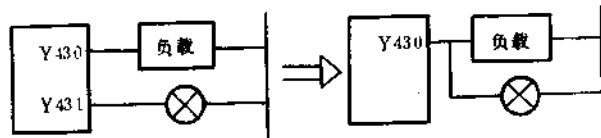


图 11-11 指示灯与负载并联

第四节 PC 控制系统设计举例

一、十字路口交通信号灯的 PC 控制

十字路口交通信号灯通常设置红、绿和黄色三种，但有的路口仅设置红色和绿色两种，如果用 PC 控制则可少用两个输出点。现有一个十字路口，东西和南北方向每个路口都设有红色和绿色交通指挥信号灯，采用 PC 控制，要求如下：

① 接通起动开关后，信号灯系统开始工作，且以南北方向红灯先亮、东西方向绿灯才亮作为初始状态。当断开起动开关时，全部信号灯熄灭。

② 南北绿灯和东西绿灯不能同时亮，否则系统自动熄灭信号灯并报警。

③ 南北红灯亮持续 25s，与此同时东西绿灯亮维持 20s，然后闪亮 5s 后熄灭。接着东西红灯亮，南北绿灯亮。

④ 东西红灯持续亮 30s，同时南北绿灯亮维持 25s，然后闪亮 5s 后熄灭。接着南北红灯又亮，东西绿灯也亮。南北和东西的信号灯，就这样按控制要求周而复始地进行工作。

根据上述控制要求，信号灯工作时序图如图 11-12 所示。采用 PC 控制的输入输出接线图如图 11-13 所示。根据控制要求编制的梯形图如图 11-14 所示。工作过程如下：

当起动开关 Q 合上时，X400 常开触点接通 Y431 线圈，南北红灯亮；T550 为南北红灯工作 25s 开始计时；同时 Y431 常开触点接通 Y433 线圈，东西绿灯亮持续 20s。到 20s 时定时器

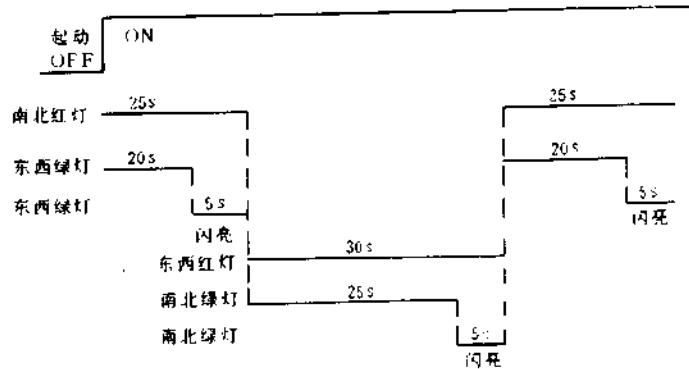


图 11-12 信号灯工作时序图

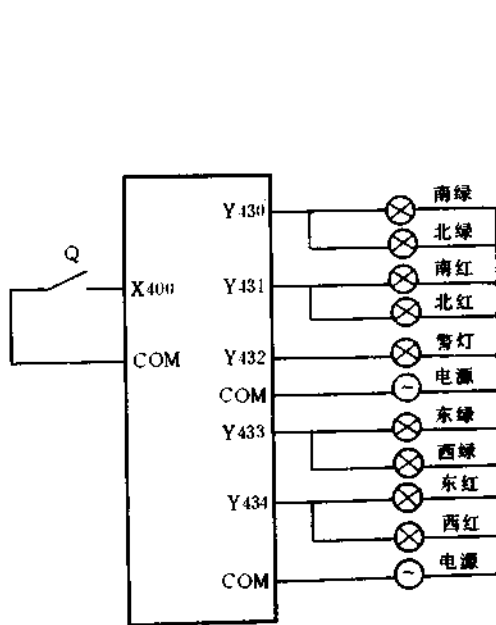


图 11-13 PC 控制的输入输出接线图

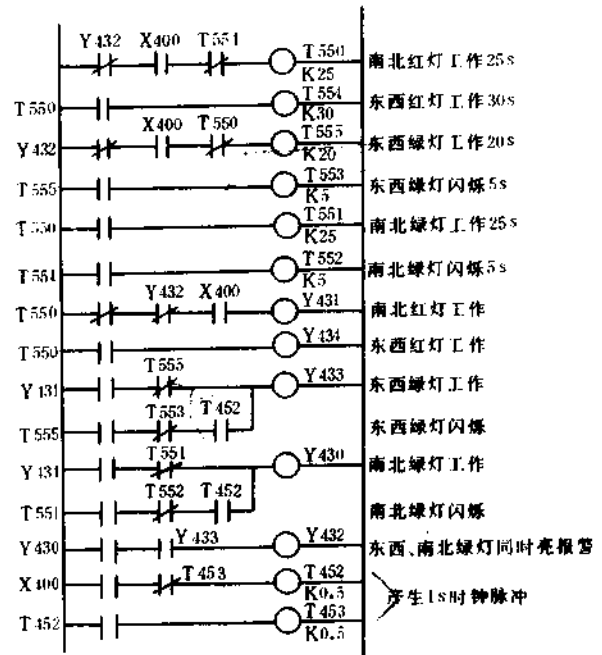


图 11-14 交通灯控制梯形图

T555 动作，其常开触点接通 T553 开始计时；同时 T555 接于 Y433 的常闭和常开触点状态改变，由组成产生 1s 脉冲的 T452 和 T453 的作用，使 T452 和 Y433 时通时断，东西绿灯闪亮维持 5s。从开始启动至此已累计 25s，这时 T553 动作，其常闭触点断开 Y433 的线圈，东西绿灯熄灭；与此同时 T550 也动作，其常闭触点断开 Y431 线圈，南北红灯也熄灭。T550 的 3 对常开触点闭合，一对触点接通 Y434 线圈，东西红灯亮，Y434 常开触点接通 Y430 线圈，南北绿灯也亮起来；另一对触点接通 T554，T554 为东西红灯持续亮 30s 开始计时；还有一对触点接通 T551，T551 为南北绿灯连续工作 25s 定时。待延时到 25s，T551 的常开触点接通 T552，T552 开始计时，而接于 Y430 线圈回路的 T551 的常开和常闭触点工作状态改变，由于 T452 的作用，使 Y430 线圈一会儿接通一会儿断开，当南北绿灯闪亮 5s 到，T552 动作、

Y430 断开输出，南北绿灯熄灭，与此同时 T554 累计时已达到 30s，T554 常闭触点断开 T550 线圈，由于 T550 的动作，东西红灯工作 30s 后熄灭。

以上是信号灯系统的一个工作过程，接着周而复始地进行下去，直至打开起动开关 Q 为止。各个路口红绿灯工作时间，按实际情况设定。

如果万一发生 Y430 和 Y433 同时接通，即南北、东西绿灯都亮，这时 Y432 线圈被接通，输出报警控制信号，同时由于 Y432 的动作，使所有信号灯都熄灭。

下面的程序已在 F1-30MR 机上运行通过，也可选用 F 系列 PC。

程序清单如下：

步序	指令	数据	步序	指令	数据	步序	指令	数据
0	LDI	Y432	18	K	25	36	ANI	T551
1	AND	X400	19	LD	T551	37	LD	T551
2	ANI	T554	20	OUT	T552	38	ANI	T552
3	OUT	T550	21	K	5	39	AND	T452
4	K	25	22	LDI	T550	40	ORB	
5	LD	T550	23	ANI	Y432	41	OUT	Y430
6	OUT	T554	24	AND	X400	42	LD	Y430
7	K	30	25	OUT	Y431	43	AND	Y433
8	LDI	Y432	26	LD	T550	44	OUT	Y432
9	AND	X400	27	OUT	Y434	45	LD	X400
10	ANI	T550	28	LD	Y431	46	ANI	T453
11	OUT	T555	29	ANI	T555	47	OUT	T452
12	K	20	30	LD	T555	48	K	0.5
13	LD	T555	31	ANI	T553	49	LD	T452
14	OUT	T553	32	AND	T452	50	OUT	T453
15	K	5	33	ORB		51	K	0.5
16	LD	T550	34	OUT	Y433	52	END	
17	OUT	T551	35	LD	Y434			

二、电镀生产线的 PC 控制

(一) 工艺要求

电镀生产线采用专用行车，行车架上装有可升降的吊钩。行车和吊钩各由一台电动机拖动。行车的进退和吊钩的升降均由相应的限位开关 SQ 定位。假定该生产线有三个槽位（实际生产线上槽位还会多些），工艺要求为：工件放入镀槽中，电镀 280s 后提起，停放 28s，让镀液从工件上流回镀槽，然后放入回收液槽中浸 30s，提起后停 15s，接着放入清水槽中清洗 30s。最后提起停 15s 后，行车返回原位，电镀一个工件的全过程结束。根据上述工艺要求，电镀生产线的工艺流程如图 11-15 所示，具体说明如下：

原位是指行车在挂件架上方，吊钩下降到最下方。在原位，操作人员把将要电镀的工件放在挂具上，即可开始电镀工作。

- ① 吊钩上升，提起工件，碰到上限开关 SQ₃ 时停止，转到下一步工序；

- ② 行车前进，至压下 SQ_1 时才停止，刚好在镀槽的上方；
- ③ 吊钩下降，到压下 SQ_5 时才停止，工件浸入镀液中，定时 280s；
- ④ 电镀结束，吊钩提起工件，至压下 SQ_3 时才停下，并在镀槽上方停 28s，让镀液滴回槽中；
- ⑤ 行车后退，到压下 SQ_2 时停止，刚好停在回收液槽上方；
- ⑥ 吊钩下降，碰到 SQ_6 后，工件放进回收液槽中，定时 30s；
- ⑦ 吊钩上升，至 SQ_4 处停 15s；

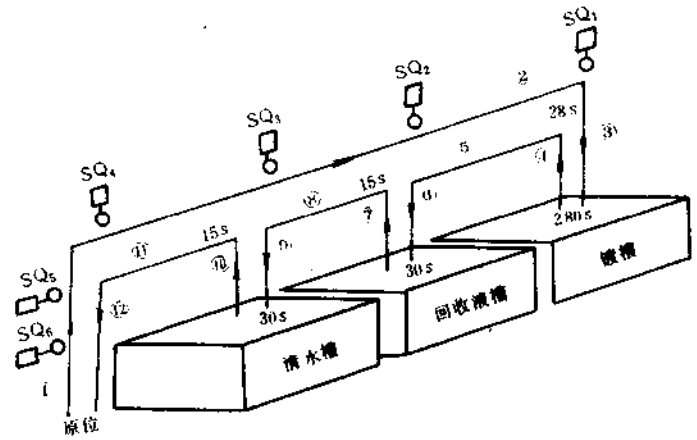


图 11-15 电镀工艺流程图

- ⑧ 行车后退，到 SQ_3 处停于清水槽上方 15s；
- ⑨ 吊钩下降，撞到 SQ_6 后，工件置于清水槽中，清洗 30s；
- ⑩ 吊钩上升至 SQ_4 处停 15s；
- ⑪ 行车后退，到 SQ_4 处停在原位上方；
- ⑫ 吊钩下降，到 SQ_5 处回到原位，被镀好的工件被取下来。

至此，整个电镀生产完成一个工作循环。再按下起动按钮，则开始第二个工作循环。

(二) 控制要求

本生产线除装卸工件外，整个工艺过程能自动进行。同时行车和吊钩的正反向运行均能进行点动控制，以便对设备进行调整和检修。

(三) 输入和输出配置

本电镀生产线选用 F-40MR 或 F₁-30MR 型 PC 均可，输入输出配置图如图 11-16 所示，图中 KM_1 和 KM_2 为吊钩升降电动机正反转控制接触器， KM_3 和 KM_4 为行车电动机正反转接触器。Q 为点动和自动控制转换开关。操作板布置图如图 11-17 所示。

(四) 梯形图

根据工艺和控制要求编制的梯形图，应包括点动操作和自动控制两段程序。

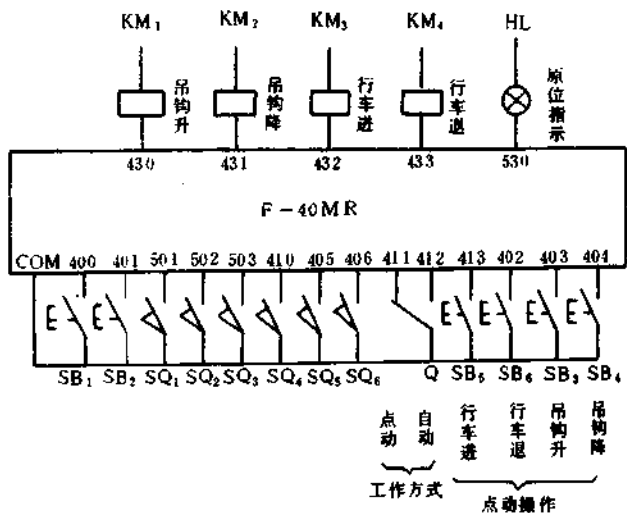


图 11-16 PC 输入输出配置图

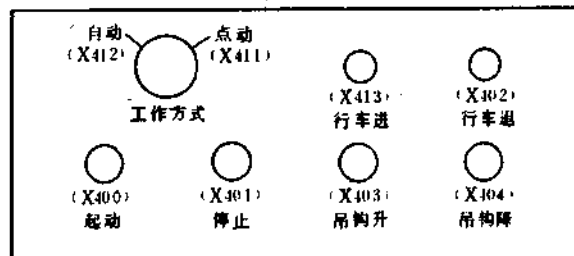


图 11-17 操作板布置图

1. 点动操作 设有行车进和退点动操作,吊钩升和降点动操作。点动控制梯形图见图 11-19 中第 1~EJP700 逻辑行间程序段。当工作方式选择开关 Q 置于“点动”时, X411 常闭触点断开,转移条件不成立,执行“点动”控制程序。按下按钮 SB₁ 时, X403 常开触点接通 Y430 线圈, KM₁ 得电吸合,电动机正转,吊钩升起;按下 SB₂ 时, X404 常开触点接通 Y431 线圈, KM₂ 得电吸合,电动机反转,吊钩下降。为了避免行车进退时吊钩碰撞别的东西,因此只有吊钩置于上限位置, X405 常开触点闭合时,才能按下 SB₃ 或 SB₄, 此时 X413 或 X402 常开触点接通 Y432 或 Y433 线圈, KM₃ 或 KM₄ 得电吸合,电动机正转或反转,行车前进或后退。

吊钩升降或行车进退都设有互锁和限位保护。

2. 自动控制 电镀生产线是典型的顺序控制,通常采用移位寄存器来实现控制要求,本例采用两级移位寄存器串联,前级为 M100~M117,后级为 M120~M137,前一级的输出接到后一级的输入。自动控制流程图如图 11-18 所示,这便于编制梯形图和理解程序的执行。电镀生产线 PC 控制系统的梯形图如图 11-19 所示。图中 CJP701 至 EJP701 为自动控制程序段。要进行自动控制时,先把工作方式选择开关 Q 置于“自动”位置, X412 常闭触点断开,转移条件不成立,执行自动控制程序。自动工作的动作过程说明如下:

(1) 行车在原位 限位开关 SQ₁、SQ₂ 被压下, X410、X406 常开触点闭合,接通移位寄存器 M100 输入通路,于是 M100 得电(以下得电称为“1”,即相应触点接通,失电称为“0”,即相应触点断开),M100 接通 Y530,使原位指示灯亮。开机运行时, M71 使移位寄存器复位。

(2) 吊钩上升 按下起动按钮 SB₁, X400 接通,产生移位信号,使移位寄存器移位, M101 为“1”, M100 为“0”, M101 接通 Y430 线圈,吊钩上升。

(3) 行车前进 吊钩上升到压下上限开关 SQ₃, X405 和 M101 接通移位寄存器移位输入通路,移位寄存器移位, M102 为“1”, M100~M101 为“0”, M101 断开 Y430 线圈,吊钩上升停止;与此同时, M102 触点接通 Y432 线圈,行车前进。

(4) 吊钩下降 行车前进至压下限限位开关 SQ₁, X501 与 M102 接通寄存器移位, M103 为“1”,而 M100~M102 为“0”, M102 断开 Y432,行车停止前进;同时 M103 接通 Y431 线圈,

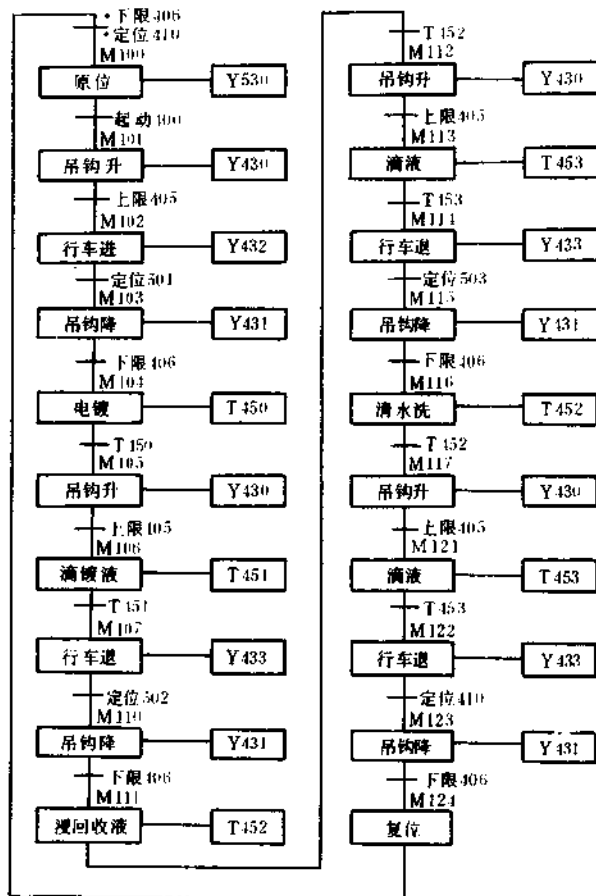


图 11-18 自动控制流程图

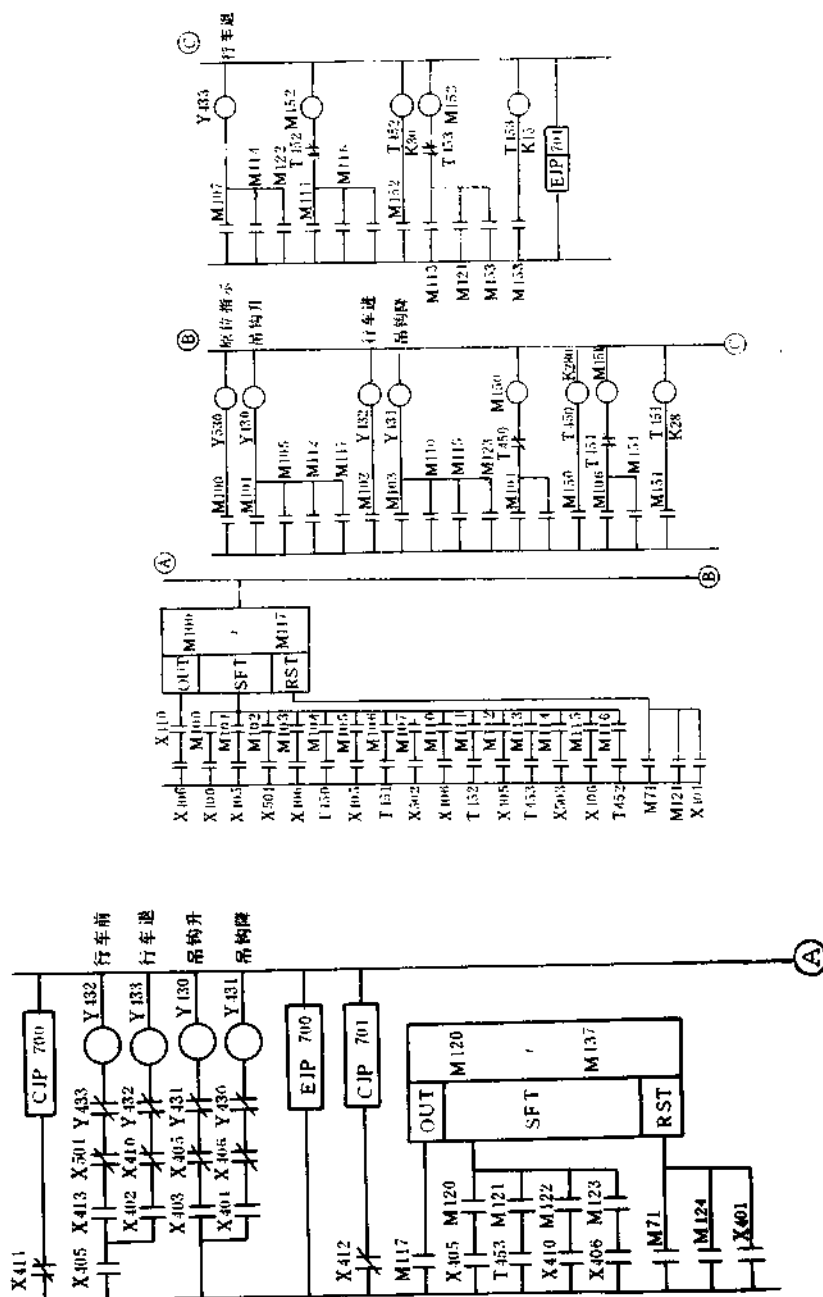


图 11-19 电葫芦控制梯形图

吊钩下降。

(5) 定时电镀 吊钩下降至下限开关 SQ_4 时, X_{406} 与 M_{103} 接通, 使移位寄存器移位, M_{104} 为“1”, 而 $M_{100} \sim M_{103}$ 为“0”, M_{103} 断开 Y_{431} , 吊钩停止下降。同时 M_{104} 接通 M_{150} , M_{150} 常开触点接通 T_{450} , T_{450} 开始计时, 定时电镀 280s。

(6) 吊钩上升 T_{450} 定时时间到即动作, M_{150} 断开, T_{450} 复位, T_{450} 与 M_{104} 触点接通, 寄存器移位, M_{105} 为“1”而 $M_{100} \sim M_{104}$ 为“0”, M_{105} 触点接通 Y_{430} , 吊钩上升。

(7) 定时滴液 吊钩上升至压下 SQ_5 时, X_{405} 与 M_{105} 触点接通, 移位寄存器移位, M_{106} 为“1”, $M_{100} \sim M_{105}$ 为“0”, M_{105} 断开 Y_{430} , 吊钩停止上升, 同时 M_{106} 接通 M_{151} , M_{151} 接通 T_{451} , T_{451} 开始计时, 工件停留 28s 滴液。

(8) 行车后退 定时时间到 T_{451} 动作, M_{151} 断开, T_{451} 复位, 同时 T_{451} 与 M_{106} 串联触点接通, 寄存器移位, M_{107} 为“1”, $M_{100} \sim M_{106}$ 为“0”, M_{107} 触点接通 Y_{433} , KM_4 得电电机反转, 行车后退。转入下道工序。

后面各工序的动作过程, 依此类推, 读者可自行分析。

最后, 行车退到原位上方, 吊钩下放, 机构回到原位, X_{406} 、 X_{410} 接通, M_{100} 为“1”, 原位指示。此时 M_{124} 为“1”, 使寄存器 M_{120} 复位, 即 $M_{120} \sim M_{137}$ 为“0”。在此之前, 当 M_{121} 为“1”时, 移位寄存器 M_{100} 已复位, 即 $M_{100} \sim M_{117}$ 为“0”。如果再按下起动按钮, 则开始下一个工作循环, 诚然, 只要把起动按钮 SB_1 换成开关, 将此开关合上后, 系统就可连续循环工作下去。

按下停止按钮 SB_2 , X_{401} 接通, 使寄存器复位, 此时所有动作都将停止。

从上面分析可见, 应用移位寄存器有明显的优点, 即上一个工序转入下一道工序时, 上一个工序动作自动停止, 不必另设互锁保护。

本例中, 当行车从原位前进至 SQ_1 过程中, 虽然曾压过 SQ_3 、 SQ_2 , 但行车并不停止, 这是由于移位寄存器的移位条件采用输入条件和得电继电器触点相串联的缘故, 在梯形图中此时 X_{503} 、 X_{502} 虽然短时闭合, 但 M_{114} 、 M_{107} 处于断开状态, 所以移位寄存器不能移位。只有行车后退压下 SQ_2 、 SQ_3 时才依次停车。

在整个程序中, 虽然在点动操作和自动工作两个程序段中都含有 $Y_{430} \sim Y_{433}$ 的线圈, 但是两段程序不会同时工作, 所以这些线圈不属于“双线圈”输出的情况, 即在梯形图中不算为“重复”使用。

梯形图中定时器设定值 K , 用户可根据实际要求重新设定。

(五) 程序单

根据梯形图编制的程序单 (本程序在 F_1-30MR 型 PC 上模拟调试通过) 如下:

步序	指令	数据	步序	指令	数据	步序	指令	数据
0	LDI	X_{411}	7	LD	X_{405}	14	ANI	Y_{431}
1	CJP	700	8	AND	X_{402}	15	OUT	Y_{430}
2	LD	X_{405}	9	ANI	X_{410}	16	LD	X_{404}
3	AND	X_{413}	10	ANI	Y_{432}	17	ANI	X_{406}
4	ANI	X_{501}	11	OUT	Y_{433}	18	ANI	Y_{430}
5	ANI	Y_{433}	12	LD	X_{403}	19	OUT	Y_{431}
6	OUT	Y_{432}	13	ANI	X_{405}	20	EJP	700

步序	指令	数据	步序	指令	数据	步序	指令	数据
21	LDI	X412	59	AND	M105	97	OR	M112
22	CJP	701	60	ORB		98	OR	M117
23	LD	M117	61	LD	T451	99	OUT	Y430
24	OUT	M120	62	AND	M106	100	LD	M102
25	LD	T405	63	ORB		101	OUT	Y432
26	AND	M120	64	LD	X502	102	LD	M103
27	LD	T453	65	AND	M107	103	OR	M110
28	AND	M121	66	ORB		104	OR	M115
29	ORB		67	LD	X406	105	OR	M123
30	LD	X410	68	AND	M110	106	OUT	Y431
31	AND	M122	69	ORB		107	LD	M104
32	ORB		70	LD	T452	108	OR	M150
33	LD	X406	71	AND	M111	109	ANI	T450
34	AND	M123	72	ORB		110	OUT	M150
35	ORB		73	LD	X405	111	LD	M150
36	SFT	M120	74	AND	M112	112	OUT	T450
37	LD	M71	75	ORB		113	K	280
38	OR	M124	76	LD	T453	114	LD	M106
39	OR	X401	77	AND	M113	115	OR	M151
40	RST	120	78	ORB		116	ANI	T451
41	LD	X406	79	LD	X503	117	OUT	M151
42	AND	X410	80	AND	M114	118	LD	M151
43	OUT	M100	81	ORB		119	OUT	T451
44	LD	X400	82	LD	X406	120	K	28
45	AND	M100	83	AND	M115	121	LD	M107
46	LD	X405	84	ORB		122	OR	M114
47	AND	M101	85	LD	T452	123	OR	M122
48	ORB		86	AND	M116	124	OUT	Y433
49	LD	X501	87	ORB		125	LD	M111
50	AND	M102	88	SFT	100	126	OR	M116
51	ORB		89	LD	M71	127	OR	M152
52	LD	X406	90	OR	M121	128	ANI	T452
53	AND	M103	91	OR	X401	129	OUT	M152
54	ORB		92	RST	M100	130	LD	M152
55	LD	T450	93	LD	M100	131	OUT	T452
56	AND	M104	94	OUT	Y530	132	K	30
57	ORB		95	LD	M101	133	LD	M113
58	LD	X405	96	OR	M105	134	OR	M121

步序	指令	数据	步序	指令	数据	步序	指令	数据
135	OR	M153	138	LD	M153	142	EJP	701
136	ANI	T453	139	OUT	T453			
137	OUT	M153	140	K	15			

三、机械手的 PC 控制

(一) 机械结构

机械手能把工件从 A 点移到 B 点，机械手的结构示意图如图 11-20 所示。该机构的上升、下降和左移、右移是由双线圈两位电磁阀推动气缸来实现的。当某一线圈得电，机构便单方向移动，直至线圈断电才停在当前位置。夹紧和放松是由单线圈两位电磁阀驱动气缸来实现的，线圈通电则夹紧，失电则为放松。设备上装有上、下限位和左、右限位开关。

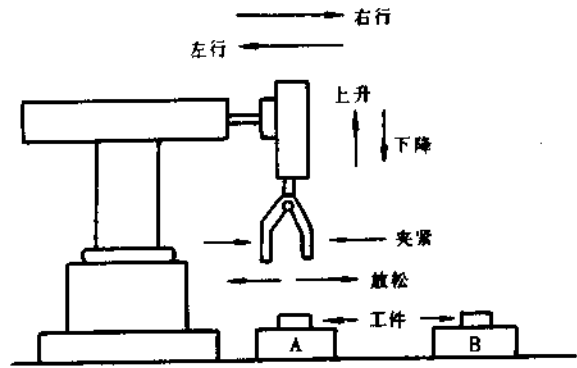


图 11-20 机械手结构示意图

(二) 工作过程

机械手工作循环过程示意图如图 11-21 所示。从图中可见，机械手工作循环过程主要有 8 个动作，即为

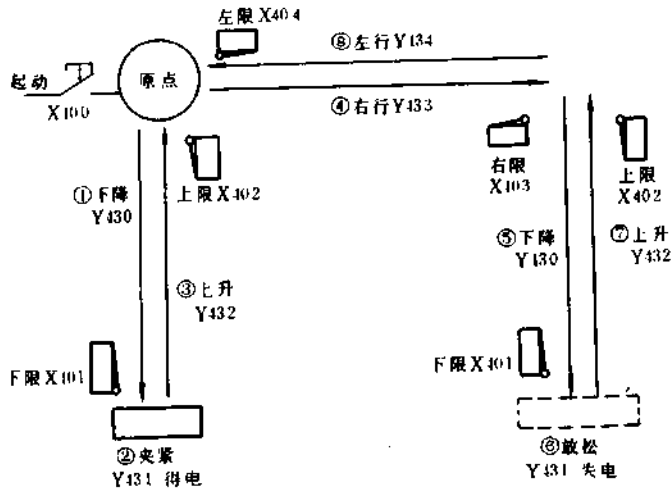
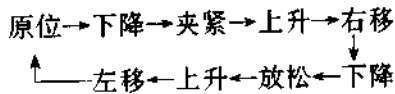


图 11-21 机械手工作循环过程

(三) 控制要求

要求有两种工作方式：点动操作和自动控制。点动操作时，用按钮单独操作机构上升或下降、右移或左移、夹紧或放松。自动控制工作时，按下起动按钮，机构从“原点”开始，自

动完成一个工作循环过程，即将工件夹紧后，从 A 点移到 B 点放下工件，然后返回“原点”，等待下一次操作。

机构“原点”设置在可动部分位置的左上方，即压下左限位开关和上限位开关，工作钳处于放松状态，机构在“原点”处应有指示。

(四) PC 输入输出分配

PC 输入输出分配如图 11-22 所示。可选用 F-40MR 型 PC，也可选用 F-30MR 型 PC。

(五) 梯形图

梯形图主要由点动操作和自动控制两部分组成，即总程序主要由点动操作和自动控制两个程序段组成。梯形图如图 11-24 所示。

1. 点动操作 点动操作梯形图见总梯形图中的第一逻辑行至 EJP700 逻辑行。当工作方式选择开关置于“点动”位置时，X406 常闭触点断开，执行点动程序段。为安全起见，右移和左移只能在上限位置进行，所以在梯形图相关逻辑行中串有上限开关 X402 常开触点。夹紧或放松采用 S 或 R 指令。右移和左移、上升和下降动作均有限位保护和互锁。为减少按钮数量，这三种点动操作均公用“起动”和“停止”按钮，用转换开关选定点动操作方式，见输入输出分配图。由于点动操作和自动控制工作不会同时进行，所以在点动操作和自动控制两段梯形图中，都使用 Y430~Y434 的线圈是允许的。

2. 自动控制 机械手自动控制流程图如图 11-23 所示。相应的梯形图见图 11-24 中 CJP701 至 EJP701 程序段。当工作方式选择开关置于自动控位置时，X407 常闭触点断开，执行自动控制程序段。自动控制工作过程说明如下：

在原点，机械手处于原点时，上限位

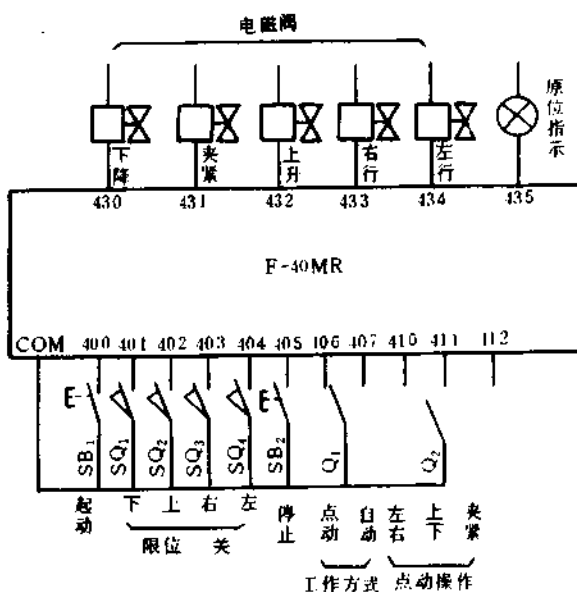


图 11-22 输入输出分配

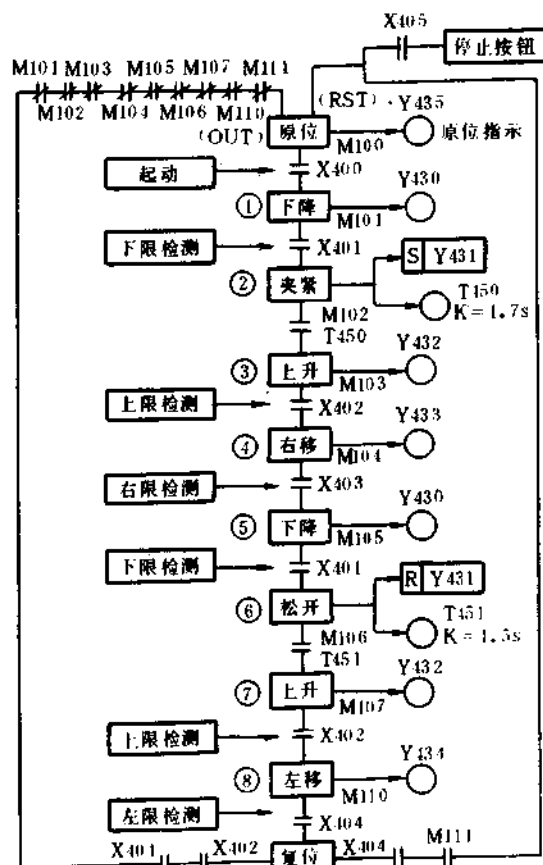


图 11-23 机械手自动控制流程图

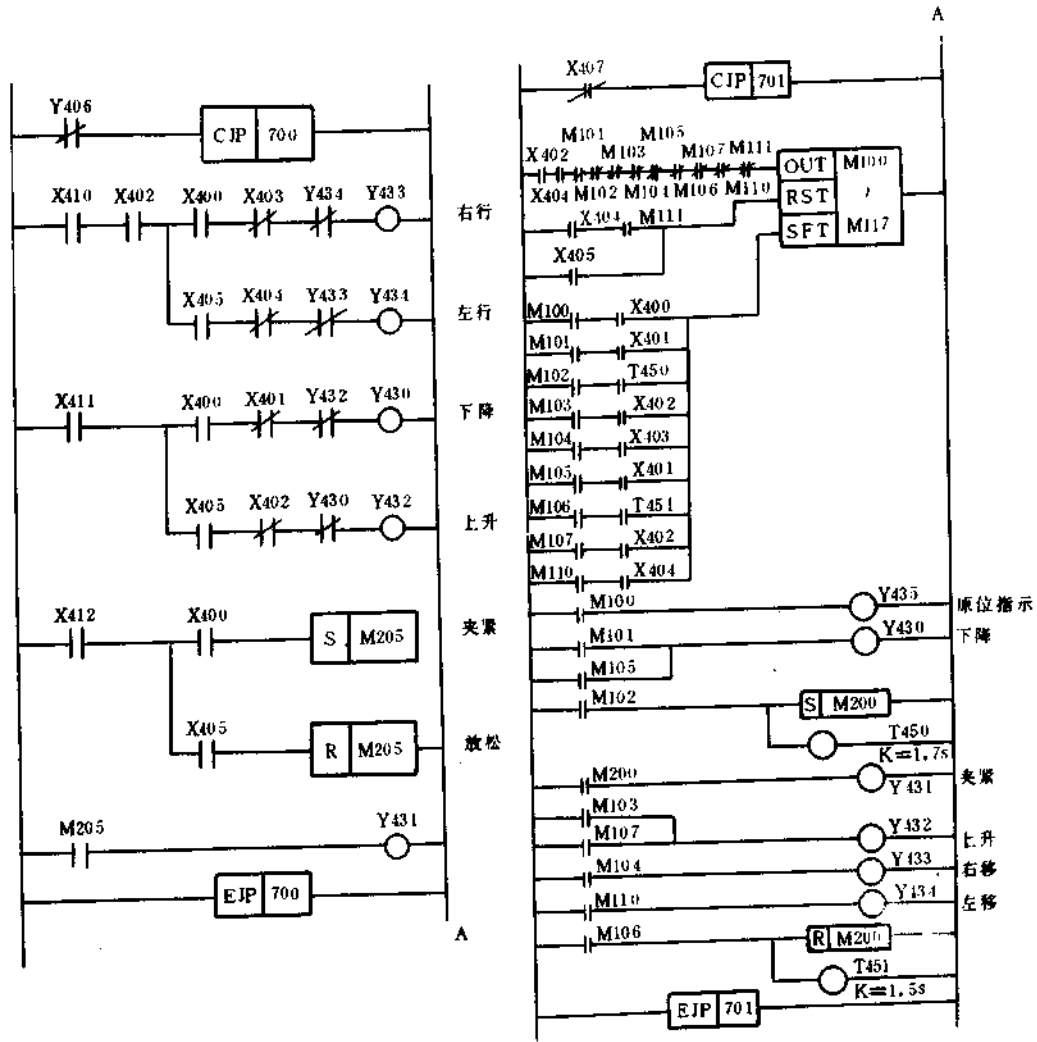


图 11-24 机械手工作梯形图

开关 SQ_2 、左限位开关 SQ_1 被压, $X402$ 、 $X404$ 接通移位寄存器数据输入端, 使 $M100$ 置“1”(接通), $Y435$ 线圈接通, 原点指示灯亮。

1) 下降 按下起动按钮 SB_1 , $X400$ 与 $M100$ 触点接通移位寄存器移位信号输入端, 产生移位信号, $M100$ 的“1”态移至 $M101$, $M101$ 接通 $Y430$ 线圈, 机械手执行下降动作。同时 $X402$ 触点断开, 使 $M100$ 置“0”(断开), $Y435$ 断开, 原点指示灯熄灭。

2) 夹紧 当机械手下降至压到下限位开关 SQ_1 时, $X401$ 与 $M101$ 接通, 产生移位信号, $M102$ 为“1”, $M100 \sim M101$ 为“0”, $M101$ 触点断开 $Y430$ 线圈, 停止下降; $M102$ 的触点接通 $M200$ 线圈, $M200$ 触点接通 $Y431$ 线圈, 工作钳夹紧工件, 同时定时器 $T450$ 开始计时。

3) 上升 当 $T450$ 延时 $1.7s$ 到, $T450$ 与 $M102$ 的触点接通, 产生移位信号, $M103$ 为“1”, $M100 \sim M102$ 均为“0”, $M103$ 触点接通 $Y432$ 线圈, 机械手把夹紧的工件提升。因为使用 s 指令, 所以 $M200$ 线圈保持接通, $Y431$ 也保持接通, 使机械手继续把工件夹紧。

4) 右移 当机械手上升至撞到上限位开关 SQ_2 时, $X402$ 和 $M103$ 触点接通, 产生移位信号, $M104$ 为“1”, $M100 \sim M103$ 都置“0”。 $M103$ 触点断开 $Y432$ 线圈, 停止上升, 同时 $M104$

触点接通 Y433 线圈, 执行右移动作。

5) 下降 机械手右移撞到右限位开关 SQ₃, X403 与 M104 触点接通移位信号, M105 为“1”, M100~M104 置“0”。M104 触点断开 Y433 线圈, 停止右移, 同时, M105 触点接通 Y430 线圈, 机械手下降。

6) 松开 机械手下降撞到 SQ₁ 时, X401 与 M105 触点接通移位信号, M106 置“1”, M100~M105 为“0”。M105 触点断开 Y430 线圈, 停止下降, 同时 M106 触点接通 M200 线圈, R 指令使 M200 复位, M200 触点断开 Y431 线圈, 机械手松开工件并放于 B 点。同时 T451 开始计时。

7) 上升 T451 延时 1.5s, T451 与 M106 触点接通移位信号, M107 为“1”, M100~M106 置“0”。Y432 线圈被接通, 机械手又上升。

8) 左移 机械手上升至上限位时, X402 与 M107 触点接通, 移位后, M110 置“1”, M100~M107 置“0”, Y432 线圈断开, 停止上升, 同时 Y434 线圈接通, 左移。

机械手回到原位 当左移撞到 SQ₄ 时, X404 与 M110 触点接通, 移位后, M110 为“0”, Y434 线圈断开, 停止左移, 同时 M111 置“1”, M111 与 X404 触点接通移位寄存器复位输入端, 寄存器全部复位。此时机械手已返回到原点, X402 和 X404 又接通, M100 又被置“1”, 完成了个工作周期。这样, 只要再次按起动按钮, 机械手将重复上述动作过程。

当按下停止按钮 SB₂ 时, X405 触点闭合, 使移位寄存器复位。机械手停止动作。

(六) 程序

根据梯形图, 编制指令程序如下:

步序	指令	数据	步序	指令	数据	步序	指令	数据
0	LDI	X406	18	OUT	Y430	36	AND	X404
1	CJP	700	19	LD	X411	37	ANI	M101
2	LD	X410	20	AND	X405	38	ANI	M102
3	AND	X402	21	ANI	X402	39	ANI	M103
4	AND	X400	22	ANI	Y430	40	ANI	M104
5	ANI	X403	23	OUT	Y432	41	ANI	M105
6	ANI	Y434	24	LD	X412	42	ANI	M106
7	OUT	Y433	25	AND	X400	43	ANI	M107
8	LD	X410	26	S	M205	44	ANI	M110
9	AND	X402	27	LD	X412	45	ANI	M111
10	AND	X405	28	AND	X405	46	OUT	M100
11	ANI	X404	29	R	M205	47	LD	X404
12	ANI	Y433	30	LD	M205	48	AND	M111
13	OUT	Y434	31	OUT	Y431	49	OR	X405
14	LD	X411	32	EJP	700	50	RST	M100
15	AND	X400	33	LDI	X407	51	LD	M100
16	ANI	X401	34	CJP	701	52	AND	X400
17	ANI	Y432	35	LD	X402	53	LD	M101

步序	指令	数据	步序	指令	数据	步序	指令	数据
54	AND	X401	70	ORB		86	K	1.7
55	ORB		71	LD	M107	87	LD	M200
56	LD	M102	72	AND	X102	88	OUT	Y431
57	AND	T450	73	ORB		89	LD	M103
58	ORB		74	LD	M110	90	OR	M107
59	LD	M103	75	AND	X404	91	OUT	Y432
60	AND	X402	76	ORB		92	LD	M104
61	ORB		77	SFT	M100	93	OUT	Y433
62	LD	M104	78	LD	M100	94	LD	M110
63	AND	X403	79	OUT	Y435	95	OUT	Y434
64	ORB		80	LD	M101	96	LD	M106
65	LD	M105	81	OR	M105	97	OUT	T451
66	AND	X401	82	OUT	Y430	98	K	1.5
67	ORB		83	LD	M102	99	R	M200
68	LD	M106	84	S	M200	100	EJP	701
69	AND	T451	85	OUT	T450	101	END	

第五节 ROM 写入器的功能与操作

为便于设计者或用户把已调试好的程序，在必要时将其固化在具有长久性记忆功能的可抹掉改写的只读存储器 EPROM 中，现介绍 ROM 写入器 F-20MW 的功能用途和使用方法。

一、基本功能

F-20MW 写入器是配合 F 系列 PC 中 RAM/ROM 共用型基本单元而使用，其基本功能如 F:

- ① 把 PC 的 RAM 中的程序传送到 ROM (EPROM) 中固化。
- ② 将固化了的 ROM 中的程序传送到 PC 的 RAM 中。
- ③ 比较 ROM 中与 PC 的 RAM 中的程序是否完全相同。
- ④ 检查 ROM 中是否有程序。

F-20MW 基本功能说明如图 11-25 所示。

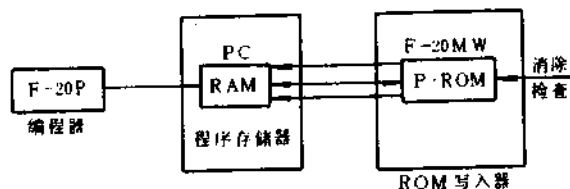


图 11-25 F-20MW 基本功能说明

二、使用操作

写入器的操作键和 LED 指示灯如图 11-26 所示。使用操作如下:

① 将 PC 的 RAM 中的程序写入 EPROM 卡件中的操作，先按“写入键”，再按“执行键”，这时这两个键的指示灯亮。写入完毕，指示灯均熄灭。

② 把已存放在 EPROM 卡件中的用户程序送入 PC 的 RAM 中的操作，先按“读出键”，再按“执行键”，此时这两个键指示灯亮。读出完毕，指示灯均熄灭。

③ 把 PC 中 RAM 的程序与 EPROM 卡件中程序进行比较的操作，先按“比较键”，再按“执行键”，这两个键的指示灯均亮。若 RAM 和 ROM 中程序完全相同，则比较完毕后指示灯均熄灭；若不同，则执行指示灯不停地闪烁。再按一次执行键，则解除比较功能。

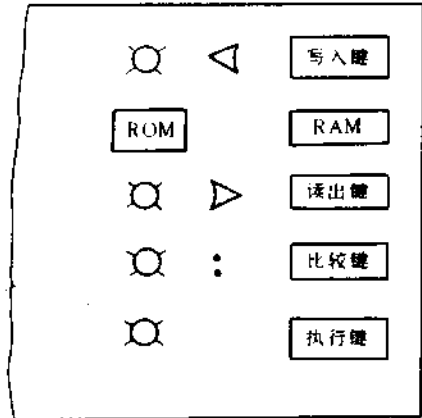


图 11-26 F-20MW 写入器的操作键

④ 检查用户 ROM 卡中是否有程序的操作，按“执行键”。若已有程序，执行指示灯不停地闪烁；若无程序，执行指示灯会自动熄灭。

第六节 F_1/F_2 系列 PC 与 EEPROM 之间程序的传送与比较

采用 F_1/F_2 系列 PC 控制的系统，总程序调试成功后，必要时也可把该程序固化在 EPROM 或 EEPROM 中。这时应使用第九章中已介绍过的简易编程器 F_1-20P 。这种编程器除了前面陈述过的功能外，还可在 F_1/F_2 系列 PC 的 RAM 与 EEPROM (或 EPROM) 两者之间，执行程序传送和比较功能。具体操作条件、步骤和有关说明如下：

一、执行条件

① 把 EEPROM (或 EPROM) 置入 PC 内相应位置 (注意 EEPROM 器件上 M·PROTECT 开关的位置)。

② 主机置于“停止”状态。

③ 编程器置于“编程”状态。

④ 接通 PC 的电源。

二、操作步骤

① 检查 EEPROM 中有没有程序 (M·PROTECT 开关: OFF)。

CLEAR→INSTR 若 EEPROM 中有内容，则编程器面板上显示其首条程序内容，若没有内容，则显示为 (STEP) — “000” (INSTR) — “NOP” (DATA) — “000”。

② 从 RAM 写到 EEPROM (或 EPROM) (M·PROTECT: OFF)

CLEAR→STEP→809→WRITE→WRITE

③ 从 EEPROM (或 EPROM) 读到 RAM (M·PROTECT 开关: ON 或 OFF)

CLEAR→STEP→908→WRITE→WRITE

④ RAM 与 EEPROM (或 EPROM) 进行比较 (M·PROTECT 开关: ON 或 OFF)

CLEAR→STEP→819→WRITE→WRITE

三、几点说明

① 执行程序传送或比较，对于 1K 步程序约需 20s，2K 步程序约需 40s，程序步少时，执行时间也会短些。

② 执行程序传送或比较期间，编程器面板上显示 STEP、INSTR、DATA 均为熄灭，执行完毕 STEP 显示为“000”。

③ 如果比较结果不一致时，显示 RAM 中的相关内容，DATA 显示的数字不停地闪烁；此时当按下 INSTR 键，则显示 EEPROM（或 EPROM）中的相关内容，但不闪动，若 EEPROM 中没有程序则显示为 STEP-“000” INSTR-“NOP” DATA-“000”。

④ 在每次插入或拔出 EEPROM 之前，要注意先关掉电源。

⑤ 当把 EEPROM 插入 PC 后，EEPROM 取代 RAM，即写入或读出程序或清零或运行，仅对 EEPROM 起作用，而对 RAM 不发生影响。

⑥ 如果需要全部删除 EEPROM 中的内容时，操作为 CLEAR→STEP→0→STEP→999（最终步序号）→DEL。

⑦ EEPROM 是可方便地用电擦除并可改写程序的只读存储器，必要时宜选用。

不管使用哪一种 ROM 写入器或简易编程器进行上述操作时，必须先认真仔细阅读有关使用说明书，以免出问题。

第十二章 PC 的安装与维护

PC 系统的可靠性虽然很高,但也并非是“万无一失”的。为了保证 PC 系统能长期正常工作,安装时必须做到正确、牢靠、安全和采取抗干扰措施,使用时必须注意维护保养和及时检修。这就是本章将要介绍的主要内容。

第一节 PC 的安装与抗干扰措施

一、安装环境与注意事项

① 环境温度要适当,一般不要低于 0°C 或高于 55°C 。PC 安装时应远离热源,避免太阳光直接照射,注意散热通风。

② 注意防潮、防尘、防腐、防震。PC 最好置于有保护型外壳的控制柜内,而且 PC 固定要牢靠。

③ PC 应尽可能离高压电源线或高压设备远些,以避免电磁干扰。

二、电源与接地

① 要看清楚 PC 上的电源接线端子,分清“OV”和“接地”端,才能正确地把外部电源接到 PC。

② PC 的供电线路应与其它大功率用电设备或产生强干扰设备(比如晶闸管变流装置、弧焊机等)分开。

③ 如果 PC 的供电电源带有严重干扰,应安装一个一、二次侧之间带有隔离层的、电压比为 1 的隔离变压器,如图 12-1 所示。以减少外界设备对 PC 的影响。

④ 必要时可在 PC 供电电源线上接入低通滤波器(如图 12-2 所示),以便滤去高频干扰信号。

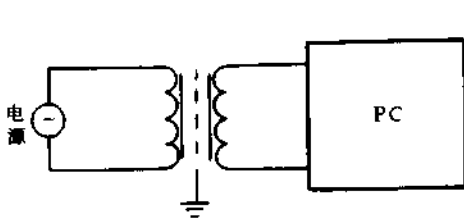


图 12-1 安装隔离变压器

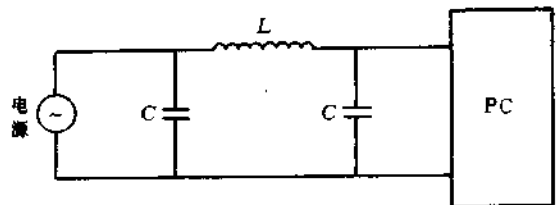


图 12-2 接入低通滤波器

⑤ 交流电源线和交流信号线会产生交流干扰,不能和直流信号线、模拟量信号线捆在一起而在同一槽内走线。

⑥ 良好的接地能较有效地减少干扰。最好为 PC 安装专用的地线,如果此要求达不到,那么也必须做到 PC 与其它设备公共接地,但绝对不能与其它设备串联接地,也不能用水管、避雷线接地。而且接地点应尽可能靠近 PC。

⑦ 若用屏蔽电缆，则其屏蔽层应在靠近 PC 一端接地，而不能两端接地。

三、RUN、STOP 端子的接线

在 PC 上 RUN 和 COM 两个端子之间接入一个开关或其它合适的控制器（如按钮），合上开关，PC 开始运行，执行程序。

同样，在 STOP 和 COM 两端子之间也接入一个开关，合上开关，PC 停止任何操作，全部输出被切断，定时器 and 通用辅助继电器全部复位，所有计数器和保持辅助继电器由后备电池供电，保持原状态。对某些没有 STOP 端子的 PC，不接通 RUN 投入运行，则为 STOP 状态。

四、A、B 端子的利用

在 F-40M 中有 A、B 两个接线端子，在这两个接线端之间有一个内部继电器触点，PC 正常运行时，该触点闭合，PC 停止运行时该触点断开，如果 PC 的中央处理器因故出错，该触点也断开。因此可利用 A、B 接线端作为报警或紧急停止电路。不过，A、B 接线端的负载应小于 $35V \cdot A$ 。

五、输入端子的接线与注意事项

① PC 输入端子板上的各输入端 X 与公共端子 COM 一旦连接起来，输入则接通。

② 当基本单元的各个 COM 端子已连接在一起时，基本单元的 COM 端与扩展单元的 COM 端应在外部连接起来。

③ PC 的输入额定电流为 7mA。PC 所能接受的脉冲信号宽度应大于扫描周期的时间。

④ 对于光电开关、接近开关，F-40M、F-40E 具有感应驱动用接线端，感应器件应接于 +24 与 GND 接线端之间，这时最大输出电流为 0.1A 以下。

⑤ 输入线一般不宜超过 30m；输入、输出线不能用同一条电缆；输入、输出线要分开走线；输入、输出线也应与高压电线分开走，以减少不利的影响。

⑥ 特别要注意，输入的 COM 端决不能与输出的 COM 端连接。

六、输出端子的接线与注意事项

① 将 PC 输出端子板上的输出端子、被驱动的负载（例如线圈或指示灯）、用户电源和公共端子 COM 连接起来，当 PC 的输出继电器或晶闸管或晶体管动作时，输出回路接通（如图 12-3 所示）。为了防止连接 PC 输出元件的负载短路而烧坏 PC 板，应在 PC 输出回路中串入熔断器，作为短路保护用，如图 12-3 所示。输出接线方式有两种：独立（分隔）式和公共（汇点）式。

② 输出端子连接的用户电源，应根据 PC 的输出方式选定。晶体管方式输出的应选用直流电源，双向晶闸管输出的应选用交流电源，继电器输出的按实际要求可选直流或交流电源。

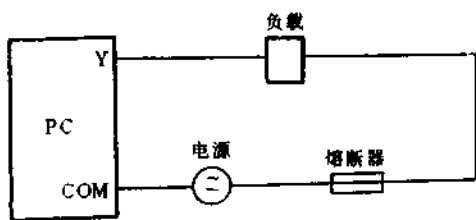


图 12-3 PC 的输出接线

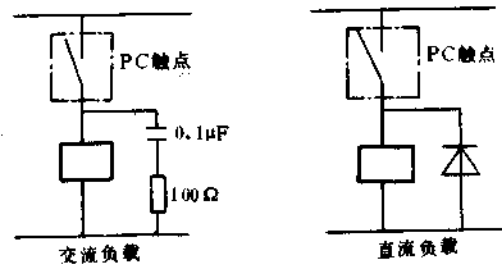


图 12-4 抑制干扰

同时还应注意电源电压值应符合要求。

③ 如果 PC 输出端接入的负载电流超过最大限额时，必须外接继电器，PC 才能安全正常工作；如果负载电流小于最小动作电流时，应在负载（例如线圈）两端并联上串接的电阻电容（电阻 50Ω 左右，电容 $0.1\mu\text{F}$ 左右，电阻与电容串联）。

④ 抑制干扰。PC 的输出负载，例如电磁线圈会产生干扰信号，严重时应采取措施对其抑制。对于交流负载可采用阻容吸收，对于直流负载可并联泄放二极管，如图 12-4 所示。

⑤ 装接外部紧急停车电路。对那些可能对 PC 会造成损坏的负载，在设计 PC 控制程序时应有相应对策。此外，还应设计外部紧急停车电路，如图 12-5 所示。当 PC 系统在运行中发生故障时，即按紧急停车按钮 SB_2 ，KM 触点断开，切断该负载的电源电路，同时也切断了 PC 与外部负载的连接，从而使 PC 避免损坏。

⑥ 若 PC 触点以外的触点串接于负载电路中，则外部触点应接在负载侧，如图 12-6 所示。

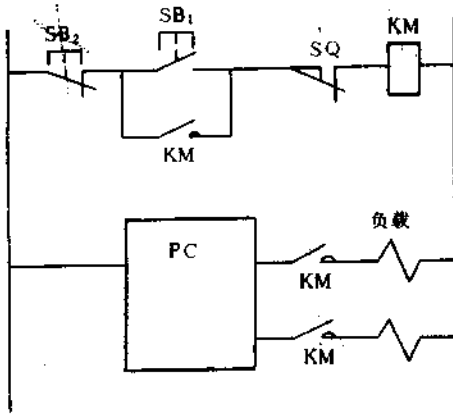


图 12-5 外部紧急停车电路

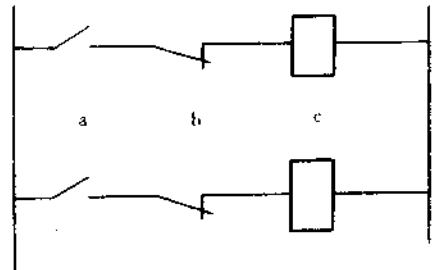


图 12-6 外部触点串接于负载侧
a—PC 的触点 b—外部触点 c—负载

第二节 PC 系统的试运行与维护

对一个新的 PC 系统在正式投入使用前，应进行检查与试运行；对一个已投入使用的 PC 系统，应进行适当的维护保养，这都是很重要的。

一、PC 系统的试运行

在使用现场对新的 PC 系统试运行，这既是使用 PC 系统的开始，也是维护保养 PC 系统的开始，如果不经仔细检查和试运行，就贸然使用 PC 系统，很可能出问题。因此 PC 系统的试运行必不可少。

（一）通电前的检查

通电试运行之前最好由两个人进行全面的仔细的检查。检查内容主要有：

- ① 市电输入线，各输入输出线，各连接电缆等配线是否正确，连接是否正确和牢固。
- ② 端子排上或其它位置的螺钉是否拧紧，各种开关、插头座、器件等安装是否正确和牢固。

- ③ 各功能单元的装配是否正确和牢固。
- ④ PC 上工作方式选择开关的置位、各有关数据的设置是否符合要求。
- ⑤ 其它方面的检查。

(二) 试运行主要过程

检查确认无误后,可通电试运行,其主要步骤过程如下:

- ① 合上电源开关,PC 面板上的电源指示灯 (POWER) 亮。
- ② 一般情况下,在现场第一次通电应首先考虑在“监控”状态下,用强制接通与断开某些器件的手段,检查输出配线是否正确,这可利用 PC 面板上输出指示灯进行监视,也可利用输入指示灯检查输入配线是否正确。
- ③ 将编程器工作方式置于“监视”位置,基本单元置于 RUN 状态。如果程序中没有语法、线路等方面的错误,则此时运行 (RUN) 指示灯亮,若有错误时则 RUN 指示灯不亮,而程序出错指示灯 (PROG·E) 亮。
- ④ 若 RUN 指示灯亮,则应按设计时的工作顺序,检查和校核 PC 系统工作是否正常和是否符合设计要求。如发现所编程序有错误或不符合设计要求,应进行记录、分析、修改、直至系统完全符合设计要求,满足生产要求为止。
- ⑤ 做“模拟运行”或“空运行”,最后做负载考验运行。
- ⑥ 为了便于以后查阅、修改和完善程序,最好将运行成功的程序用磁带、软盘或 EPROM 长期保存起来,或把程序单抄写打印保存起来。

二、PC 系统的维护

对 PC 系统的维护保养主要包括下列各项工作:

- ① 对于大中型 PC 系统,应制订维护保养的规章制度,做好运行、维修和保养记录。
- ② 定期对系统进行检查保养,两次保养时间间隔通常是半年,最长不要超过一年,对特殊情况还应缩短其时间间隔。
- ③ 检查设备安装、连接线等有无松动现象及接点焊点有无松动或脱落。
- ④ 除尘去污,清除杂物。
- ⑤ 校验输入信号是否正常,有无出现偏差、减弱等异常情况。
- ⑥ 检查市电输入电压是否在允许范围之内。一般 PC 供电电源电压应在标称电压 $\pm 10\%$ 以内波动。
- ⑦ 对重要的器件或模板,应有备件。
- ⑧ 机内电池应定期更换。PC 中配有锂电池,以保证短期停电时可保存一些必要的信息(即用电池向 CMOS 存储器供电)。锂电池寿命通常为 3~5 年。当电池电压降低到一定值时,电池电压指示灯 (BATT·V) 亮。

要提高对 PC 系统的维护保养质量,关键是提高使用和维护 PC 系统的有关人员的思想和业务素质。

第三节 PC 系统的故障检查

PC 系统运行使用一段时间后,可能会因故发生故障,因此必须及时进行检查、分析和维修。

一、PC 的自诊断

PC 本身具有一定的自诊断能力,使用者可从 PC 面板上各种指示灯的发亮和熄灭,发现 PC 系统已出现故障,这给用户初步诊断故障带来很大的方便。PC 的基本单元面板上有以下的指示灯:

(一) POWER

电源指示。当供给 PC 的电源接通时,该指示灯亮。

(二) RUN

运行指示。当编程器置于“MONITOR”位置,基本单元的 RUN 端与 COM 端的开关合上,STOP 端与 COM 端的开关断开,则 PC 处于运行状态,该指示灯亮。

(三) BATT·V

机内电池电压指示。PC 的电源接通,如果锂电池电压跌落时,该指示灯亮。

(四) PROG·E (CPU·E)

程序出错指示。若出现以下错误时,本指示灯闪烁:

- ① 程序语法有错。
- ② 程序线路有错。
- ③ 未为定时器或计数器设置常数。
- ④ 锂电池电压跌落。
- ⑤ 由于噪声干扰或导线头落在 PC 内导致“求和”

检查出错。

当发生以下情况时,该指示灯持续亮:

- ① 程序执行时间超出允许时间,使监视器动作。
- ② 由于电源浪涌电压的影响,造成有噪声瞬时加到 PC 内,致使程序执行出错。

(五) 输入指示

PC 输入端有正常输入时,输入指示灯亮。有输入而灯不亮或无输入而灯亮,则有故障。

(六) 输出指示

若有输出且输出继电器触点动作,输出指示灯亮。如果灯亮而触点不动作,可能输出继电器触点已烧坏。

二、故障检查

利用 PC 基本单元面板上各种指示灯运行状态,可初步判断出发生故障的范围,在此基础上可进一步查清故障。先检查确定故障出现在哪一部分,即先进行 PC 系统的总体检查,其流程图如图 12-7 所示,供读者参考。

从总体检查流程图可以看出,检查的顺序和步骤。检查的项目内容主要有:

1. 电源系统的检查 从 POWER 指示灯的亮或灭,较容易判断出电源系统正常与否。因为只有电源正常工作时,才能检查其它部分的故障,所以应先检查或

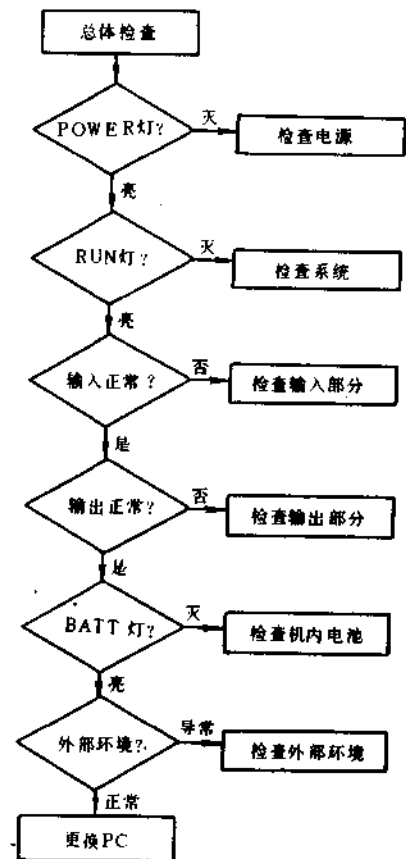


图 12-7 PC 系统的总体检查流程图

修复电源系统。电源系统故障往往发生在：供电电压不正常，熔断器烧了或装接不好，接线或插头座接触不良，有时也可能是灯泡或电源部件坏了。

2. 系统异常运行检查 先检查编程器是否置于监控状态，PC 是否置于运行状态；再监视检查程序是否有错；若还未查出，应接着检查存储器芯片是否插接良好；仍查不出时，则应检查或更换微处理器。

3. 检查输入部分 输入部分常见故障及产生原因和处理建议，如表 12-1 所示。

4. 检查输出部分 输出部分常见故障及产生的原因和处理建议，如表 12-2 所示。

表 12-1 输入部分常见故障及处理

故障现象	可能的原因	处理建议
输入均不接通	1. 未向输入信号源供电 2. 输入信号源电源电压过低 3. 端子螺钉松动 4. 端子板接触不良	接通有关电源 调整合适 拧紧 处理后重接
PC 输入全异常	输入单元电路故障	更换输入部件
某特定输入继电器不接通	1. 输入信号源（器件）故障 2. 输入配线断 3. 输入端子松动 4. 输入端接触不良 5. 输入接通时间过短 6. 输入回路（电路）故障	更换输入器件 重接 拧紧 处理后重接 调正有关参数 查电路或更换
某特定输入继电器常闭	输入回路（电路）故障	查电路或更换
输入随机性动作	1. 输入信号电平过低 2. 输入接触不良 3. 输入噪声过大	查电源及输入器件 检查端子接线 加屏蔽或滤波措施
动作正确，但指示灯灭	LED 损坏	更换 LED

表 12-2 输出部分常见故障及处理

故障现象	可能的原因	处理建议
输出均不能接通	1. 未加负载电源 2. 负载电源已坏或电压过低 3. 接触不良（端子排） 4. 保险管已坏 5. 输出回路（电路）故障 6. I/O 总线插座脱落	接通电源 调整或修理 处理后重接 更换保险 更换输出部件 重接
输出均不关断	输出回路（电路）故障	更换输出部件
特定输出继电器不接通（指示灯灭）	1. 输出接通时间过短 2. 输出回路（电路）故障	修改输出程序或数据 更换输出部件
特定继电器（输出）不接通（指示灯亮）	1. 输出继电器损坏 2. 输出配线断 3. 输出端子接触不良 4. 输出驱动电路故障	更换继电器 重接或更新 处理后重接 更换输出部件

(续)

故障现象	可能的原因	处理建议
特定输出继电器不关断(指示灯灭)	1. 输出继电器损坏 2. 输出驱动管漏电流过大	更换继电器 更换输出管
特定输出继电器不关断(指示灯亮)	1. 输出驱动电路故障 2. 输出指令中口址重复	更换输出部件 修改程序
输出不规则随机动作	1. PC 供电电源电压过低 2. 接触不良 3. 输入噪声过大	调整电源输出 检查端子接线 加防噪措施
动作正确但指示灯灭	LED 损坏	更换 LED

系统的输入、输出部分,通过接线端子、连接线和 PC 连接起来,而且输入外围设备和输出驱动的处围设备,均为硬件和硬线连接,因此输入、输出部分较容易发生各种机械性故障,这也是 PC 系统中最多见的最复杂的故障,因此,检查时须多加注意。

5. 检查电池 PC 内电池部分出现故障,一般是由于电池装接不好或因使用时间过长所致,把电池装接牢固或更换电池则可。

6. 外部环境检查 PC 控制系统工作正常与否,与外部条件环境也有关系,有时发生故障的原因可能就在于外部环境不合乎 PC 系统工作的要求。检查外部工作环境主要包括以下几个方面:

① 如果环境温度高于 55℃,应安装电风扇或空调机,以改善通风条件;假如温度低于 0℃,应安装加热设备。

② 如果相对湿度高于 85%,容易造成控制柜中挂霜或滴水,引起电路故障,应安装空调器等,相对湿度不应低于 35%。

③ 周围有无大功率电气设备(例如晶闸管变流装置、弧焊机、大电机起动)产生不良影响,如果有就应采取隔离、滤波、稳压等抗干扰措施。

④ 特别不能忽视检查交流供电电源电压是否经常性波动及波动幅度的大小,如果经常性波动且幅度大时,就应加装交流稳压器。

⑤ 其它方面也不能忽视,例如周围环境粉尘、腐蚀性气体是否过多,振动是否过大等。

查找故障,尤其是查找大中型系统复杂的故障,是比较困难的。上面介绍了查找故障的思路和基本方法,但更重要的是使用者应熟悉本系统和具有丰富的检修经验。

第十三章 可编程序控制器的实际应用介绍

多年以来，继电器接触器被广泛用来对电机进行各种控制。可以预见，可编程序控制器将会越来越多地用于电动机的运行控制。为了便于采用 PC 对原有的继电器接触控制系统进行改造和设计新的控制系统，本章将着重介绍 PC 在电动机基本控制线路中的应用及编程。此外还将介绍 PC 在其它方面的应用。

一、防止相间短接的电动机正反转控制

在电动机正反转换接时，有可能因为电动机容量较大或操作不当等原因，使接触器主触头产生较严重的起弧现象。如果电弧还未完全熄灭时，反转的接触器就闭合，则会造成电源相间短路。为防止相间短接，可增加一个接触器 KM，这种继电器接触控制电气原理图如图 13-1a 所示。

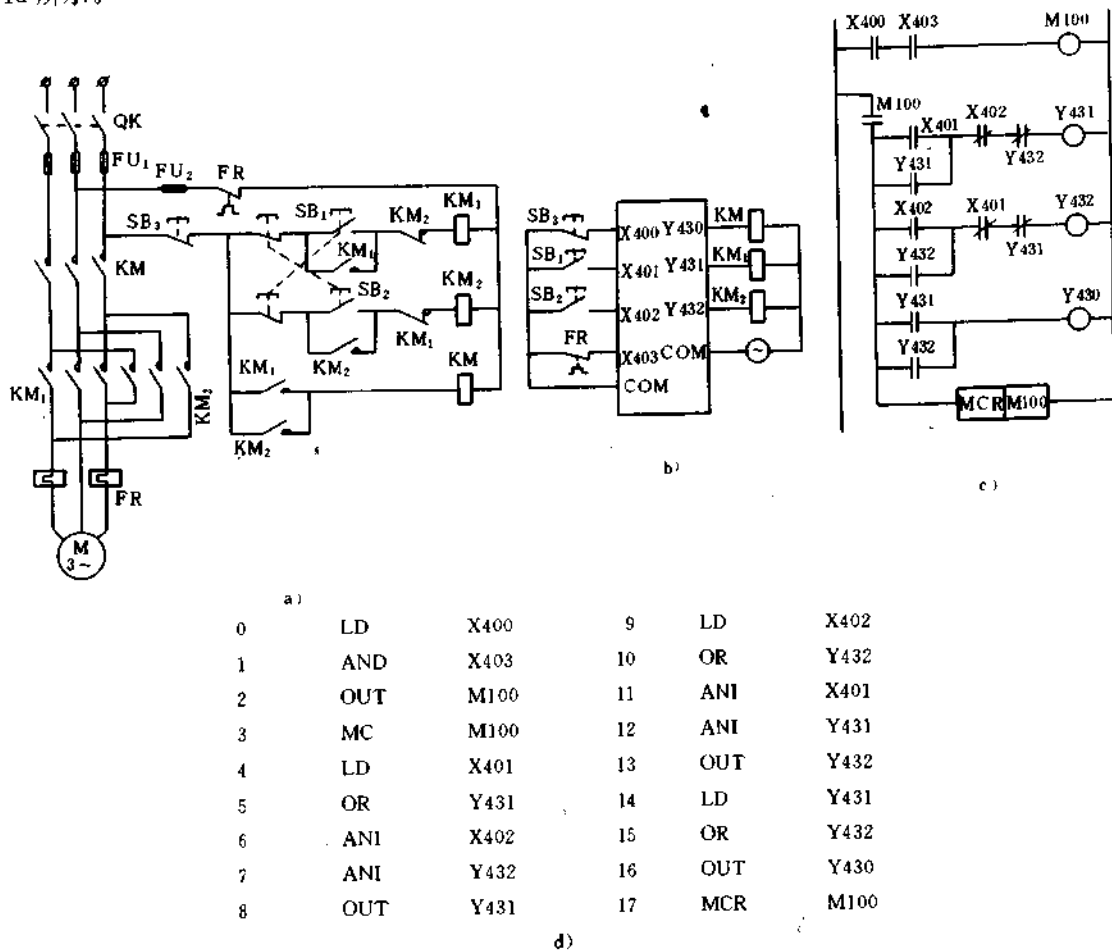


图 13-1 防止相间短路的电动机正反转控制

a) 继电器接触控制 b) PC 控制的输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

采用 PC 控制的输入输出配置接线示意图如图 13-1b 所示。梯形图如图 13-1c 所示。对应的指令程序见图 13-1d。象继电器接触控制线路一样,利用 PC 的输入继电器 X401 和 X402 的常闭接点,输出继电器 Y431 和 Y432 的常闭接点,实现双重互锁。

按下正向起动按钮 SB₁ 时,输入继电器 X401 的常开触点闭合,接通输出继电器 Y431 线圈并自锁,接触器 KM₁ 得电吸合,同时 Y431 的常开触点闭合,输出继电器 Y430 线圈接通,使接触器 KM 得电吸合,电动机正向起动到稳定运行。按下反转起动按钮 SB₂,输入继电器 X402 常闭触点断开 Y431 线圈, KM₁ 失电释放,同时 Y431 的常开触点也断开 Y430 的线圈, KM 也失电释放,有 KM 和 KM₁ 两段灭弧电路,因此可有效地熄灭电弧,防止反转换接时相间短路。而 X402 的另一对常开触点闭合,接通 Y432 的线圈,接触器 KM₂ 得电吸合, Y432 的常开触点闭合接通 Y430 线圈,接触器 KM 也得电吸合,电动机反向运行。

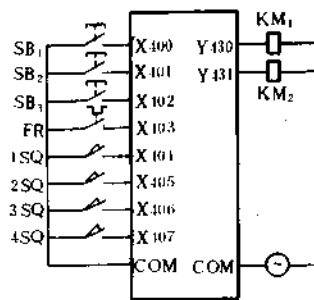
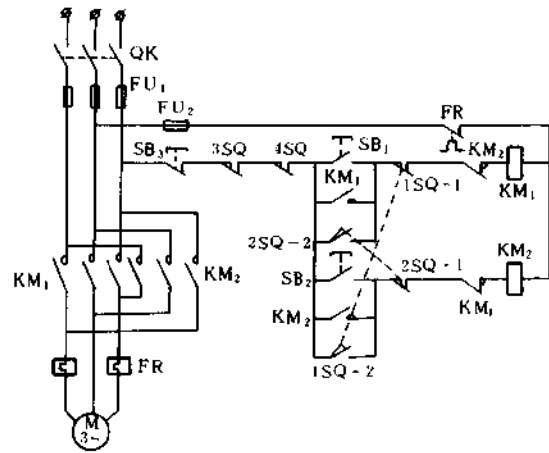
停机时,按下停机按钮 SB₃, X400 常开触点断开 M100;过载时热继电器触点 FR 动作, X403 断开 M100。这两种情况都使 Y431 或 Y432 及 Y430 断开,进而使 KM₁ 或 KM₂ 及 KM 失电,电动机停下来。

二、自动循环控制

有些生产机械,要求工作台在一定距离内能自动往返循环运动。这种继电器接触其控制线路如图 13-2a 所示。采用 PC 控制的输入输出接线示意图如图 13-2b 所示。梯形图如图 13-2c 所示。对应的指令程序如图 13-2d 所示。图中 1SQ~4SQ 为限位开关。

采用 PC 控制工作过程如下:

按下正向起动按钮 SB₁,输入继电器 X400 常开触点闭合,接通输出继电器 Y430 并自保,接触器 KM₁ 得电吸合,电动机正向运行,通过机械传动装置拖动工作台向左运动;当工作台上的挡铁碰撞限位开关 1SQ(固定在床身上)时, X404 的常闭触点断开 Y430



0	LD	X400
1	OR	Y430
2	OR	X405
3	ANI	X402
4	ANI	X403
5	ANI	X404
6	ANI	X406
7	ANI	X407
8	ANI	Y431
9	OUT	Y430
10	LD	X401
11	OR	Y431
12	OR	X404
13	ANI	X402
14	ANI	X403
15	ANI	X405
16	ANI	X406
17	ANI	X407
18	ANI	Y430
19	OUT	Y431
20	END	

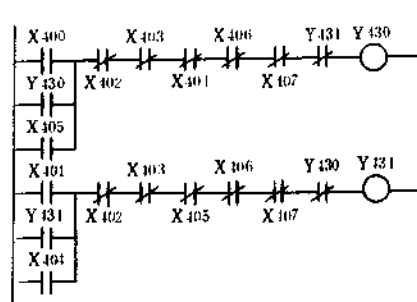


图 13-2 自动循环控制

a) 继电器接触控制 b) PC 控制的输入输出接线
c) 梯形图 d) 指令程序

的线圈, KM_1 线圈断电释放, 电动机断电; 与此同时 X_{404} 的常开触点接通 Y_{431} 的线圈并自保, KM_2 获电吸合, 电动机反转, 拖动工作台向右运动, 运动到一定位置时 $1SQ$ 复原。当工作台继续向右运动到一定位置时, 挡铁碰撞 $2SQ$, 使 X_{405} 常闭触点断开 Y_{431} 的线圈, KM_2 失电释放, 电动机断电, 同时 X_{405} 常开触点闭合接通 Y_{430} 线圈并自保, KM_1 得电吸合, 电动机又正转。这样往返循环直到停机为止。停机时按下停机按钮 SB_3 , X_{402} 常闭触点断开 Y_{430} 或 Y_{431} 的线圈, KM_1 或 KM_2 失电释放, 电动机停转, 工作台停止运动。

$3SQ$ 、 $4SQ$ 安装在工作台正常的循环行程之外, 在工作台运动的方向上。当 $1SQ$ 、 $2SQ$ 失效时, 挡铁碰撞到 $3SQ$ 或 $4SQ$, X_{406} 或 X_{407} 的常闭触点断开 Y_{430} 或 Y_{431} 的线圈, KM_1 或 KM_2 失电释放, 电动机停转, 起到终端保护作用。

过载时, 热继电器 FR 动作, X_{403} 常闭触点断开 Y_{430} 或 Y_{431} 的线圈, 使 KM_1 或 KM_2 失电释放, 电动机停转, 工作台停止运行, 达到过载保护的目。

三、笼型电动机定子串电阻起动自动控制

为了限制起动电流, 可在笼型电动机定子绕组中串电阻减压起动, 这种控制线路的继电器接触控制电气原理图如图 13-3a 所示。采用 PC 控制的输入输出配置接线如图 13-3b 所示。梯形图如图 13-3c 所示。对应的指令程序如图 13-3d 所示。工作过程如下:

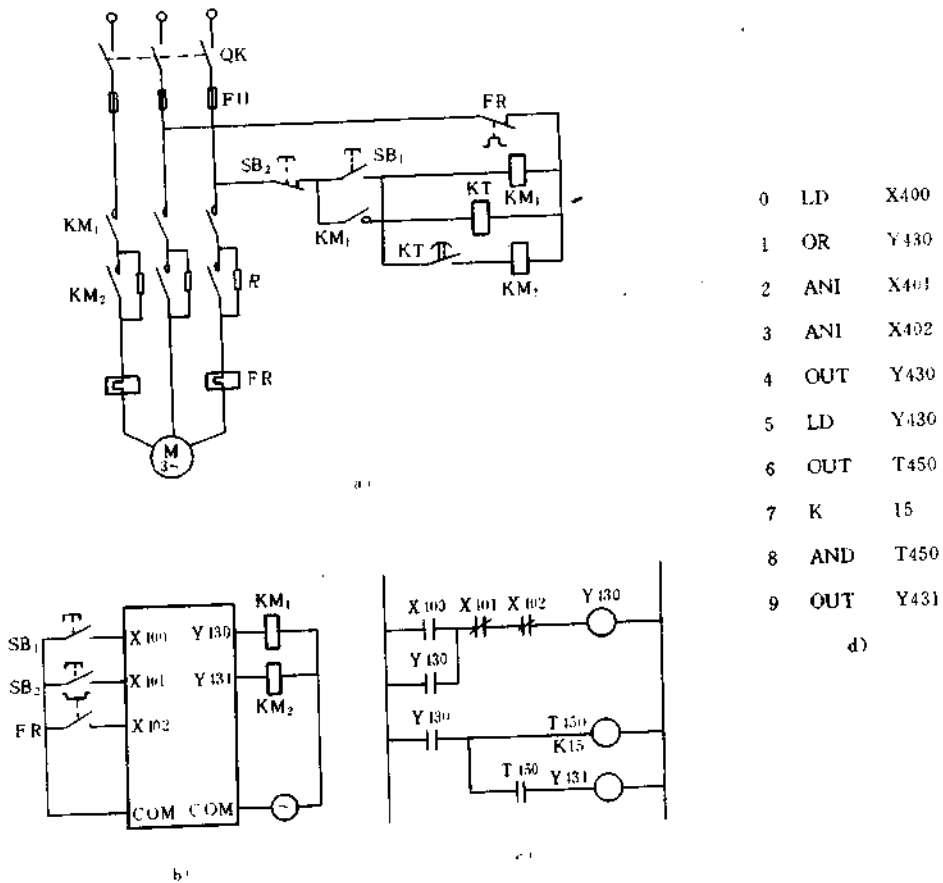


图 13-3 笼型电动机定子串电阻减压起动自动控制
a) 继电器接触控制 b) PC 控制输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

合上电源开关 QK，按下起动按钮 SB₁，输入继电器 X400 的常开触点闭合，输出继电器 Y430 线圈接通并自锁，使接触器 KM₁ 得电吸合，电动机定子绕组串入电阻 R 减压起动，与此同时定时器 T450 开始计时，到达定时值时（定时值 k 由用户设定），T450 常开触点闭合，Y431 线圈接通，接触器 KM₂ 得电吸合，把 R 短接，起动结束，电动机转入稳定运行。停机时，按下停机按钮 SB₂，输入继电器 X401 常闭触点断开 Y430 线圈（Y431 线圈也断开），KM₁ 失电释放，切断交流输入电源，电动机就会停下来。过载时，热继电器常开触点 FR 闭合，X402 常闭触点断开 Y430 线圈，KM₁ 失电释放，达到过载保护的目的。

四、定子串自耦变压器减压起动自动控制

对较大容量的 220/380V 笼型电动机不宜采用 Y- Δ 减压限流起动方法，这时可采用自耦变压器与时间继电器控制电机减压起动，如图 13-4 所示。采用 PC 控制的输入输出配置接线如图 13-4b 所示。相应的梯形图如图 13-4c 所示，与之对应的指令程序如图 13-4d 所示。工作过程如下：

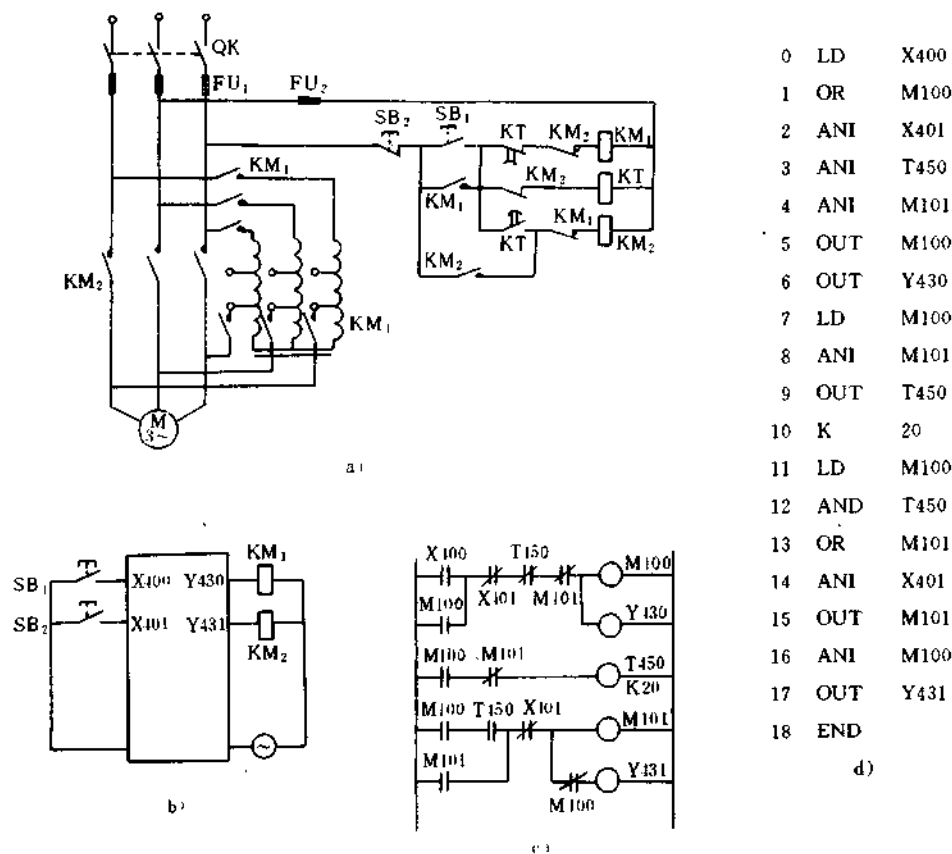


图 13-4 定子串自耦变压器减压起动自动控制

a) 继电器接触控制图 b) 输入输出接线图 c) 梯形图 d) 指令程序

从输入输出接线图和梯形图中可见，当按下 SB₁，X400 接通，Y430 动作使 KM₁ 吸合，串入自耦变压器减压起动，与此同时由于 M100 的作用，使 Y430 自保，并使 T450 开始计时。经过一段起动时间后，T450 常开触点闭合，Y431 动作使 KM₂ 吸合，与此同时由于 M101 的作

用,使 M431 自锁, T450 常闭接点动作,使 Y430 和 M100 线圈回路断开,从而使 KM₁ 失电跳开,自耦变压器停止工作,电动机起动完成,投入全电压运行。定时器定时设定 K 值根据需要由用户确定。停机时按下 SB₂, X401 常闭触点断开 Y431 线圈,使 KM₂ 失电释放,电动机停转。

五、笼型电动机 Y-Δ减压起动自动控制

这种继电器接触控制线路如图 13-5 所示。采用 PC 控制时其输入输出接线示意图如图 13-5b 所示。梯形图如图 13-5c 所示。对应的指令程序如图 13-5d 所示。图中接触器 KM₂ 作为星形联结法用, KM₃ 作为三角形联结法时用。采用 PC 控制工作过程如下:

按下起动按钮 SB₁ 时, X400 接通,使 Y430 动作并自保,且驱动 KM₁ 吸合,与此同时,由于 Y430 常开触点的闭合,使 T450 开始计时,并使 Y431 动作,驱动 KM₂ 吸合,电动机联结成星形起动。待一段时间计时器计时的到了后, T450 常闭接点断开,使 Y431 停止工作, KM₂ 随之失电跳开,而 T450 的常开触点闭合, Y432 动作并自保,从而驱动 KM₃ 吸合,这样电动机联结成三角形投入稳定运行。Y431 和 Y432 在各自线圈回路中,相互串接 Y432 和 Y431 的常闭触点,使接触器 KM₂ 和 KM₃ 不能同时吸合,达到电气互锁的目的。热继电器 FR 的常开触点连接于输入继电器 X402, X402 常闭触点串接于 Y430 线圈回路,当过载时, FR 触点闭合, X402 触点断开, Y430 停止工作, KM₁ 失电断开交流电源,从而达到过载保护的目的。

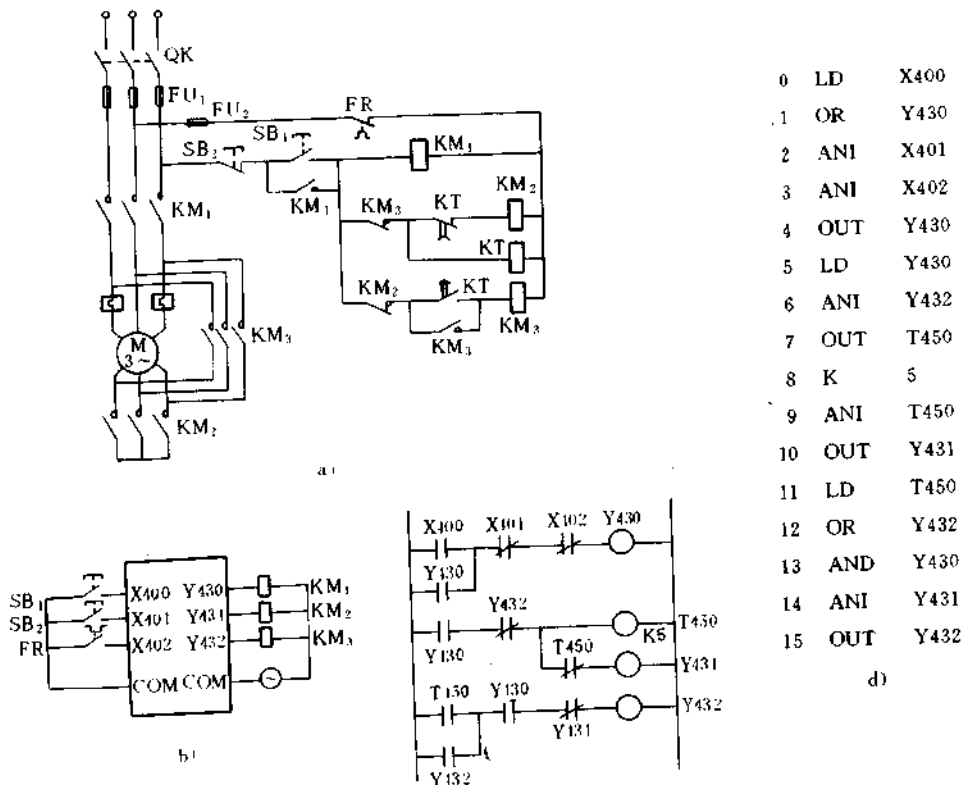


图 13-5 笼型电动机 Y-Δ减压起动自动控制
a) 继电器接触控制 b) 输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

六、延边三角形、减压起动自动控制

延边三角形减压起动继电器控制电气原理图，如图 13-6 所示。采用 PC 控制的输入输出接线如图 13-6b 所示。梯形图如图 13-6c 所示。对应的指令程序如图 13-6d 所示。工作过程如下：

按下起动按钮 SB_1 ，X400 的两对常开触点闭合，Y430 线圈接通并自保，使接触器 KM_1 得电吸合。与此同时定时器 T451 线圈接通开始计时，Y432 线圈也接通并使接触器 KM_3 得电吸合。通过 KM_1 的主触头将绕组端点 1、2、3 分别接到三相电源，绕组端点 4 与 8、5 与 9、6 与 7 通过 KM_3 主触头接通，这时电动机绕组被接成延边三角形减压起动。到达定时器 T451 设定值 K (K 值由用户设定) 时，T451 的常闭触点断开 Y432 的线圈， KM_3 失电释放，而 T451 的常开触点闭合，接通 Y431 的线圈，接触器 KM_2 得电吸合，绕组端点 1 与 6、2 与 4、3 与 5，通过 KM_1 和 KM_2 的主触头联结成三角形并接到三相电源，起动结束。

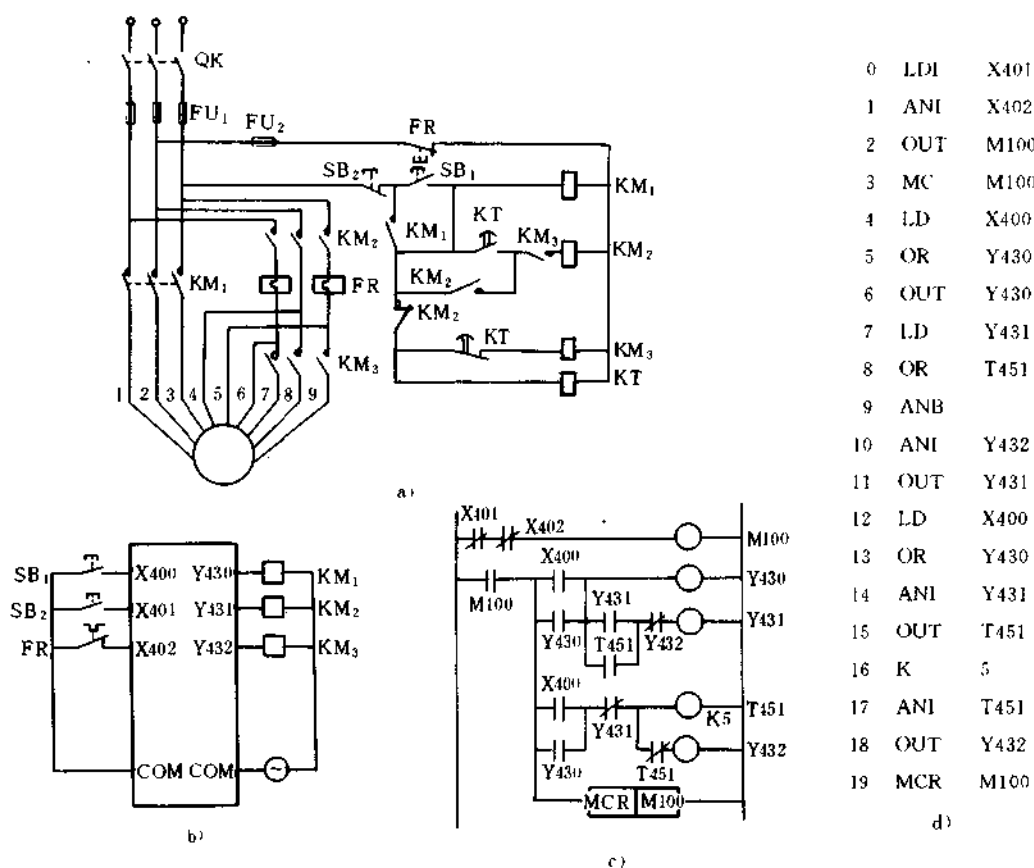


图 13-6 延边三角形减压起动自动控制

a) 继电器控制 b) PC 控制输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

电动机绕组延边三角形联结、三角形联结，参见第一篇。

七、绕线型电动机转子串频敏变阻器起动自动控制

采用继电器控制的电气原理图，如图 13-7 所示。应用 PC 控制的输入输出接线示意图，如图 13-7b 所示。梯形图如图 13-7c 所示。对应的指令程序如图 13-7d 所示。

采用 PC 控制的工作过程如下：

合上电源后，按下起动按钮 SB₁，X400 触点闭合，Y430 动作并自保，驱动接触器 KM₁ 吸合，电动机在转子回路串入频敏变阻器 RF 开始起动，同时 M100 接通，计时器 T451 开始计时，起动一段时间后 T451 常开触点闭合，Y432 动作并自保，驱动中间继电器 KA 吸合，Y432 常开触点闭合，使 Y431 动作并驱动接触器 KM₂ 合上，将频敏变阻器“切除”，起动过程结束。图中 TA 为电流互感器。从上面分析可见，在起动过程中，中间继电器常闭触点把热继电器热元件短接，以防止由于热继电器 FR 误动作造成起动失败，起动结束时中间继电器触点断开，接入热继电器作为过载保护用。计时器 K 值由用户设定。过载时 FR 动作，X402 常闭触点断开 Y430 和 M100，按下停机按钮 SB₂ 时，X401 触点同样断开 Y430 和 M100，KM₁ 失电释放，电动机停止运行。

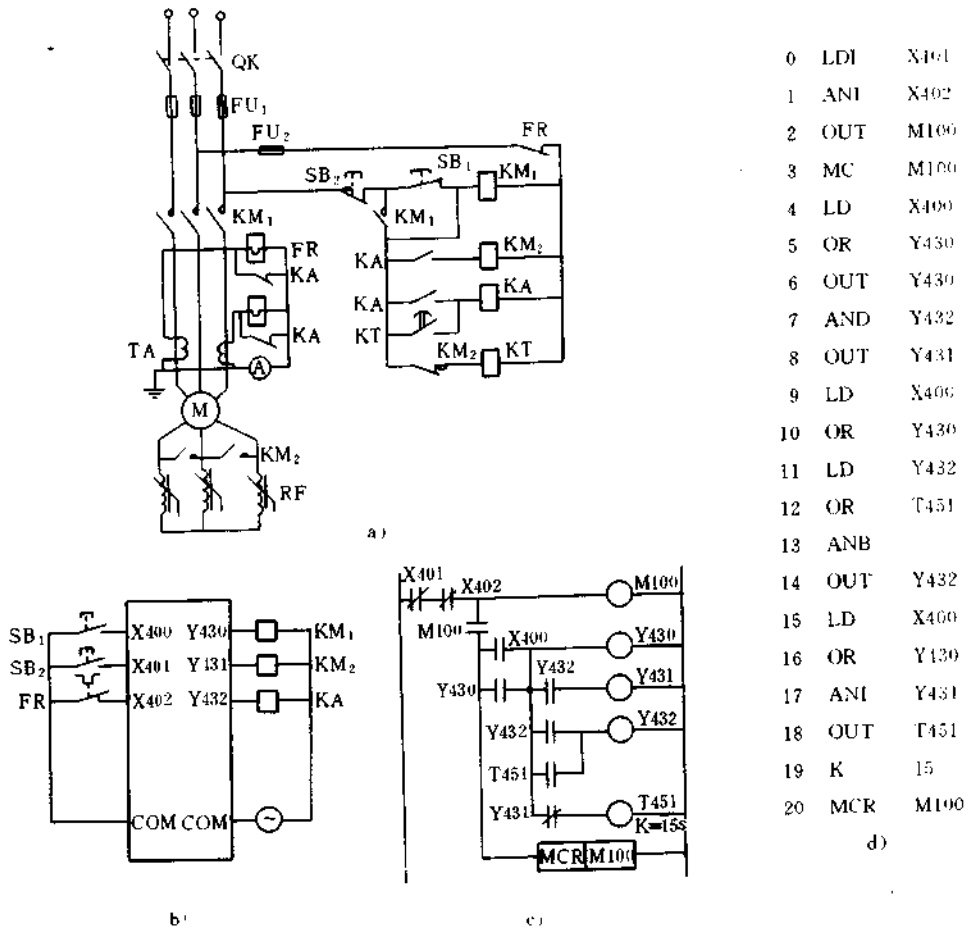


图 13-7 绕线转子型电动机转子串频敏变阻器起动自动控制

a) 继电器控制 b) PC 控制的输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

八、绕线转子电动机转子串电阻起动自动控制

为了限制起动电流，在绕线转子电动机转子回路中串电阻起动，这种继电器控制线路如图 13-8 所示。用 PC 控制的输入输出接线如图 13-8b 所示。梯形图如图 13-8c 所示。对应的

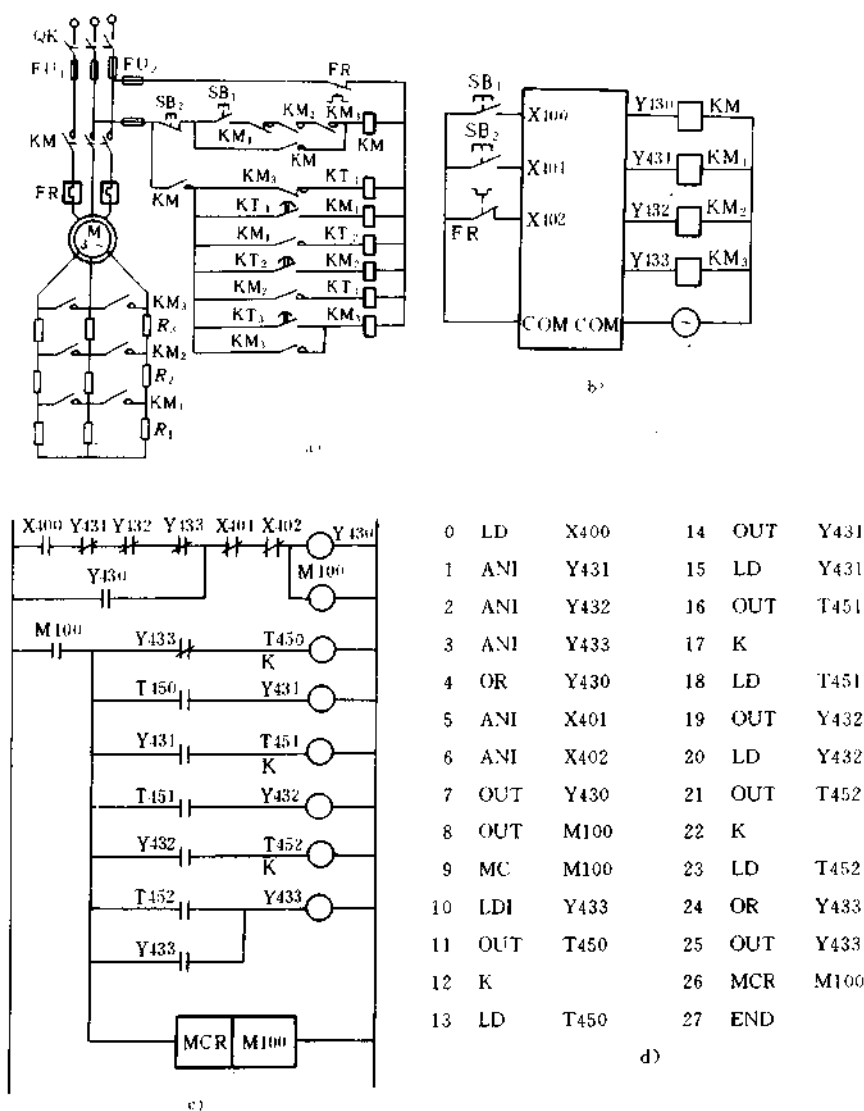


图 13-8 绕线转子电动机转子串电阻起动自动控制

a) 继电器接触控制 b) PC 控制的输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

指令程序如图 13-8d 所示。工作过程如下：

按下起动按钮 SB_1 ，输入继电器 X400 的常开触点接通输出继电器 Y430 线圈并自保，接触器 KM 得电吸合，电动机定子接通电源，转子串接全部电阻起动。与此同时辅助继电器 M100 线圈接通其触点闭合，定时器 T450 线圈接通开始计时（减法计时），延时时间到达设定值时 T450 常开触点闭合，Y431 线圈接通，KM₁ 得电吸合，短接第一级起动电阻 R₁，并使 T451 线圈接通开始计时，经过设定的延时时间后，T451 的常开触点闭合，使 Y432 线圈接通，并使 KM₂ 线圈获电动作，短接第二级起动电阻 R₂，同时 Y432 常开触点闭合，使 T452 线圈接通开始计时，经过整定延时时间后，T452 常开触点闭合，Y433 线圈接通并自保，使 KM₃ 线圈获电动作，短接第三级起动电阻 R₃，同时 Y433 的一对常闭触点断开 T450 线圈，其触点断

开后，使 Y431 (KM₁)、T451、Y432 (KM₂)、T452 的线圈依次断开，KM₁、KM₂ 失电释放，起动完毕，只有 KM 和 KM₃ 保持通电状态，电动机转入稳定运行。定时器 T450、T451、T452 的设定值 K，由用户自定。

按下停机按钮 SB₂，X401 常闭触点断开 Y430 和 M100 线圈，随之断开 Y433 线圈，进而使 KM 和 KM₃ 失电释放，电机停转。当电动机过载时，热继电器 FR 常开触点闭合，X402 的常闭触点断开，如同按下停机按钮情形一样，电动机断电停下来，得到保护。从梯形图第一行和图 13-8a 可见，只有 Y431(KM₁)、Y432(KM₂)、Y433 (KM₃) 的常闭触点闭合时，起动控制回路才能接通，电动机才能串入电阻起动，否则电动机不能起动，以防止起动电流过大。

九、单管整流能耗制动自动控制

这种电路的继电器接触控制线路图，如图 13-9 所示。PC 控制的输入输出接线图，如图 13-9b 所示。梯形图如图 13-9c 所示。指令程序如图 13-9d 所示。工作过程如下：

起动时按下起动按钮 SB₁，X400 接通，Y430 动作，并自锁，使接触器 KM₁ 得电吸合，电动机起动到稳定运行。

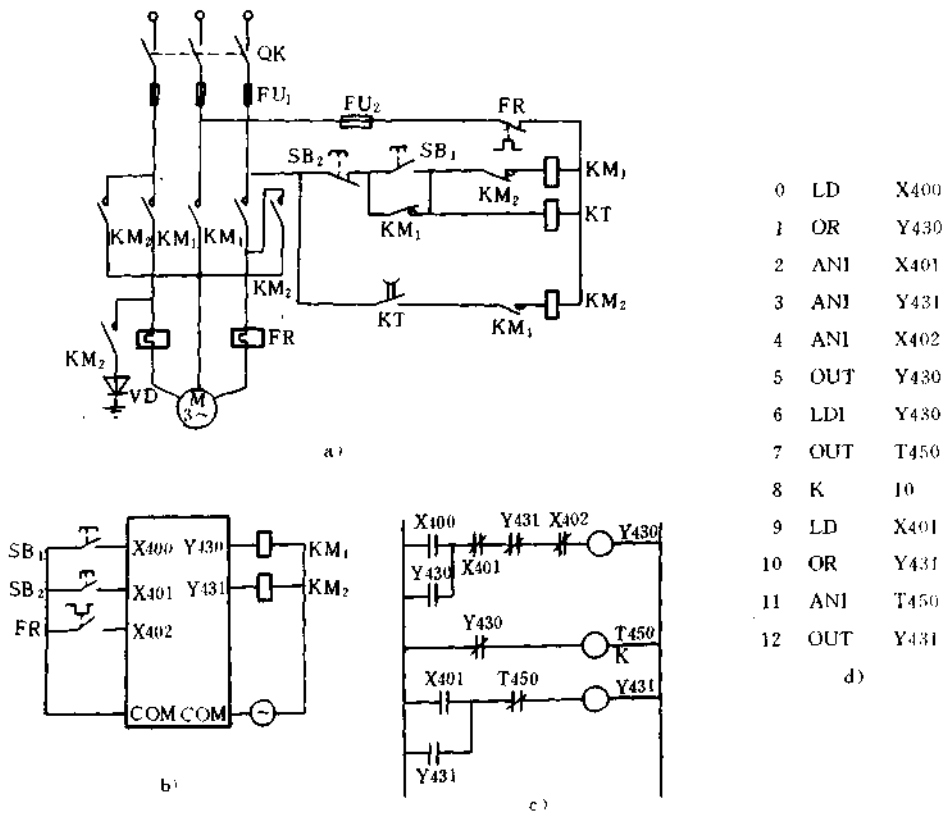


图 13-9 单管整流能耗制动自动控制

a) 继电器接触控制 b) PC 控制输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

制动时按下停机按钮 SB₂，X401 常闭触点断开 Y430 线圈回路，使 KM₁ 断开，同时 Y430 的常闭触点使 T450 开始计时。X401 的常开触点闭合使 Y431 动作并自锁，从而使 KM₂ 有电吸合，电流从其中两相绕组流入，从另一相绕组流出，并经二极管整流后到“地”，电动机处

于能耗制动状态，转速很快下降。当定时器 T450 计时时间到时（图中 K 值减至零，K 值由用户设定），T450 常闭触点断开 Y431 线圈回路，KM₂ 断开，制动过程很快行将结束。电动机制动工作原理参见第一篇。

十、带变压器桥式整流能耗制动自动控制

这种自动控制的继电接触电气原理图，如图 13-10 所示。PC 控制的输入输出配置接线，如图 13-10b 所示。梯形图如图 13-10c 所示。对应的指令程序如图 13-10d 所示。能耗制动的原理在第二章第五节中已作介绍。

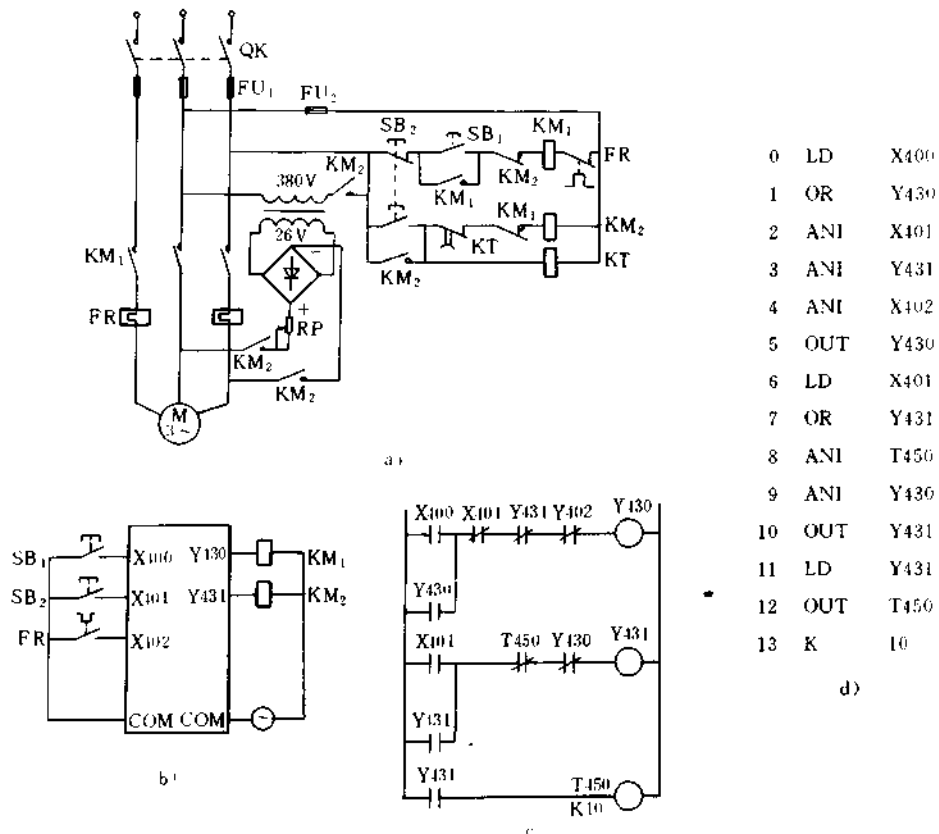


图 13-10 带变压器的桥式整流能耗制动自动控制

a) 继电接触控制 b) PC 控制输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

PC 控制工作过程如下：

起动时，按下 SB₁，X400 接通 Y430 线圈并自保，使接触器 KM₁ 吸合，电动机起动至稳定运行。与此同时 Y430 常闭触点切断 Y431 线圈通路，接触器 KM₂ 不能合上，起到电气互锁的作用。

制动时，按下 SB₂，由于 X401 的常闭和常开触点的作用，分别使 Y430 线圈回路断开，KM₁ 失电释放，Y431 线圈接通并自保，KM₂ 得电吸合，经桥式整流的电流从电动机的一相绕组流入，经另一相绕组流出，对电动机实现能耗制动。在 Y431 线圈接通其常开触点闭合的同时，计时器 T450 开始计时，当计时时间到时（K 值由用户设定），T450 常闭触点断开 Y431 线圈通路，KM₂ 失电释放，电动机转速很快降至零。图中电位器供调节制动电流的大小用。当电

机过载时，热继电器 FR 常开触点闭合，X402 常闭触点切断 Y430 线圈通路，KM₁ 失电释放，切断电动机交流供电电源，电动机得到保护。

十一、串电阻减压起动和反接制动自动控制

继电器控制的这种控制电路，如图 13-11 所示。PC 控制的输入输出接线，如图 13-11b 所示。梯形图如图 13-11c 所示。对应的指令程序如图 13-11d 所示。图中 KS₁ 是与主电动机同轴的速度继电器。PC 控制工作过程如下：

起动时，按下起动按钮 SB₁，X400 常开触点闭合，Y430 线圈接通并自锁，KM₁ 线圈接通，主触头吸合，电动机串入限流电阻 R 开始起动。同时 Y430 的两对常开触点闭合。当电动机转速上升到某一定值时（此值为速度继电器 KS₁ 的整定值，可调节，如调至 100r/min 时动作），KS₁ 的常开触点闭合，X402 常开触点闭合，M100 线圈接通并自锁，M100 的一对常开触点接通 Y432 的线圈，KM₃ 线圈有电主触头吸合，短接起动电阻，电机转速上升至给定值时投入稳定运行。

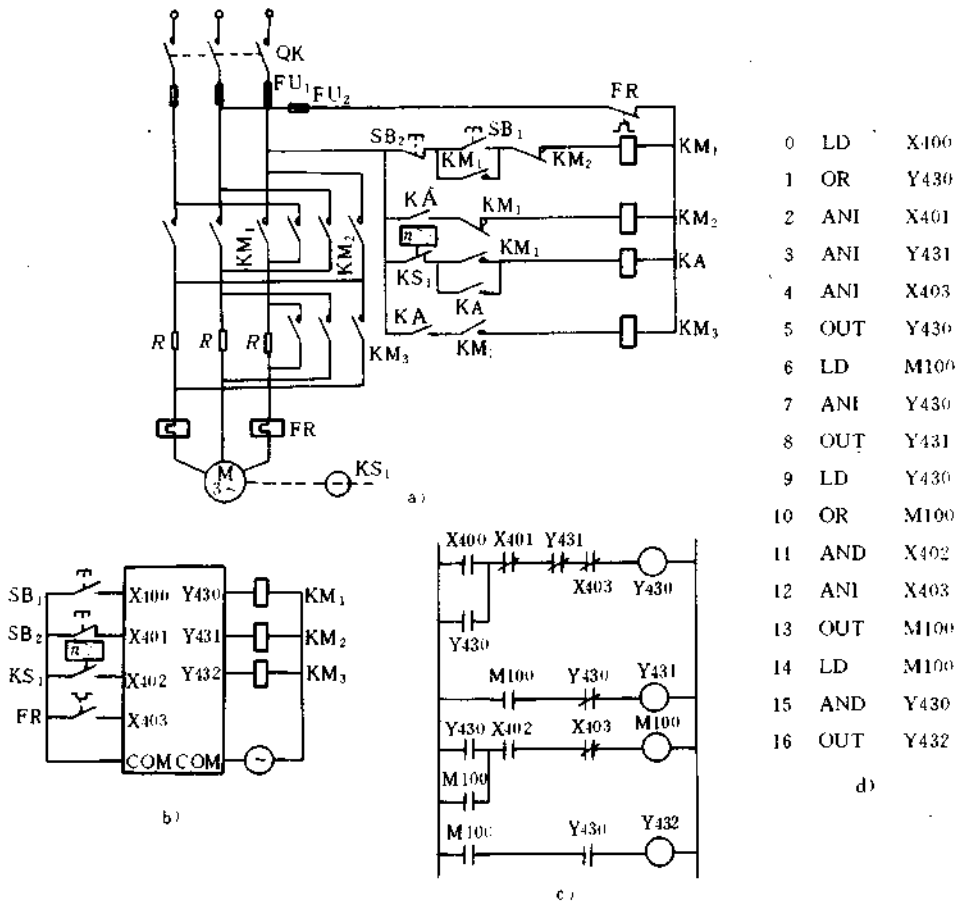


图 13-11 串电阻减压起动和反接制动的自动控制

a) 继电器控制 b) PC 控制的输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

制动时，按下停机按钮 SB₂，X401 常闭触点断开 Y430 线圈，使 KM₁ 失电释放，而 Y430 的常闭触点接通 Y431 线圈，制动用的接触器 KM₂ 有电吸合，对调两相电源的相序，电动机

处于反接制动状态。与此同时，Y430的常开触点断开Y432的线圈KM₃失电释放，串入电阻R限制制动电流。当电动机转速迅速下降至某一定值（比如100r/min）时，KS₁常开触点断开，X402常开触点断开M100的线圈，M100的常开触点断开Y431线圈，KM₂失电释放，电动机很快停下来。过载时，热继电器FR常开触点闭合，X403的两对常闭触点断开Y430和M100的线圈，从而使KM₁或KM₂失电释放，起到过载保护作用。

十二、双速电动机的变速控制

继电器接触这种控制线路如图13-12所示。PC控制的输入输出接线如图13-12b所示。梯形图如图13-12c所示。对应的指令程序如图13-12d所示。工作过程如下：

低速运行时，按下低速按钮SB₁，输入继电器X401的常开触点闭合，Y430的线圈接通，其自锁触点闭合，联锁触点断开，接触器KM₁获电吸合，电动机定子绕组作三角形联结，电动机低速运行。当要转为高速运行时，则按下高速起动按钮SB₂，X402常闭触点断开Y430线圈，KM₁失电释放，与此同时，X402常开触点闭合，与X400、X404、Y430的常闭触点，接通Y431的线圈，KM₂获电吸合，Y431常开触点的闭合使Y432线圈接通，Y432的另一对常开触点闭合，使Y431和Y432自锁，KM₃也得电吸合，于是电动机定子绕组联结成双星形，此时电动机高速运行。KM₂合上后KM₃才得电合上（Y431线圈先接通，Y432才动作），这是为了避免KM₃合上时电流很大。按下停机按钮SB₃时，X400两对常闭触点断开，使Y430或Y431和Y432线圈断开，相应的接触器KM₁或KM₂和KM₃失电释放，主触头断开，电动

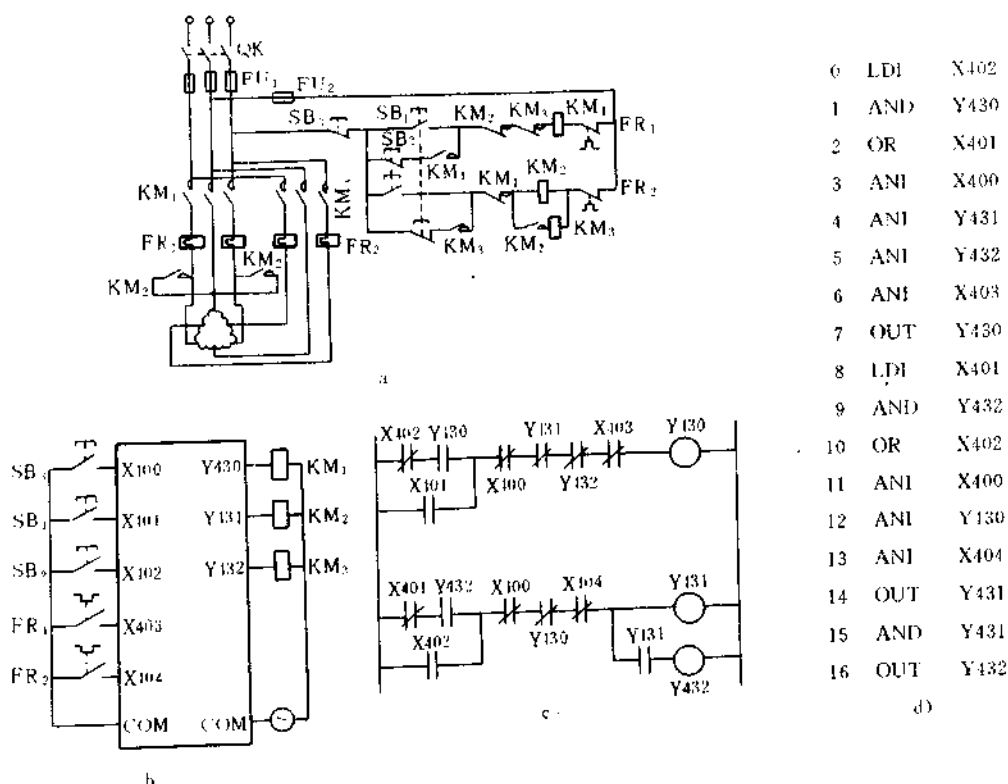


图 13-12 双速电动机的变速控制

a) 继电器接触控制 b) PC 的输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

机则停下来。同理，电动机过载时，热继电器常开触点闭合，X403 或 X404 的常闭触点断开，使 Y430 或 Y431 和 Y432 线圈断开，进而使 KM₁ 或 KM₂ 和 KM₃ 失电释放，电机得到保护。如果按下 SB₂，电机高速运行，必要时再按 SB₁，电动机将转为低速运行。

十三、按时间原则控制直流电动机的起动

这种线路的继电器接触控制线路图如图 13-13 所示。采用 PC 控制的输入输出接线如图 13-13b 所示。梯形图如图 13-13c 所示。对应的指令程序如图 13-13d 所示。工作过程如下：

合上电源开关 QK，按下起动按钮 SB₁，输入继电器 X401 触点闭合，Y430 线圈接通并自锁，接触器 KM₁ 得电吸合，直流电动机电枢回路串入两级电阻限流起动。与此同时 Y430 的另一对常开触点闭合，定时器 T451 开始减法计时，其常开触点延时闭合后，Y431 线圈接通，接触器 KM₂ 得电吸合，短接起动电阻 R₁，电动机升速，与此同时 T452 线圈接通，开始减法计时，其常开触点延时闭合后，输出继电器 Y432 线圈接通，KM₃ 得电吸合，短接电阻 R₂，这时起动过程便告结束。T451 和 T452 定时设定值 K，由用户给定。按下停机按钮 SB₂ 时，X400 常闭触点断开，所有的输出继电器和定时器的线圈都断开，三个接触器均失电释放，电动机则停下来。

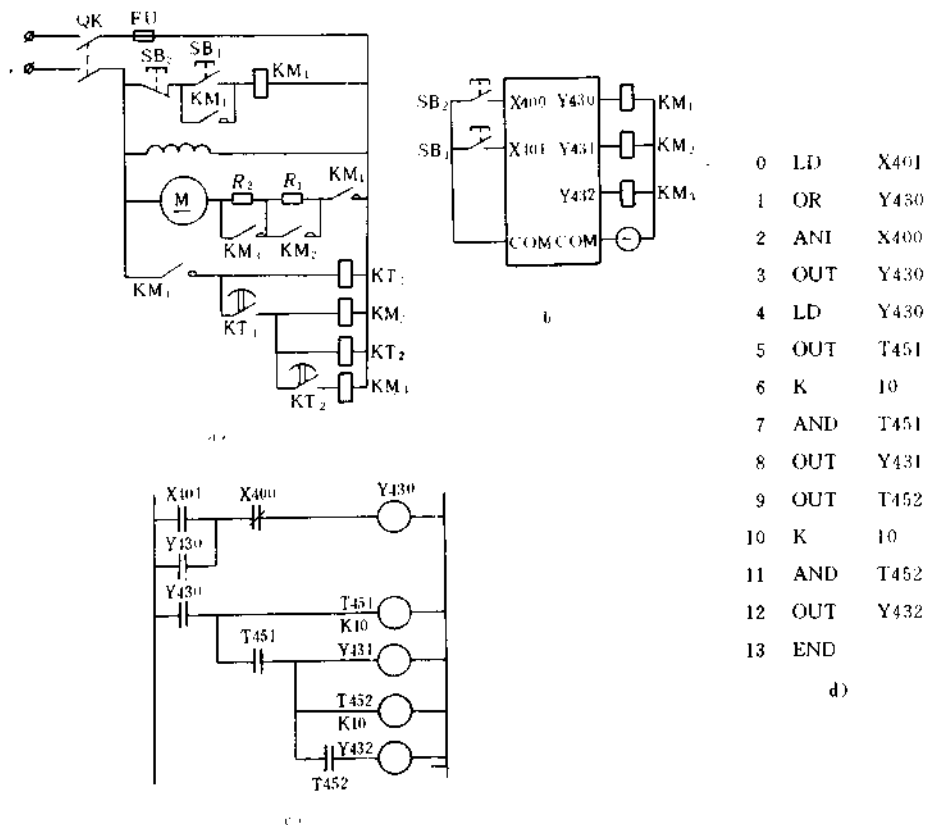


图 13-13 按时间原则控制直流电动机起动

a) 继电器接触控制 b) PC 控制输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

十四、单按钮控制电动机起动与停止

通常采用两个按钮控制电动机的起动与停止。但多点控制时，则需要按钮引线较多。利

用一个按钮多点远程控制电动机的起停，则可减少控制线路又能节省导线。这种继电器接触控制线路图如图 13-14 所示。PC 控制的输入输出接线图如图 13-14b 所示。梯形图如图 13-14c 所示。对应的指令程序如图 13-14d 所示。工作过程如下：

启动：按下按钮 SB，X401 接通 M103 线圈，M103 触点闭合使 M100 动作并自锁，M100 常开触点闭合，Y430 线圈接通并自锁，接触器 KM 有电吸合，电动机启动到运行，Y430 的常开触点闭合，为 M101 接通停机作准备。注意，松开 SB 后，X401 断开 M103 线圈和触点，M100 和 M101 线圈断开。

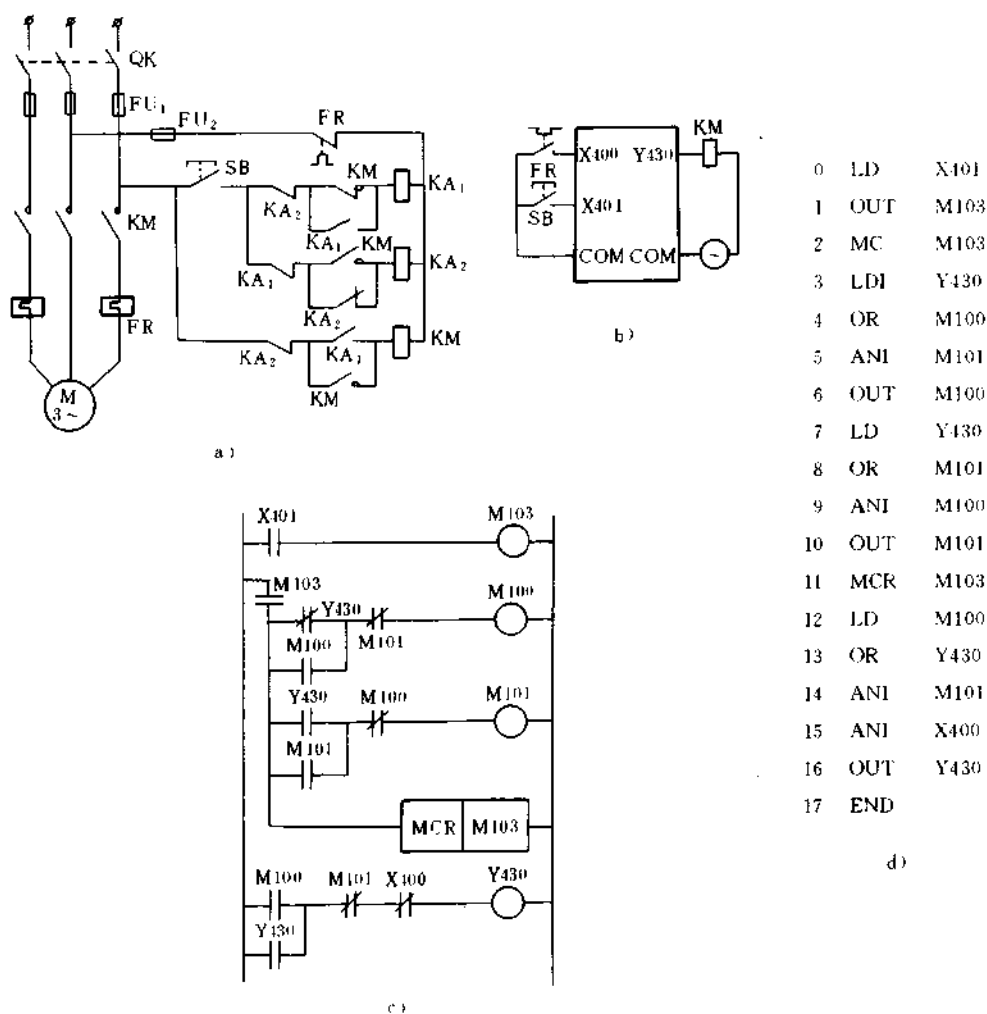


图 13-14 单按钮控制电动机的启动与停止

a) 继电器接触控制 b) PC 控制输入输出接线 c) 梯形图 d) 指令程序

停机：第二次按下按钮 SB，这时 M100 的线圈通路已被 Y430 的已断开的常闭接点切断，而 M101 的线圈被接通，其常闭触点断开，切断 Y430 线圈通路，KM 失电释放，电动机停转。过载时热继电器 FR 触点闭合，X400 常闭触点断开 Y430 的线圈，KM 失电释放，电动机断电停止运行。

十五、小车行驶控制

假设有一生产自动线，用电动机拖动小车，电动机正转小车前进，电动机反转小车后退。对小车运行的控制要求为：小车从原点 A 出发驶向 1 号位，抵达后立即返回原位；接着直向 2 号位驶去，到达后立即返回原位；第三次出发一直驶向 3 号位，到达后返回原位。必要时，像上述一样小车出发三次运行一个周期后能停下来；根据需要小车也能重复上述运行过程，不停地运行下去，直到按下停止按钮 SB₂ 为止。小车行驶控制如图 13-15 所示。采用 PLC 控制的输入输出配置图如图 13-15b 所示。梯形图如图 13-15c 所示。对应的程序清单如图 13-15d 所示。现对小车运行控制过程说明如下：

① 当小车处在原位时，压下原位限位开关 SQ₀，X401 接通 Y430，原位指示灯亮。

② 小车向 1 号位行驶。按下起动按钮 SB₁，Y431 被 X400 触点接通并自锁，运行指示灯亮并保持整个运行过程。此时 Y431 的常开触点接通移位寄存器的数据输入端 IN，M100 置“1”（其常闭触点断开，常开触点闭合），M100 和 X402 的触点，接通 Y432 线圈，前进接触器 KM₁ 得电吸合，电动机正转，小车向 1 号位驶去。

③ 小车返回原位。当小车行至 1 号位时，限位开关 SQ₁ 动作，X402 常闭触点断开 Y432 线圈，KM₁ 失电释放，电动机停转，小车停止前进。与此同时 X402 接通移位寄存器移位输入 CP 端，将 M100 中的“1”移到 M101，M101 常闭触点断开 M100 补“0”，而 M101 常开触点闭合，Y433 接通，接触器 KM₁ 得电吸合，电动机反转，小车后退，返回原位。

④ 小车驶向 2 号位又返回原位。当小车碰到原位限位开关 SQ₀，X401 断开 Y433 线圈通路，KM₁ 失电释放，电动机停转，小车停行。与此同时，X401 与 M101 接通移位输入通路，将 M101 中的“1”移到 M102，M100 的“0”移到 M101，M100 仍补“0”。M102 接通 Y432 线圈，小车驶向 2 号位。当小车再次行驶到 1 号位时，虽然 SQ₁ 动作，X402 动作，但不影响小车继续驶向 2 号位（因为 M102 和 X403 仍接通 Y432，M100 为“0”），直至小车碰到 2 号位限位开关 SQ₂，X403 断开 Y432，小车才停止前进。与此同时，X403 与 M102 接通移位输入通路，将 M102 中的“1”移到 M103，M103 为“1”，其余位全为“0”。M103 接通 Y433 线圈，小车返回原位。

⑤ 小车驶向 3 号位再返回原位。当小车碰到 SQ₀ 开关时，X401 断开 Y433，小车停止后退。同时 M103 和 X401 接通移位输入通路，M103 移位到 M104，M103 为“0”，M104 为“1”，M104 和 X404 接通 Y432，小车向 3 号位驶去，小车再次经过 1 号位和 2 号位，但因为 M100~M103 均为“0”，不会移位，M104 和 X404 仍接通 Y432，直到小车碰到 3 号位限位开关 SQ₃ 动作，X404 才断开 Y432 线圈，小车才停止前进，这时 M104 和 X404 接通移位输入通路，M104 移位到 M105，M105 为“1”，其他位为“0”，M105 和 X401 接通 Y433，电机反转，小车后退，返回原位。

⑥ 小车运行一周。小车返回原位压下原位限位开关 SQ₀，X401 又断开 Y433，小车停止运行。同时 M105 和 X401 接通移位输入通路，M105 移位到 M106，M106 为“1”，其余位均为“0”，即 M100~M105 的常开触点均为断态，这时如果连续运行开关 S 仍未合上，X405 仍断开，那么移位寄存器不会复位，M100 仍为“0”，则小车正向出发往返运行三次（一周）后，就在原位停下来了。

⑦ 小车连续运行与停止。如果需要小车在运行一周后，继续运行下去，则合上连续运行开关 S，X405、X401 和 M106 接通复位输入端 R，移位寄存器复位，M100 重新置“1”，M100

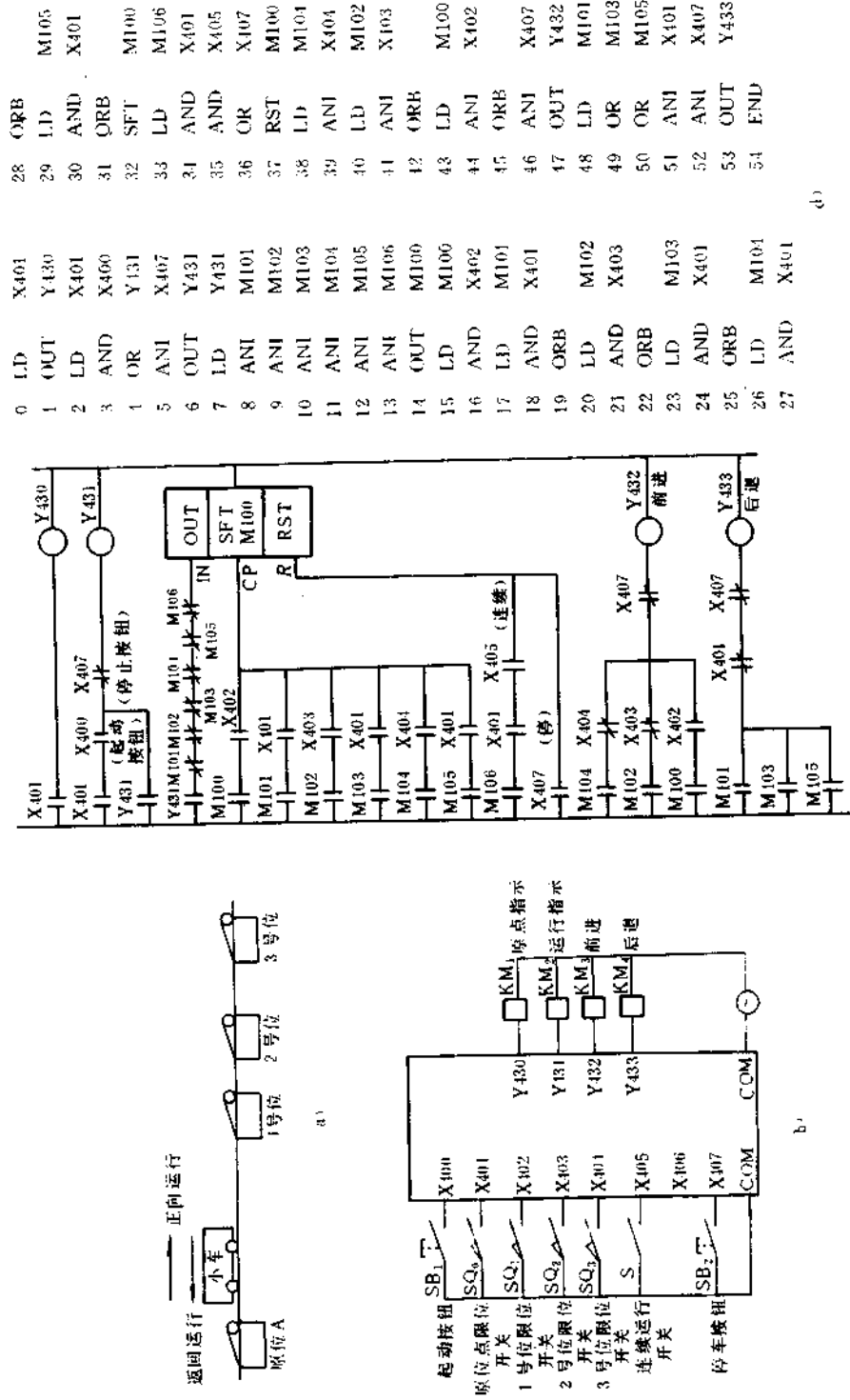


图 13-15 小车行驶控制 a) 小车行驶示意图 b) 控制输入输出配置图 c) 梯形图 d) 指令程序

与 X402 又接通 Y432，小车又开始第二周运行，并且一周又一周地连续运行下去，直到按下停机按钮 SB₂，X407 触点断开，Y432 和 Y433 线圈断开，小车才立即停止运行。同理，如果发生意外情况，不论小车运行在什么位置，只要按下停车按钮 SB₂，电动机立即停转，小车停行。

十六、狭窄隧道汽车双向行的 PC 控制

有一地下隧道，宽约 3.3m，仅能通过一辆面包车，长 350m，南道口简称为 A 口，北道口简称为 B 口，车辆时速严格控制为每小时 25~30km，全程约需 45~56s，设计时留有约 12s 裕量。采用 PC 控制，具体要求如下：

- ① 无人值班指挥，能错开时序双向行车。
- ② 按起动按钮，A 口绿灯亮，B 口红灯亮，信号灯控制系统开始工作。
- ③ 两道口绿灯不能同时亮，如果万一同时亮，系统停止工作并报警。
- ④ 从 A 口绿灯开始亮时计算，在持续 5s 内若无车辆进入 A 口，则 A 口绿灯闪烁 2s 后熄灭且红灯亮，而 B 口红灯熄灭绿灯亮。同样，如果 B 口绿灯持续亮 5s 内无车辆进入 B 口，则 B 口绿灯闪烁 2s 熄灭红灯亮，而此时 A 口绿灯亮……。这是两道口均无车进入隧道的要求。
- ⑤ 当 A 口绿灯亮时，从 A 口进入第一辆车算起，B 口红灯持续亮 90s，同时 A 口绿灯持续亮 20s，接着闪烁 2s 后熄灭，红灯亮 68s（B 口红灯仍亮着）。即使从 A 口进入隧道内的汽车全部开出后，B 口才能进车。
- ⑥ 当 B 口绿灯亮时，从 B 口进入第一辆车算起，A 口红灯持续亮 90s，B 口绿灯持续亮 20s，接着闪烁 2s 后熄灭，此后两道口红灯同时亮 68s，即使从 B 口进入隧道内的车辆全部开出来后，才能从 A 口进车。
- ⑦ 周而复始。这是某大单位专用车道，车辆不会太多，一般从早上 6 时到夜里 10 时才使用。
- ⑧ 在两道口出入处，在隧道中从 A 口算起 130m 和 260m 处各安装一个停止信号灯控制系统工作的开关 S，作为交通事故时的急停用。

综合上述要求，各信号灯工作时序图如图 13-16 所示。

两个道口安装有红外线自动检测装置，检测车辆进入隧道的情况，并通过小型继电器的

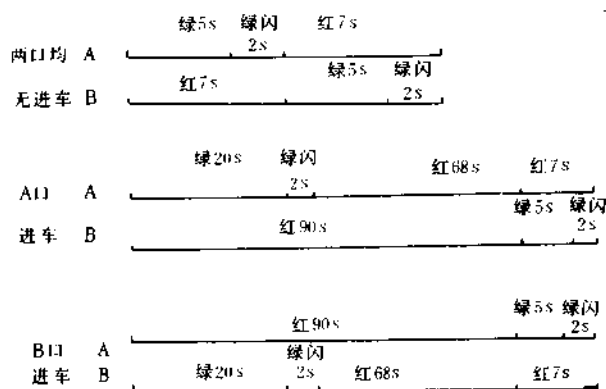


图 13-16 各信号灯工作时序图

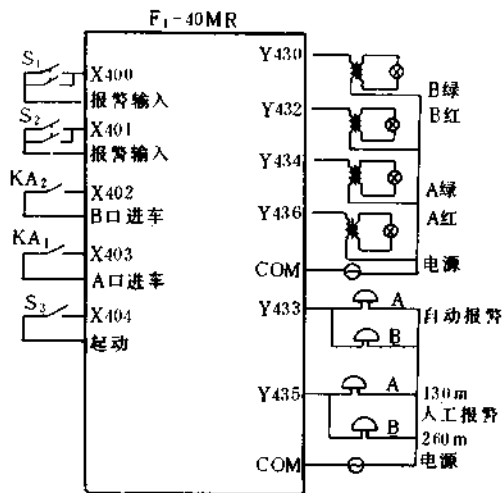


图 13-17 PC 控制输入输出配置接线图

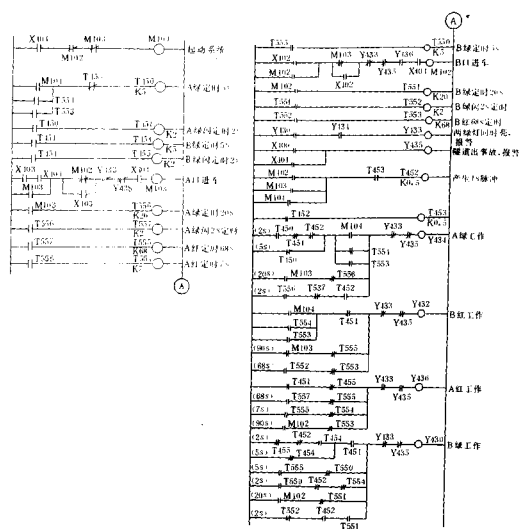


图 13-18 梯形图

触点 KA₁ 和 KA₂, 把信号输入 PC, PC 的输入输出配置接线图如图 13-17 所示。梯形图如 13-18 所示。程序清单如下:

步序	指令	数据	步序	指令	数据
0	LD	X004	8	OUT	T450
1	ANI	M102	9	K	5
2	ANI	M103	10	LD	T450
3	OUT	M104	11	OUT	T451
4	LD	M104	12	K	2
5	OR	T554	13	LD	T451
6	OR	T553	14	OUT	T454
7	ANI	T455	15	K	5

16	LD	T454	55	OUT	T551
17	OUT	T455	56	K	20
18	K	2	57	LD	T551
19	LD	X403	58	OUT	T552
20	AND	X404	59	K	2
21	OR	M103	60	LD	T552
22	LDI	M102	61	OUT	T553
23	OR	X403	62	K	68
24	ANB		63	LD	Y430
25	ANI	Y433	64	AND	Y434
26	ANI	Y435	65	OUT	Y433
27	AND	X404	66	LD	X400
28	OUT	M103	67	OR	X401
29	LD	M103	68	OUT	Y435
30	OUT	T556	69	LD	M102
31	K	20	70	OR	M103
32	LD	T556	71	OR	M104
33	OUT	T557	72	ANI	T453
34	K	2	73	OUT	T452
35	LD	T557	74	K	0.5
36	OUT	T555	75	LD	T452
37	K	68	76	OUT	T453
38	LD	T555	77	K	0.5
39	OUT	T554	78	LD	T450
40	K	7	79	ANI	T451
41	LD	T555	80	ANI	T452
42	OUT	T550	81	ORI	T450
43	K	5	82	LD	M104
44	LD	X402	83	OR	T554
45	OR	M102	84	OR	T553
46	LDI	M103	85	ANB	
47	OR	X402	86	LD	M103
48	ANB		87	ANI	T556
49	ANI	Y433	88	ORB	
50	ANI	Y435	89	LD	T556
51	AND	Y436	90	ANI	T557
52	AND	X404	91	AND	T452
53	OUT	M102	92	ORB	
54	LD	M102	93	ANI	Y433

94	ANI	Y435	120	ANI	Y433
95	OUT	Y434	121	ANI	Y435
96	LD	M104	122	OUT	Y436
97	OR	T554	123	LDI	T455
98	OR	T553	124	ANI	T452
99	ANI	T451	125	AND	T454
100	LD	M103	126	ORI	T454
101	ANI	T555	127	AND	T451
102	ORB		128	LD	T555
103	LD	T552	129	ANI	T550
104	ANI	T553	130	ORB	
105	ORB		131	LD	T550
106	ANI	Y433	132	ANI	T452
107	ANI	Y435	133	ANI	T554
108	OUT	Y432	134	ORB	
109	LD	T451	135	LD	M102
110	ANI	T455	136	ANI	T551
111	LD	T557	137	ORB	
112	ANI	T555	138	LDI	T552
113	ORB		139	AND	T452
114	LD	T555	140	AND	T551
115	ANI	T554	141	ORB	
116	ORB		142	ANI	Y433
117	LD	M102	143	ANI	Y435
118	ANI	T553	144	OUT	Y430
119	ORB		145	END	

工作过程分析如下：合上起动开关 S_3X404 闭合，M104 被起动，从而按设定时间依次起动 T450、T451、T454、T455 几个定时器工作，信号灯按无车进入隧道时的要求工作，即 A 口绿灯亮 5s，闪烁 2s，同时 B 口红灯亮 7s；接着，A 口红灯亮 7s，同时 B 口绿灯亮 5s 再闪烁 2s；只要还未有车进入隧道内，这种工作状态周而复始。

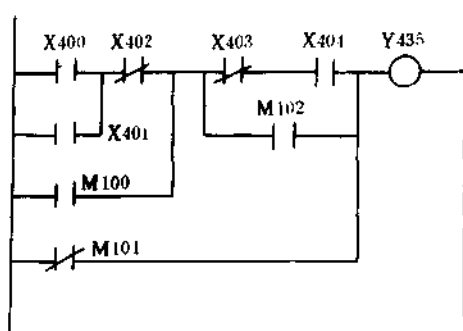
当有车辆从 A 口进入时， KA_1 动作，X403 触点闭合，M103 线圈接通并自锁，M103 的常闭触点断开 M104 的线圈，使无车状态的有关定时器停止工作，同时 T556、T557、T555、T554、T550 按既定程序工作，使 A 口绿灯亮 20s，再闪烁 2s 后熄灭，接着红灯亮 68s，而 B 口红灯一直亮 90s。然后 A 口红灯再亮 7s，同时 B 口绿灯亮 5s，再闪烁 2s 后熄灭，与 M104 触点并联的 T554 触点闭合，又起动了定时器 T450 等，即当从 A 口进入隧道里的车辆已全部从 B 口开出去后，如果又无车辆进入隧道，则信号灯控制系统又按照两个道口均无车辆进入隧道的状态工作。

当 B 口进车时， KA_2 动作，X402 起动 M102，M102 常闭触点断开 M103 线圈，使 T554 线圈断开，其常开触点断开 T450 线圈，从而使控制系统脱离无车进入隧道的工作状态。与此

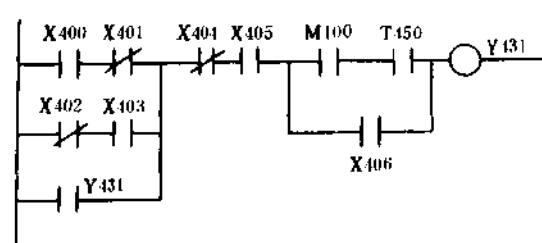
同时依序启动了定时器 T551、T552、T553 工作，使 B 口绿灯亮 20s 闪烁 2s 后熄灭，B 口红灯接着亮 68s，A 口红灯持续亮 90s，T553 常开触点与 M104 触点并联，故 T553 定时时间到后，T450 又被启动，即当从 B 口进入的车辆全部从 A 口开出去后，信号灯控制系统又按照无车进入状态工作，等待下次来车。万一两个道口绿灯同时亮时，Y430、Y434 触点闭合，Y433 接通，警铃报警。当隧道内发生交通混乱等事故时，合上开关 S₁ 或 S₂，X400 或 X401 触点闭合，Y435 动作，发出报警信号。当发生这两种不正常情况时，除了报警外，Y433 或 Y435 线圈接通后，它们的常闭触点均断开 Y434、Y432、Y436 和 Y430 的线圈，使两个道口的交通灯都熄灭，暂停工作，停止进车。打开开关 S₃ 时，信号灯系统停止工作。

第二篇习题

1. PC 有哪些主要特点？
2. PC 主要由哪几部分组成？各部分起什么作用？
3. 试简述 PC 扫描工作的主要过程。
4. 试述 PC 控制系统比继电控制系统有哪些主要优点。
5. PC 及其控制系统为什么可靠性高？
6. 在 F-40MR 的 PC 中设置有输入继电器 X430、输出继电器 Y480、定时器 T460、计数器 C450、辅助继电器 M790，这话对吗？为什么？
7. 有一台 F-20MT 的 PC，它最多可以接多少个输入信号？接多少个负载？它适用于控制交流与直流负载吗？
8. 移位寄存器由什么组成？使用移位寄存器应注意什么？
9. F 系列 PC 定时器是接通延时型还是断开延时型？当定时时间到时定时器的常开接点与常闭接点工作状态如何？
10. F 系列 PC 计数器是加 1 计数器还是减 1 计数器？当设定的计数次数到了时，计数器的常开接点、常闭接点工作状态如何？
11. 写出如图篇 2-1 所示梯形图的指令程序。
12. 写出如图篇 2-2 所示梯形图的指令程序。

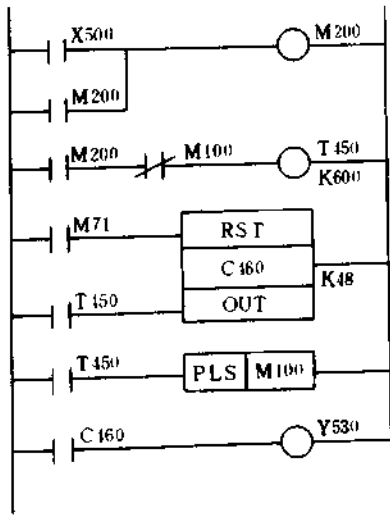


图篇 2-1 习题 11 图

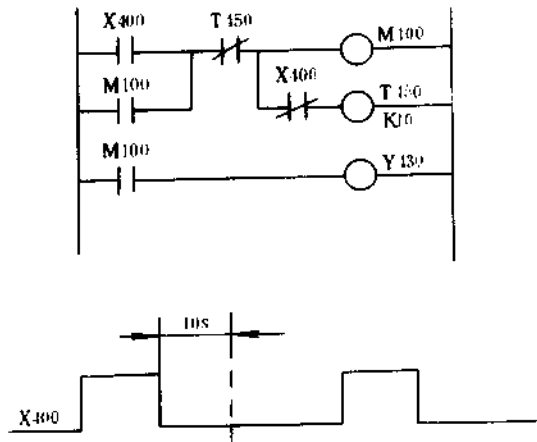


图篇 2-2 习题 12 图

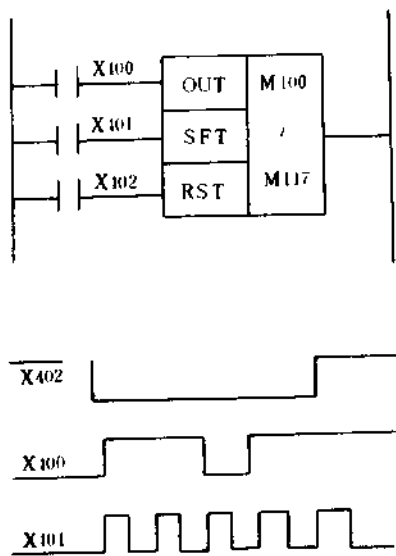
13. 写出如图篇 2-3 所示梯形图指令程序。X500 接通多少次后 Y530 线圈接通？试分析其工作过程。
14. 写出如图篇 2-4 所示梯形图指令程序。并画出 T450 和 Y430 时序波形图。试说明这是一种什么类型的定时电路。
15. 写出如图篇 2-5 所示梯形图指令程序。并画出 M100、M101 和 M102 的时序波形图。
16. 图篇 2-6（两个移位寄存器的串接）中，梯形图和指令程序均有错误，试指出并改正。



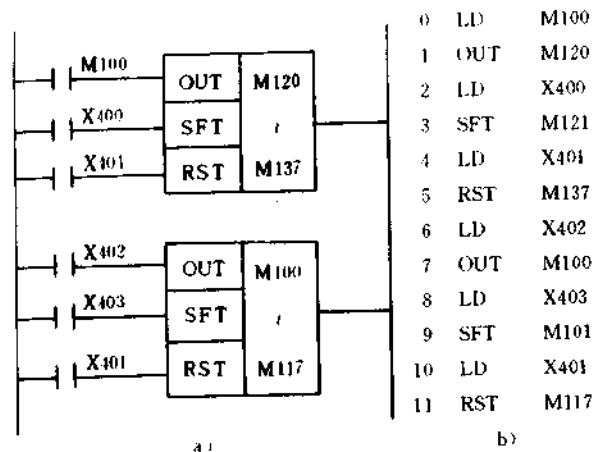
图篇 2-3 习题 13 图



图篇 2-4 习题 14 图



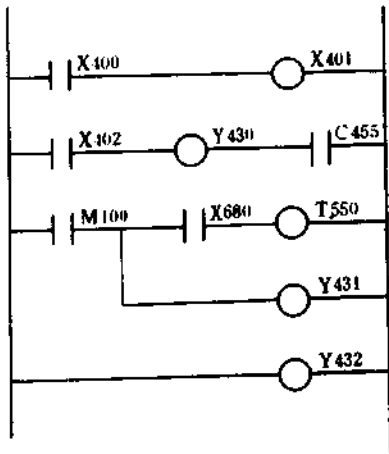
图篇 2-5 习题 15 图



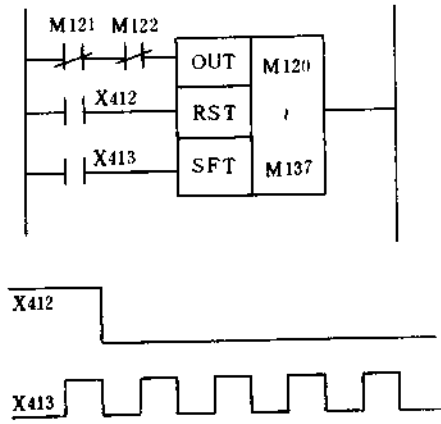
图篇 2-6 习题 16 图

a) 梯形图 b) 指令程序

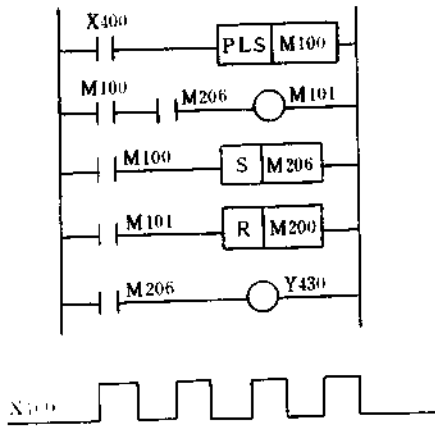
17. 图篇 2-7 中有错误和不理想之处, 试指出。
18. 画出如图篇 2-8 所示梯形图中 M120、M121、M122 的时序波形图, 并写出指令程序。
19. 写出如图篇 2-9 所示梯形图指令程序。并绘出 Y430 的时序波形图。本电路能否实现单按钮控制启动/停止的功能?
20. 绘出如图篇 2-10 所示梯形图中 Y430 的时序波形图。本电路能否实现单按钮控制启动/停止的功能?
21. 绘出如图篇 2-11 所示梯形图中 Y430 的时序波形图。本电路可否用于单按钮控制启动和停止的场合?
22. 写出如图篇 2-12 所示梯形图的指令程序, 并绘出 Y430 的时序波形图。本电路能否实现单按钮控制启动和停止的功能?



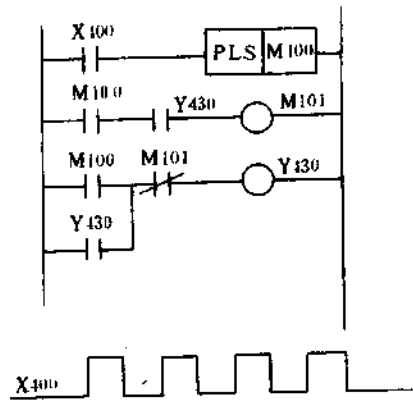
图篇 2-7 习题 17 图



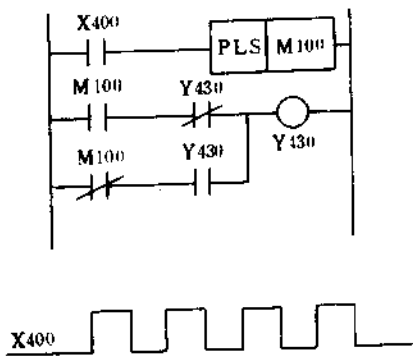
图篇 2-8 习题 18 图



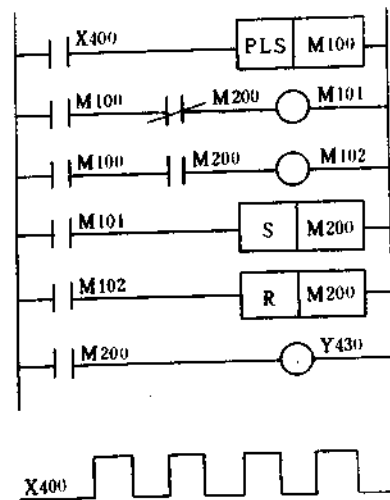
图篇 2-9 习题 19 图



图篇 2-10 习题 20 图



图篇 2-11 习题 21 图



图篇 2-12 习题 22 图

23. 绘出下列指令程序的梯形图。

0	LDI	M100	5	OUT	C460
1	OUT	M100	6	K	8
2	LDI	X400	7	LD	C460
3	RST	C460	8	OUT	Y430
4	LD	M100			

24. 绘出下列指令程序的梯形图。

0	LD	X400	9	ORB	
1	AND	X401	10	ANB	
2	LD	X402	11	LD	M100
3	ANI	X403	12	AND	M101
4	ORB		13	ORB	
5	LD	X404	14	AND	M102
6	AND	X405	15	OUT	Y434
7	LD	X406	16	END	
8	AND	X407			

25. 绘出下列指令程序的梯形图。

0	LD	X400	10	OR	X402
1	ANI	T451	11	OUT	Y430
2	OUT	T450	12	LD	X401
3	K	0.5	13	OR	M100
4	LD	T450	14	AND	X400
5	OUT	T451	15	OUT	M100
6	K	0.5	16	LD	X400
7	LD	T450	17	ANI	M100
8	OR	M100	18	OUT	Y431
9	AND	X400			

26. 画出以下指令程序的梯形图。

0	LD	X404	12	LD	C463
1	ANI	T550	13	AND	T550
2	OUT	T550	14	OUT	C464
3	K	60	15	K	20
4	LDI	X404	16	LDI	X404
5	OR	C462	17	RST	C463
6	RST	C462	18	LD	C462
7	LD	T550	19	OUT	C463
8	OUT	C462	20	K	4
9	K	60	21	LD	C464
10	LDI	X404	22	OUT	Y432
11	RST	C464			

27. 有一台电动机, 要求为: 按下起动按钮后, 运行 5s, 停止 5s, 重复执行 5 次后停止。试设计其梯形图并写出相应的指令程序。

28. 有 4 台电动机 $M_1 \sim M_4$, 控制要求为: 按 $M_1 \sim M_4$ 的顺序起动, 即前级电动机不起动, 后级电动机不

能起动。前级电动机停止时，后级电动机也停止，如 M_1 停止时， $M_2 \sim M_n$ 也停止。试设计其梯形图并写出相应的指令程序。

29. 设计一个延时接通和延时断开电路。假设用两个定时器来实现，当输入 X_{400} 接通，延时 5s 后 Y_{430} 接通并自保持；当输入 X_{400} 从接通变为断开时，延时 5s 后 Y_{430} 断开。试绘出其梯形图并写出相应的指令程序。

30. 设计一个彩灯自动循环控制电路。假定用输出继电器 $Y_{430} \sim Y_{437}$ 分别控制第 1 盏灯至第 8 盏灯，按第 1 盏灯至第 8 盏灯的顺序闪亮，后一盏灯闪亮后前一盏灯熄灭，反复循环下去，只有断开电源开关后彩灯才熄灭。要求用 M_{72} 和移位寄存器 $M_{200} \sim M_{217}$ 进行控制。试绘出其梯形图并写出相应的指令程序。

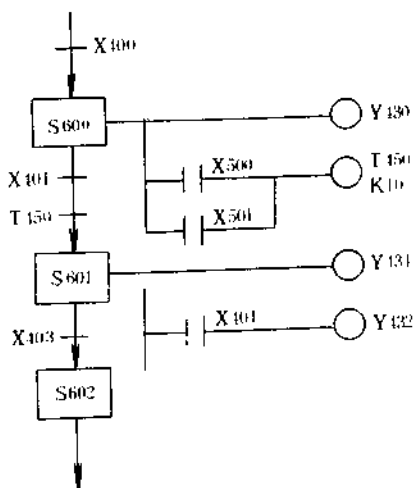
31. 把 PC 的 X_{401} 、 X_{402} 、 X_{403} 、 X_{404} 、 X_{405} 五个输入端接输入信号，三个电气执行元件接到 Y_{431} 、 Y_{432} 、 Y_{433} 端。控制要求为：当 X_{401} 接通时， Y_{431} 与 Y_{432} 接通有输出； X_{402} 接通时， Y_{432} 与 Y_{433} 有输出； X_{403} 接通时， Y_{431} 与 Y_{433} 有输出； X_{404} 接通时， $Y_{431} \sim Y_{433}$ 都有输出； X_{405} 接通时， $Y_{431} \sim Y_{433}$ 均没有输出。试画出其梯形图并写出相应的指令程序。

32. 把 PC 的 X_{401} 、 X_{402} 、 X_{403} 、 X_{404} 、 X_{405} 五个输入端接输入信号，电气执行元件接到 Y_{431} 端。控制要求为： $X_{401} \sim X_{404}$ 四个输入端中任何两个输入端同时接通时， Y_{431} 均有输出响应；当 X_{405} 接通时， Y_{431} 都被封锁输出。试画出相应的梯形图及写出指令程序。

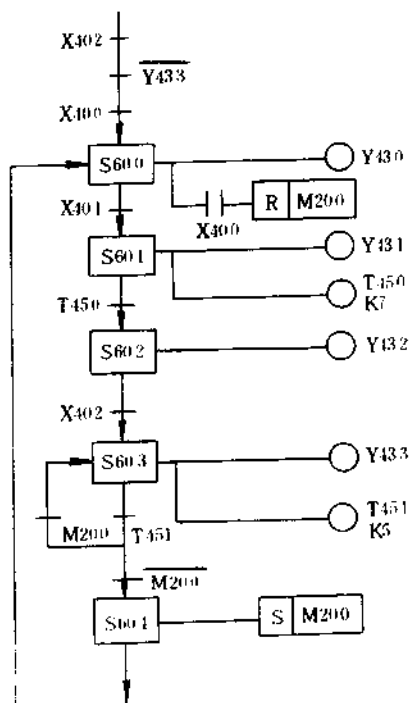
33. 试设计一个定时 5h 的长延时电路（提示：用一个定时器和一个计数器的组合来实现），当定时时间到， Y_{430} 接通并有输出。试画出其梯形图及写出相应的指令程序。

34. 试用两个计数器的组合，构成一个能计数 1650 次的计数电路。当计数次数达到时， Y_{435} 的线圈接通。试画出其梯形图及写出相应的指令程序。

35. 设计一个两昼夜计时器（提示与要求：用定时器和计数器的组合来实现。其中 C_{462} 计数器用作小时计时器，每分钟计数 1 次，1h 接通 1 次。 C_{464} 作昼夜计时器，一昼夜接通 1 次， C_{466} 计时 2 昼夜时间到，接通 Y_{430} ）

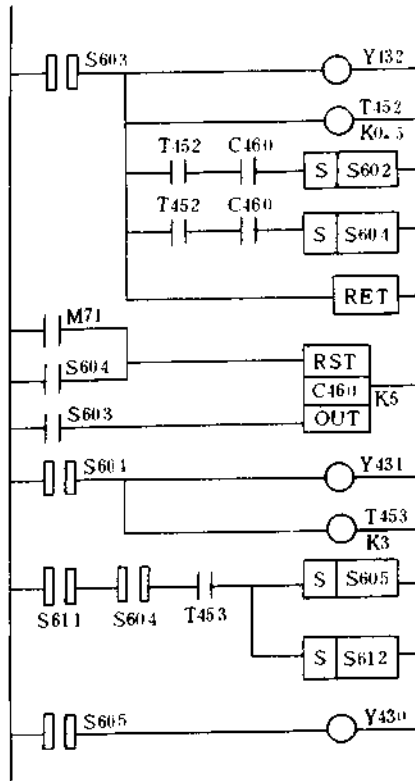


图籍 2-13 习题 37 图

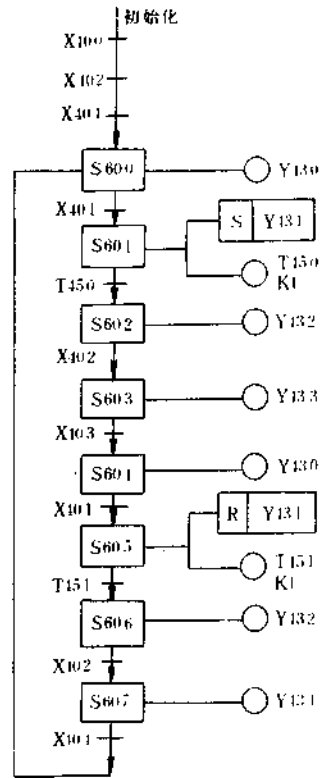


图籍 2-14 习题 38 图

36. 试述简易编程器 F₁-20P 操作键 CLEAR、DEL、INS 等的功能。
37. 有一状态图如图篇 2-13 所示，试画出其状态梯形图，并写出其指令程序。
38. 设一状态图如图篇 2-14 所示，试画出其状态梯形图，并写出其指令程序。
39. 试写出如图篇 2-15 所示状态梯形图的指令程序。
40. 设某机械手自动操作状态图如图篇 2-16 所示，试绘出其状态梯形图，并写出对应的指令程序。



图篇 2-15 习题 39 图



图篇 2-16 习题 40 图

附 录

附录 A FX₂ 系列 PC 简介

FX₂ 系列 PC 是日本三菱公司近几年推出的小型高性能整体式 PC。它由基本单元、扩展单元、扩展模块和特殊适配器组成。

FX₂ 系列 PC 可以使用手持式编程器 FX-20P 和便携式图形编程器 GP-80HGP, 也可以用 MEDOC 软件包在 IBM 个人计算机及其兼容机上编程。

一、FX₂ 系列 PC 一般技术指标

FX₂ 系列 PC 一般技术指标如表 A-1 所示。

表 A-1 FX₂ 系列 PC 的一般技术指标

环境温度	0~55℃
环境湿度	35%~85%RH (不结露)
使用环境	无腐蚀性气体, 无导电粉末, 无尘埃
耐 压	AC1500V 1min (接地端与其它端子之间)
绝缘电阻	5MΩ 以上 (接地端与其它端子之间)
防震性能	JIS C0911 标准, 10~55Hz, 0.5mm (最大 2g), 三轴方向各 2h
防冲击性能	JIS C0912 标准 (10g, 3 轴方向各 3 次)
抗噪声能力	用噪声模拟器产生电压为 1000V 峰-峰值, 噪声脉冲宽度为 1μs, 频率为 30~100Hz 的噪声, 此时 PC 还能正常工作

二、FX₂ 系列 PC 的输出技术指标

FX₂ 系列 PC 的输出电路也有三种: 继电器型、双向晶闸管型和晶体管型。基本单元、扩展单元和扩展模块均可选择不同的输出方式, FX₂ 系列 PC 的输出技术指标如表 A-2 所示。

表 A-2 FX₂ 系列 PC 的输出技术指标

项 目	继电器输出	双向晶闸管输出	晶体管输出
外部电源	AC250V, DC30V 以下	AC85~242V	DC5~30V
最大负载	电阻负载	0.3A/1 点, 0.8A/4 点	0.5A/1 点, 0.8A/4 点
	感性负载	15V·A/AC100V 30V·A/AC240V	12W/DC24V
	灯 负 载	100W	1.5W/DC24V
开路漏电流		1mA/AC100V 2mA/AC200V	0.1mA/DC30V
最小负载		0.4VA/AC100V 1.6VA/AC200V	

(续)

项 目		继电器输出	双向晶闸管输出	晶体管输出
响应 时间	OFF→ON	约 10ms	1ms 以下	0.2ms 以下
	ON→OFF	约 10ms	最大 10ms	0.2ms 以下
隔离方式		继电器隔离	光电晶闸管隔离	光耦合器隔离
输出动作显示		LED 灯亮	LED 灯亮	LED 灯亮

三、FX₂ 系列 PC 软器件编号

如表 A-3 所示。

表 A-3 FX₂ 系列 PC 软器件一览表

输入 继电器 X	X0~X7 8 点 FX ₂ -16M	X0~X13 12 点 FX ₂ -24M	X0~X17 16 点 FX ₂ -38M	X0~X27 24 点 FX ₂ -48M	X0~X37 32 点 FX ₂ -64M	X0~X47 40 点 FX ₂ -80M	X0~X177 128 点 带扩展	输入 输出 合计 256 点
输出 继电器 Y	Y0~Y7 8 点 FX ₂ -16M	Y0~Y13 12 点 FX ₂ -24M	Y0~Y17 16 点 FX ₂ -32M	Y0~Y27 24 点 FX ₂ -48M	Y0~Y37 32 点 FX ₂ -64M	Y0~Y47 40 点 FX ₂ -80M	Y0~Y177 128 点 带扩展	
辅助 继电器 M	M0~M499 500 点 通用		M500~M1023 (B/U) 通讯用 524 点保持用					M8000~M8255 256 点 特殊用
			主站→从站 M800~ M899		从站→主站 M900~M999			
状态 S	S0~S499 500 点通用			S500~S899 (B/U) 400 点 保持用		S900~S999 (B/U) 100 点 故障诊断用		
	初始		返回原点					
	S0~S9		S10~S19					
定时器 T	T0~T199 200 点 100ms 子程序用 T192~T199		T200~T245 46 点 10ms		T246~T249 (B/U) 4 点 1ms 积累		T250~T255 (B/U) 6 点 100ms 积累	
	16bit 加计数		32bit 可逆计数		32bit 高速可逆计数器最大 6 点			
计数器 C	C0~C99 100 点	C100~C199 100 点 (B/U) 保持用	C200~C219 20 点	C220~C234 15 点 (B/U) 保持用	(B/U) C235~C245 1 相 1 输入	(B/U) C246~C250 1 相 2 输入	(B/U) C251~C255 2 相输入	
	D0~D199 200 点 通用		通信用 D200~D511 312 点保持用 (B/U)			D1000~D2999 2000 点 (B/U) 文件寄存器	D8000~D8255 256 点 特殊用	V、Z 2 点 变址用
数据 寄存器 D、V、Z			主站→从站 D490~D499		从站→主站 D500~D509			
	N0~N7 8 点 主控用		P0~P63 64 点 跳转、子程序用 分支指针		10□□~15□□ 6 点 输入中断指针		16□□~18□□ 3 点 时钟中断指针	
常 数	K	16bit: -32, 768~32, 767			32bit: -2, 147, 483, 648~2, 147, 483, 517			
	H	16bit: 0~FFFFH			32bit: 0~FFFFFFFH			

注: 标有 (B/U) 标志的软元件是由锂电池保持的

四、基本逻辑指令

FX₂ 基本逻辑指令有：

逻辑取及输出线圈指令：LD、LDI、OUT

接点串联指令：AND、ANI

接点并联指令：OR、ORI

串联电路块的并联指令：ORB

并联电路块的串联指令：ANB

多重输出电路指令：MPS、MRD、MPP

主控接点指令：MC、MCR

置位与复位指令：SET、RST

脉冲输出指令：PLS、PLF

空操作指令：NOP

程序结束指令：END

FX₂ 系列 PC 上述基本指令中的绝大多数，指令符号、功能、编程方法，与 F 和 F₁ 系列 PC 的相同，只有几个不同或者是增加了的指令，现简介这几个不同的、增加的指令。

SET 与 RST 指令相似于 F 和 F₁ 系列 PC 中的 S 与 R 指令，RST 可用于令元件自保持 (OFF) 及清数据寄存器。

使用 PLF 指令是在输入信号下降沿产生微分脉冲。PLS 与 PLF 指令可用于继电器 M 和 Y。

MPS、MRD、MPP 指令分别叫做进栈、读栈和出栈指令，这组指令用于多重输出电路。

这组指令可将连接点先存储，因此可用于连接后面的电路。FX₂ 系列 PC 中有 11 个存储中间运算结果的栈存储器。使用 MPS 指令时，当时的逻辑运算结果被压 (推) 入栈的第一层，栈中原来的数据依次向下一层推移。使用 MPP 指令时，各层的数据均依次向上移动一层，最上层的数据在读出后从栈内消失。MRD 是用来读出最上层数据的专用指令，栈内的数据不会上移或下移。

MPS、MRD 和 MPP 指令都是没有操作元件号的指令。MPS 和 MPP 指令连续使用必须少于 11 次，并且 MPS 和 MPP 指令必须配对使用。

栈存储器与多重输出电路如图 A-1 所示。图中为一层栈，复杂的电路可能使用多层栈。

FX₂ 中也有步进顺控指令，它与 F₁ 系列 PC 中的步进顺控指令的功能用法基本相同，但也有些差别，这里不作具体介绍。

五、功能指令简介

(一) 功能指令的表示方法

第十章中曾介绍过 F₁ 系列 PC 的功能指令采用设定线圈和功能线圈的形式，这种形式用

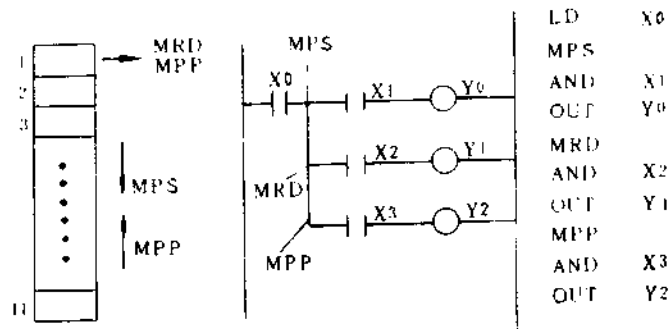


图 A-1 栈存储器与多重输出电路

数字作为功能指令的代号,令人难于联想到该指令的实际功能。在大型 PC 和 FX₂ 系列 PC 中,功能指令采用计算机通用的助记符形式,一般用指令的英文名称或缩写作为助记符。功能指令表达方式举例,如图 A-2 所示。图中 MEAN 是指令助记符,该指令功能号为 FNC45,MEAN 是取平均值的指令。[S] 表示源操作数,[D] 表示目标操作数,如果可以使用变址功能,则分别表示为 [S·]、[D·],如果源或目标多于一个,则用 [S1·]、[S2·]、[D1·]、[D2·] 等表示。n 表示其它操作数,它常用来表示数制(如十进制、十六进制等),或作为源和目标的补充注释,需注释的项目较多时,可采用 n1、n2 等方式。图中 D 表示数据寄存器。

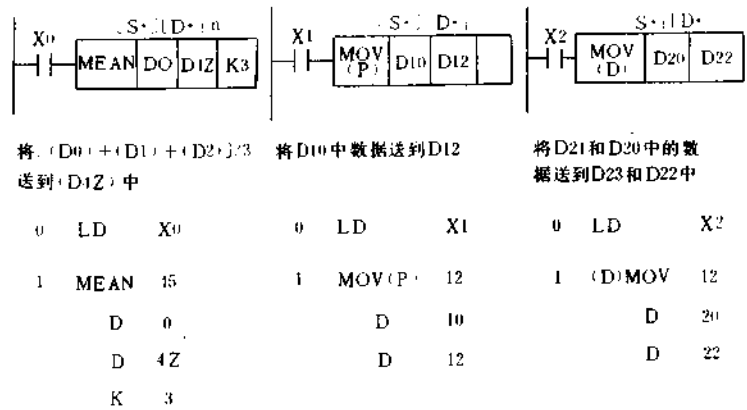


图 A-2 功能指令表达方式举例

图 A-2 中,当 X0 接通时,执行操作为

$$[(D0) + (D1) + (D2)]/3 \rightarrow (D4Z)$$

Z 是变址寄存器,如果 Z 的内容为 10,则执行操作为

$$[(D10) + (D11) + (D12)]/3 \rightarrow (D14)$$

图中助记符 MOV 表示数据传送指令,功能号为 FNC12。MOV 之前的 (D) 表示处理 32bit 数据,这时相邻的两元件组成元件对。图中当 X2 接通时,执行该指令,将 D21、D20 中的数据传送到 D23、D22。MOV 后面的 (P) 表示脉冲执行,即只有在图中 X1 由 OFF 变为 ON 时执行一次,但如果没有 (P),在 X1 接通的每一扫描周期该指令都要被执行,把 D10 中的数据送到 D12 中。

从上面例子可见,FX 系列 PC 功能指令表达方式比较简明,较容易联想到实际执行的功能。

FX₂ 系列 PC 功能号为 FNC00~FNC98。

(二) 程序流控制指令 (功能号: FNC00~FNC09)

包括 CJ 条件跳转、CALL (子程序调用)、SRET (子程序返回)、IRET (中断返回)、EI (允许中断)、DI (禁止中断)、FEND (主程序结束)、WDT (警戒时钟)、FOR (循环开始)、NEXT (循环结束) 指令。

(三) 传送与比较指令 (功能号: FNC10~FNC19)

比较指令包括 CMP (比较) 和 ZCP (区间比较) 两条指令。比较结果分别用 M0~M2、M3~M5 的状态表示。

传送指令包括 MOV (传送)、SMOV (BCD 码移位传送)、CML (取反传送)、BMOV (数据块传送)、FMOV (多点传送)、XCH (数据交换)、BCD (二进制转换成 BCD 码并传送)、BIN (BCD 码转换成二进制并传送)。

(四) 四则运算与逻辑运算指令 (功能号: FNC20~FNC29)

四则运算指令包括 ADD (二进制加)、SUB (二进制减)、MUL (二进制乘)、DIV (二进制除)、INC (加 1)、DEC (减 1) 指令。

AND、OR、XOR、NEG 分别是逻辑与、或、异或和求补指令。

(五) 循环移位与移位指令 (功能号: FNC30~FNC39)

ROR、ROL 分别是右、左循环移位指令。RCR、RCL 分别是带进位的右、左循环指令。SFTR、SFTL 分别是右、左移位指令。WSFR、WSFL 分别为字右、左移指令。SFWR 先入先出 (FIFO) 写入指令。SFRD 先入先出 (FIFO) 读出指令。

(六) 数据处理指令 (功能号: FNC40~FNC47)

包括 ZRST (区间复位)、DECO (解码)、ENCO (编码)、SUM (ON 位总数)、BON (ON 位判别)、MEAN (平均值)、ANS (报警器置位) 和 ANR (报警器复位) 指令。

(七) 高速处理指令 (功能号: FNC50~FNC58)

REF 为输入输出刷新指令。REFE 是刷新和 X0~X7 的输入滤波器时间常数调整指令。MTR 为矩阵输入指令。HSCS、HSCR 和 HSZ 分别为高速计数器置位、复位和区间比较指令。SPD 是速度检测指令。PLSY 为脉冲输出 (指定输出脉冲数量和频率) 指令。PWM 为脉宽调制指令。输出脉冲列的周期和宽度可调。

(八) 方便指令 (功能号: FNC60~FNC68)

IST 指令与 STL 指令一起使用, 用于自动设置初始状态和设置有关的特殊辅助继电器的状态。

ABSD 为绝对值式凸轮顺控指令, INCD 为增量式凸轮顺控指令。

利用示数定时器指令 TTMR, 可将按钮按下的时间乘以系数后作为定时器的设定值。

利用特殊定时器指令 STMR 产生: 延时断定时器、单脉冲式定时器和闪动定时器。

交替输出指令 ALT 可以用来产生分频效果。也可实现用一只按钮控制负载的起动和停止。

斜坡信号输出指令 RAMP 用来产生斜坡输出信号。

旋转台控制指令 ROTC, 使用本指令可以使旋转工作台上被指定的工件以最短的路径转到出口位置。

(九) 外部 I/O 设备指令 (功能号: FNC70~FNC79)

TKY 是 10 键输入十进制数指令。HKY 是 16 键输入十六进制数指令。DSW 是用来读入 1 或 2 个 4 位数字开关的设定值的指令。SEGD 是 7 段译码器解码指令。SEGL 是带锁存的多路 7 段译码器显示指令。

方向开关指令 ARWS 用于 BCD 码的输入和显示。方向开关有 4 个, 位左移键和位右移键用来指定要输入的位, 增加键和减少键用来设定指定位的数据。带锁存的 7 段显示器可以显示当前置数值。

ASC 指令将字母 A~H 转换为 ASCII 码并送至 D300~D303。PR 是打印指令。

FROM 指令用来从读特殊功能模块读数。TO 指令用于向写特殊功能模块写入数据。

(十) FX 系列功能单元控制指令 (功能号: FNC81、FNC85、FNC86)

PRUN 是两台 FX₂ 系列 PC 并联运行指令。

VRRD 指令将从变量设置单元 FX-8AV 中读到的模拟量转换成 8 位二进制数并送到指定寄存器。VRSC 指令将 FX-8AV 的设定值读出并取整值。

(十一) 外接的 F₂ 系列功能单元控制指令 (功能号: FNC90~FNC98)

MNET 指令用于 FX₂ 系列 PC 与 F-16NP/NT 接口模块之间的通信。

ANRD (模拟量读) 指令用于从模拟量输入/输出单元 F₂-6A 中, 将模拟量输入读入到 FX₂ 系列 PC。

ANWR (模拟量写) 指令用来将 FX₂ 系列 PC 中的数据写到 F₂-6A, 然后以模拟量形式从输出通道输出。

RMST、RMWR、RMRD、RMMN 指令分别用于凸轮开关单元 F₂-32RM 的起动、写入、读出和监控。

BLK 和 MCDE 分别用于定位控制单元 F₂-30GM 的程序块号指定和机器码读出。

有关 FX₂ 系列 PC 功能指令的详细介绍和具体用法可参阅钟肇新、彭侃编译的 FX₂ 系列 PC 使用手册等文献资料。

附录 B 几种常见的国外 PC 性能一览表

几种常见的国外 PC 性能一览表, 如表 B-1 所示。

表 B-1 几种常见的国外 PC 性能一览表

美 国

公司名	PC 型号	CPU	编程语言	用户程序容量 (16 位)	扫描速度 ms/K 字	I/O 总数
AB 公司	PLC-100	8031	梯形图	885	25	112
	PLC-2	Z80A		1K	22	128
	PLC-2/20	AMD2900		8K	5	2688
	PLC-3	AMD2900		2M	2.5	8096
GE 公司	GE-1	Z80A	梯形图助记符	1700	40	112
	GE-1/J			700		64/96
	GE-1/P			1700		168
	GE-11	Z80A	GEBA SIC	4K	12	400
	GE-W	AMD	命令语句	32K	12	4000
	GE-W/P	2903			1	
歌德公司	MICRO84	Z80A	梯形图命令语句	2K	40	112
	484	AMD 2901		8K	10	512
	184			8K	25	1024
	984			16K	0.75	2048
	584L			128K	15	8192
	0085			1K	6	120
	0185			3.5K	2	512

(续)

公司名	PC 型号	CPU	编程语言	用户程序容量 (16 位)	扫描速度 ms/K 字	I/O 总数
德州仪器 公 司	5T1	非微机	梯形图助记符	1K	8.3	512
	TI100			1K	5	128
	510	6512		256		40
	560-565			256K	2.2	8192
	PM 550	TMS9900		7K	8.3	512
西屋公司	NUMA-LOGIC		梯形图			
	PC 100			320	24	80
	PC 110			1K	29	112
	PC 700	8X300		8K	8	512
	HPPC-1500	AMD2900		64K	1	8192
	HPPC-1700	AMD		224K	1	8192

日 本

公司名	PC 型号	CPU	编程语言	用户程序容量	扫描速度 ms/K 字	I/O 总数
东芝公司	EX250	8051	命令语句 或梯形图	4K	3.5	256
	EX500			8K	2.9	512
	EX20			5K	60	40
	EX10			1K	60	80
	EX10H			182K	3.5	120
三菱电机 公司	F12K	8049	命令语句 或梯形图	320	45	32
	F20M			320	45	40
	F40M	8039		890	45	80
	K0J	8085A2		2K	5.6	188
	K2	8085A2		4K	5.6	512
	K3	8085A2		16K	1	2084
富士电机 公司	FUJILOG	8085	命令语句 或梯形图	320		30
	μ Tmicro			1K		112
	μ Tmini		FPC 语言	4K	12ms/4K	1024
	μ K MICREX-F			8K	1 μ s/1 命令	512
日立电机 公 司	OMRON SYSMAC	M6809 M68000	梯形图	1194 个地址	10 μ s/地址	140
	-C20			2.2K 个地址 (8K 字节)	5~10 μ s 地址	256
	-C120			4.4K 个地址 (16K 字节)	5~10 μ s 地址	256
	-C250			6.6K 个地址 (24K 字节)	2.5~5 μ s/地址	512
	-C500			30.8K 个地址		2048

(续)

德 国							
公司名	PC 型号	CPU	编程语言	用户程序容量	扫描速度 ms/K 字	I/O 总线	
						数字量	模拟量
西门子 公 司	S5-150U	AMD2900	语句表、梯形 图、控制系统 流程图	96K 位字 48K 语句	2.1	4096	192
	S5-135U	8031		64K 位字 32K 语句	1.3	4096	192
	S5-115U	8051		48K 位字 24K 语句	1.6	1024	64
	S5-100U	8051		4K 位字 2K 语句	?	256	16
	S5-101U	8051		2K 位字 1K 语句	30	40 20	—

附录 C 国产 PC 一览表

国产 PC 一览表如表 C-1 所示。

表 C-1 国产化 PC 一览表

序号	型号	研制、生产单位
1	SR-10, SP-100, SR-20/21, SG-8	中外合资无锡华光电子工业有限公司
2	ACMY-S256, ACMY-S80	上海香岛机电制造有限公司
3	SLC-100, PLC-2, PLC-5	福建厦门中外合资 A-B 有限公司
4	MPC-10, MPC-20	机械部北京机械工业自动化所
5	ZHS-PC01, ZHS-PC02	机械部大连组合机床研究所
6	CF-40MR, SPC-2	上海起重电器厂
7	TS-300, TS-400	机械部上海工业自动化仪表所
8	DTK-S-84	天津自动化仪表厂
9	PC-700	上海调节器厂
10	MZB-256	上海自力电子设备厂
11	BC-1	广东佛山无线电元件八厂
12	BCM-PIC	北京椿树电子仪表厂
13	PC-SG	北京首钢电子公司
14	PC-10	上海电器技术研究所
15	PC-80	陕西省骊山公司
16	TCM-40	上海大华仪表厂
17	KC-1	广西大学

附录 D PC 控制中常用术语中英文对照表

01	位	bit
02	字节	byte
03	字	word
04	地址	address
05	可编程序控制器	programmable controller
06	编程器	programming panel
07	二进制	binary
08	循环时间	cycle time
09	扫描周期	scanning cycle
10	常数	constant
11	当前值	current value
12	设定值	setting value
13	基本单元	base unit
14	扩展单元	extension unit
15	定时器	timer
16	计数器	counter
17	继电器	relay
18	辅助继电器	auxiliary relay
19	通用辅助继电器	general use auxiliary relay
20	保持辅助继电器	retentive auxiliary relay
21	特殊辅助继电器	special auxiliary relay
22	寄存器	register
23	移位寄存器	shift register
24	程序存储器	program memory
24	数据存储器	data memory
25	缓冲存储器	buffer storage
26	随机存储器	ram (random access memory)
27	只读存储器	rom (read only memory)
28	中央处理单元	cpu (central processing unit)
29	接口	inter face
30	监视器	watch dog
31	监控	monitor
32	步序	step
33	指令	instruction
34	梯形图	ladder chart (diagram)
35	步进梯形指令	step ladder instruction
36	子程序	subroutine
37	输入程序	loading
38	硬接线	hard wired

39	软接线	soft wired
40	母线	bus bar
41	串联电路块	series circuit block
42	并联电路块	parallel circuit block
43	分支电路	branch circuit block
44	转移 (跳转)	jump
45	多重转移	multiple jump
46	插入	insert
47	语法检查	syntax check
48	双线圈	double coil
49	求和校验	sum check
50	运行	run (running)
51	停止	stop (stopping)
52	在线	on-line
53	离线	off-line
54	顺序控制	sequence program control
55	时序控制	time program control
56	条件控制	condition control
57	程序控制	program control
58	数字控制	numerical control
59	联锁	interlocking
60	语句表	statement
61	编码	coding
62	继电器控制系统	relay control system
63	按钮	button
64	限位开关	limit switch
65	光电开关	photoelectric switch
66	接触器	contactor
67	触点 (接点)	contact
68	打开	open
69	闭合	closed
70	常开触点	normally open contact
71	常闭触点	normally closed contact
72	端子	terminal
73	驱动	drive
74	起动	starting
75	复位	reset
76	电路图	circuit diagram
77	程序框图	flow chart
78	输入	input
79	输出	output
80	电源	source

TM5-43

7772

250

157580

参考文献

- 1 李仁编. 电器控制. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 2 赵明等编. 工厂电气控制设备, 第2版. 北京: 机械工业出版社, 1995
- 3 张冠生等编. 常用低压电器及其应用. 北京: 轻工业出版社, 1982
- 4 马镜澄等编. 低压电器. 北京: 兵器工业出版社, 1993
- 5 袁涤非编. 电器控制. 北京: 轻工业出版社, 1993
- 6 方承远编. 工厂电气控制技术. 北京: 机械工业出版社, 1992
- 7 刘光文编. 进口设备国产设备常用电器及电气标准. 成都: 电子科技大学出版社, 1994
- 8 王兰君编. 电工实用线路 300 例. 北京: 人民邮电出版社, 1994
- 9 林小峰编. 可编程控制器及应用. 北京: 高等教育出版社, 1991
- 10 杨士元等编. 可编程控制器 (PC) 编程应用和维修. 北京: 清华大学出版社, 1995
- 11 杨长能等编. 可编程控制器 (PC) 基础及应用. 重庆: 重庆大学出版社, 1992
- 12 陈金华等编. 可编程控制器 (PC) 应用技术. 北京: 电子工业出版社, 1995
- 13 耿文学等编. 微机可编程控制器原理、使用及应用实例 (修订版). 北京: 电子工业出版社, 1993
- 14 朱善君等编. 可编程控制系统原理·应用·维护. 北京: 清华大学出版社, 1992
- 15 劳动部培训司编. 工厂电气控制技术. 北京: 中国劳动出版社, 1993
- 16 魏志精编. 可编程控制器应用技术. 北京: 电子工业出版社, 1995
- 17 廖常初编. 可编程控制器应用技术. 重庆: 重庆大学出版社, 1992
- 18 易传禄等编. 可编程控制器应用指南. 上海: 上海科学普及出版社, 1993
- 19 中国自动化学会应用专委会. 全国可编程控制器学术研讨会论文集. 广西桂林: 1988
- 20 邓则名等. 狭窄隧道汽车双向行的 PLC 控制系统. 全国工业控制系统应用学术会议论文集 (上), 1994
- 21 钟肇新等编译. 可编程控制器原理及应用 (第二版). 广州: 华南理工大学出版社, 1991



京电力大 00178038