

电气控制基础

第一章 低压电器

第1节 低压熔断器

第2节 低压隔离器

第3节 主令电器

第4节 断路器

第5节 接触器

第6节 继电器

快速接线模块：控制柜装配的全新概念

常规接线模式



快速接线模式



全球独家推出 全覆盖型省配线解决方案

接线端子柜

继电器柜

隔离器柜

安全栅柜



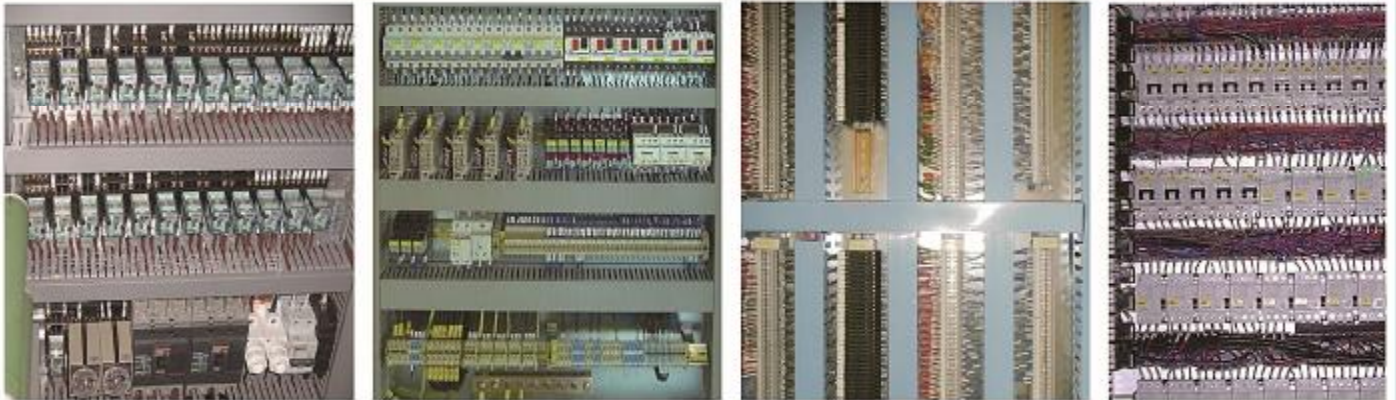
快速接线模块：控制柜装配的全新概念

传统接线模式

密密麻麻的电器元件：接线端子、保险、继电器、电源开关

塞满线槽的的配线：元件之间大量的连接导线，离开图纸无从下手

繁琐的工序：设计选型、配件采购、打孔、元件固定、配线、测试、整理



传统接线方式占空间大，导线多而杂乱，连接费时费力，出错不容易检修

适应现代工业的集成化模块产品

快速接线模式

适合多种DCS\PLC的标准化接口设计

LED电源指示

回路编号

双电源冗余输入—确保电源持续供给

电源异常报警输出—在线监控电源故障

接口输出电源供电设置—可自由选择是否通过接口为DCS\PLC卡件供电

冗余接口

方便用记号笔标识端子板编号

方便拔插的隔离器或安全栅

用于固定隔离器或安全栅的卡扣

具有外观专利的高强度保护壳体和安装支架

方便地用记号笔标注回路及仪表位号

隔离器或安全栅接口

方便拔插的高强度端子，可以不拆线更换端子板

保护接地端子

方便用记号笔标识接口所对应的DCS卡件编号

模数化安装孔—配合模数化安装板可以免钻孔快速固定端子板

领先的技术 贴心的设计

快速接线模块：控制柜装配的全新概念

传统接线模式

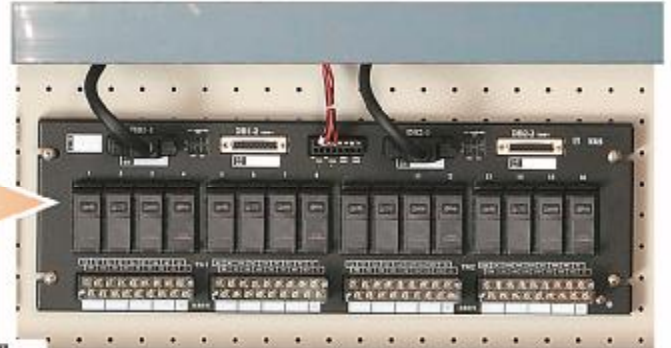
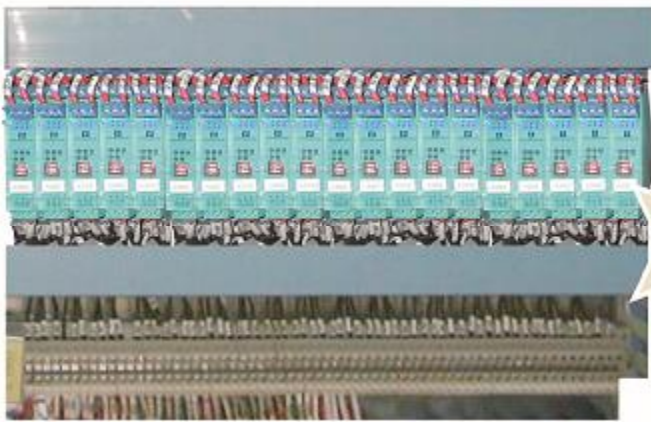
快速接线模式



控制组件



继电器隔离



隔离器安全栅



非隔离

- 一页简单表格替代配线蓝图
- 改变用途只需改动设置，为设计变更提供最大便利
- 让普工具备专业配线技工的装配水平
- 免拆线测试信号电流和故障指示功能轻松解决日常维护难题
- 丢掉米尺、电钻、打号机、压线钳、万用表和各式配件，一把螺丝刀搞定控制柜装配

快速接线模块：控制柜装配的全新概念

专利产品

多： 功能多、用途广

快： 设计快、施工快

好： 美观好用、可靠

省： 省人工、省材料

- **全系列模块化结构：**将控制柜内接线附件设计成模块化结构的系列产品，包括信号输入输出、电源分配等，采用标准的安装尺寸，元器件透明化布置，指示一目了然，既美观又快捷。
- **功能全面：**兼有信号隔离和驱动、本安保护、回路供电、卡件供电、信号指示、报警指示、回路保护、电源保护、信号转接等多项功能，全面提升配线质量。
- **简化设计和布线：**采用板上跳线的型式解决了外部设备与系统卡件接线的差异化和复杂化问题。信号传输和供电巧妙有机的融合在一起，同一个卡件可以接驳不同类型的仪表和信号，只需改变板上跳线，减少了线路节点。盘内施工图纸简化为简单表格，降低了复杂线路对图纸的依赖性，彻底简化了施工图纸设计和盘内布线过程。
- **省略端子排：**外部接线端配备的拔插式接线端子块可方便端子维修，更换端子板可不拆除接线。弹簧端子则具有接线快捷、压接可靠、故障率低的特点。1~2.5mm²导线可直接接驳端子板，不必再专门配备接线端子排。内部接线端采用专用接口，使用特制电缆与PLC或DCS快速插接。
- **全方位保护、不拆线停表、省略配电开关，避免误操作：**各信号回路均配备了拔插方便的保险以提供全方位的安全保障，用户不必再为外部设备单独配备配电开关和保险端子。特别解决了DCS及PLC系统外围仪表停表的问题，检修、拆除外部设备只要拔下保险而不必拆线，既快捷高效又安全可靠防止错接。电源回路采用过压、过流、反接保护措施，确保系统设备安全运行。
- **LED指示、不拆线测电流，方便维护维修：**电源回路和信号回路均配备全方位的LED信号指示及保险熔断报警，配合巧妙的不拆线测量信号电流技术，测量信号电流只要将电流表表笔插入测试孔即可，整个测量过程设备不断电、不影响正常测控过程，为维护工作提供了极大方便。
- **快速装配：**使用本公司设计的带标准模数孔的专用安装背板，可以抛开钻孔工具，只需一把螺丝刀就能完成柜内电气元件的安装。

广泛兼容

兼容国内外主流品牌DCS\PLC控制系统



全面覆盖

涵盖非隔离、继电器隔离、隔离器、本安防爆四大类信号传输方式

快速接线模块方式



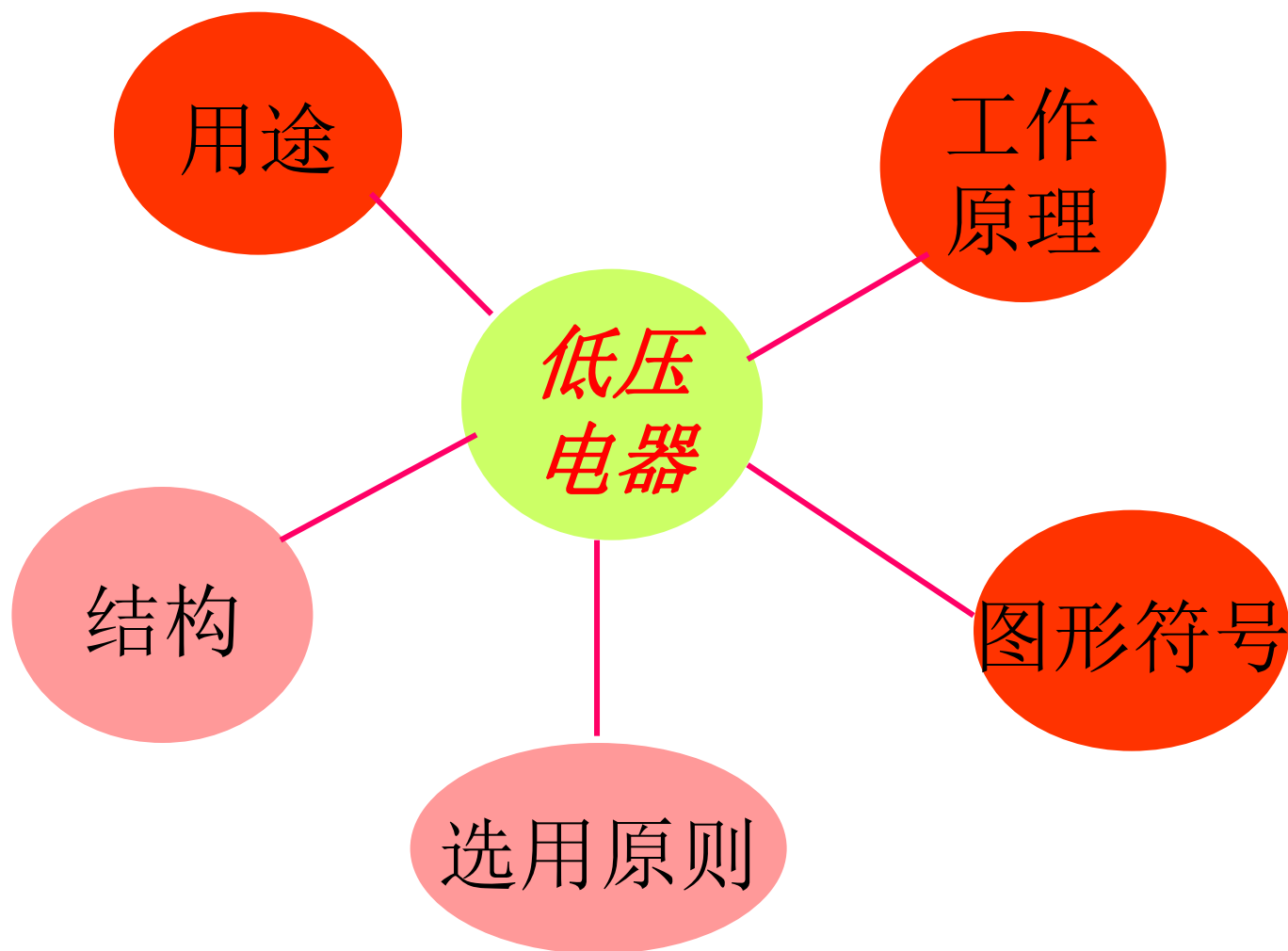
端子柜



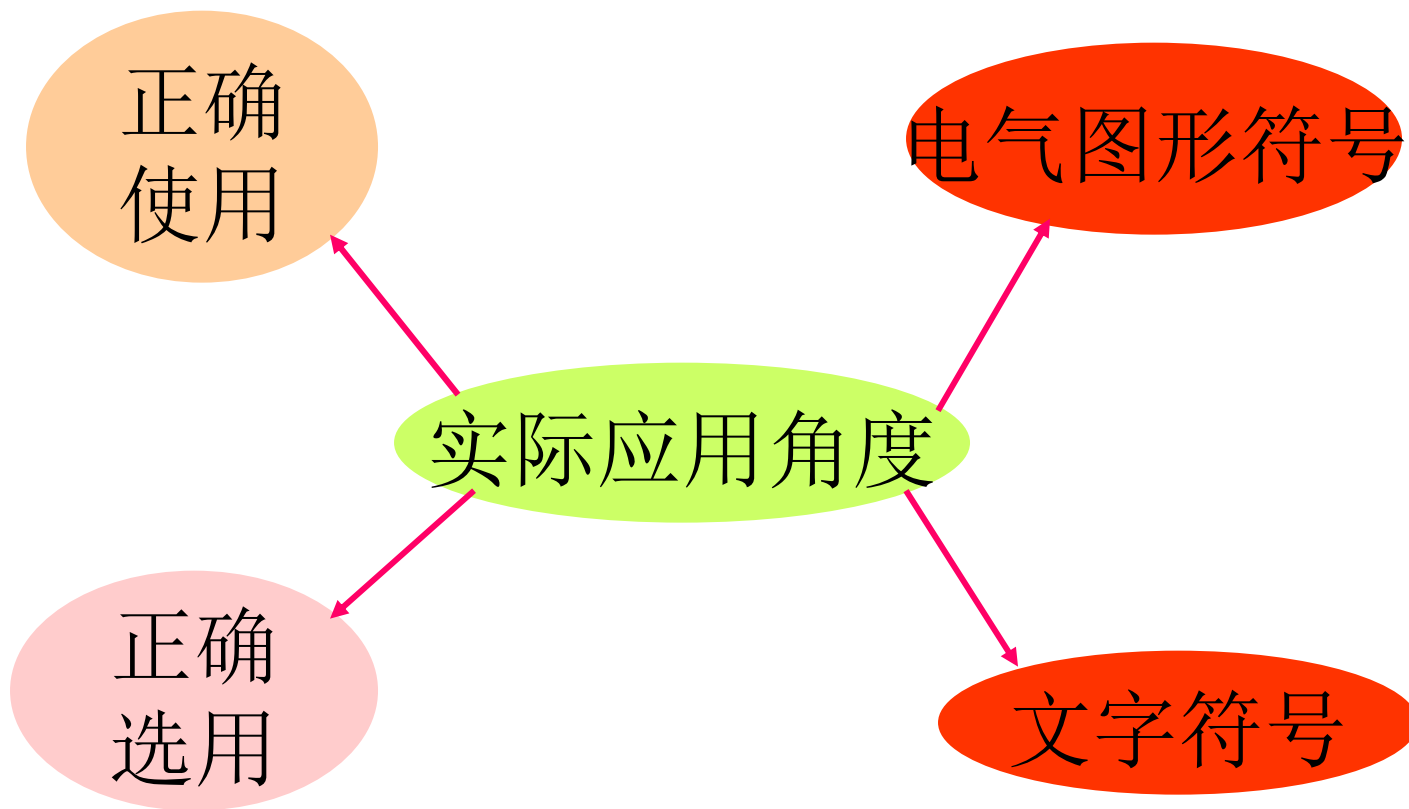
继电器柜

滨州新大新

学习内容



学习要求



第一章 低压电器

§ 1.0 低压电器基础知识

- 电器的定义
- 电器的分类

1. 电器的定义

电器是一种能根据外界的信号（电力、机械力和其他物理量），自动或手动接通和断开电路，从而断续或连续地改变电路参数或状态，实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测和调节用的电气元件或设备。

- 电器是一种控制电能的工具
- 它对电能的产生、分配、使用起控制和保护的作用。



电
器

- 接触器
- 继电器
- 主令电器
- 熔断器
- ...

- 电气是一个宏观的概念，对电气系统工程的统称。其所涵盖的内容涉及电能的生产、传输、分配、使用和控制技术与设备等等相关的工程领域。

2. 电器的分类

■ 按工作电压等级分类

低压电器：交流额定电压**1200V**、直流额定电压**1500V**及以下的电路中起通断、保护、控制或调节作用的电器产品。

高压电器：交流1200V以上、直流1500V以上的... ..

■ 按操作方式分类

手动电器：指需要人工直接操作才能完成指令任务的电器。如：刀开关、按钮等。

自动电器：指不需人工操作，而是按照电的或非电的信号自动完成指令任务的电器。

■ 按用途分类

低压配电电器：用于电能的输送和分配的电器（低压配电系统中），如：低压隔离器(刀开关)、熔断器、断路器等。

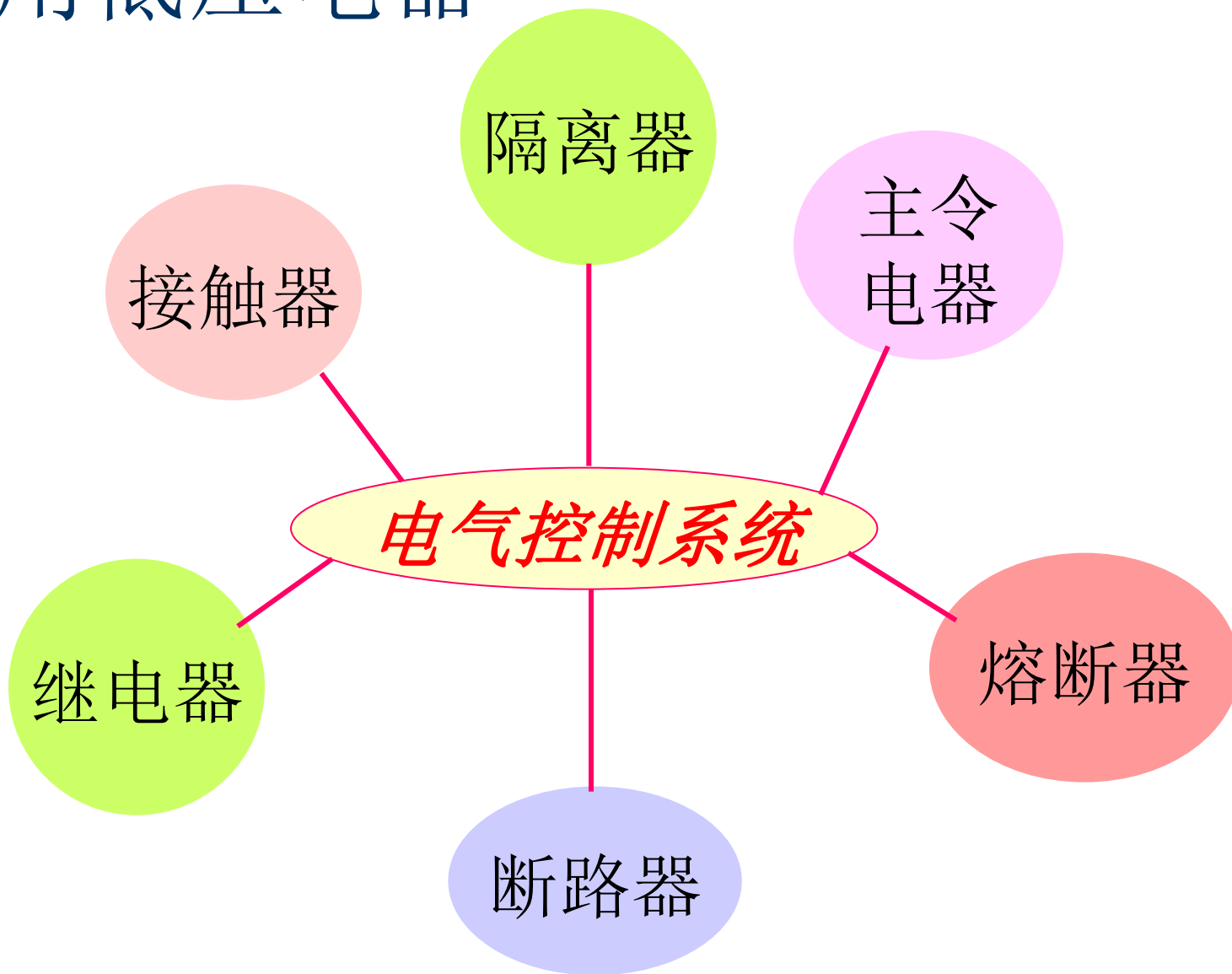
低压控制电器：用于各种控制电路和控制系统的电器，如：接触器、继电器、主令电器等。

■ 按工作原理分类

电磁式电器：依据电磁感应原理来工作的电器。如：交直流接触器、电磁式继电器等。

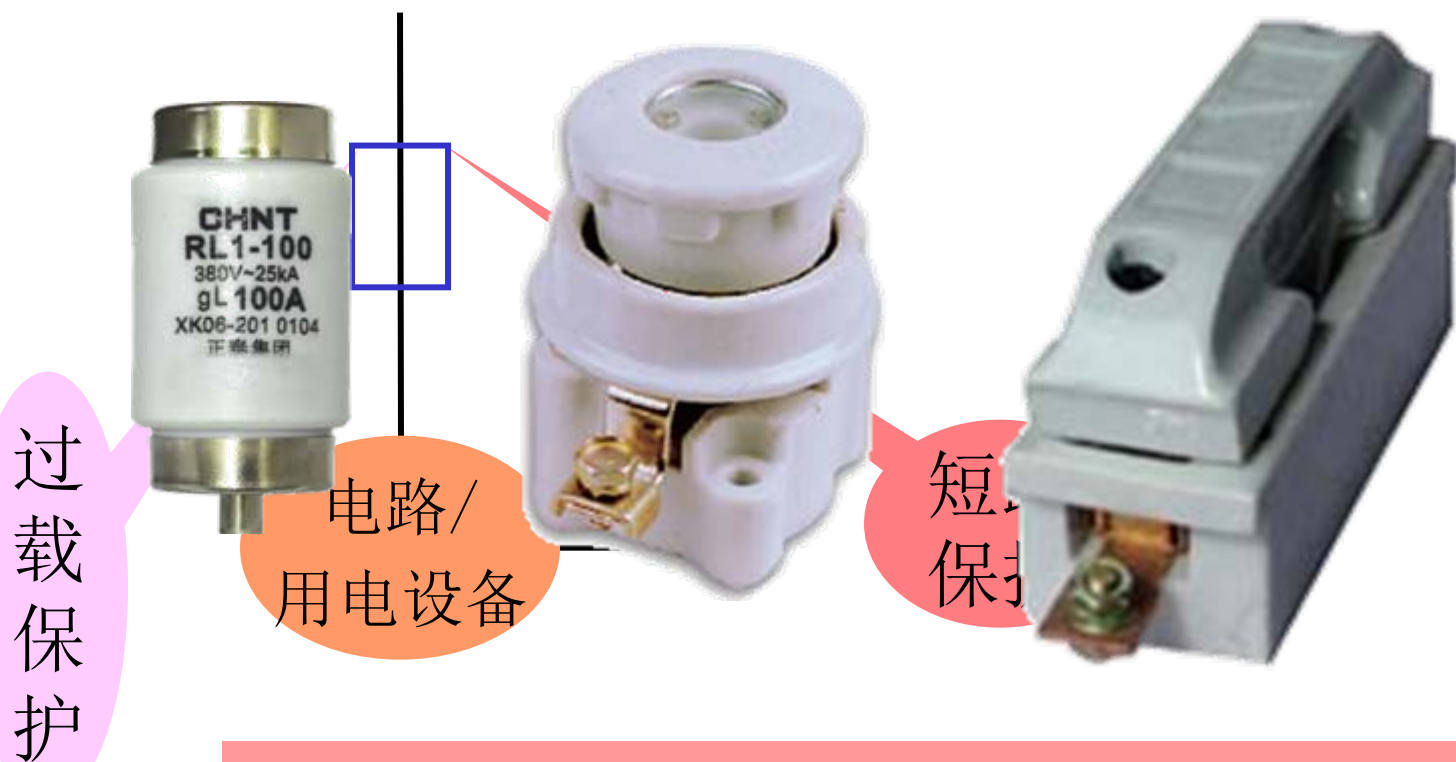
非电量控制电器：电器的工作是靠外力或某种非电物理量的变化而动作的电器。如：刀开关、行程开关、按钮、时间继电器、速度继电器等。

常用低压电器



§ 1.1 低压熔断器

熔断器是一种当电流超过规定值一定时间后,以它本身产生的热量使熔体熔化而分断电路的电器。熔断器在低压配电系统及用电设备中主要作**短路保护**之用,有时也可作为**过载保护**之用。使用时,将熔断器**串接**在所保护的电路中。



■ 对电动机只作短路保护!

(一) 结构、工作原理

组成 { 熔体（保险丝）
熔管（熔座）

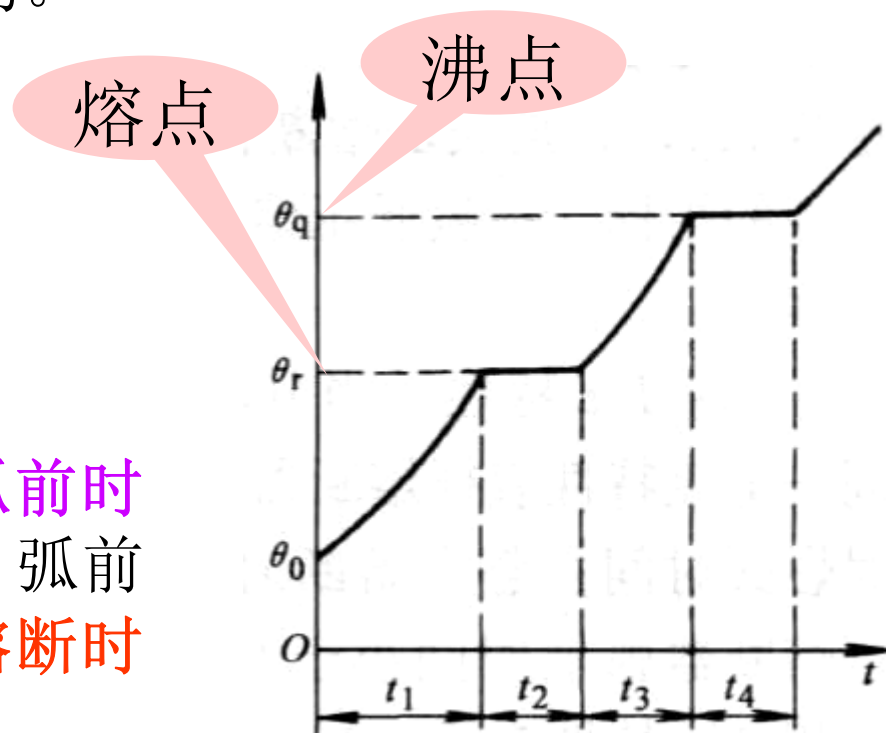


- 熔体由易熔金属及其合金制成。
- 熔管是装熔体的外壳，兼有灭弧作用。

熔断器的 **熔体** 既是**感测部分**，又是**执行部分**。当电路发生过载或短路时，电路电流增大，熔体发热，当熔体温度升高到熔点时，熔体熔断并分断电路，达到保护电路的目的。

1. 熔体升温阶段 t_1
2. 熔体熔化阶段 t_2
3. 熔体气化阶段 t_3
4. 熔体燃弧阶段 t_4

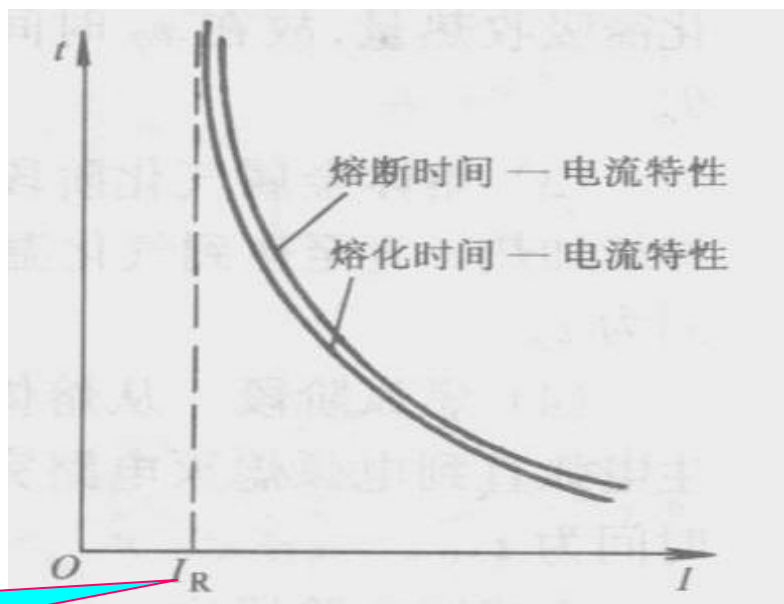
t_1 、 t_2 、 t_3 之和称为**弧前时间**， t_4 称为**燃弧时间**。弧前时间与燃弧时间之和为**熔断时间**。



时间-电流特性

(安秒特性或保护特性)

- 反时限特性--电流越大，熔体熔断时间越短



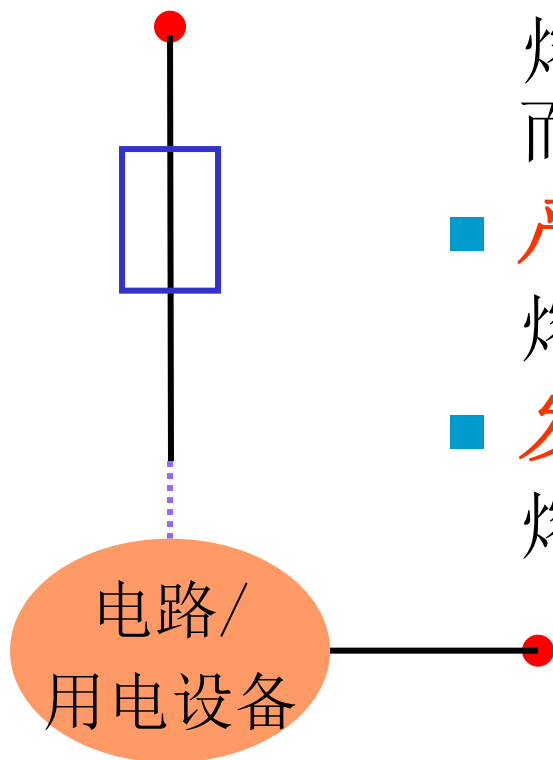
最小熔
化电流

表 1.6.1 常用熔体的安秒特性

I_N 为熔体
额定电流

熔体通过电流 (A)	$1.25I_N$	$1.6I_N$	$1.8I_N$	$2.0I_N$	$2.5I_N$	$3I_N$	$4I_N$	$8I_N$
熔断时间 (s)	∞	3 600	1 200	40	8	4.5	2.5	1

检测电流



■ 正常工作:

熔体允许通过一定大小的电流而长期不熔断;

■ 严重过载:

熔体能在较短时间内熔断

■ 发生短路:

熔体能在瞬间熔断。

(二) 熔断器的主要技术参数

- 1. **熔断器额定电压**：指保证熔断器能长期正常工作的电压。
- 2. **熔断器额定电流**：指保证熔断器能长期正常工作的电流。

熔体额定电流：熔体**长期通过而不会熔断**的电流。
- 3. **极限分断能力**：指熔断器在规定的使用条件下，能可靠分断的最大短路电流值。反映了熔断器能可靠分断短路电流的能力。选用时，其极限分断能力**必须大于**电路中可能出现的最大故障电流。

(三) 熔体的种类、符号和型号

种类按结构分有：半封闭插入式、自复式、螺旋式、无填料封闭管式和有填料封闭管式熔断器及快速熔断器。



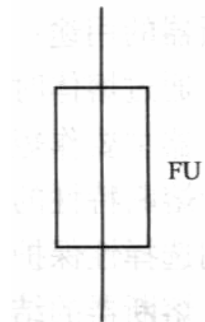
插入式熔断器



螺旋式熔断器



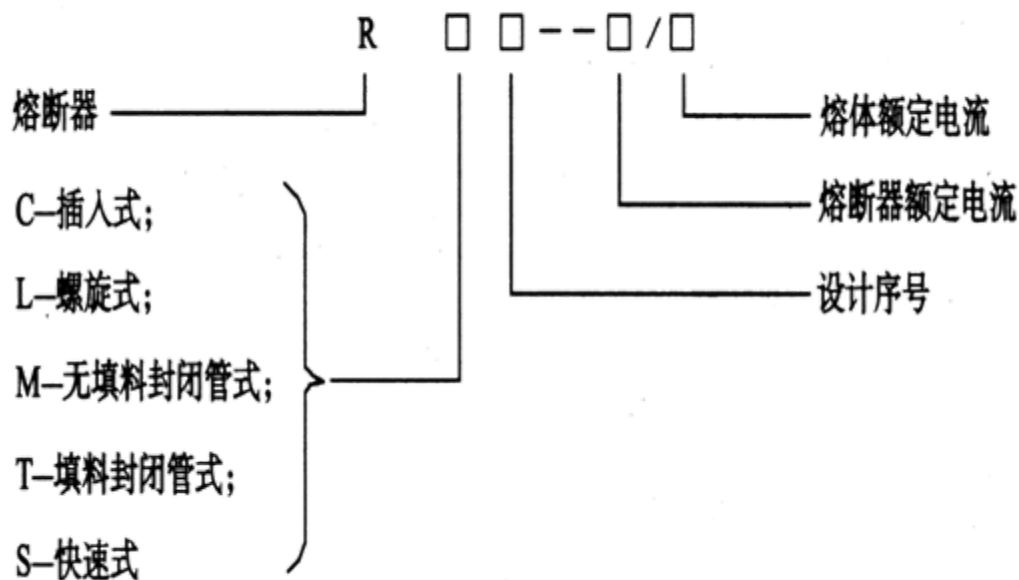
有填料封闭管式熔断器



熔断器 图形符号

文字符号： FU

型号及含义:



典型产品有：RL6、RL7、RL96、RLS2系列螺旋式熔断器，RL1B系列带断相保护螺旋式熔断器，RT18系列熔断器以及RT14系列为有填料密封管式熔断器。还有国外引进技术生产的NT系列有填料密闭式刀型触头熔断器与NGT系列半导体器件保护用熔断器等。

(四) 熔体材料与形状

- **1. 熔体材料** 熔体材料有**低熔点**和**高熔点**金属两类。低熔点材料有锡、锌、铅及其合金。高熔点材料有铜、银，近年来也采用铝来代替银。
- **2. 冶金效应** 由于低熔点材料和高熔点材料各具有其优缺点，为了克服其缺点，同时满足不同的要求，通常采用**冶金效应**【即在**高熔点的金属熔体上焊纯锡（或锡镉合金）**】。当熔体通过**过载电流**时，可缩短熔化时间，并使高分断能力依然得以保持。但当通过**短路电流**时，由于熔体熔化时间极短，冶金效应不起作用。
- **3. 熔体形状** 熔体的形状大体有两种：**丝状**和**片状**。丝状熔体多用于小电流场合。不同的熔体形状可以改变熔断器的安秒特性。

- **4. 填充材料** 在绝缘管中装入填充材料（简称填料）是**加速灭弧**，**提高熔断器分断能力**的有效措施。目前，常用的填料有**石英砂**和三氧化二铝砂。
- **5. 熔管材料** 熔管是熔断体主要零件之一，起**包容熔体**、**填料**、**散热**和**隔弧**的作用，要求熔管机械强度高，耐热性及耐弧性好。目前，有填料熔断器的熔管一般采用瓷、氧化铝电瓷和高频电瓷材料。无填料熔断器的熔管材料为钢纸管、三聚氰胺玻璃管或硅有机玻璃布管。另外，熔管的形状以方管形和圆管形为主。

(五) 熔断器的选择及使用

选择

- 类型
- 熔断器的额定电压
- 熔断器额定电流
- 熔体的额定电流

1. 熔断器类型

熔断器类型的选择**主要根据使用场合**来选择不同的类型。

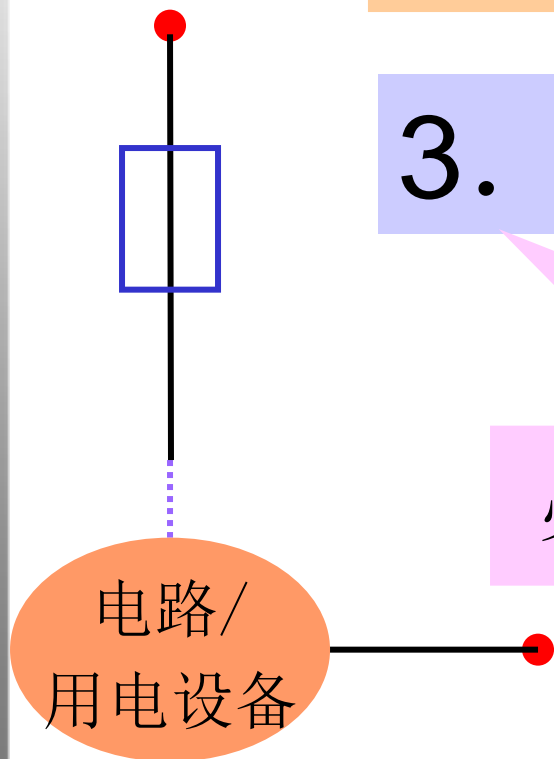
例如，作电网配电用，应选择一般工业用熔断器；作硅元件保护用，应选择保护半导体器件熔断器；供家庭使用，应选择半封闭插入式熔断器；机床多选用螺旋式。

2. 熔断器额定电压

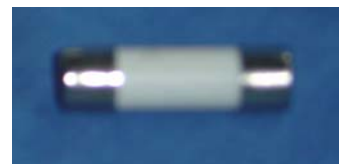
大于或等于熔断器安装处的额定电压

3. 熔断器额定电流

必须大于等于所装熔体的额定电流



4. 熔体额定电流 I_{fu}



- (1) 对于**无冲击电流**的平稳负载：熔体额定电流应**略大于或等于**负载额定电流 I_N 。

电炉

照明

(2) 对于具有冲击电流的电气设备

- 保护异步电动机时，应考虑到起动电流 ($I_{st} = (4-7) I_N$) 的影响。

- 1) 保护一台电动机时:

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

电动机
额定电流

频繁起动
(3~3.5)

电动机M

■ 2) 保护多台电动机时:

$$I_{fu} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{NMAX} + \Sigma I_N$$

- I_{NMAX} 为容量最大的一台电动机额定电流;
- ΣI_N 为其余电动机额定电流的总和。
- ? 熔断器对电动机只作**短路保护**作用，而**不作过载保护**作用

电动机的保护

工程上

用熔断器作
短路保护

电动机的保护

用热继电器
作过载保护

§ 1.2 低压隔离器

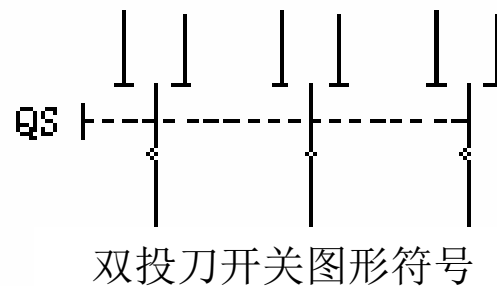
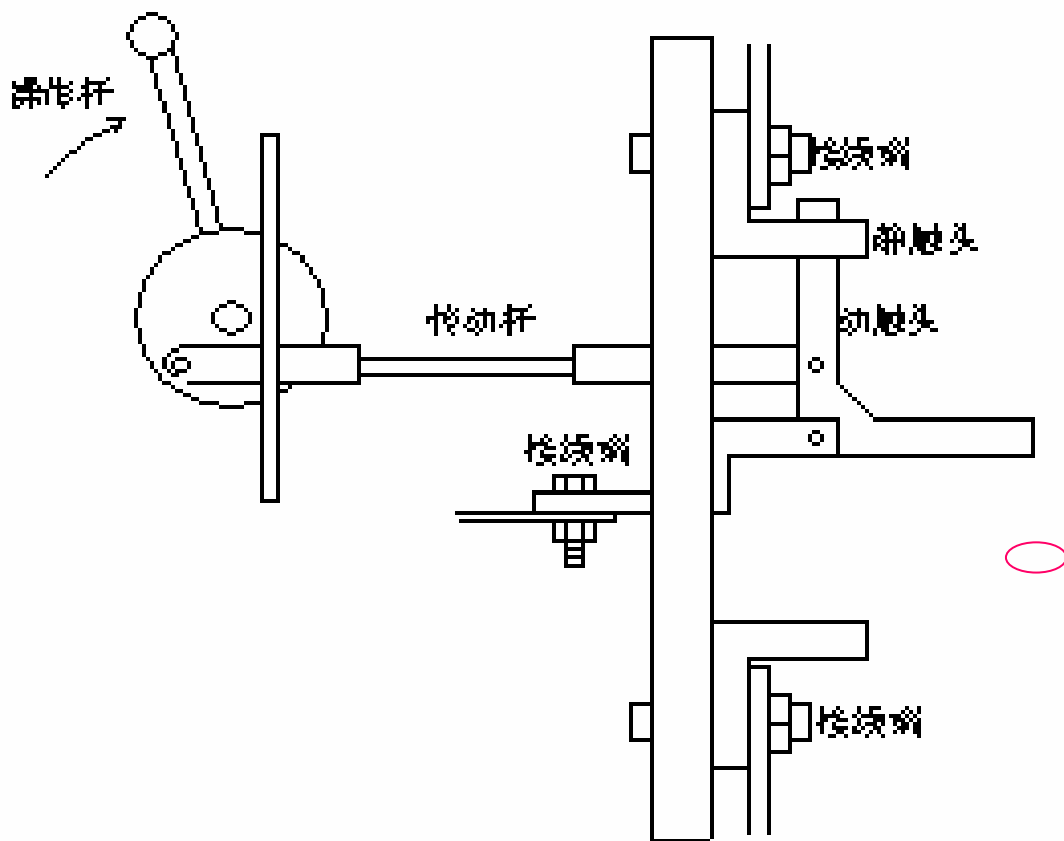
低压隔离器又称低压开关、**刀开关**，是低压电器中结构比较简单、应用广泛的一类**手动电器**。主要用于电气线路中隔离电源，也可作为不频繁地接通和分断空载电路或小电流电路之用。常作为机床电路的**电源开关**，或用于局部照明电路的控制及小容量电动机的起动、停止和正反转控制等。**隔离器通常与熔断器串联使用**。

刀开关按极数分，有单极、双极和**三极**；按结构分，有平板式和条架式；按操作方式分，有直接手柄操作、正面旋转手柄操作、杠杆操作和电动机操作；按转换方式分，有**单投**、双投。另外，还有一种采用叠装式触头元件组成旋转操作的称为**组合开关（转换开关）**。



(一) 结构、图形、文字符号

刀开关



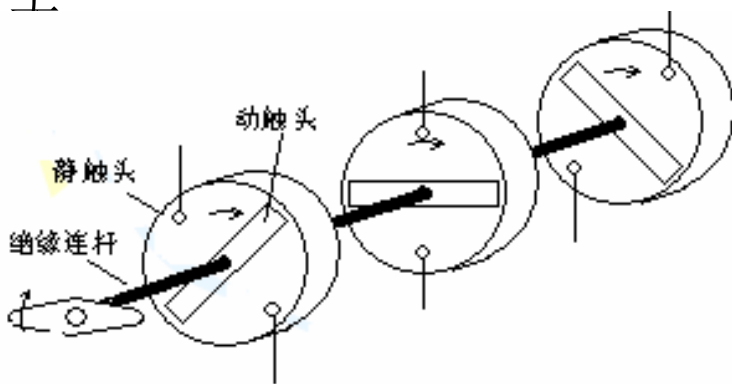
■ 文字符号: QS

组合开关

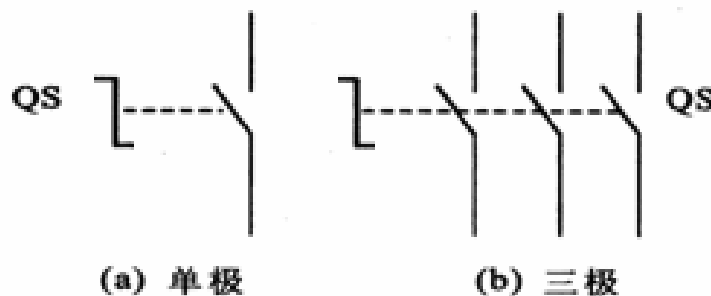
组合开关又称转换开关，它实质上也是一种特殊刀开关，只不过一般刀开关的操作手柄是在**垂直安装面的平面内向上或向下转动**，而组合开关的操作手柄则是**平行于安装面的平面内向左或向右转动**而已。

组合开关由数层动、静触片组装在绝缘盒而成的。动触点装在转轴上，用手柄转动转轴使动触片与静触片接通与断开。可实现多条线路、不同联接方式的转换。

组合开关一般用于电气设备的非频繁操作、切换电源和负载，以及作小容量电机的启动、正转、反转和调速的控制开关。



内部结构示意图



组合开关图形符号

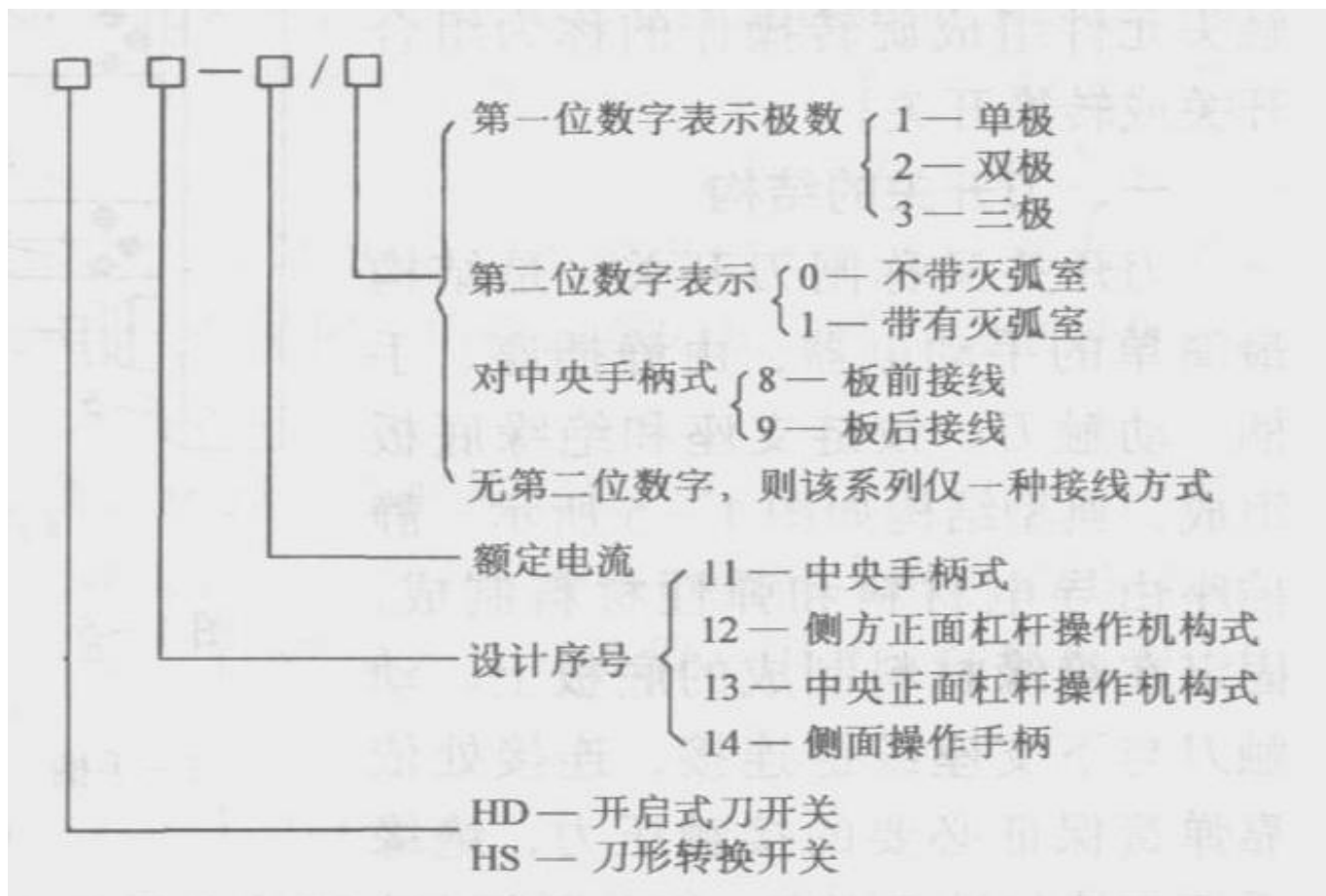
■ 文字符号：QS

组合开关实物图片



(二) 刀开关的型号和主要技术参数

刀开关的型号及含义



(二) 刀开关的型号和主要技术参数

- **额定电压**：长期工作中能承受的最大电压
- **额定电流**：在合闸位置长期最大工作电流
- **操作次数**

使用寿命：机械寿命、电寿命

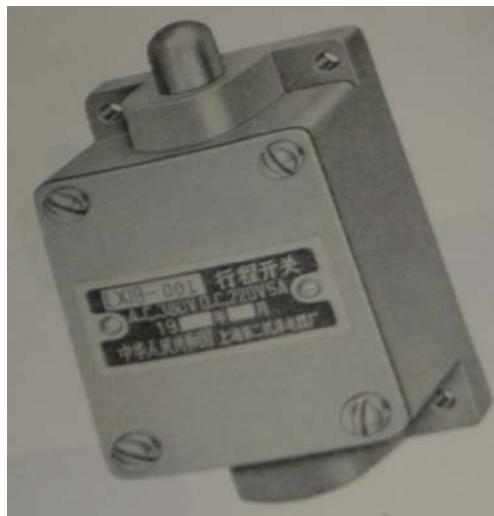
- **电稳定性电流**
- **热稳定性电流**

短路时的
电流情况

(三) 刀开关的选用与安装

§ 1.3 主令电器

主令电器是一种专门发送指令的控制电器。
用来控制电气控制系统的**启动**、**停止**、**正转**、**反转**等。



(一) 控制按钮

控制按钮是用来**短时**接通或者分断5A以下的**小电流电路**的控制电器；它可向其它电器发出指令性的电信号，控制其它电器动作；是一种**手动**且一般可以**自动复位**的主令电器。

由于按钮载流量小，**不能直接用于控制主电路的通断**。在**控制电路**中，通过按动按钮发出相关的控制指令来控制接触器、继电器等电器；再由继电器、接触器等其他电器受控后的工作状态实现对主电路进行通断的控制要求。



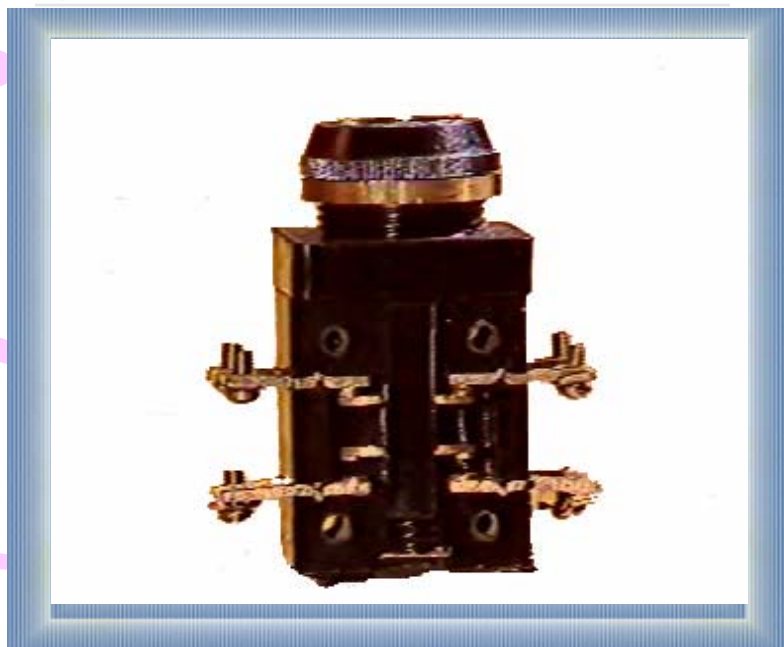
**不直接控制主电路，
只能用在控制电路中！**

先断后合型

按下

先断

后合



释放

后合

先断

具有存储**复位**
的开关电器

常开+常闭触点

点动开关

分类

- 按钮式（有些带指示灯）
- 旋钮式
- 钥匙式
- 紧急操作式（急停开关，不复位）



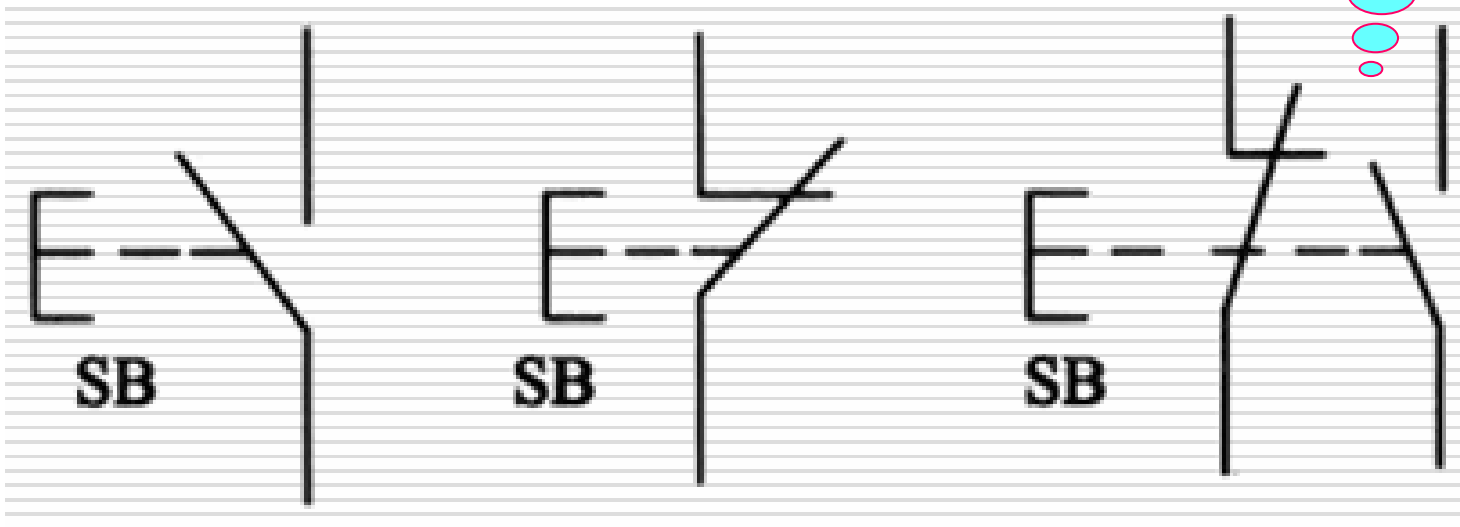
颜色

- 红色 → 停止按钮
- 绿色 → 起动按钮
- 红色蘑菇头 → 急停按钮



电气图形、文字符号

按下时力量不要太小哦。。。

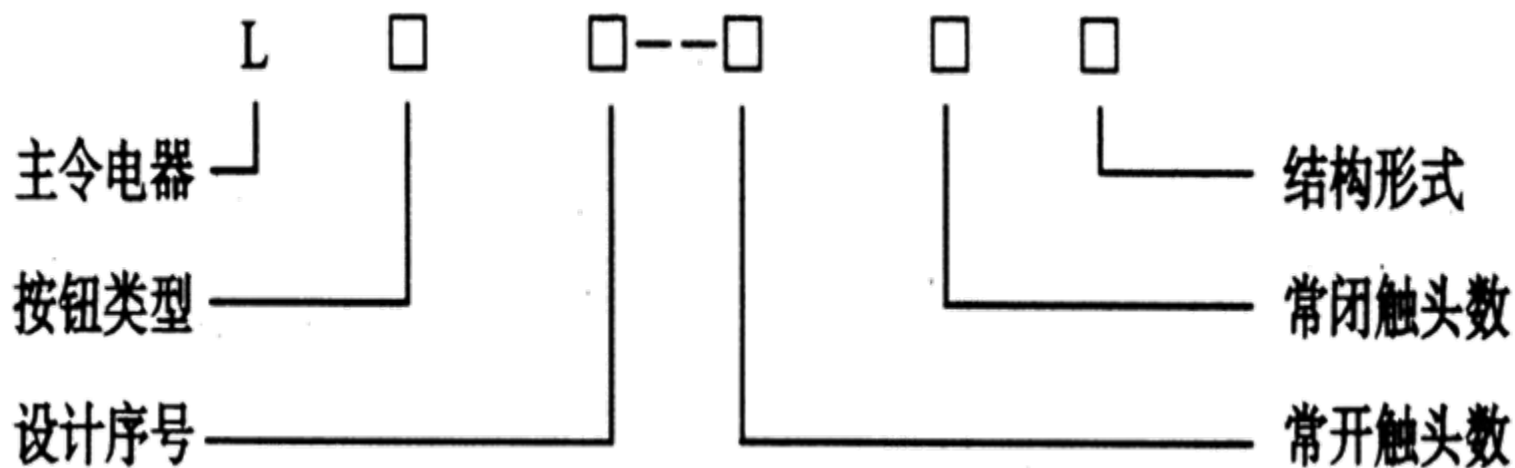


常开按钮 (起动手按钮)	常闭按钮 (停止按钮)	复合按钮
-----------------	----------------	------

■ 文字符号: SB

先断后合

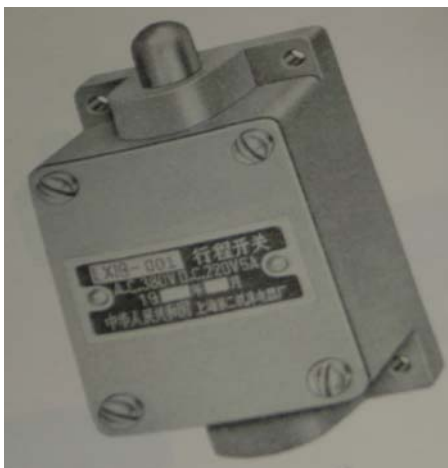
按钮的型号及其含义



A—按钮 K—开启式 S—防水式 H—保护式
 F—防腐式 J—紧急式 X—旋钮式 Y—钥匙式
 D—带指示灯式 DJ—紧急式带指示灯

(二) 位置开关

- 主要用于检测运动物体**是否到达某一位置**，从而将机械位移转变为电信号，用来控制生产机械的动作。
- 位置开关包括：行程开关、微动开关、接近开关。



(二) 位置开关

1. 行程开关

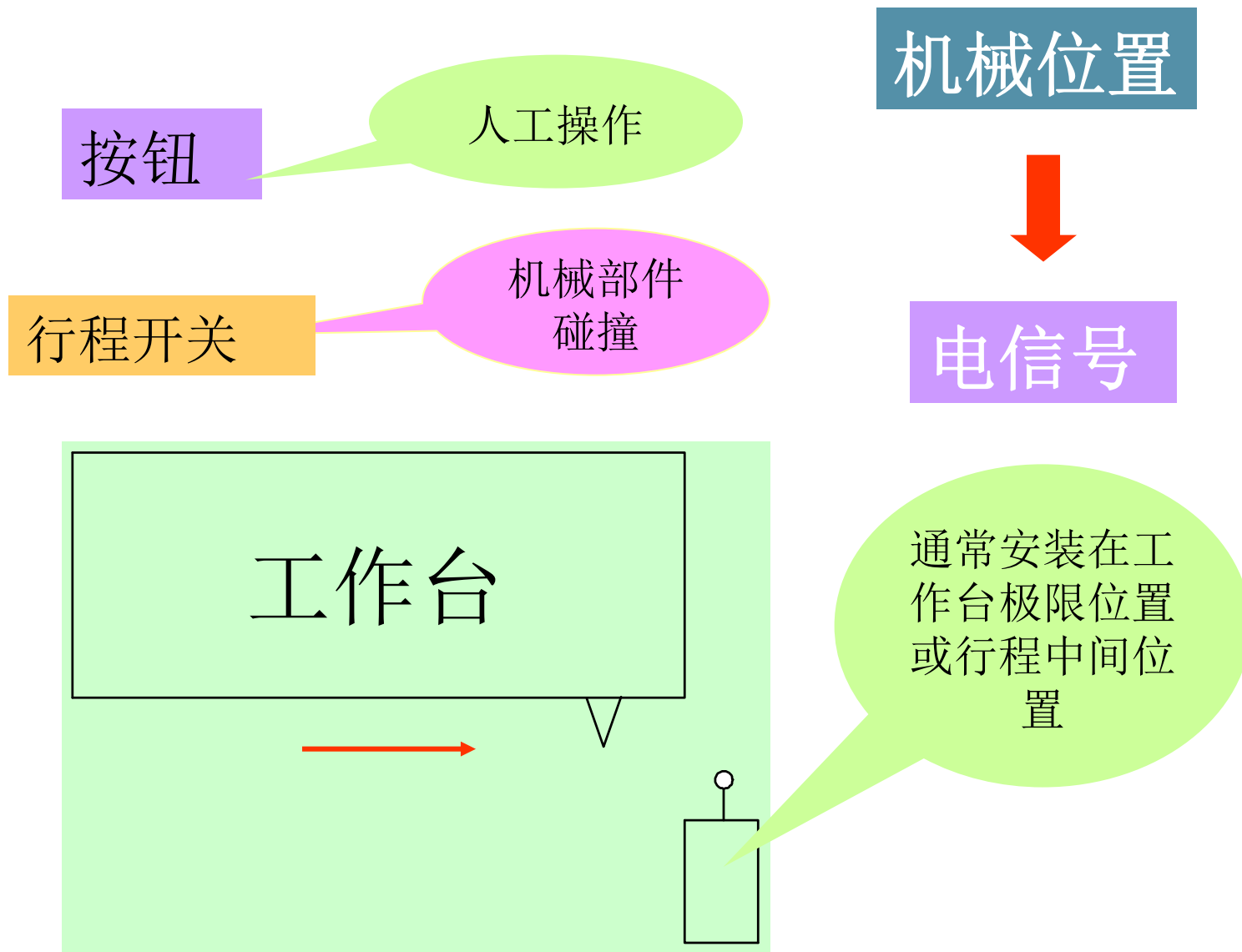
■ 又称限位开关

■ 它是一种**根据运动部件的行程位置**而动作的**小电流**开关电器（用于**控制电路**）。

■ 实际生产中，将行程开关安装在**预先安排**的位置，当装于生产机械运动部件上的模块撞击行程开关时，行程开关的内部触点动作（常闭触点断开，常开触点闭合），实现电路的切换。

■ 其结构与按钮开关相似。只是其触点的动作不是靠手动来完成，而是利用生产机械运动部件的**机械碰撞**来完成，是一种**接触式位置开关**。

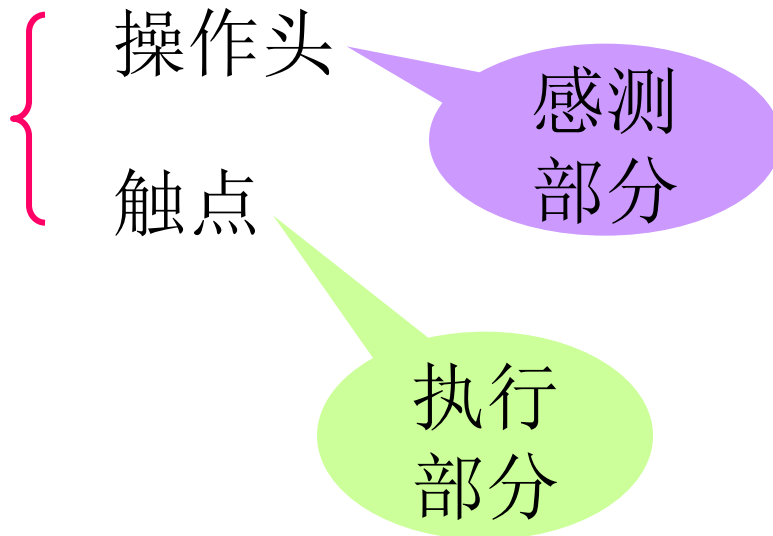
将机械位置变换为电信号



结构（与按钮相仿）



组成



机械信号



电信号

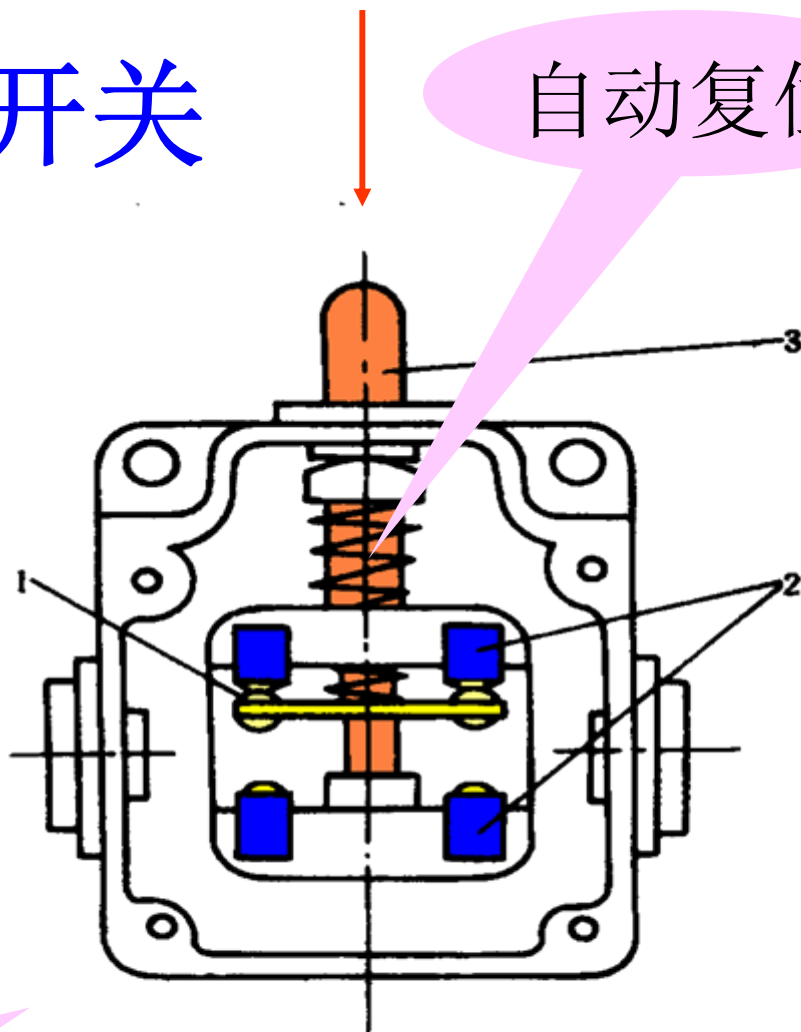
分类

直动式（自动复位式）

滚轮式 { 单轮式（自动复位式）
 { 双轮式（非自动复位式）

动作迅速

直动式行程开关

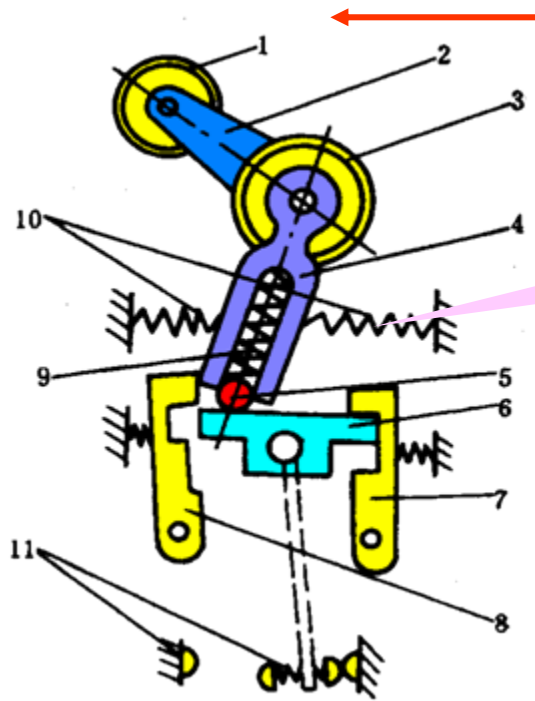


直动式行程开关

1—动触点 2—静触点 3—推杆

不宜用于低速场合 ($<0.4m/min$)

滚轮旋转式行程开关



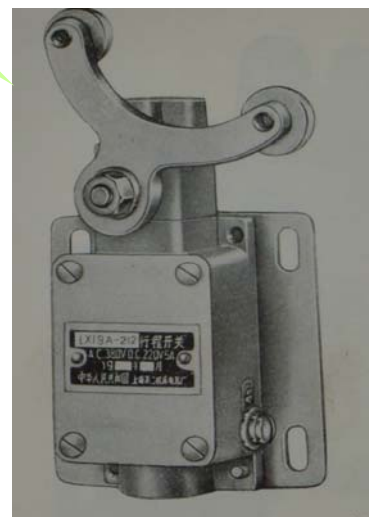
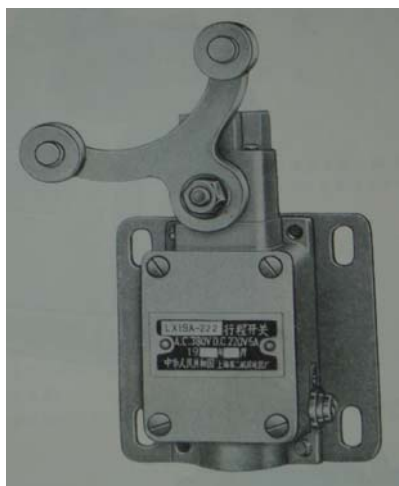
自动复位

单滚轮式

适用于低速场合

滚轮旋转式行程开关

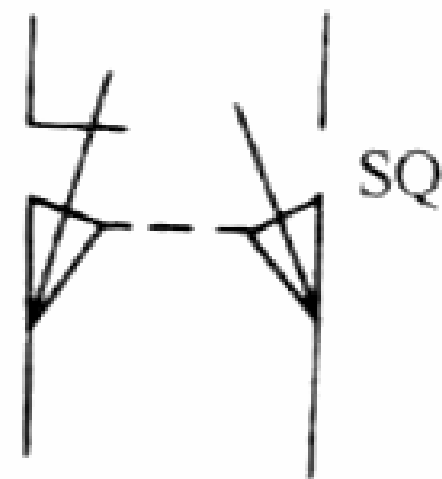
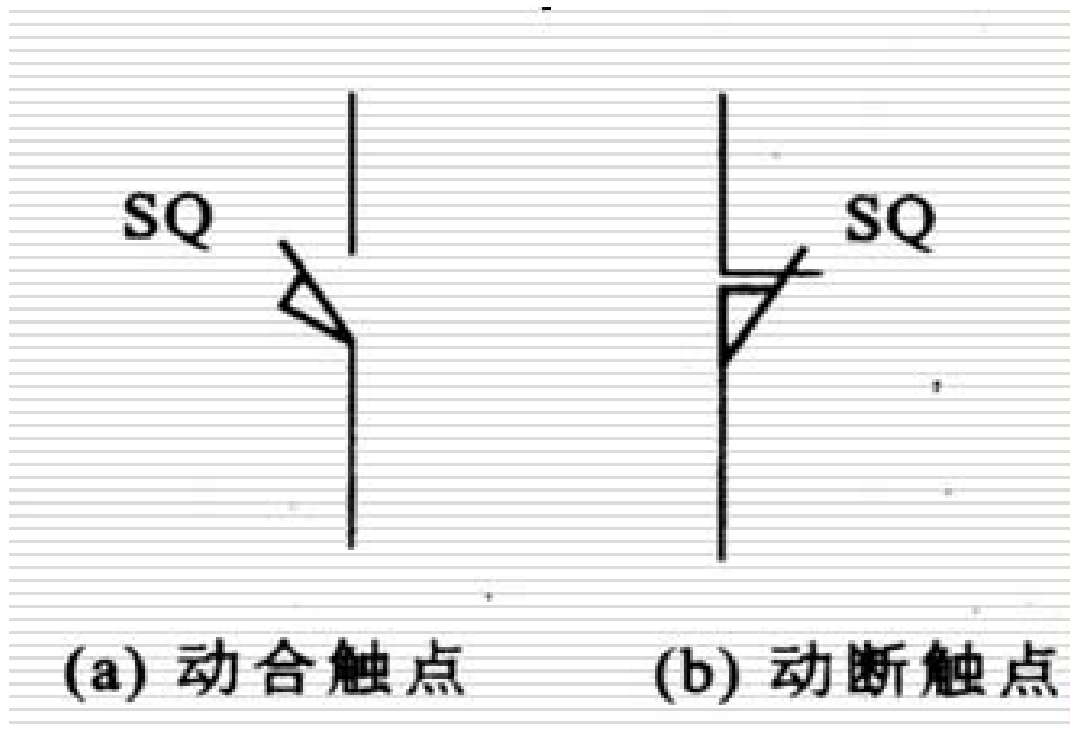
非自动
复位



双滚轮式

适用于低速场合

行程开关图形和符号

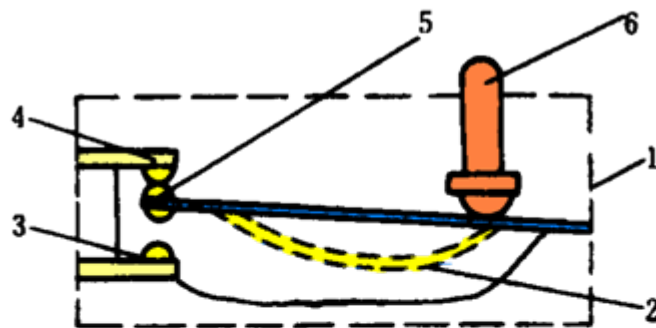


■ 文字符号: SQ

先断
后合

2、微动开关

微动开关是行程非常小的瞬时动作开关，其特点是**操作力小**和**操作行程短**，用于机械、纺织、轻工、电子仪器等各种机械设备和家用电器中作限位保护和联锁等。微动开关也可看成为尺寸甚小而又非常灵敏的接触式行程开关。



LX31 微动开关结构示意图

1—壳体 2—弓簧片 3—常开触点 4—常闭触点

5—动触点 6—推杆

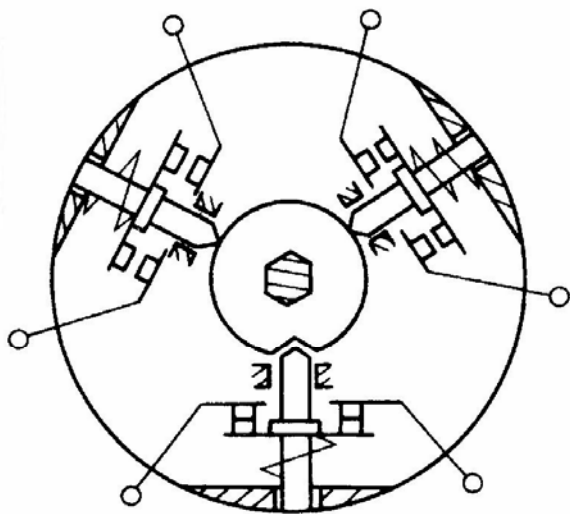
3、接近开关

非接触式



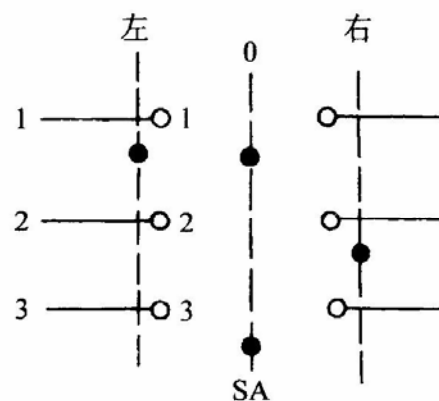
(三) 万能转换开关和主令控制器

- **多档式**且能对电路进行多种转换的**手动**控制主令电器，主要用作电气控制电路中，也可直接控制小容量三相鼠笼型异步电动机的起动、换向、变速等。
- **能控制多个回路**，适应复杂线路的要求 (万能)



a)

■ 文字符号： SA



b) 三极三位转换开关

图 1-13 万能转换开关的结构示意图及图形符号

(三) 万能转换开关和主令控制器

- 主令控制器又叫主令开关。按照**预定程序**来转换控制电路接线的主令电器
- **频繁切换**复杂的多回路控制电路

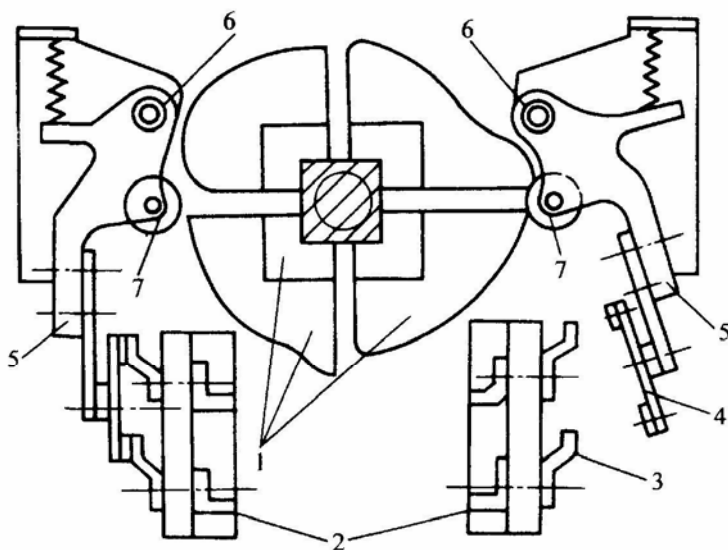


图 1-14 主令控制器的结构示意图

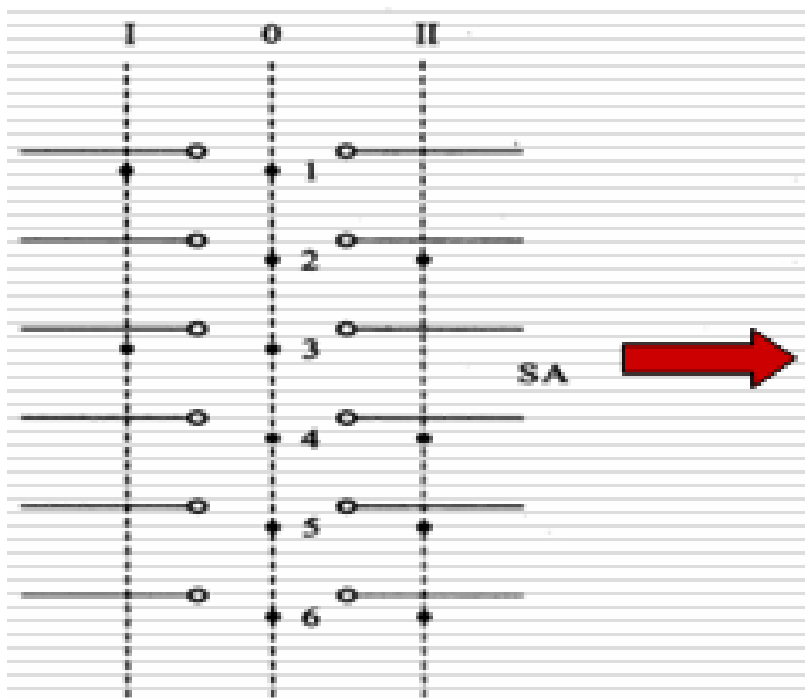
1—凸轮块 2—接线柱 3—静触头 4—动触头 5—支杆 6—转动轴 7—小轮

凸轮非调整式

凸轮调整式

适用于按顺序操作的多个控制回路

主令开关电气图形、文字符号



通断表:

触点号	I	0	II
1	×	×	
2		×	×
3	×	×	
4		×	×
5		×	×
6		×	×

黑点“.”——接通 “×”——接通的电路

空格——转换开关在该位置时此路是断开

文字符号: SA

! 电气图形、符号同万能转换开关

? 主令开关
与万能转换
开关有何异
同

主令开关实物图片



§ 1.4 低压断路器

失压保护

过载保护

短路保护

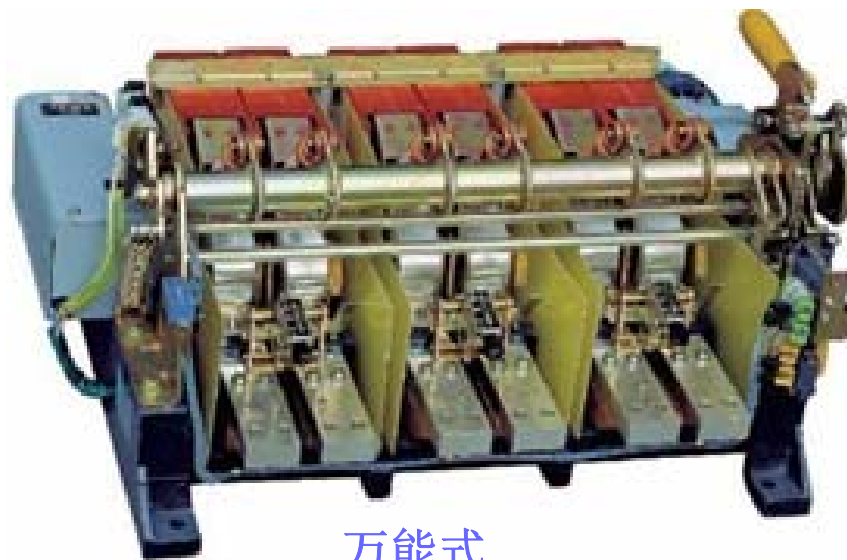


- 俗称**自动开关**或**空气开关**。用于不频繁地通断控制。在电路发生**短路**、**过载**、**欠电压**等故障时能自动分断故障电路。
- 一种控制兼保护电器。

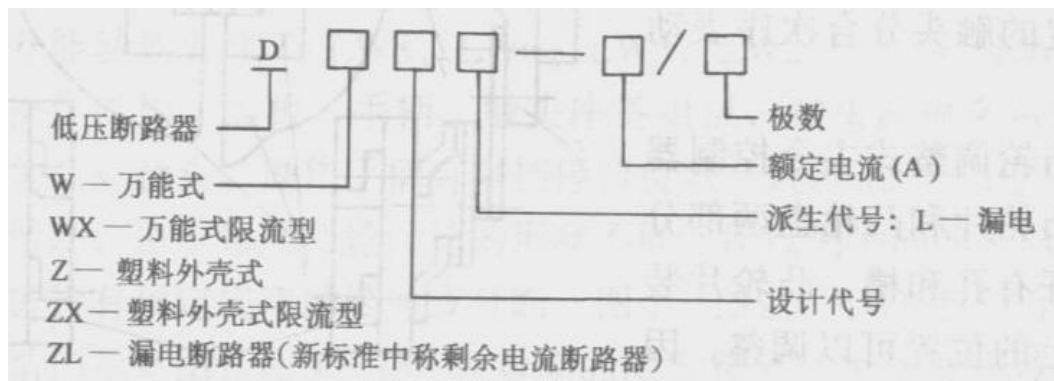
低压断路器相当于刀开关、熔断器、热继电器和欠压继电器的组合，是一种自动切断电路故障的保护电器。



塑壳式



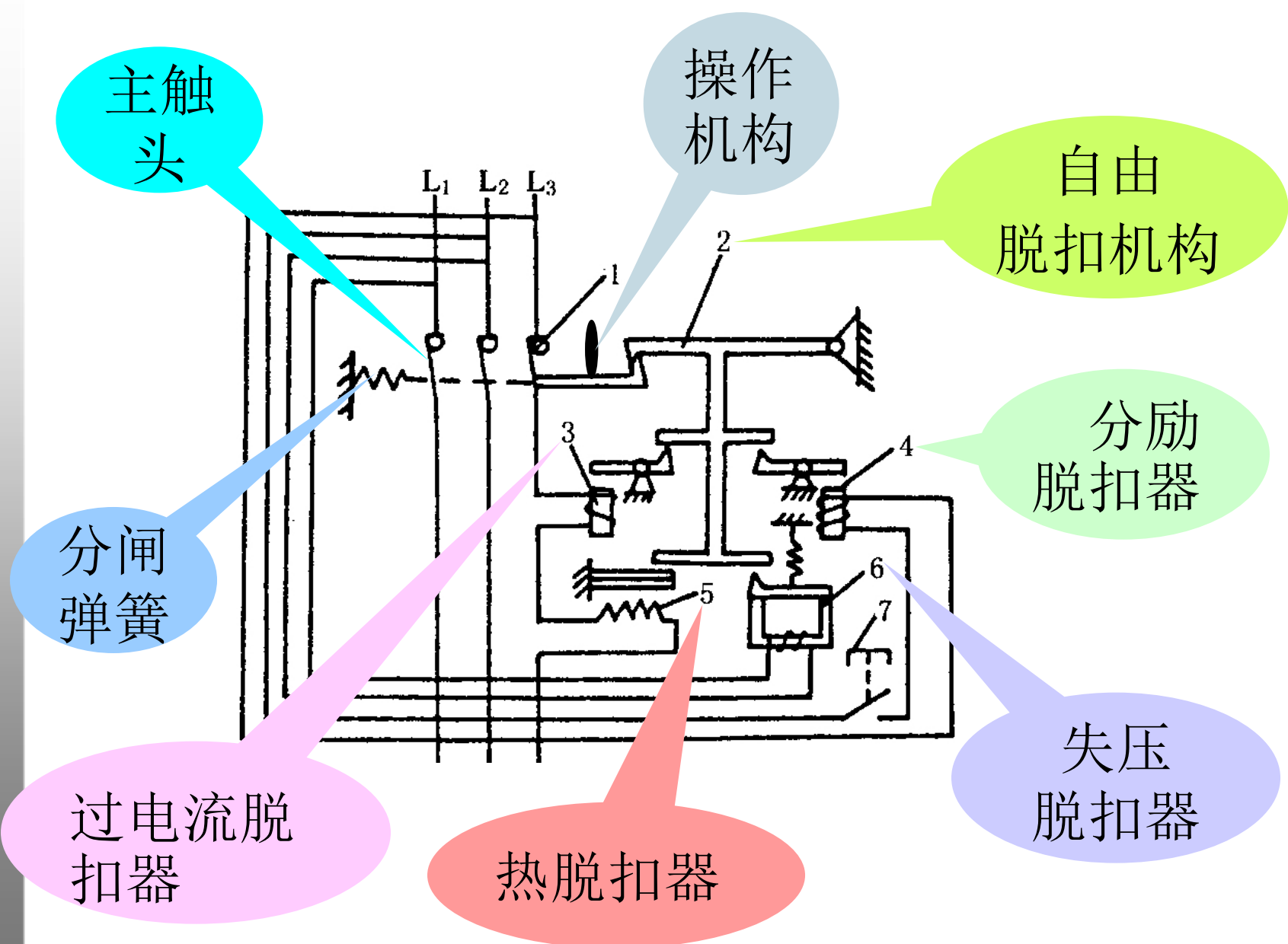
万能式



(一) 组成和工作原理

组成

- 主触头
- 灭弧装置
- 各种脱扣器
 - 过电流脱扣器（短路保护）
 - 失压脱扣器（失压保护）
 - 热脱扣器（过载保护）
 - 分励脱扣器（远距离跳闸控制）
- 操作机构
- 自由脱扣机构



主触头

操作机构

自由脱扣机构

分励脱扣器

失压脱扣器

热脱扣器

过电流脱扣器

分闸弹簧

工作原理

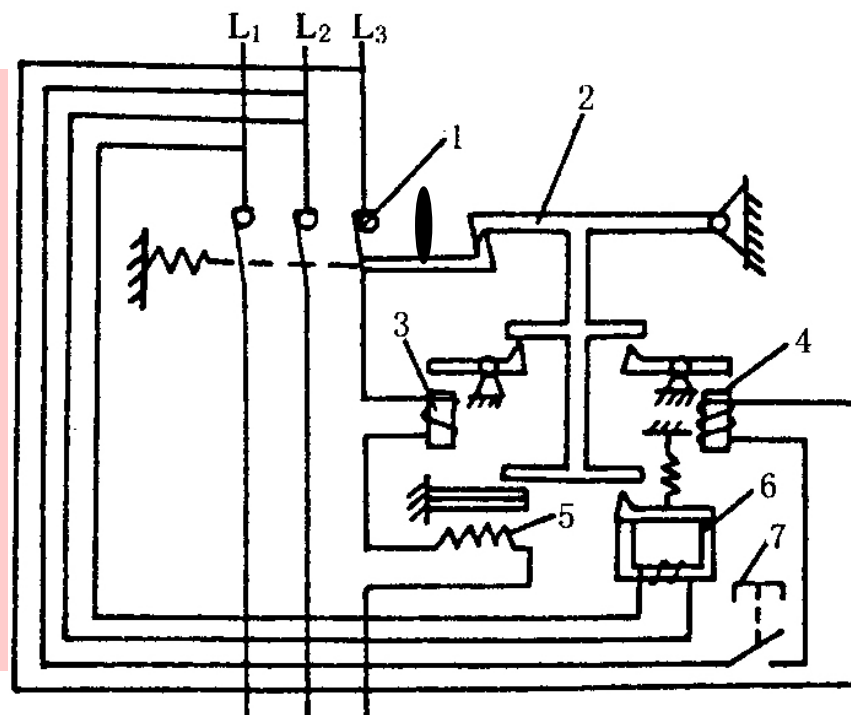
- 主触头为常开触头，通过手动或电动操作机构合闸
- 主触头闭合，接通主电路
- 正常工作时，主触头锁在合闸位置上

■ 正常

由操作机构接通/分断工作电流--作电源开关

■ 故障

由各种脱扣器感知故障信号，并通过自由脱扣机构自动切断故障电流

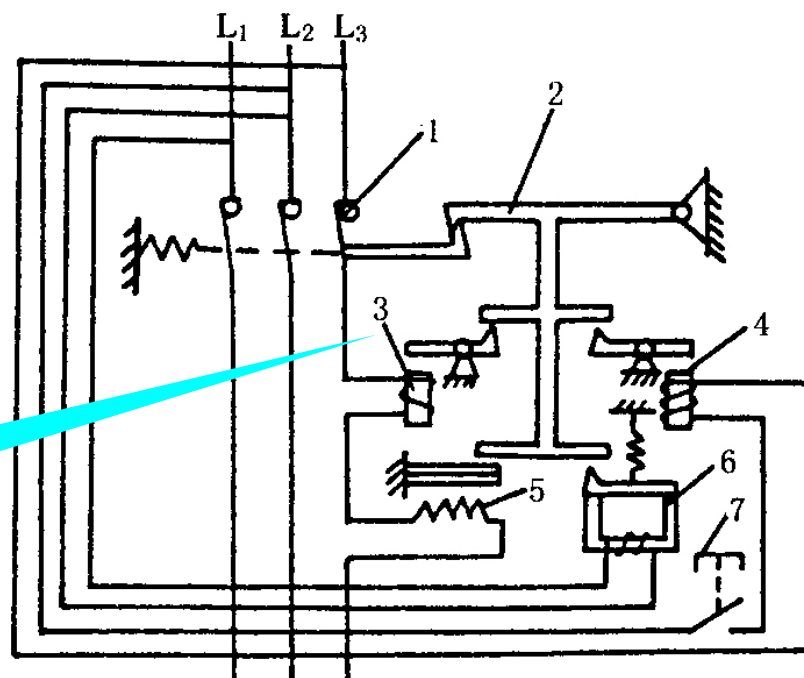


过电流脱扣器

■ 线圈串接于主电路中

■ 短路:

衔铁吸合 → 自由脱扣机构动作 → 主触头分断电路，开关自动跳闸



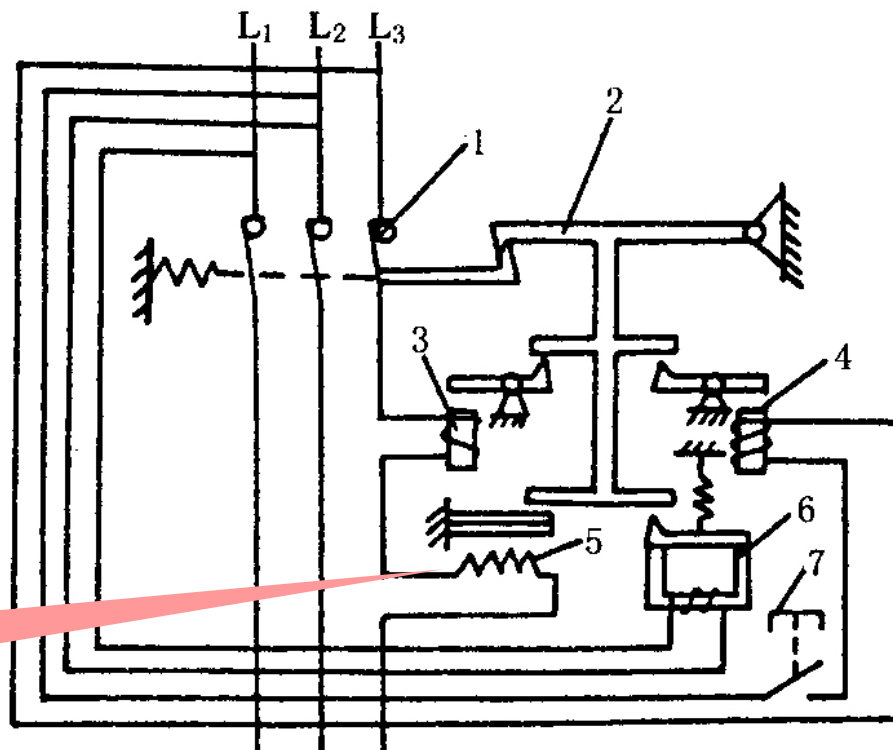
过电流脱扣器

热脱扣器

- 热元件串接于主电路中

- 过载:

热元件向上弯曲 → 自由脱扣机构动作 → ...



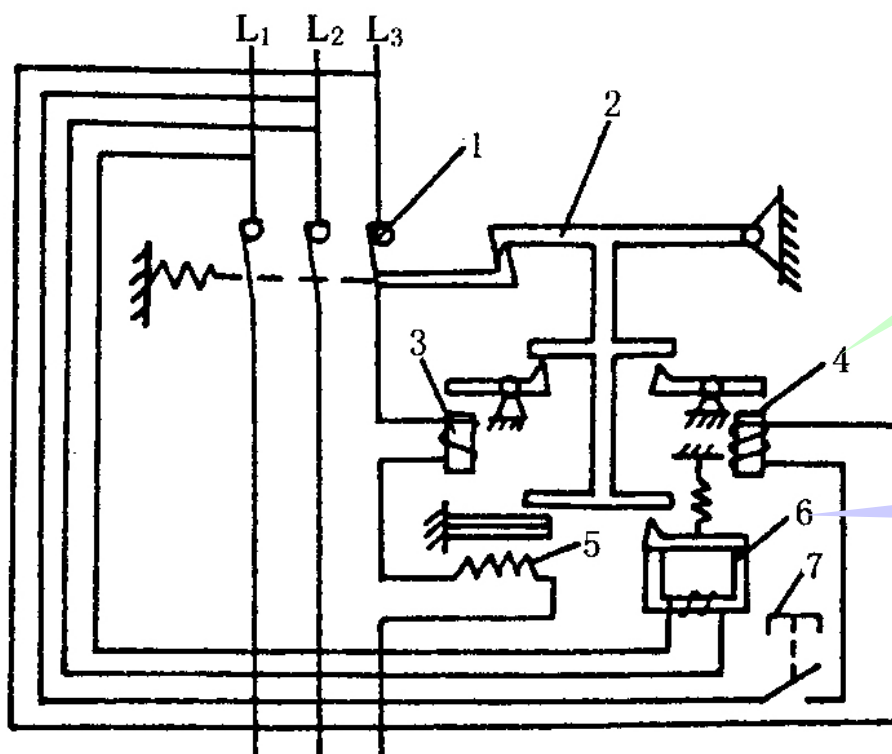
热脱扣器

失压脱扣器

- 线圈**并联**在电路中
- **电压消失/严重下降:**
衔铁释放→自由脱扣机构动作→...

分励脱扣器

- 用作远距离操纵分断电路



分励
脱扣器

失压
脱扣器

(二) 断路器的技术参数

■ 1. 断路器的额定电压和额定电流

不小于电路正常工作电压和工作电流；

■ 2. 热脱扣器的整定电流

与所控制电动机的额定电流/负载额定电流相等；

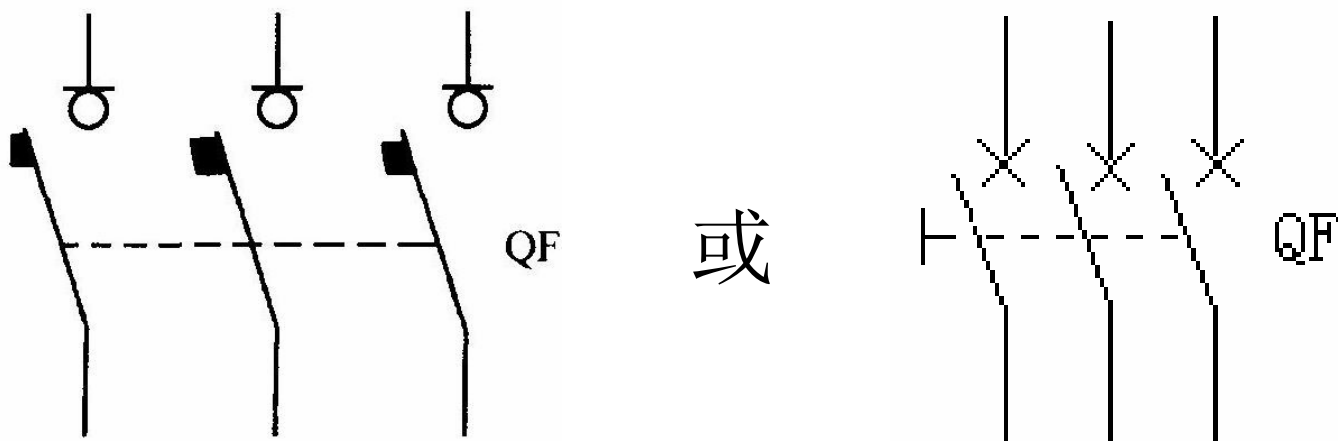
■ 3. 过电流脱扣器的整定电流

- (1) 过载保护（长延时）电流整定值等于电动机的额定电流；
- (2) 瞬时动作电流整定值取8~15倍电动机额定电流（笼型异步电机）或3~6倍电动机额定电流（绕线式异步电机）。

■ 4. 断流能力

应略大于线路的最大短路电流。

(三) 断路器图形符号、文字符号



■ 文字符号：QF

§ 1.5 接触器（电磁式）

接触器是一种**频繁地接通和断开**远距离用电设备**主回路**、大容量控制回路的**自动**开关电器。

1. 交、直流主电路

- 电动机
- 电热设备
- 电焊机
- 电容器组

2. 大容量控制电路

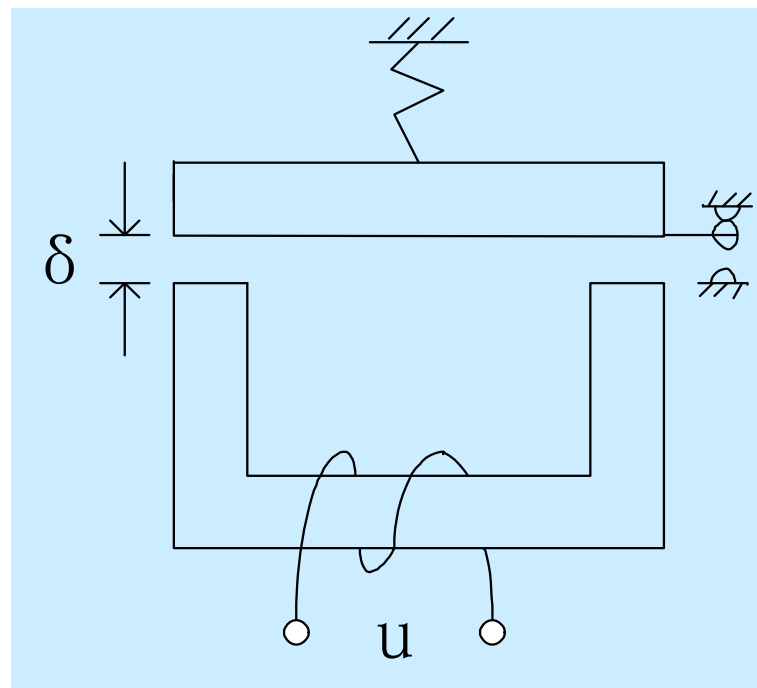


1. 组成和工作原理

接触器的结构和工作原理：
与电磁式电器相同

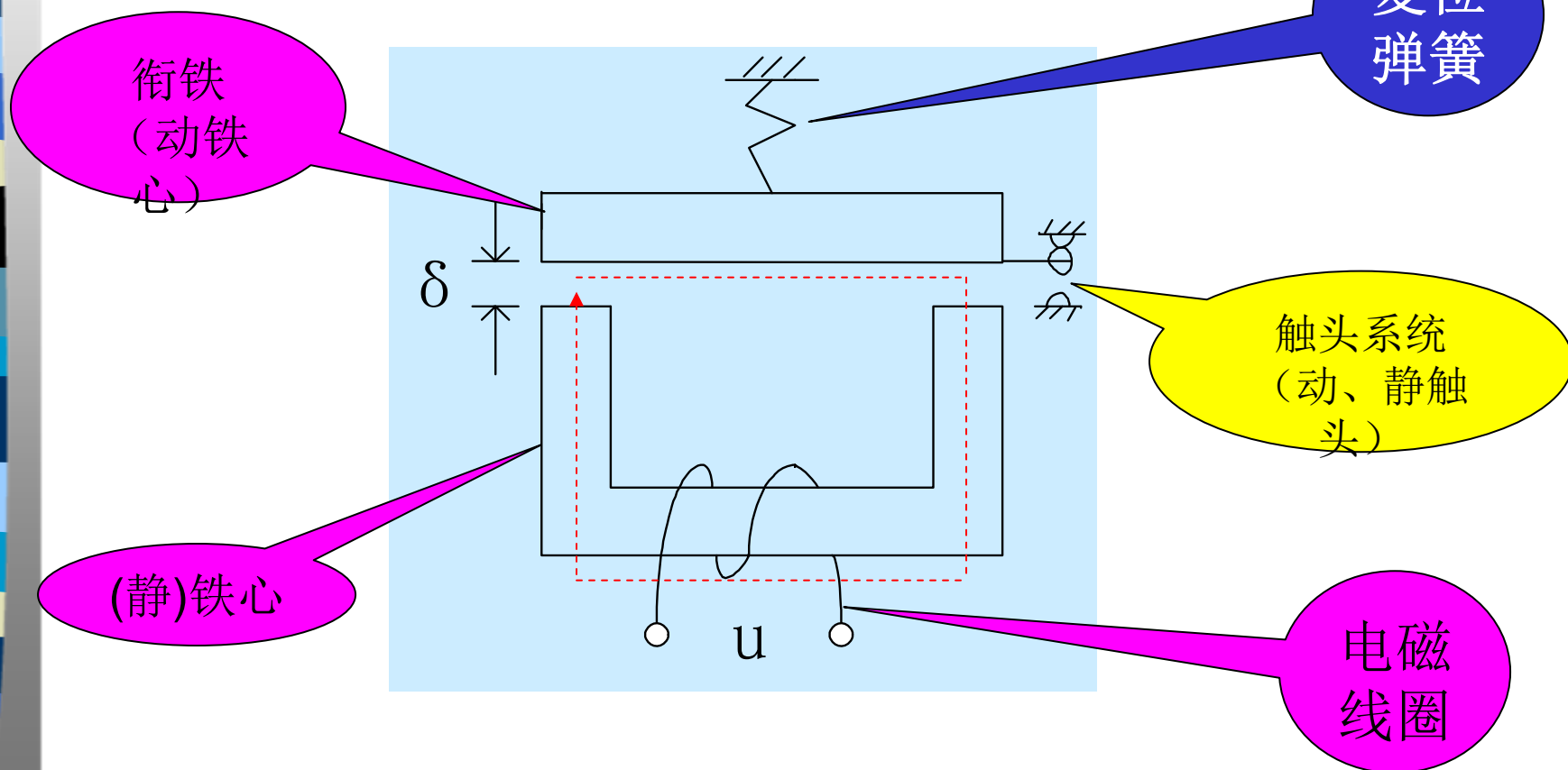
组成

电磁机构(感测部分)
触点系统(执行部分)
灭弧装置

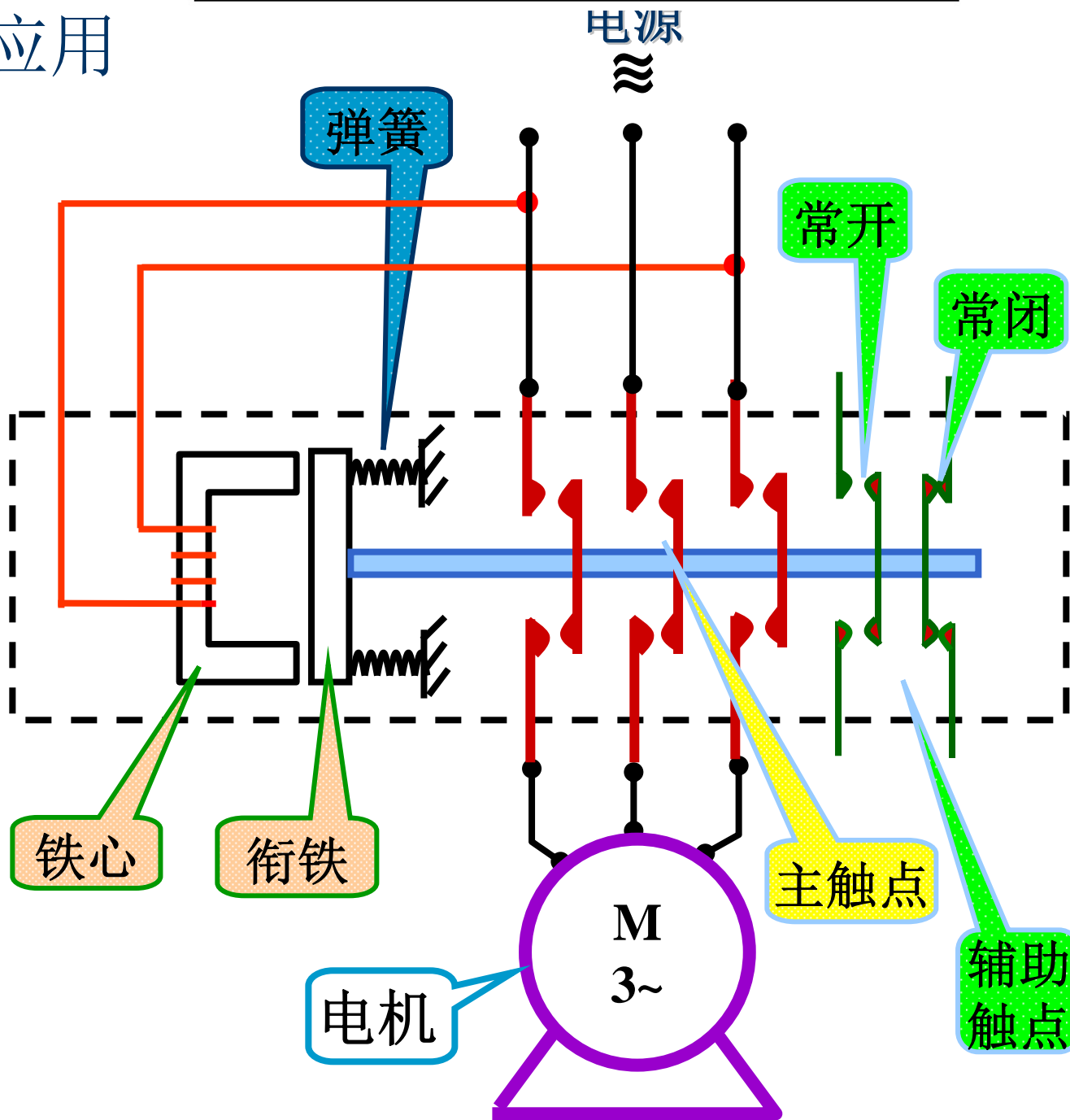


(1) 电磁机构

- 线圈通电：→产生磁场→铁心及衔铁被磁化
→在电磁吸力下衔铁吸合→触点动作
- 线圈断电：→失去磁场及电磁吸力→在复位弹簧下衔铁释放
→触点复位



应用



动作过程

线圈通电



衔铁吸合





主触点闭合



电机接通
电源

直流电磁机构 交流电磁机构

	直流电磁机构	交流电磁机构
铁心结构	由整块软钢或工业纯铁制成，无磁滞和和涡流损耗，线圈发热铁心不发热	由硅钢片叠铆制成，有磁滞和涡流损耗，线圈和铁心都发热
吸合过程	励磁电流不变，电磁吸力逐渐增大（吸合后电磁力比吸合前大得多）	电磁吸力是交变的  ，励磁电流减小（吸合前励磁电流比吸合后大得多）
吸合后	无振动	单相交流电磁机构 有振动和噪声（利用 短路环  可减小振动和噪声）
吸合不好时	线圈不会过热	线圈会过热，长时间过热的会烧毁

三相交流电磁机构需要
否？

(2) 触头系统

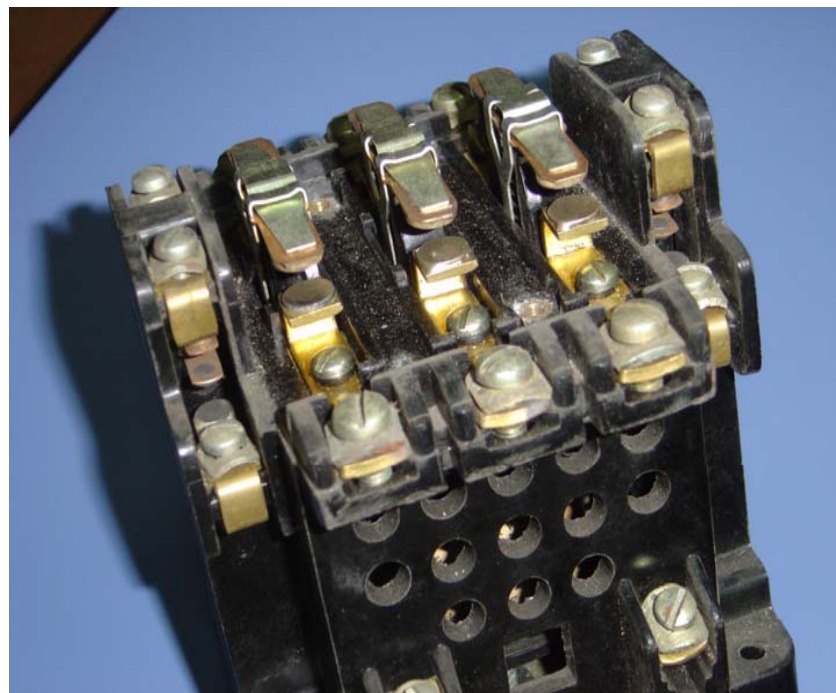
主触点:

- 用于主电路
- 常开触头
- 1-5极, 常用3极

辅助触点:

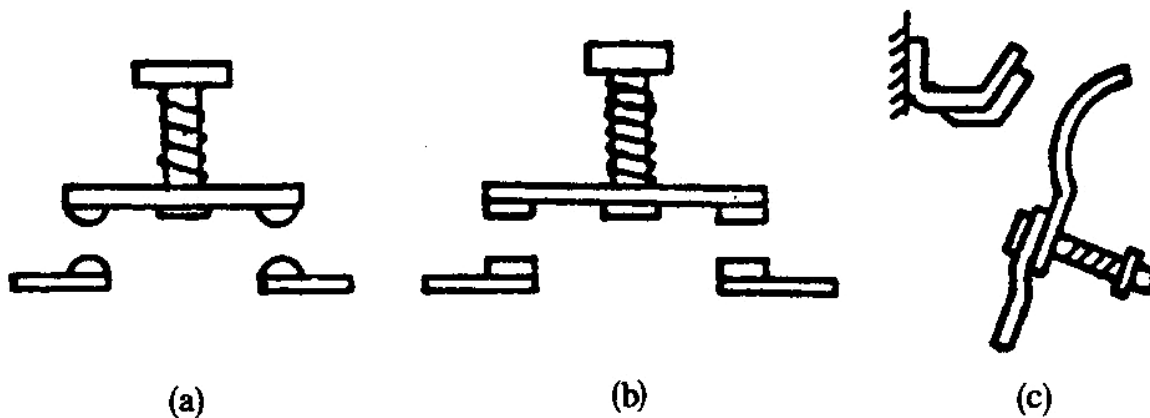
- 用于控制电路
- 常开触头
- 常闭触头

■ 每对触头均由静触头和动触头共同组成, 动触头与电磁机构的衔铁相连, 当接触器的电磁线圈得电时, 衔铁带动动触头动作, 使接触器的常闭触头先断开, 常开触头后闭合。



触头的接触形式

- 点接触 → 用于小电流的场合
- 线接触 → 用于大电流的场合
- 面接触 → 用于大容量、大电流的场合



点接触的桥式触头

面接触的桥式触头

线接触的指形触头

(3) 电弧装置

电弧的产生:

一个较大电流的电路突然**断电**时，若触头间的电压超过一定数值，触头间**空气**在强电场的作用下会产生**电离放电现象**。在触头间隙产生大量带电粒子，形成**炽热的电子流**，被称为电弧。

电弧特点:

高温、高热、强光

造成电路不能正常切断、烧毁触头、引起火灾或其他事故

常用的灭弧装置:

灭弧罩、灭弧栅和磁吹灭弧装置

灭弧装置作用:

熄灭触头在分断电流的瞬间动静触头间产生的电弧

! 灭弧装置是接触器与继电器区分的主要标志

接触器按流过**主触点**的电流性质：

- **交流**接触器：用于交流电路中
- **直流**接触器：用于直流电路中

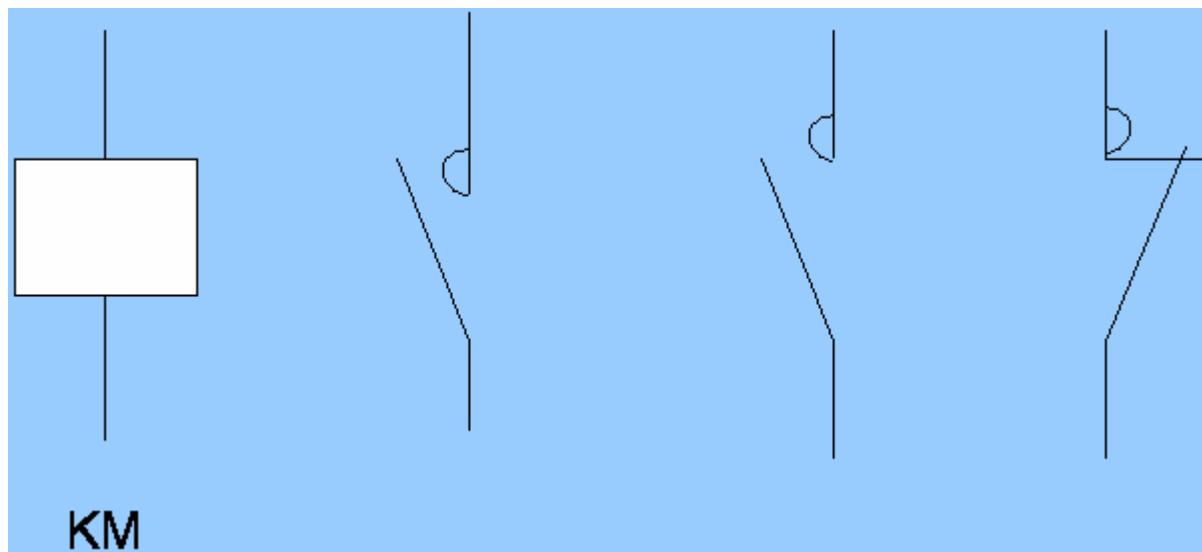
直流接触器与交流接触器的结构和工作原理基本相同，但在铁心结构、线圈形状、触头形状和数量、灭弧方式等方面有所不同。



交流接触器

直流接触器

2. 接触器的图形符号、文字符号



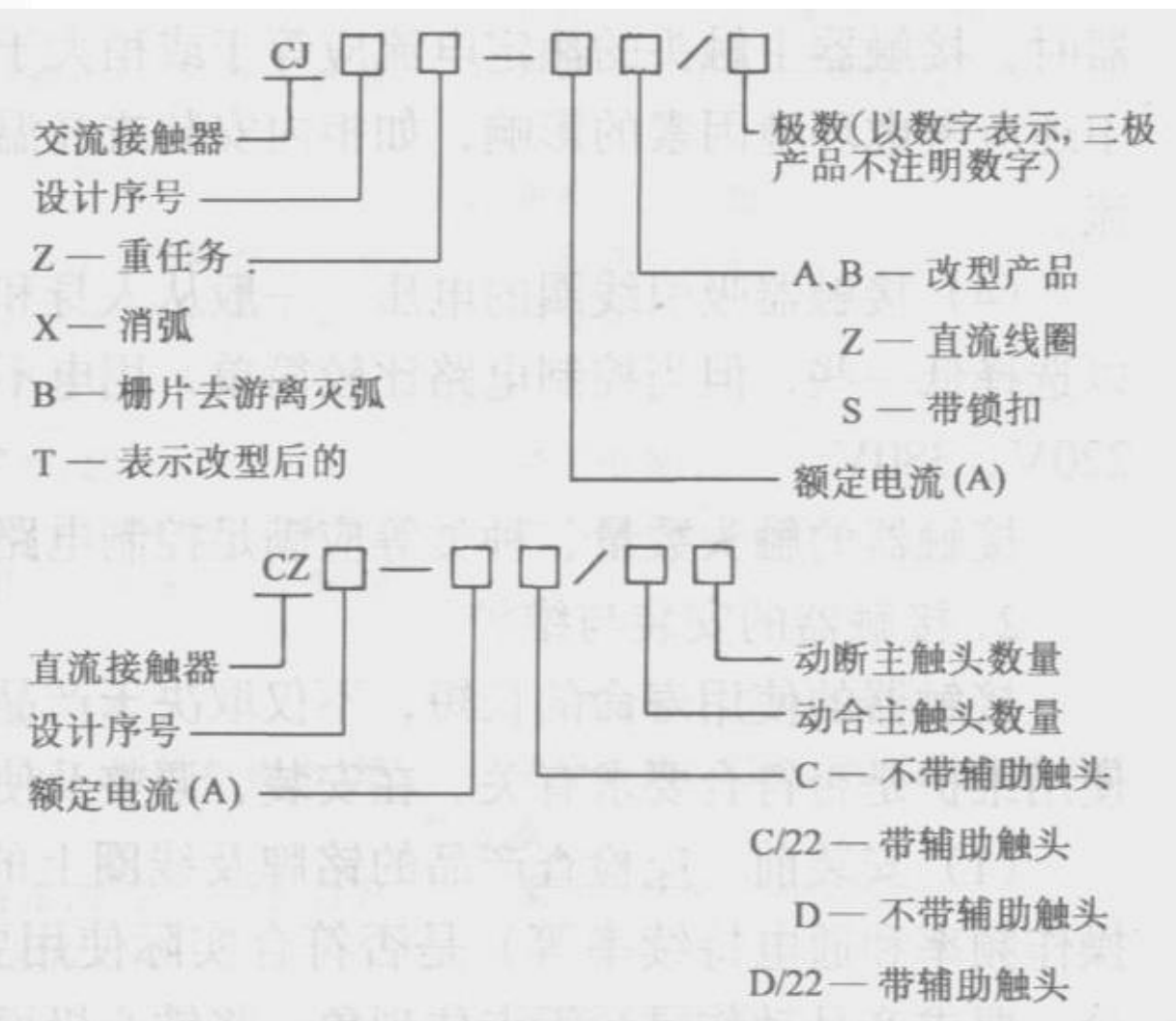
线圈

主触点

辅助触点

- 文字符号：KM


接触器型号说明



如 CJ12T-250, 该型号的意义为CJ12T系列交流接触器, 额定电流250A, 主触头为三极。

CZ0-100/20为CZ0系列直流接触器, 额定电流100A, 双极动合主触头。

3. 接触器的主要技术参数

- **额定电压**：指**主触点**的额定工作电压。
直流接触器：220V、440V、660V
交流接触器：220V、380V、500V、660V、1140V
- **额定电流**：指**主触点**的额定工作电流。
- **线圈额定电压**：指**电磁线圈**的额定工作电压。
直流线圈：24V、48V、220V
交流线圈：36V、127V、220V、380V
- **机械寿命**：1000万次以上
- **电气寿命**：100万次以上
- **操作频率**：每小时的操作次数
交流 600次/h、直流 1200次/h 

Why?

电弧

4. 接触器的选用

■ 接触器的类型

根据控制 **负载电流** 的类型来选择

■ 额定电压

大于或等于 负载电路的电压

■ 额定电流

大于或等于 被控电路的额定电流 

■ 电磁线圈的额定电压

一般从人身和设备安全角度考虑，该电压值可以选择低一些；但当控制线路比较简单，用电不多时，为了节省变压器，则选用220V、380V。

■ 触点的数量、种类应满足控制要求

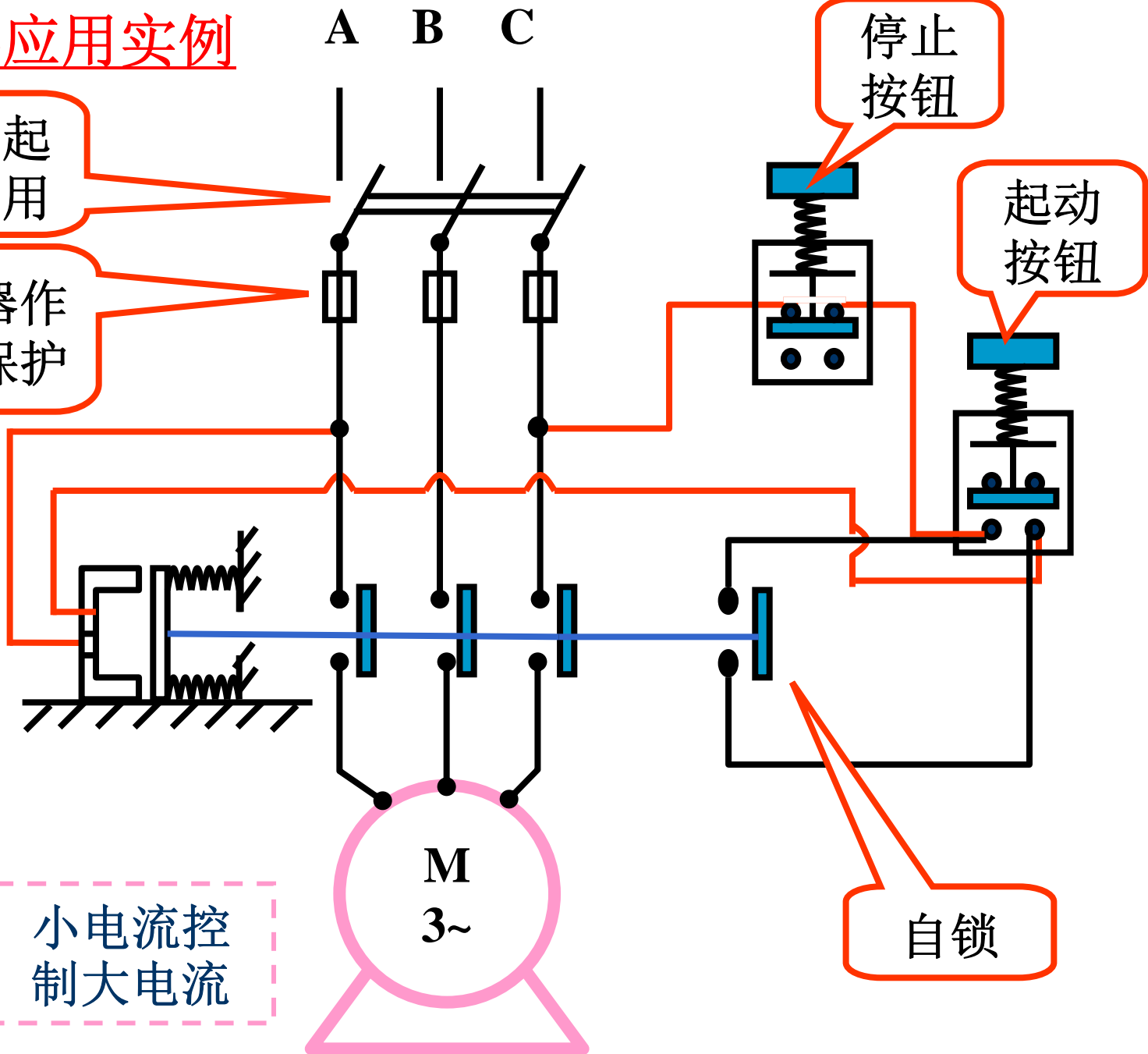
接触器应用实例

刀开关起
隔离作用

熔断器作
短路保护

停止
按钮

起动
按钮



特点：小电流控
制大电流

自锁

§ 1.6 继电器

继电器是一种根据电气量或非电气量的变化来接通或断开**小电流控制电路**的自动开关电器。

电气量或非电气量:

- *电压
- *电流
- *温度
- *时间
- *速度
- *压力
- *液位



继电器 接触器

- **相同点：** 触点用来控制电路的通断

■ 区别	继电器	接触器
控制场合	用于 控制电路 中（ 小电流 控制）	用于 主电路 中（ 大电流 控制）
输入信号	在各种电量或非电量作用下动作	在一定的电压信号下动作
功能结构	作保护电器或控制电器； 进行信号的传递； 不设灭弧装置； 无主/辅助触点之分，触点数量较多但容量小；	作控制电器； 有灭弧装置； 有主/辅助触点之分；

■ 继电器工作原理

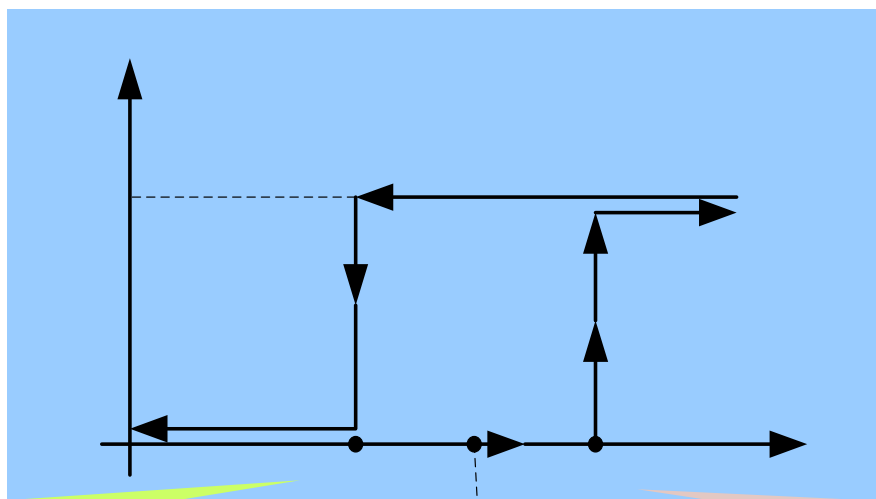
通过测量环节输入外部信号（比如电压、电流等电量或温度、压力、速度等非电量）并传递给中间机构，将它与设定值（即整定值）进行**比较**，当达到整定值时（过量或欠量），中间机构就使执行机构产生输出动作，从而闭合或分断电路，达到控制电路的目的。

■ 主要技术参数

额定参数、吸合时间和释放时间、整定参数、灵敏度、触头的接通和分断能力、使用寿命等。

继电器特性

- 当输入量达到一定值时，输出量将发生跳跃式变化
- 输入量 x 由 $0 \rightarrow x_2$ 以前， y 为 0 ；
- **吸合**：当 $x \rightarrow x_2$ 时，继电器吸合，输出 y 由 $0 \rightarrow 1$ (触点动作)，若 x 再增加， y 值不变；
- **释放**：当 $x \rightarrow x_1$ 时，继电器释放，输出 y 由 $1 \rightarrow 0$ (触点复位)，若 x 再减小， y 值仍不变。

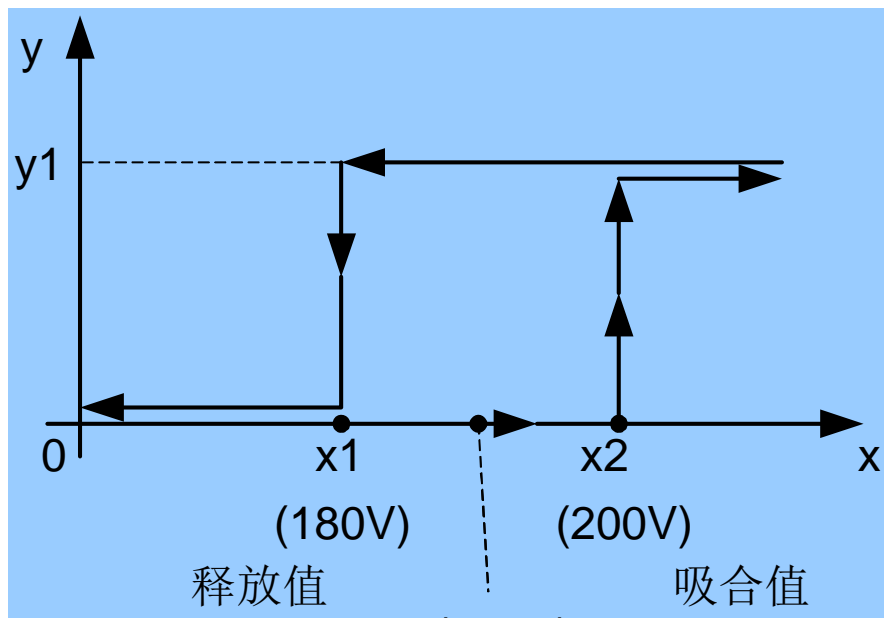


释放值

吸合值

吸合值 释放值

- 吸合值：
 - 欲使继电器**吸合**，输入量必须**大于**X2值；
- 释放值：
 - 欲使继电器**释放**，输入量必须**小于**X1值。



电气控制系统常用继电器：

■ 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

■ 热继电器

■ 速度继电器

(一) 电磁式继电器

- **结构和工作原理与电磁式接触器类似：**
主要由电磁机构和触头系统组成，**但没有灭弧装置，不分主副触头**
- **与接触器的主要区别在于：**
能灵敏地对电压、电流变化作出反应，触头数量很多但容量较小，主要用来切换小电流电路或用作信号的中间转换。
- **分类：**
 - (1) 按线圈电流种类
 - 直流
 - 交流
 - (2) 按输入信号
 - 电压继电器
 - 电流继电器
 - 中间继电器

1. 电压继电器



- 根据线圈两端**电压**大小而动作
- 检测电压，作**电压保护**（**过压**、**欠压**、**零压**）
- 线圈与被测电路**并联**，线圈匝数多，导线细
- 励磁线圈上的电压达规定值（整定值）时动作

过电压继电器:额定电压下衔铁不吸合，线圈电压达到额定电压的**105%—120%及以上**时衔铁吸合，触点动作；

欠电压继电器:额定电压下衔铁吸合，线圈电压降低到额定电压的**40%~70%**时衔铁释放，触点复位；

零电压继电器:额定电压下衔铁吸合，线圈电压降低到额定电压的**5%~25%**时衔铁释放，触点复位；

2. 电流继电器

能否作交流
电动机过载
保护？



- 根据线圈中**电流**大小而动作
- 检测**电流**，作**电流保护**（**过电流**、**欠电流**）
- 线圈与被测电路**串联**，线圈匝数少，导线粗
- 励磁线圈上的电流达规定值（整定值）时动作

过电流继电器:额定电流下正常工作时衔铁不吸合，线圈电流超过额定电流的**1.1~1.4倍**时衔铁吸合，触点动作；

欠电流继电器:额定电流下正常工作时衔铁吸合，线圈电流降到额定电流的**10%—20%**时衔铁释放，触点复位；

3. 中间继电器

- 实质是一种电压继电器
- 电磁线圈**并联**在电路中
- 触点数量多且触点容量较大
(5~10A)
- 中间转换元件(传递、转换、放大控制信号)



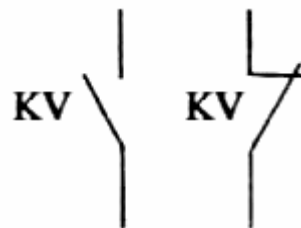
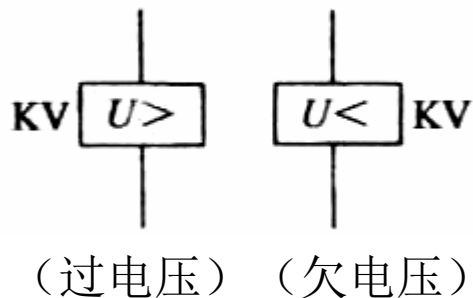
4. 电磁式继电器的电气图形、文字符号

线圈

触头

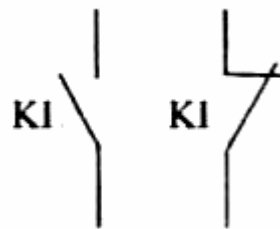
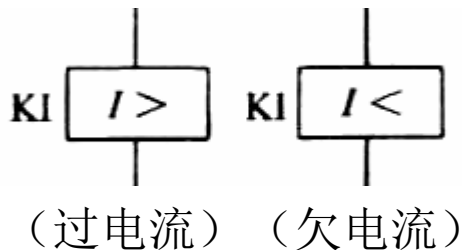
文字符号:

电压继电器



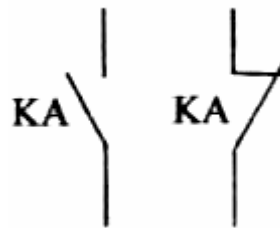
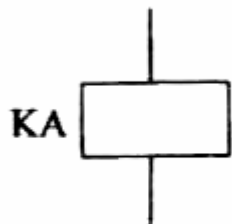
KV

电流继电器



KI

中间继电器



KA

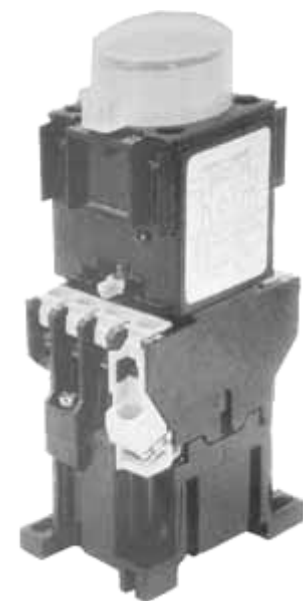
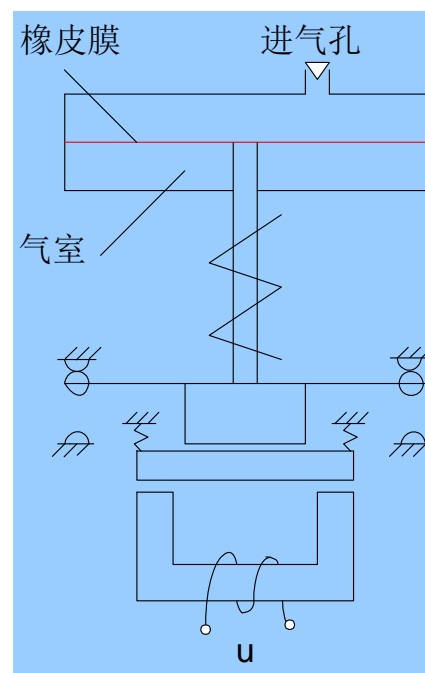
(二) 时间继电器



- **时间继电器**：从线圈通电或断电起，其触点经过一段**时间延时**▶后才动作或复位的继电器（非电量继电器）。
- **作用**：定时控制
- **延时方式**：**通电延时**和**断电延时**
- **类型**：电磁式、**空气阻尼式**、电动式、晶体管式

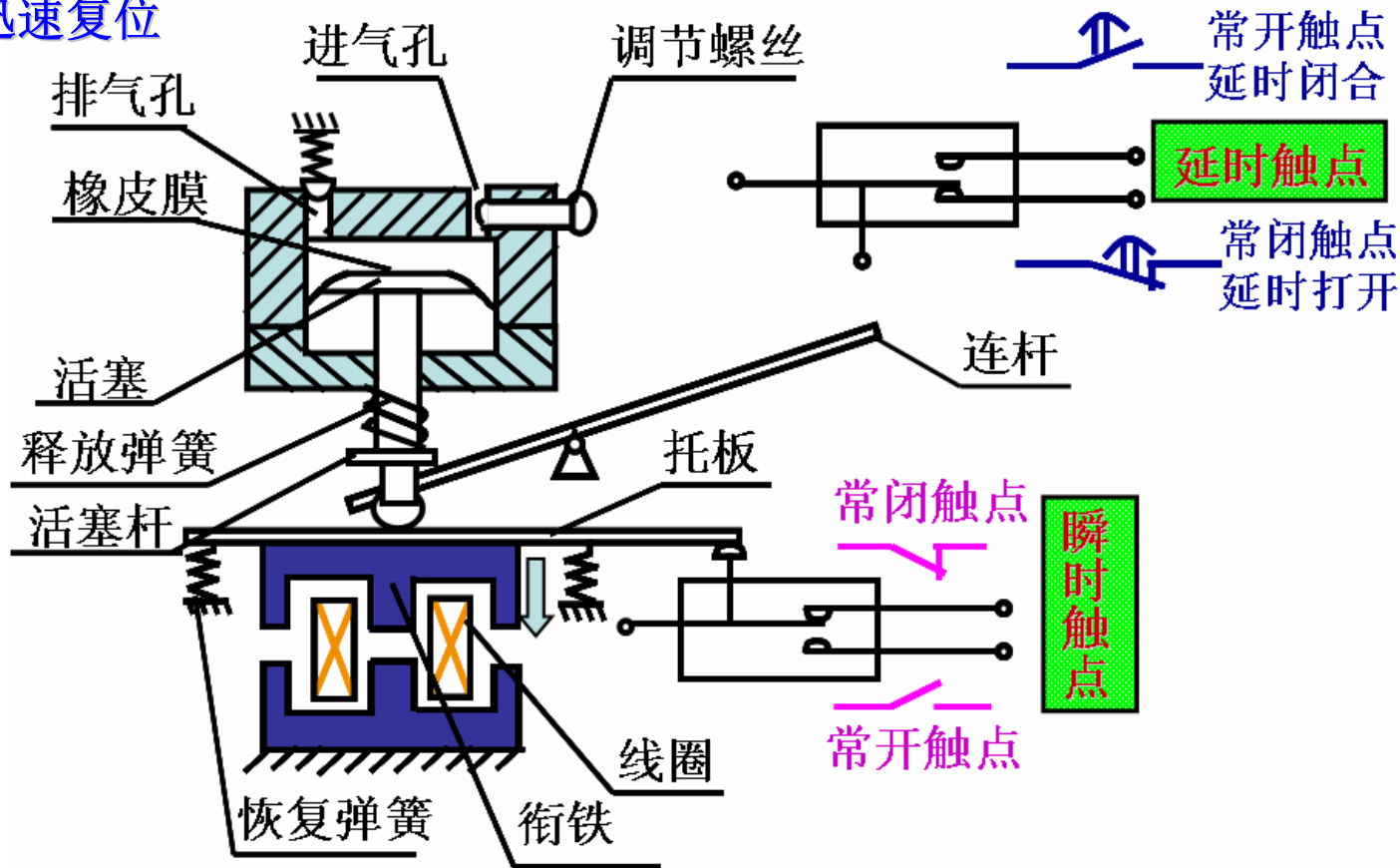
1. 空气阻尼式时间继电器

- 又称气囊式时间继电器
- 利用空气通过小孔时产生阻尼作用来获得延时动作
- 组成
 - 电磁机构（电磁线圈，铁芯）
 - 延时机构（气囊部分）
 - 触点系统（微动开关，有**瞬时触点**和**延时触点**）



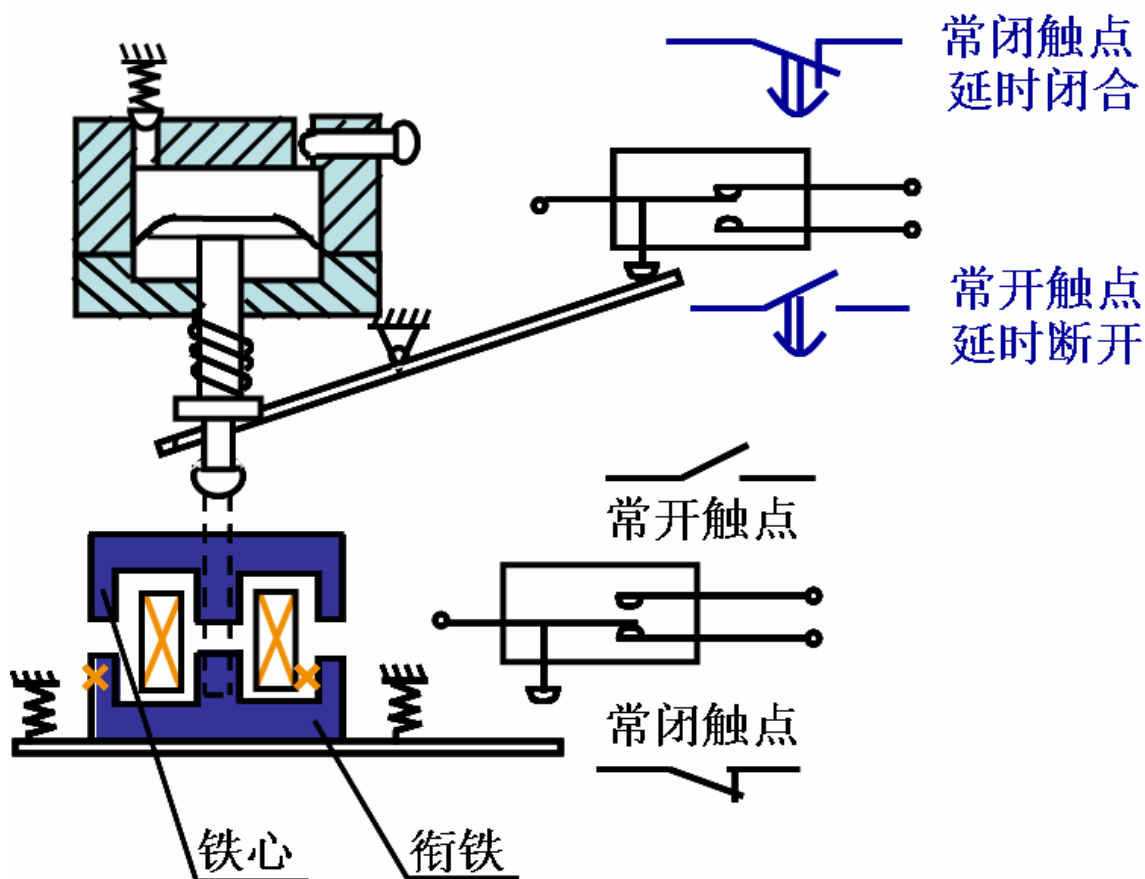
通电延时型工作原理

- **线圈通电** → 衔铁吸合 → **瞬动触点动作** → 活塞杆、活塞、橡皮膜下降 → 空气室上方形成负压 → 活塞杆缓慢下降 → **延时触点延时动作**
- 从线圈通电到延时触点动作的时间间隔为继电器**延时时间**
- 延时时间可通过调节螺丝调节进气孔的大小来改变
- **线圈断电** → 衔铁释放 → **瞬动触点复位** → 活塞杆、活塞迅速复位 → **延时触点迅速复位**



断电延时型工作原理

- 线圈通电 → 衔铁吸合 → 瞬动触点动作 → 活塞杆、活塞、橡皮膜快速上升 → 延时触点动作
- 线圈断电 → 衔铁释放 → 瞬动触点复位 → 活塞杆、活塞缓慢下降 → 延时触点延时复位
- 从线圈断电到延时触点复位的时间间隔为继电器**延时时间**



延时范围 ✦ 延时方式

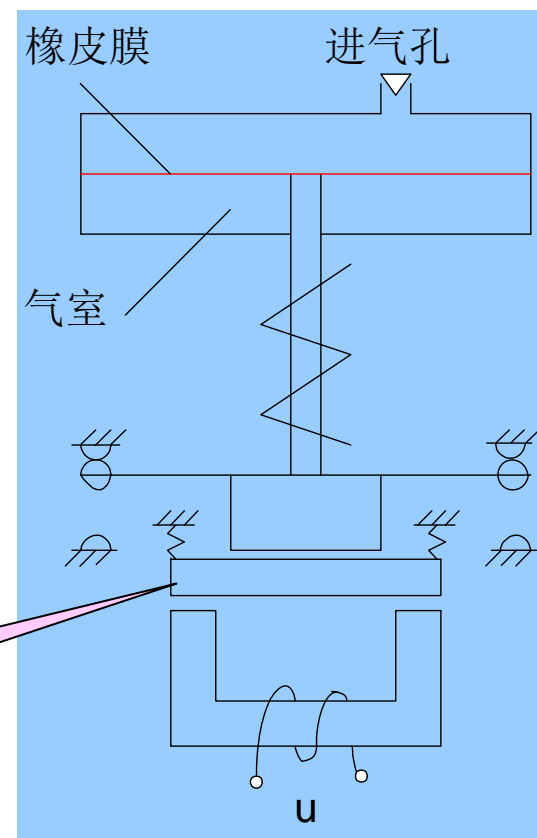
- 延时范围大（0.4~180秒）、结构简单、价格低、准确度低
- **电磁机构安装方向**决定其延时方式：

通电延时型

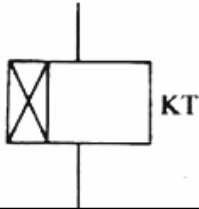
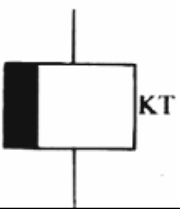



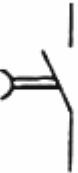

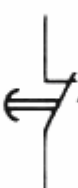
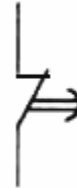


断电延时型

铁芯位于衔铁和
延时机构之间

衔铁位于铁芯和
延时机构之间



2.时间继电器的电气图形、文字符号

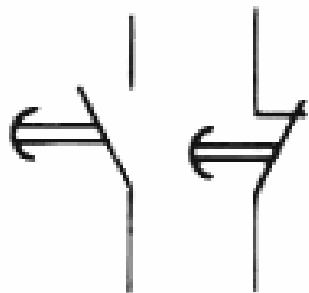
	通电延时型	断电延时型
线圈		
延时触点	 或  常开触头	 或  常开触头
	 或  常闭触头	 或  常闭触头
瞬时触点		

■ 文字符号：KT

通电延时型



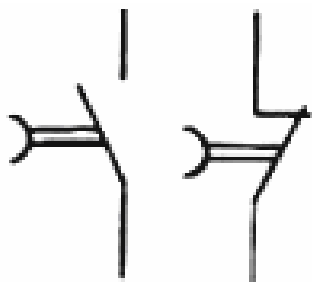
断电延时型



通电延时型:

线圈通电 ^{延时} → 触点动作;

线圈失电 → 触点瞬时复位;



断电延时型:

线圈通电 → 触点瞬时动作;

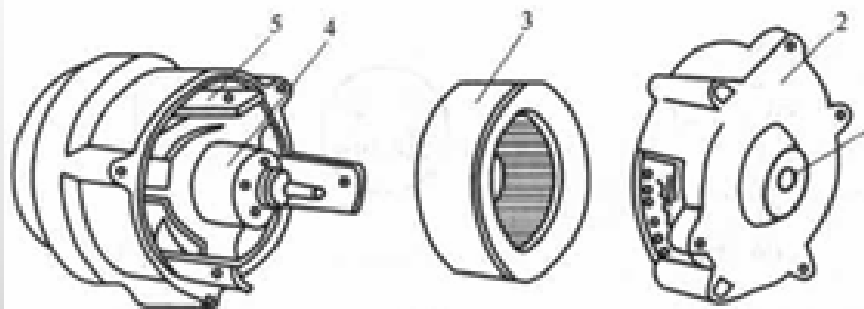
线圈失电 ^{延时} → 触点复位;

(三) 速度继电器

- 速度继电器又叫反接制动继电器，用作笼型异步电动机的反接制动控制。

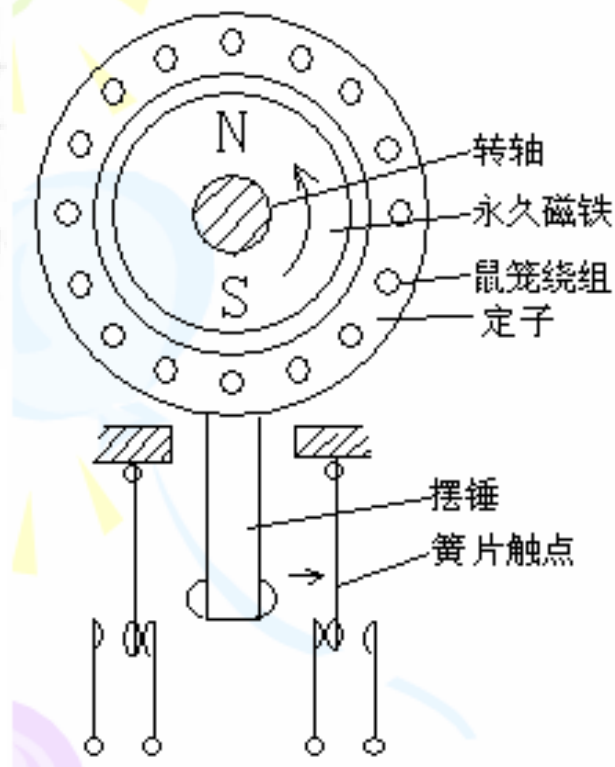


速度继电器工作原理



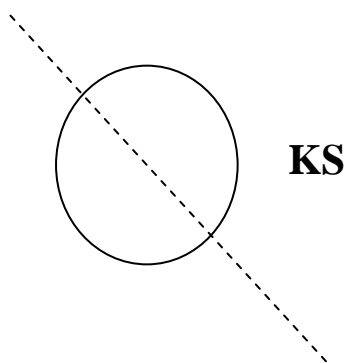
组成

- 定子
- 转子
- 触头

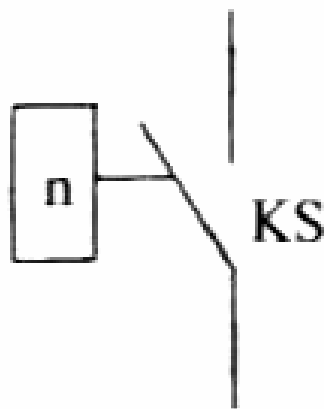


- 电动机转动时 → 速度继电器转子转动 → 定子转过一定角度 → 触点动作
- 电动机转速很低时 ($<100r/min$) → 定子产生转矩减小 → 在复位弹簧作用下，触点复位

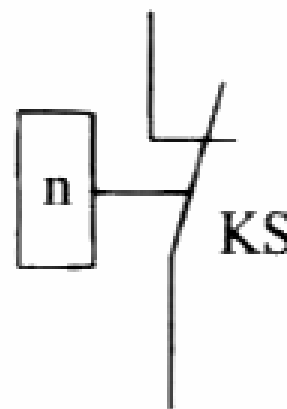
速度继电器电气图形、文字符号



转子



常开触点



常闭触点

- 文字符号: **KS**

(四) 热继电器

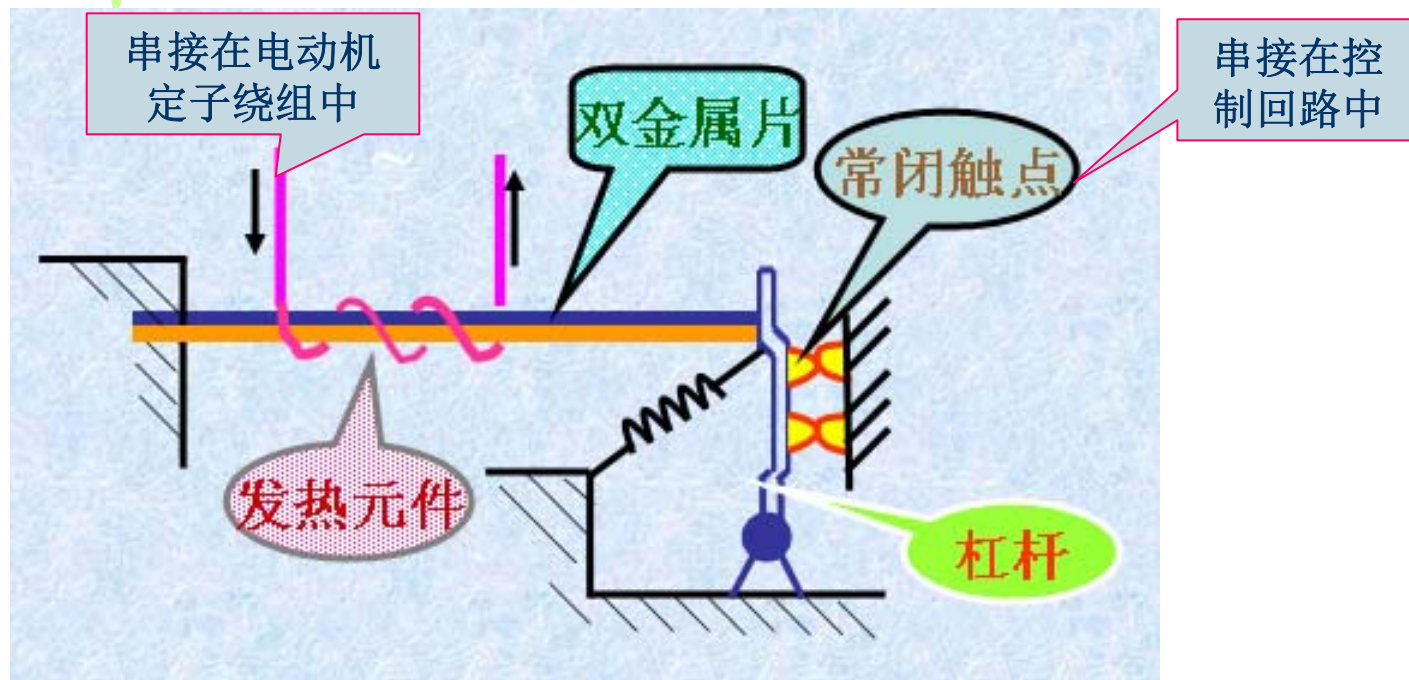
热继电器是利用**电流的热效应原理**工作的保护电器，在电路中用作电动机的**过载保护**和**断相保护**。



1. 结构和工作原理

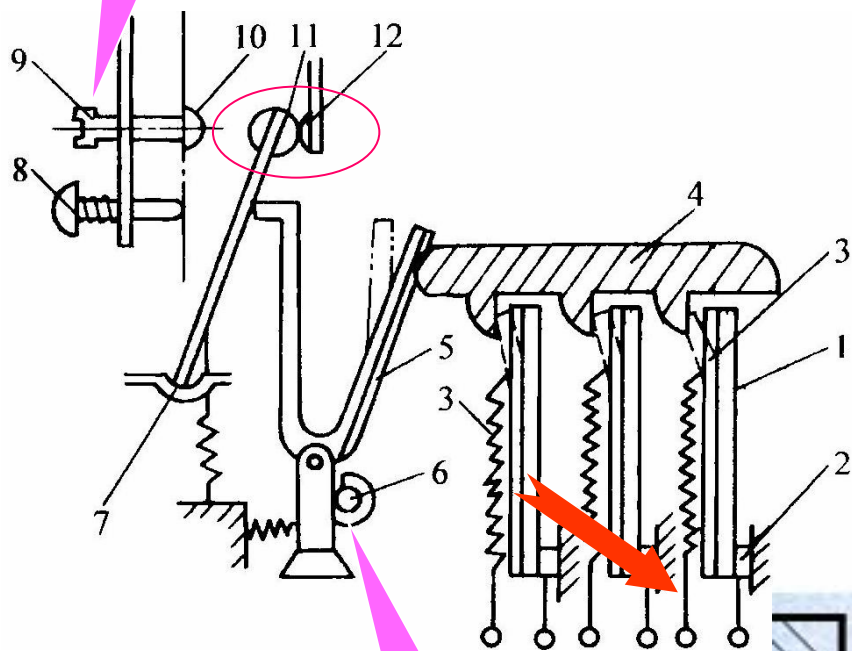
电流热
效应

热元件 { 双金属片
发热元件



双金属片(感测元件)

复位螺钉



线膨胀系数小

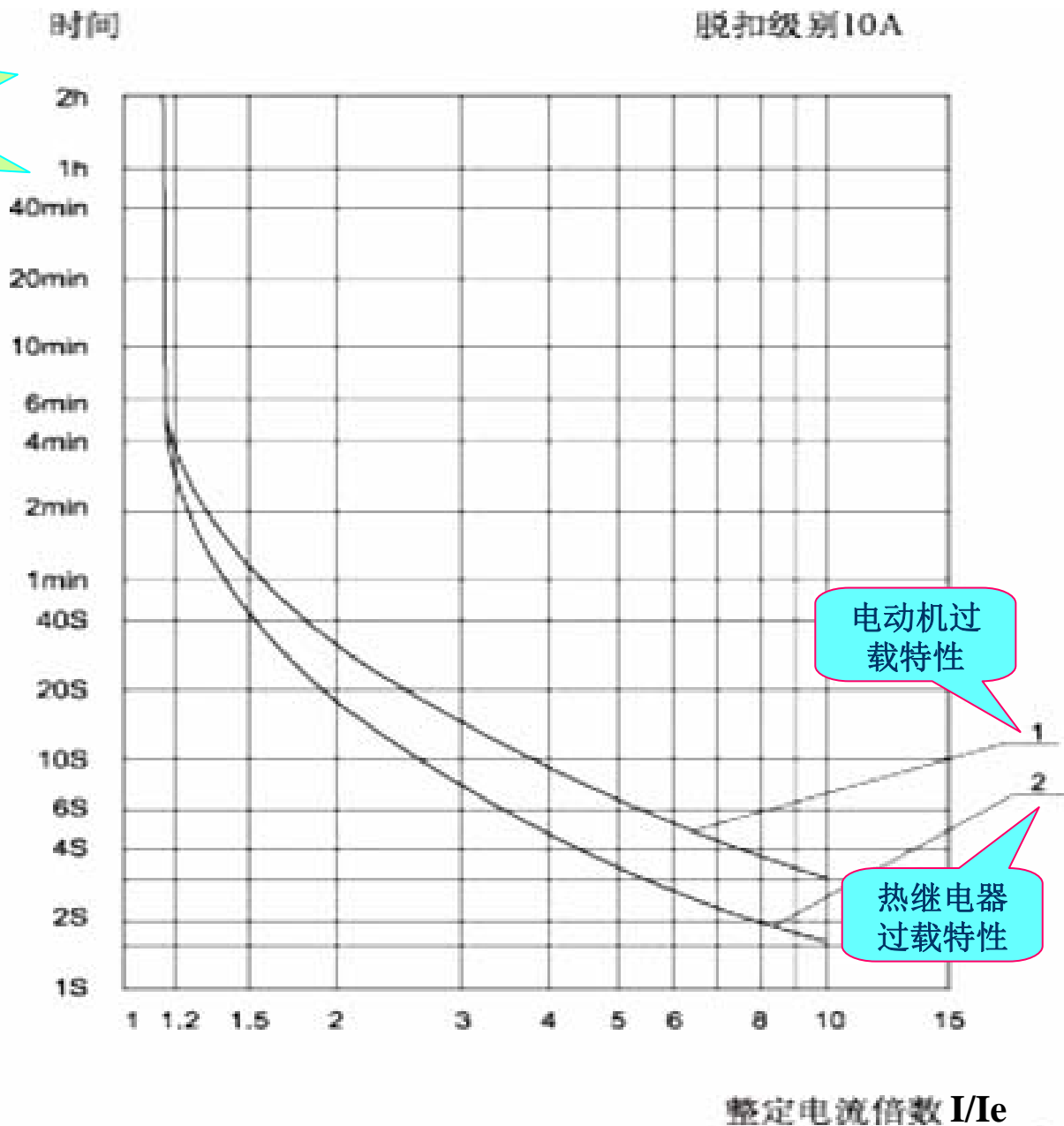


调节旋钮：调节整定电流值

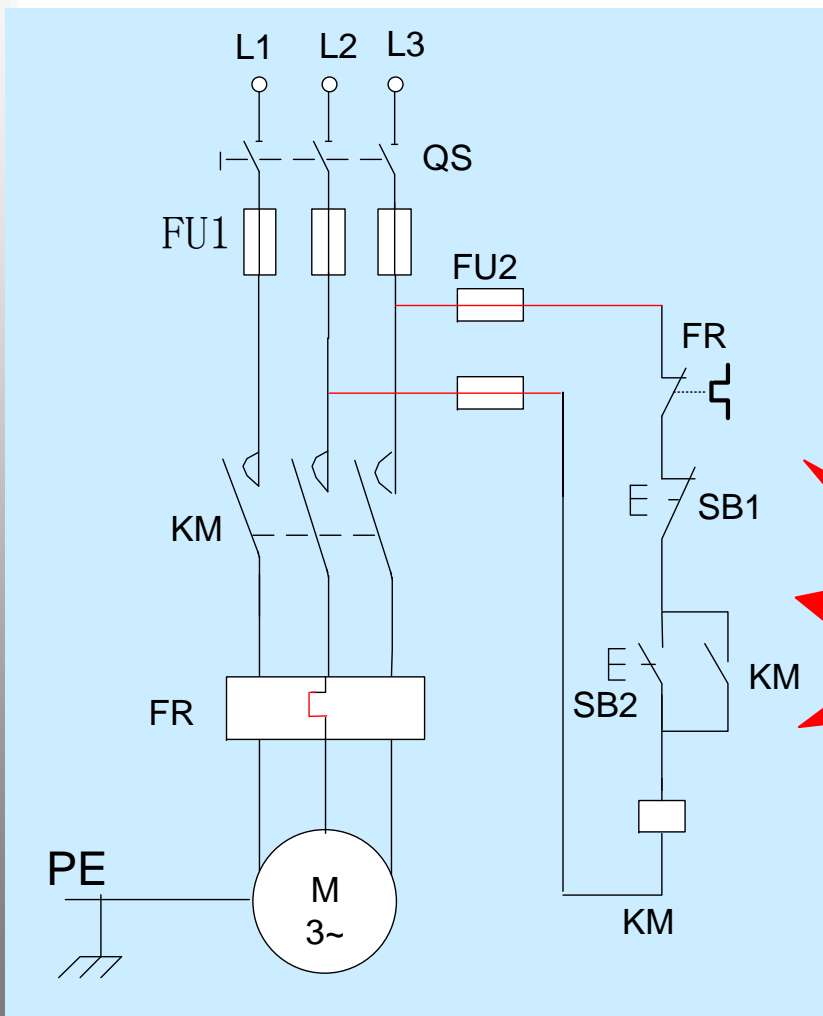
线膨胀系数大

反时限特性

允许短时过载



应用：过载保护



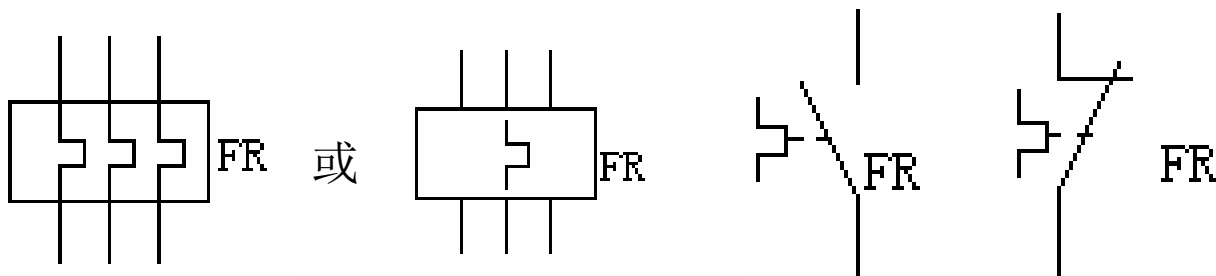
正常运行、
短时过载、
起动瞬间

热继电器触点不动作

长时间过载

热继电器常闭触头断开

2.热继电器的图形、文字符号



热元件

常开触点

常闭触点

串联在主
回路中

串联在控
制回路中

■ 文字符号: **FR**

3.热继电器的主要技术参数

- 主要技术参数有：额定电压、额定电流、相数、热元件编号、整定电流及刻度电流调节范围等。
- **热继电器的额定电流**：指可装入的热元件的最大额定电流值。每种额定电流的热继电器可装入几种不同整定电流的热元件。为了便于用户选择，某些型号中的不同整定电流的热元件是用不同编号表示的。
- **热继电器的整定电流**：指热元件能够长期通过而不致引起热继电器动作的电流值。手动调节整定电流的范围，称为刻度电流调节范围。
- **相数**：按热元件数分为两相和三相结构。三相结构中又分为带断相保护和不带断相保护装置两种。

4.热继电器的选用

- 具有**热惯性**(双金属片受热变形是需要时间的,当短路电流通过时,热继电器触点不能瞬动),故**不能作为短路保护使用**,只能用作电动机的过载保护。
- 热继电器的整定电流等于被保护电动机的 $(0.95 \sim 1.05)I_N$ 。
- 对于频繁正反转、起制动的电动机(如起重机电机)不宜采用热继电器来保护。

选择时确定:

- 型号
- 热继电器额定电流
- **热元件整定电流**
- 热元件整定电流的调节范围

操作频率有限

表 1-1 JR16B 系列热继电器的主要技术数据

型 号	额定电流 (A)	热 元 件 等 级	
		热元件额定电流 (A)	热元件额定电流调节范围 (A)
JR16B-20/3 JR16B-20/3D	20	0.35	0.25~0.35
		0.50	0.32~0.50
		0.72	0.45~0.72
		1.1	0.68~1.1
		1.6	1.0~1.6
		2.4	1.5~2.4
		3.5	2.2~3.5
		5.0	3.2~5.0
		7.2	4.5~7.2
		11.0	6.8~11.0
		16.0	10.0~16.0
JR16B-60/3 JR16B-60/3D	60	22.0	14.0~22.0
		32.0	20.0~32.0
		45.0	28.0~45.0
		63.0	40.0~63.0
JR16B-150/3 JR16B-150/3D	150	63.0	40.0~63.0
		85.0	53.0~85.0
		120.0	75.0~120.0
		160.0	100.0~160.0

热继电器接入电动机定子电路方式

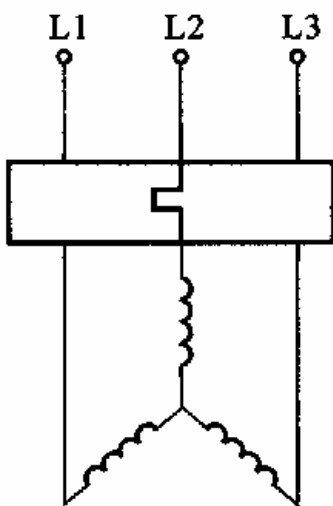
电动机定子绕组星形 (Y) 接法:

带断相保护和不带断相保护的热继电器均可接在线电路中

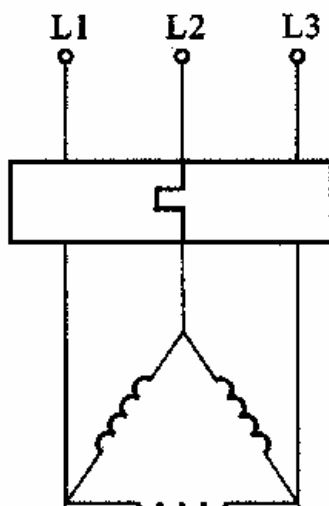
电动机定子绕组三角形接法:

*带断相保护接在线电路中

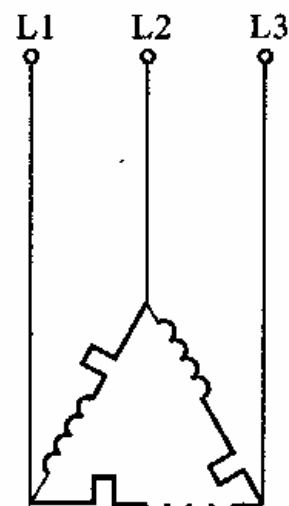
*不带断相保护热继电器的热元件必须串接在电动机每相绕组上



(a) 带断相式和不带断相式



(b) 带断相式



(c) 不带断相式

(五) 固态继电器

- 新型**无触头**继电器
- 实现**强、弱电**的良好**隔离**
- 输出信号能够**直接驱动强电电路**的执行元件
- 四端器件，有两个输入端，两个为输出端，中间采用光电器件。以实现输入与输出之间的电气隔离。

固态继电器分类

■ 以负载电源类型分类

- 直流型固态继电器
- 交流型固态继电器

以功率晶体管
作为开关元件

以晶闸管作为
开关元件

■ 以输入输出之间的隔离形式分类

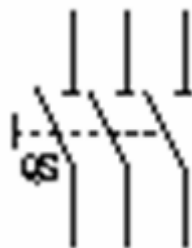
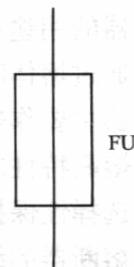
- 光耦合隔离
- 磁隔离型

■ 以控制触发的信号分类

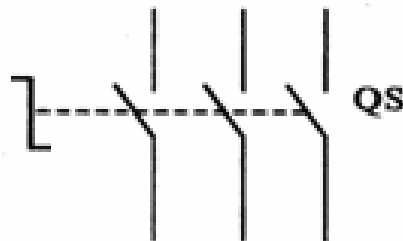
- 过零型和非过零型
- 有源触发型和无源触发型

总结

- **熔断器：**短路保护、过载保护
- **隔离器：**隔离电源、不频繁地接通和分断电路



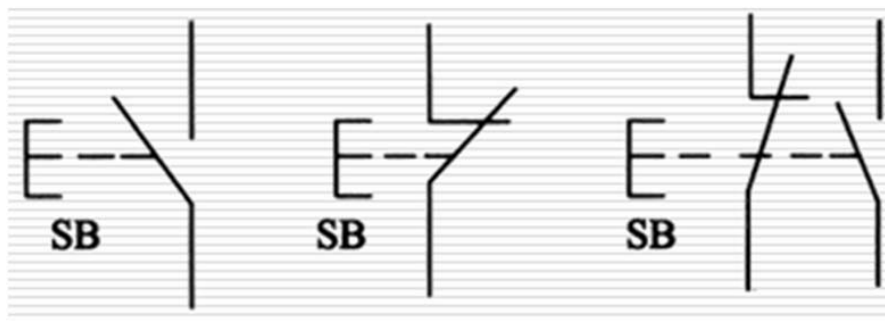
三极单投刀开关



三极组合开关

主令电器

1. **按钮：**短时接通或分断小电流电路

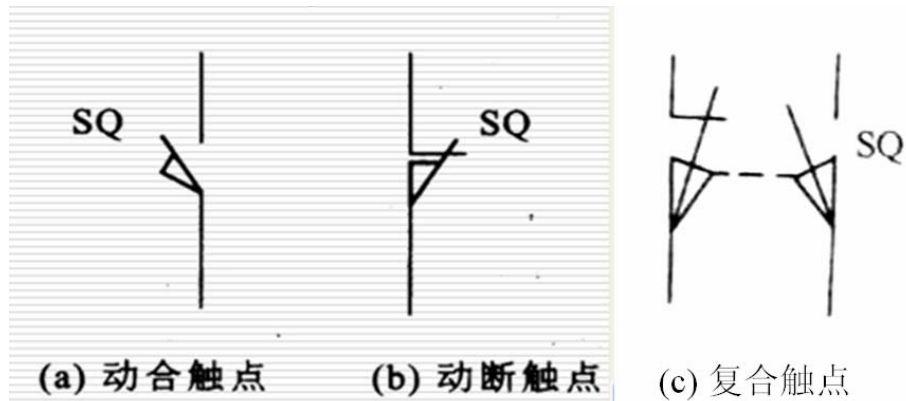


常开按钮 常闭按钮 复合按钮

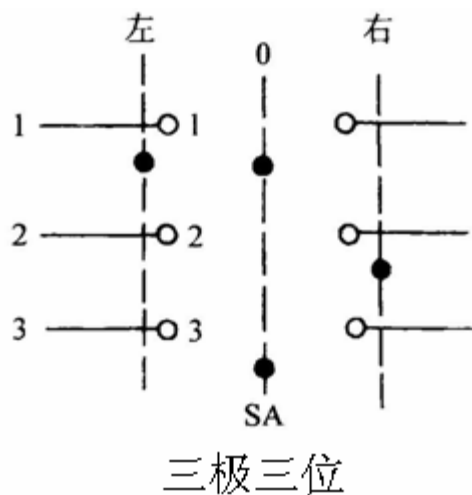
总结

主令电器

2. 行程开关：检测被测物是否达到某一位置

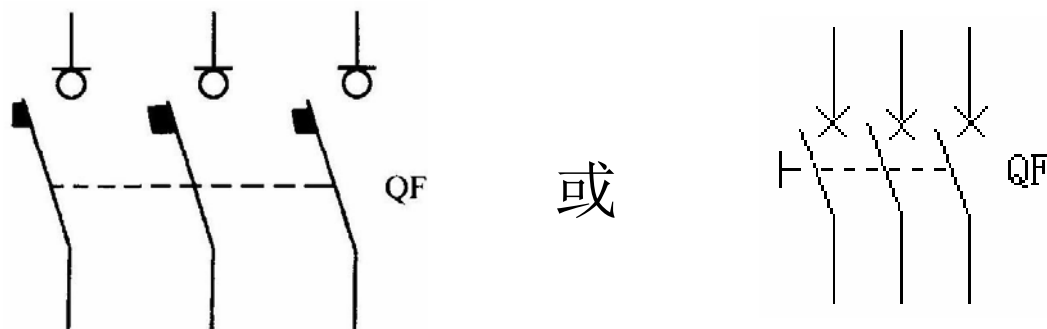


3. 万能转换开关和主令控制器：多档式、多回路控制

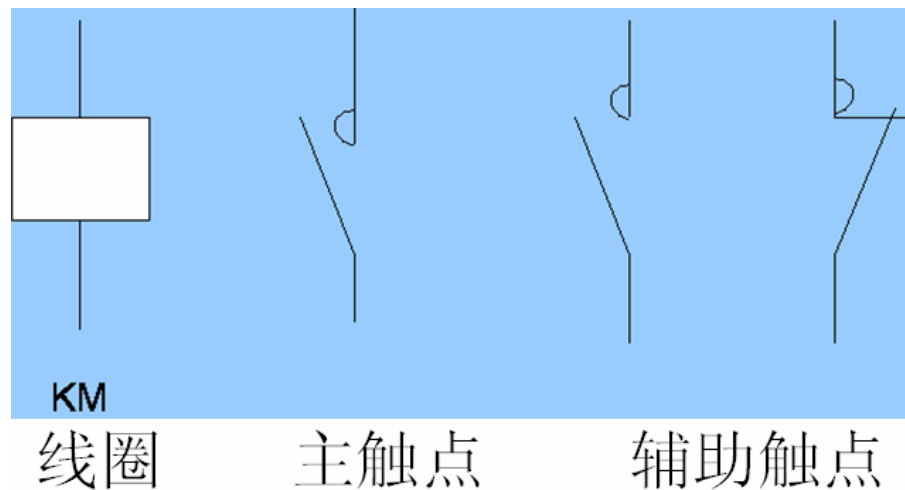


总结

- **断路器：**不频繁地接通和分断正常工作电流、过载保护、短路保护、欠电压保护



- **接触器：**频繁地接通和断开主回路



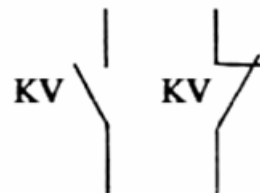
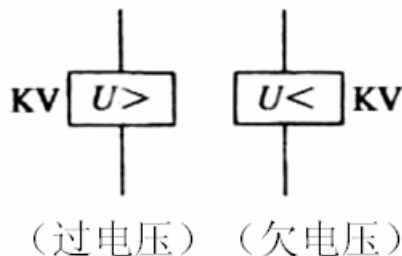
总结

继电器

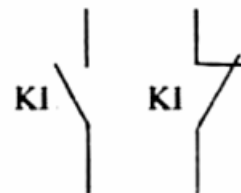
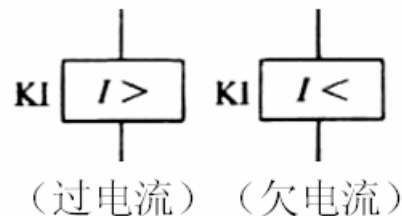
(1) 电磁继电器

1. 电压继电器：电压保护
2. 电流继电器：电流保护
3. 中间继电器：传递中间信号，放大触点容量或者增加触点的数量或种类

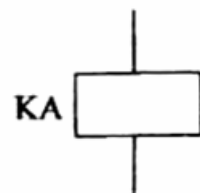
电压继电器



电流继电器



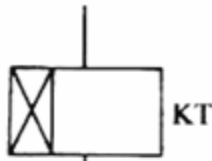
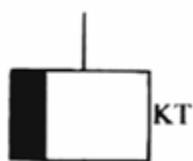
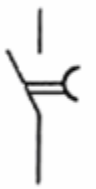


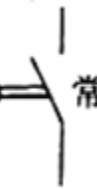


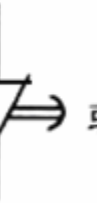


中间继电器



总结

继电器

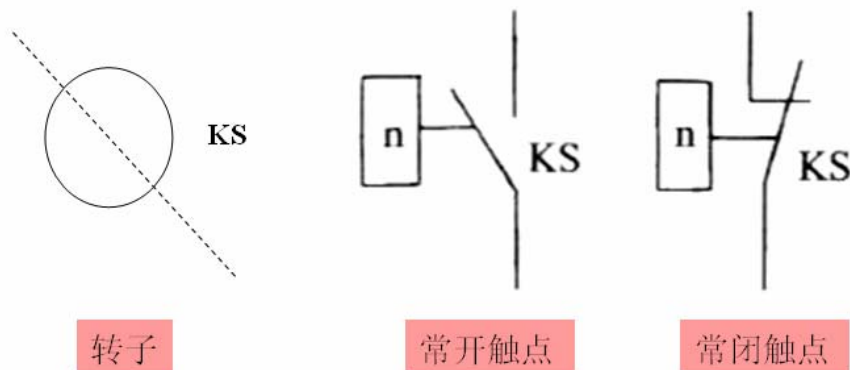
(2) 时间继电器：时间控制

	通电延时型	断电延时型
线圈		
延时触点	 或  常开触头	 或  常开触头
	 或  常闭触头	 或  常闭触头
瞬时触点		

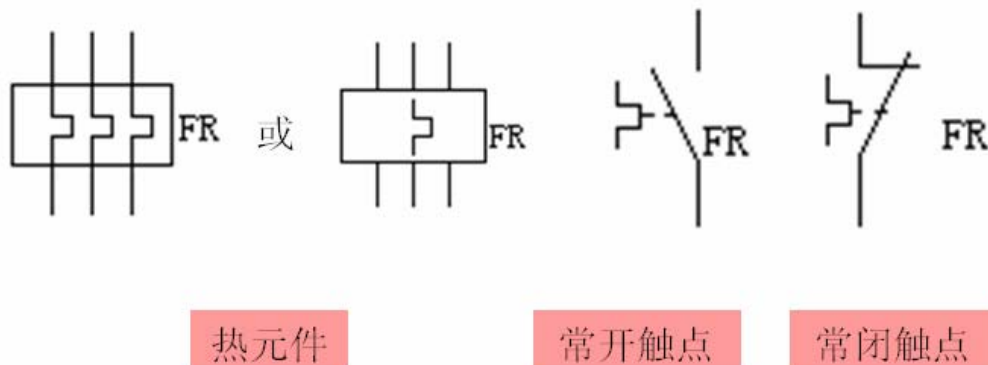
总结

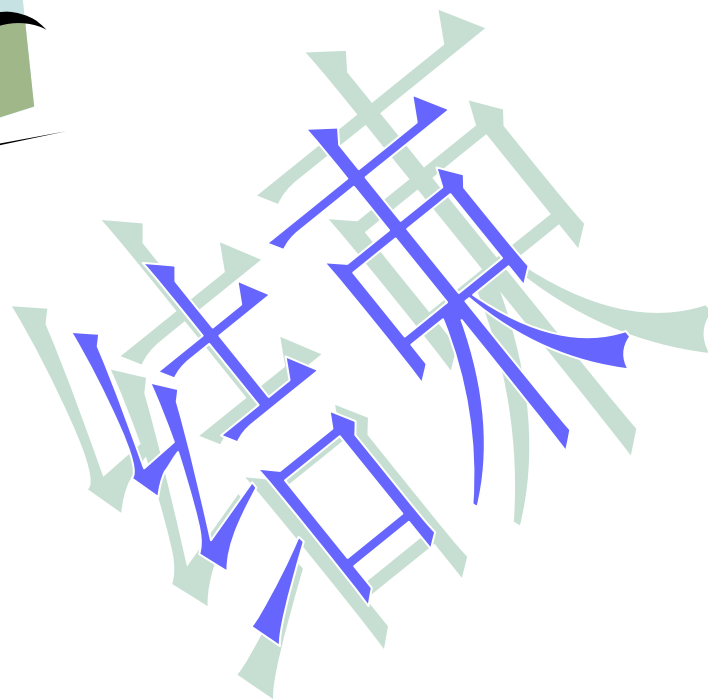
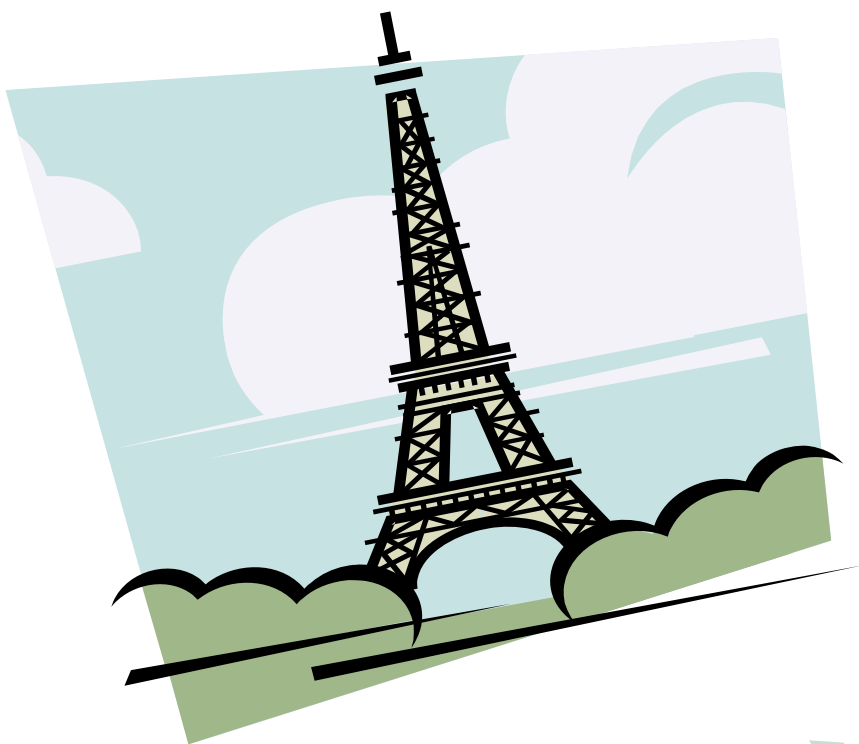
继电器

(3) 速度继电器：速度控制



(4) 热继电器：过载保护、断相保护







第二章 电气线路的基本控制原则和基本控制环节

❁ 第一节 电气控制系统图的类型及有关标准

❁ 第二节 三相笼型异步电动机的全压启动和正反转控制

❁ 第三节 三相笼型异步电动机的减压启动控制

❁ 第四节 三相绕线转子异步电动机的启动控制

❁ 第五节 三相异步电动机的制动控制

❁ 第六节 三相笼型异步电动机的有级调速控制

❁ 第七节 直流电动机的控制

❁ 第八节 电气控制系统的保护环节

❁ 第九节 其他典型的控制电路 (增)



学习目的

- 电气控制电路的作用是实现对被控对象的控制和保护
- 电气控制电路多种多样，千差万别
- 任何复杂的电器控制电路都是由**基本控制电路**按照一定的**控制规律**和逻辑规则有机地**组合**而成的



学习内容

- 了解电气制图国家标准的有关内容
- 掌握基本控制电路
- 掌握组成电气控制电路的基本控制规律
- 掌握电动机控制的保护环节



学习要求

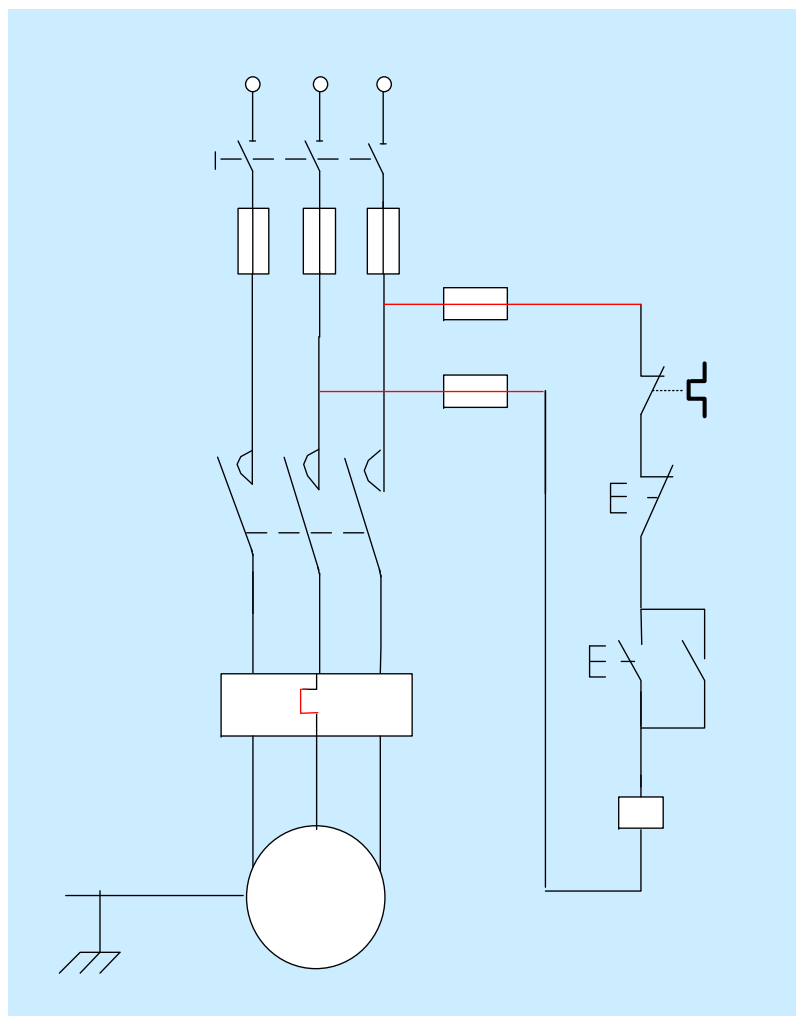
- 从实际应用角度出发
- 以方法论为手段进行学习
- 掌握电路的工作原理和电路结构



§ 2.1 电气控制系统图的类型及有关标准

一、电气控制系统图

- 将电器元件及其联接用图形表达出来的图称**电气控制系统图**
- 用统一的**图形符号**及**文字符号**绘制
- **接线端子**标记符合**国家标准**





常用的电气制图国家标准

1. GB/T 4728-1996~2000 《电气简图用图形符号》

---图形符号国家标准

2. GB/T 7159-1987 《电气技术中的文字符号制定通则》

---文字符号国家标准

3. GB4026-1992 《电器设备接线端子和特定导线线端的识别及应用字母数字系统的通则》

---接线端子标记国家标准

4. GB6988-1993~2002 《电气制图》

---电气控制系统图绘制国家标准



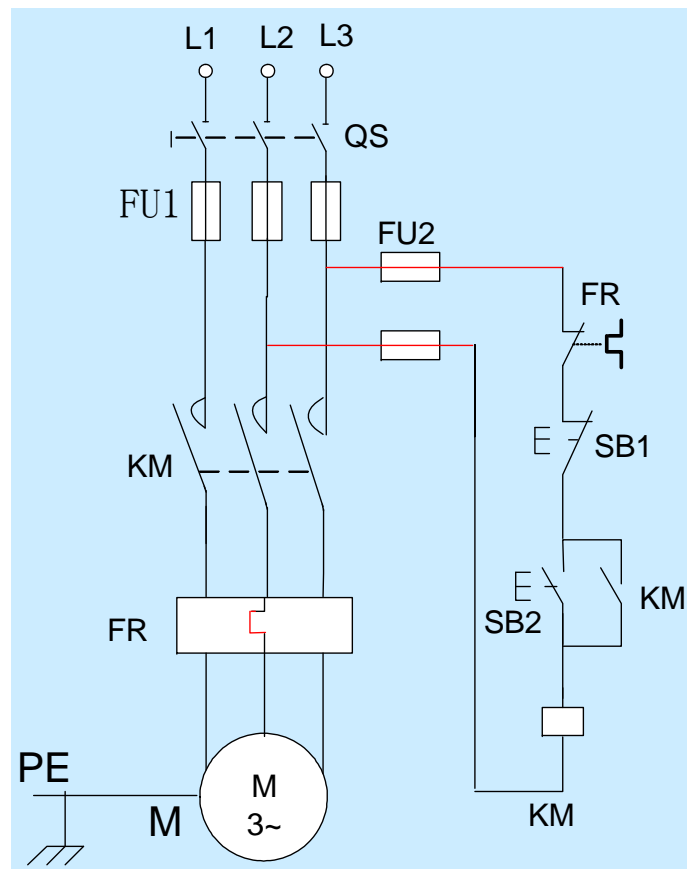
电气控制系统图

电气控制系统图

电气原理图

电器布置图

电气安装接线图





二、电气原理图

- **电气原理图**是用图形符号并按主电路和辅助电路相互分开并依据工作顺序排列、详细表示电路或成套装置的全部基本组成和连接关系，而不考虑电气元件的形状、大小和安装方式的一种简图。
- 其目的是便于详细理解作用原理。
- 为测试和寻找故障提供信息。
- 作为编制接线图的依据。

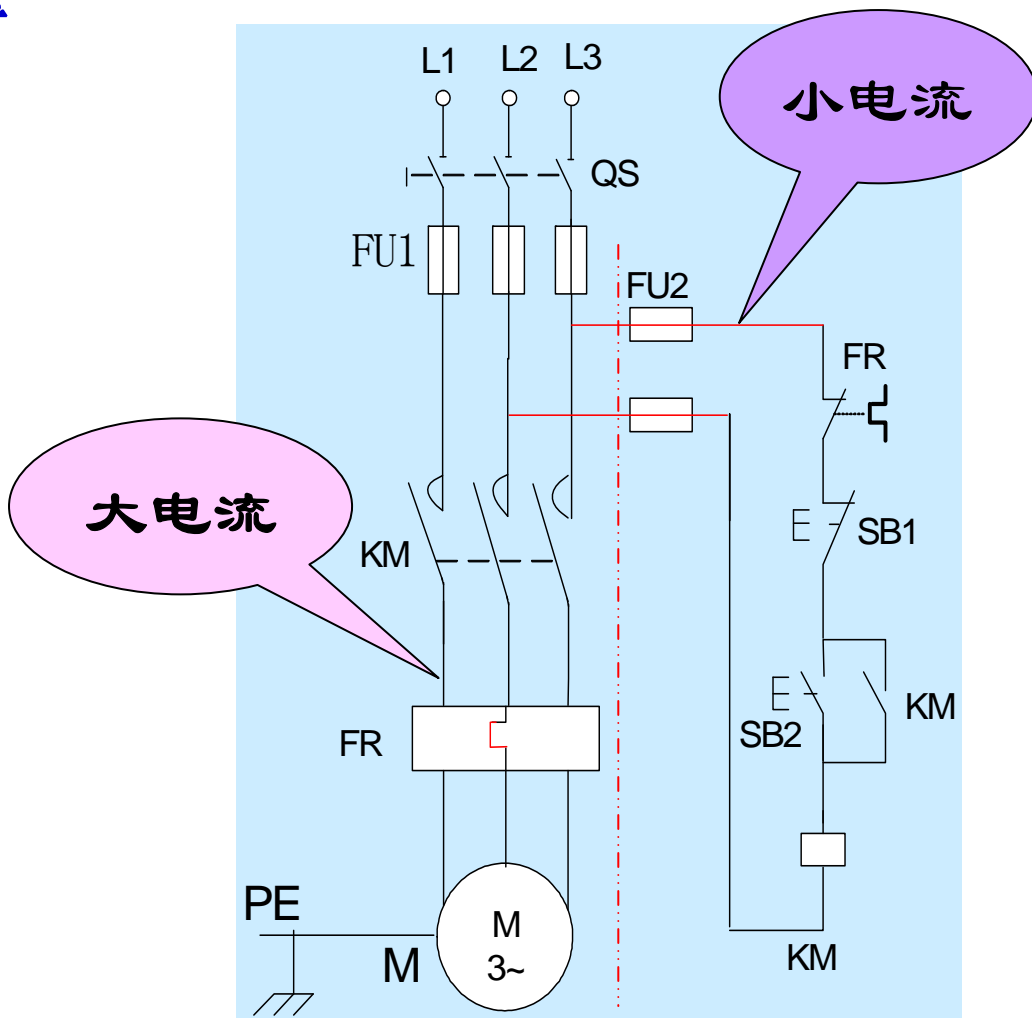


(一) 绘制电气原理图的原则

1. 电气原理图组成

根据通过电流的大小电路图可分为：

- **主电路**（用粗线绘制在图面的左侧或上方）
- **辅助电路**：包括控制、照明、信号和保护电路。（用细线绘制在图面的右侧或下方）

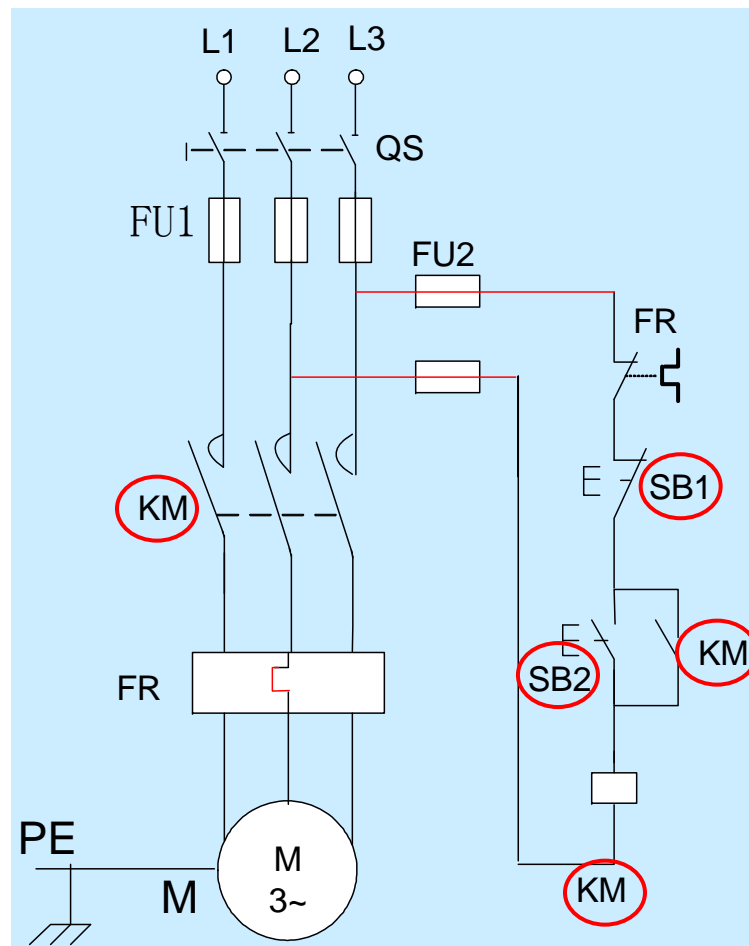




(一) 绘制电气原理图的原则

2. 电器元件的画法

- 电器元件的不同组成部分可不画在一起
- 文字符号应标注一致
- 对于几个同类电器，在表示名称的文字符号后加上一个数字序号

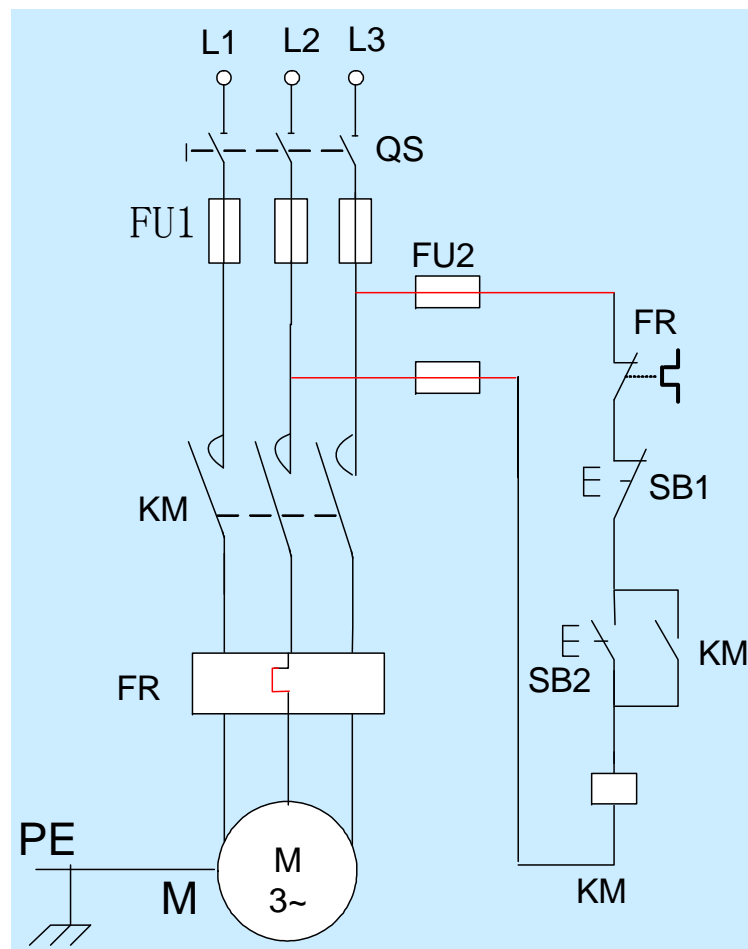




(一) 绘制电气原理图的原则

3. 电源线的画法

- 多相电源电路集中画在图纸上方，相序依次排列(L1、L2、L3)
- 控制电路和信号电路画在两条电源线之间
- 耗电元件直接与一条电源线相连
- 控制触点连接在另一条电源线和耗电元件之间

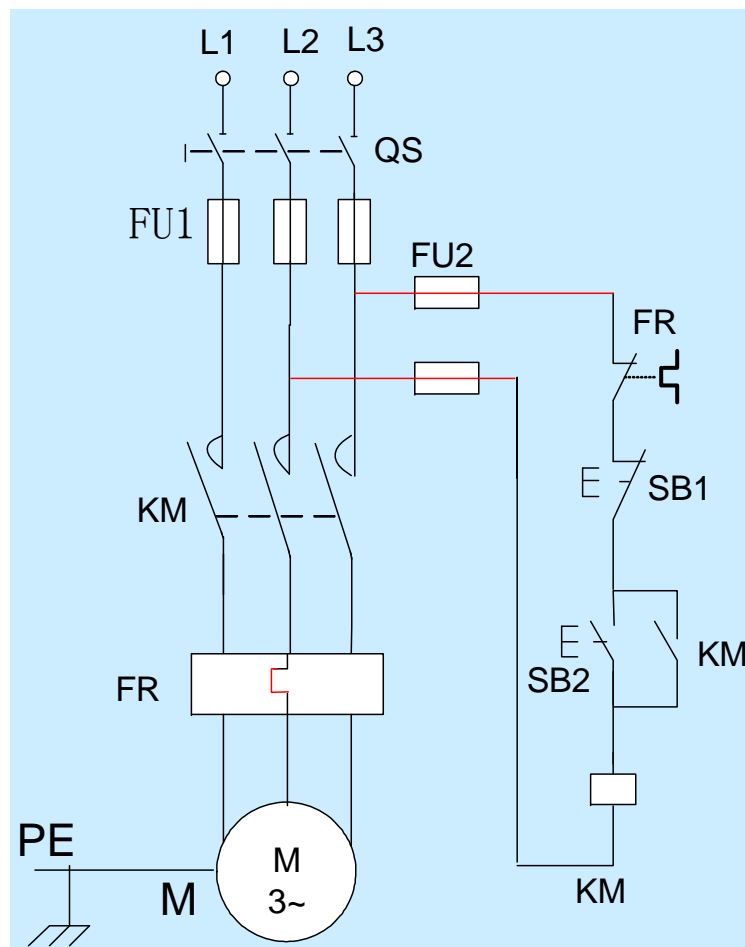




(一) 绘制电气原理图的原则

4. 电气触头的画法

- 电气图中所有电器元件触点，都按**没有通电和没有外力作用**时的状态画出
- 电气触头的图形符号垂直放置时，按“**左开右闭**”原则绘制
- 电气触头的图形符号水平放置时，按“**上闭下开**”原则绘制

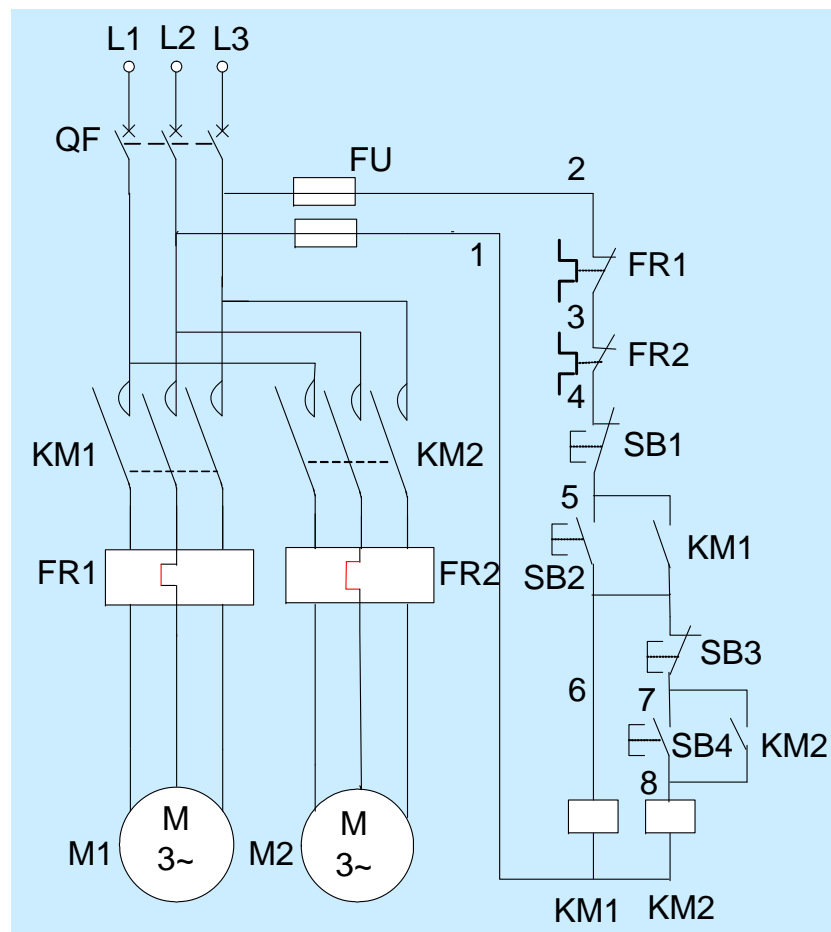




(一) 绘制电气原理图的原则

5. 电路图的布局

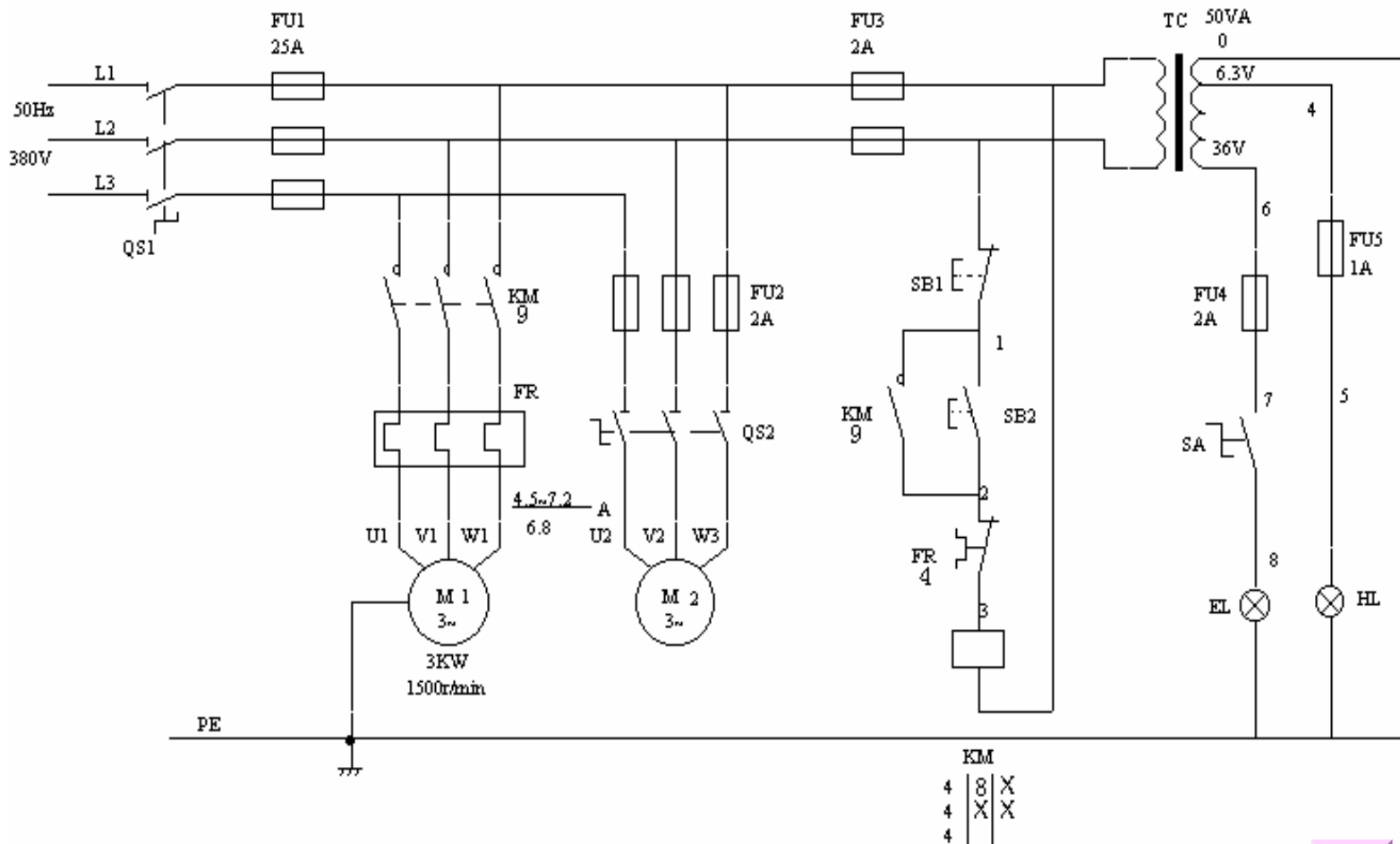
- 电路图按功能布置
- 按动作顺序或信号流的方向 **自左向右、自上而下** 依次平行排列。
- 尽可能减少线条和避免交叉线





(二) 原理图区域的划分

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
电源开关、保护		主电动机		冷却泵电动机		顺序控制电路			变压器		照明和信号指示	



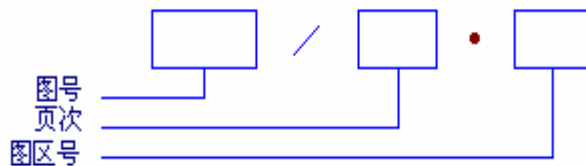
某机床的电气控制原理图



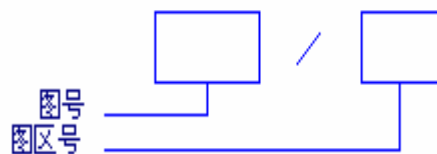


(三) 符号位置的索引

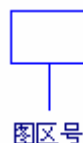
- 符号位置的索引用图号、页次和图区号的组合索引法，索引代号组如下：



- 当某一元件相关的各符号元素出现在不同图号的图纸上，而当每个图号仅有一页图纸时，索引代号可简化成：



- 当某一元件相关的各符号元素出现在只有一张图纸的不同图区时，索引代号可简化成：





(三) 付号位置的索引

■ 在原理图中，接触器、继电器的线圈与触头的从属关系用**附图**表示。在图中相应线圈的下方，给出触头的文字符号，并在其下面注明相应**触头的索引代号**，对未使用的触头用“×”表明，有时也可采用上述省去触头的表示法。

■ 对**接触器**，上述表示法各栏的含义如下：

左栏	中栏	右栏
主触头所 在图区号	辅助常开触头 所在图区号	辅助常闭触头 所在图区号

■ 对**继电器**，上述表示法各栏的含义如下：

左栏	右栏
辅助常开触头 所在图区号	辅助常闭触头 所在图区号





(四) 技术数据的标注

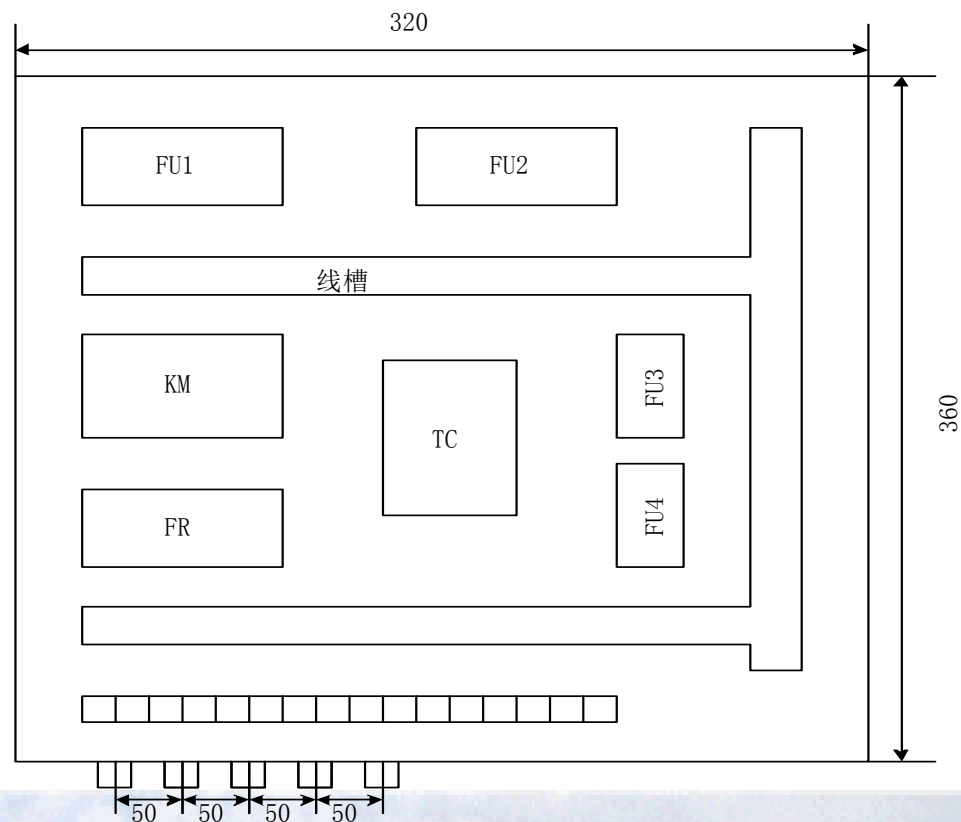
- 在电路图中，各电器元件的型号和数据，常在其文字符号下方用小号字体标注出来。





三、电器元件布置图

■ **布置图**用来表示成套装置、设备中各个电器的**实际位置**的一种图。

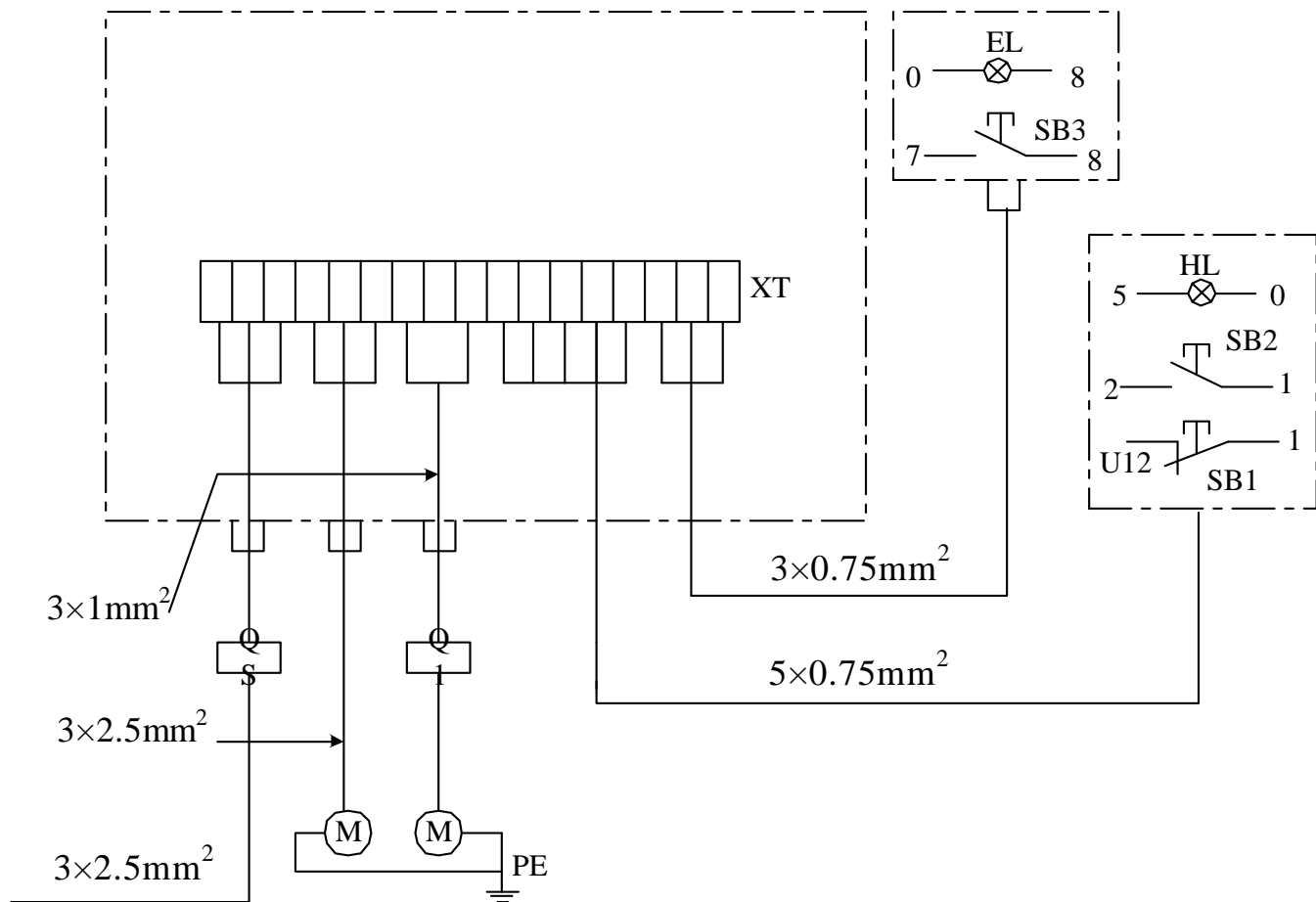


布置图



四、电气安装接线图

- **接线图**是电气装备进行施工配线、敷线和校线工作时所应依据的图样之一。它必须符合电器装备的电路图的要求，并清晰地表示出各个电器元件和装备的相对安装与敷设位置，以及它们之间的电连接关系。它是**检修和查找故障**时所需的技术文件。



接线图



全压起动和正反转控制

电气控制的目的是使电动机能按照要求进行运转，驱使机械作合乎工艺要求的运动

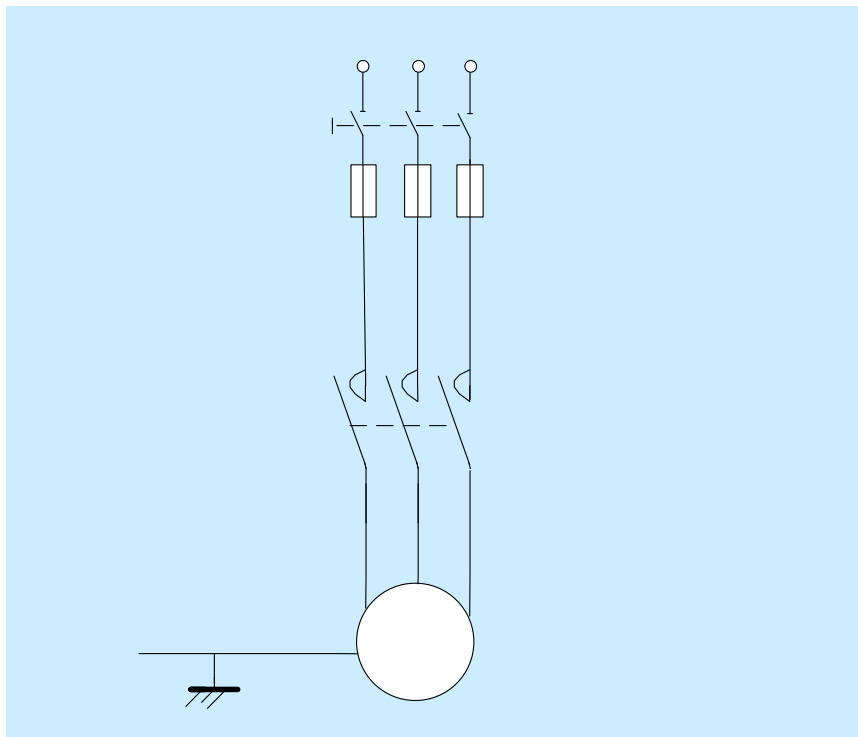


起、停控制就是最基本、最主要的控制方式



全压起动和正反转控制

全压起动： 起动时电动机的定子绕组直接接在额定电压的交流电源上，适合10KW以下电机。



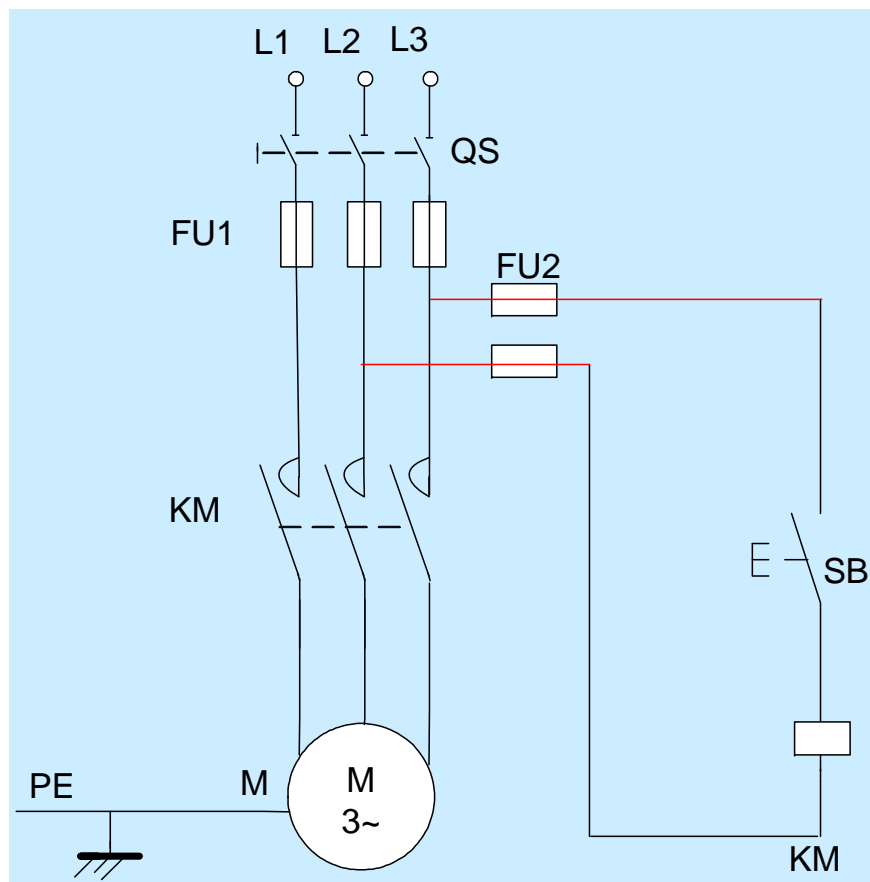
起动电流为额定
电流的4-7倍

L1 L2 L3



一、电动机单相全压起动控制电路

1. 单向点动控制电路



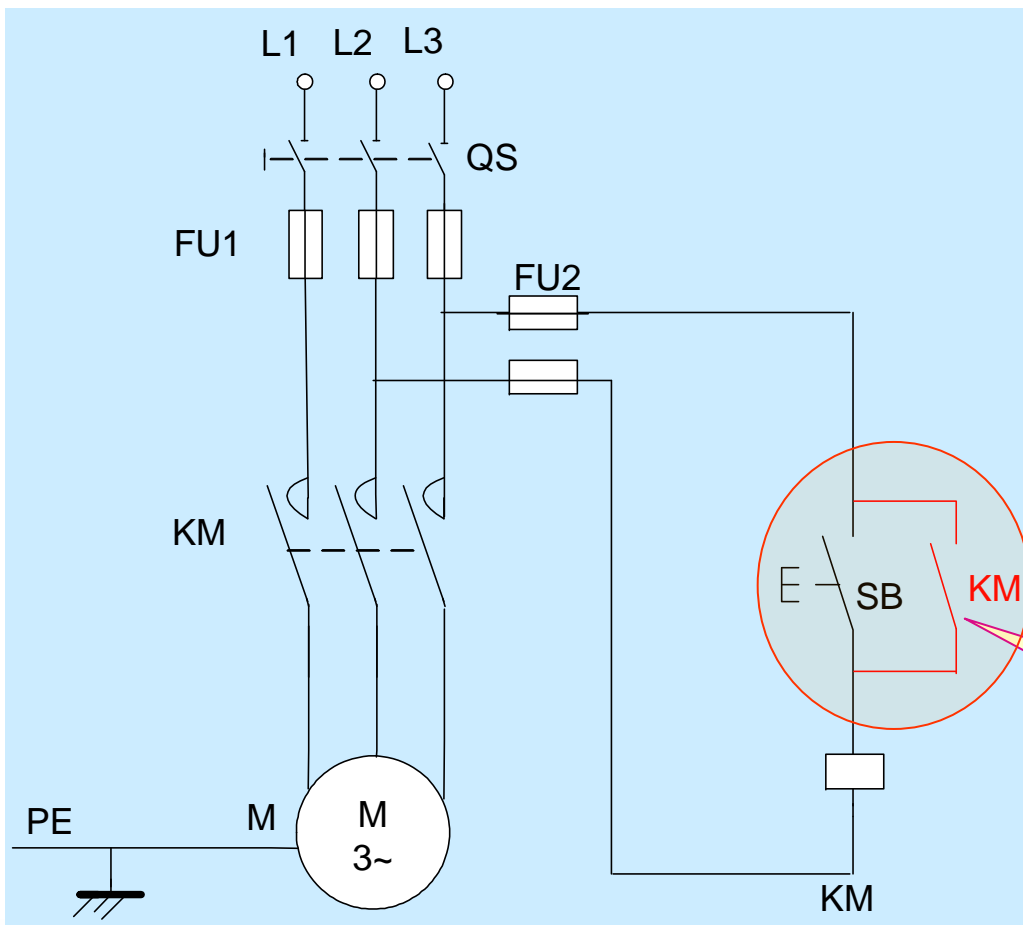
- 合上开关QS接通三相电源
- 按下SB 常开触点闭合 KM线圈得电吸合 KM常开主触点闭合 M起动运转。
- 松开SB 常开触点断开 KM线圈失电释放 KM常开主触点断开 M失电停止。
- 按钮SB兼作停止按钮。

一按（点）就动，一松（放）就停



2. 单向长动控制电路

点动 → 长动

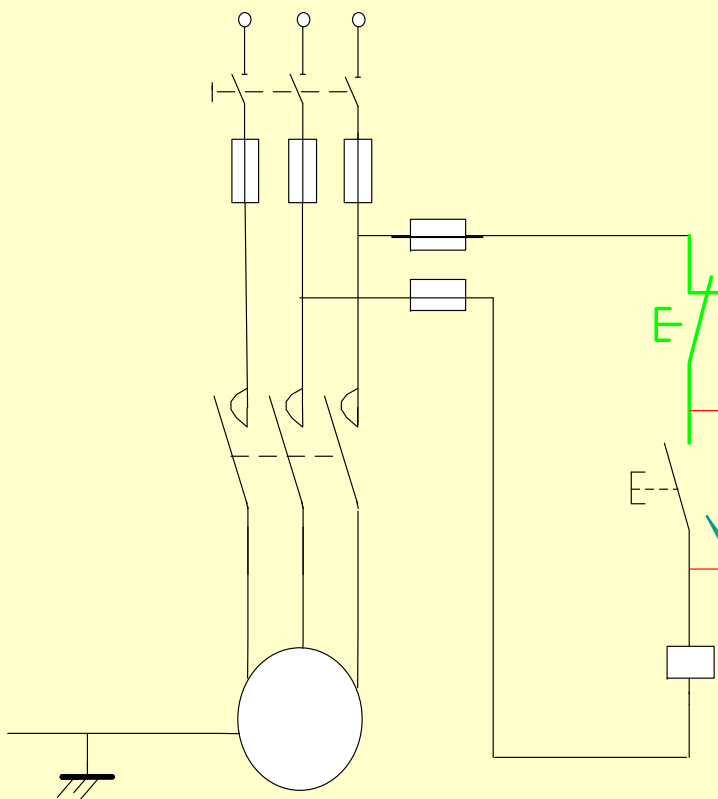


通过接触器自身的常开辅助触点而保持线圈持续通电的现象称为自锁。

自锁触点



电机如何停止



■ 按下SB2 KM线圈得电 KM的主触点闭合 M启动运转。

■ 按下SB1 KM线圈断电 L3KM的主触点断开 M停止运转。

FU1

起动按钮

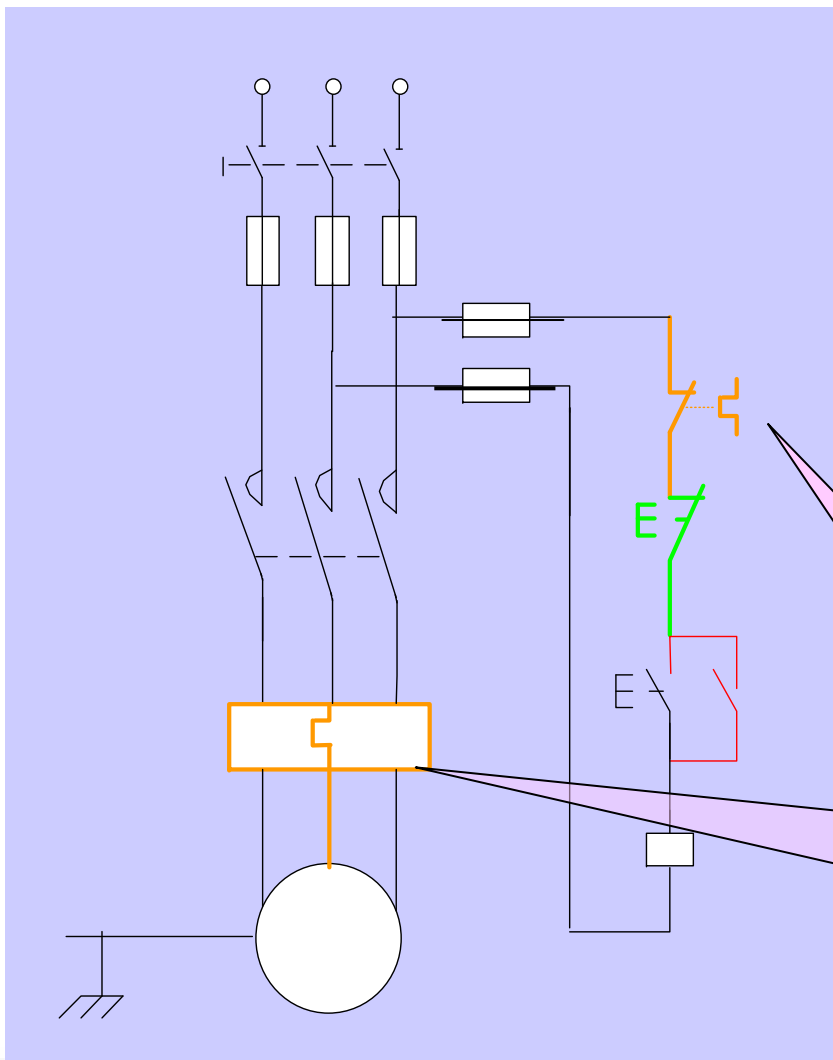
停止按钮

FU2

QS



如何实现电机的过载保护

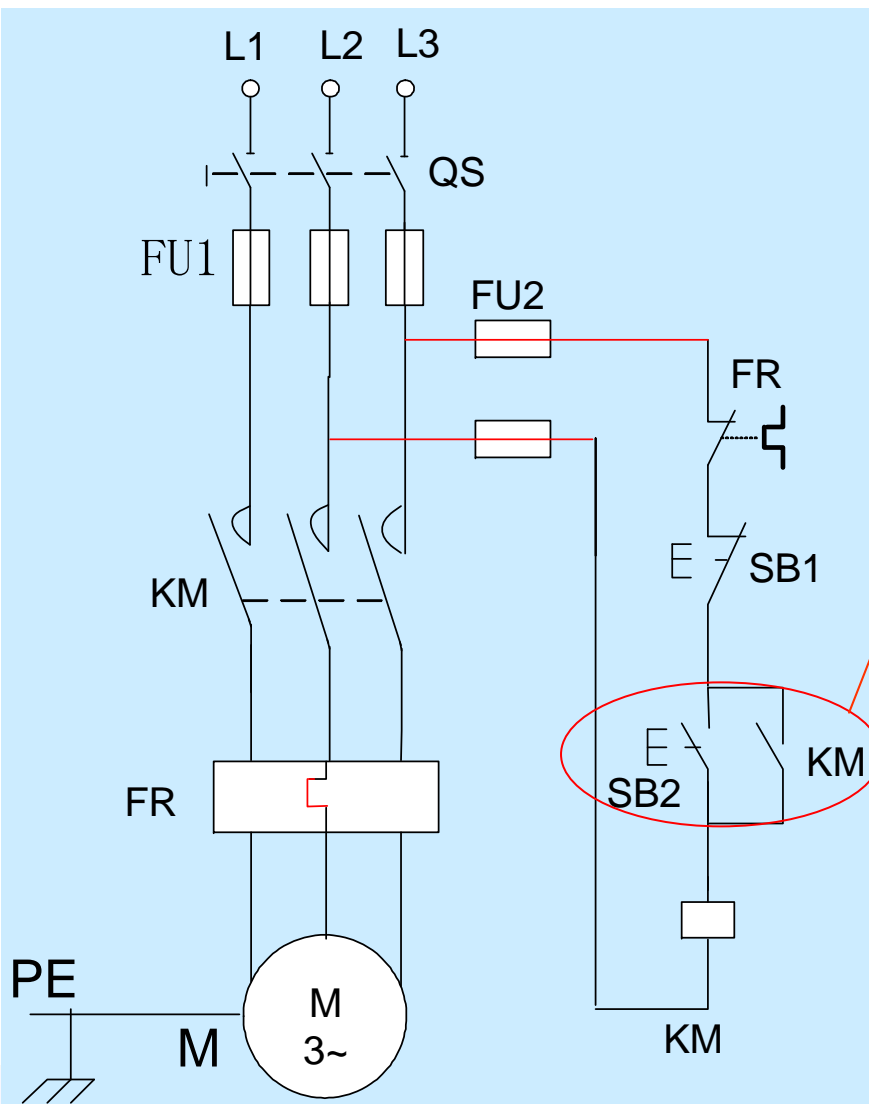


L1 L2 L3

热继电器的
常闭触点



保护环节



- 短路保护—FU1、FU2
- 过载保护—FR
- 欠压和失压保护—接触器自锁触头和自动复位按钮

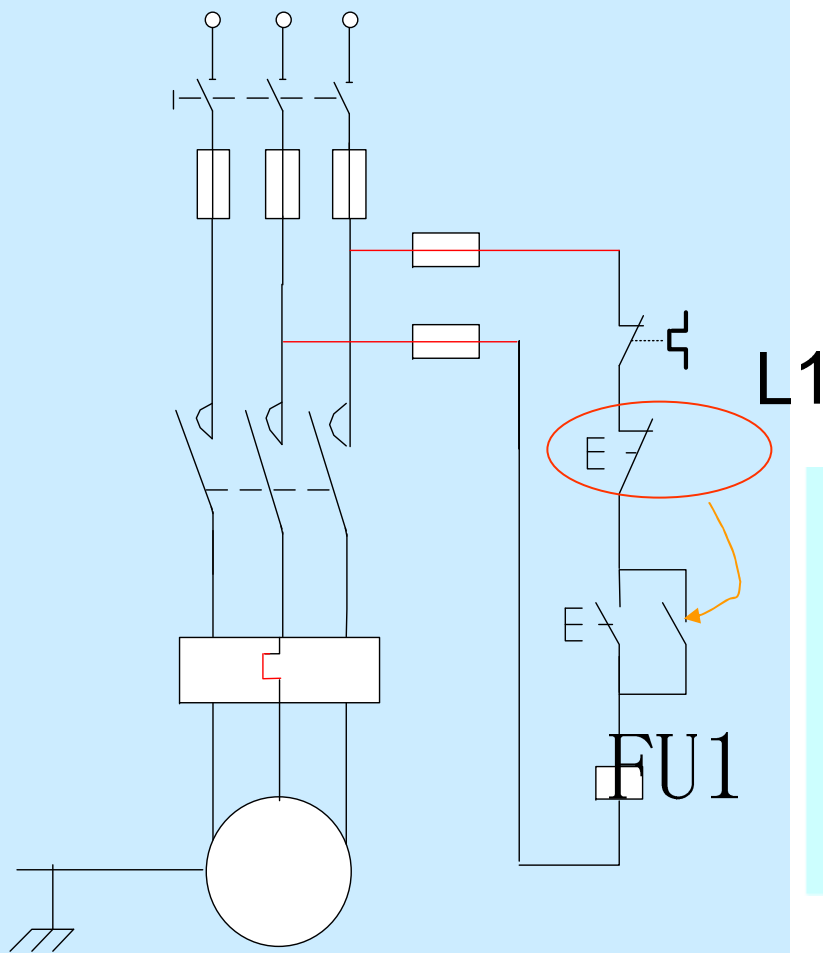
$U < 85\%U$, KM衔铁由于电磁吸力不足自行释放

失压(零压)保护:

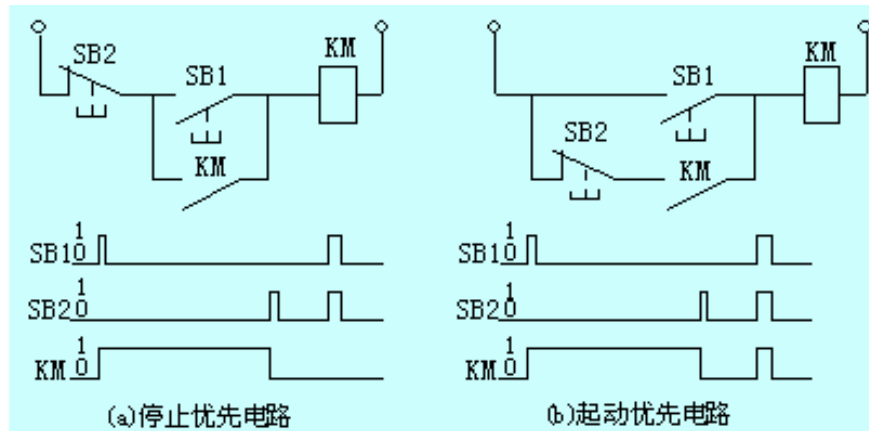
在电网断电后,为防止恢复供电时电动机突然自行起动运转造成设备和人身事故的保护。



思考

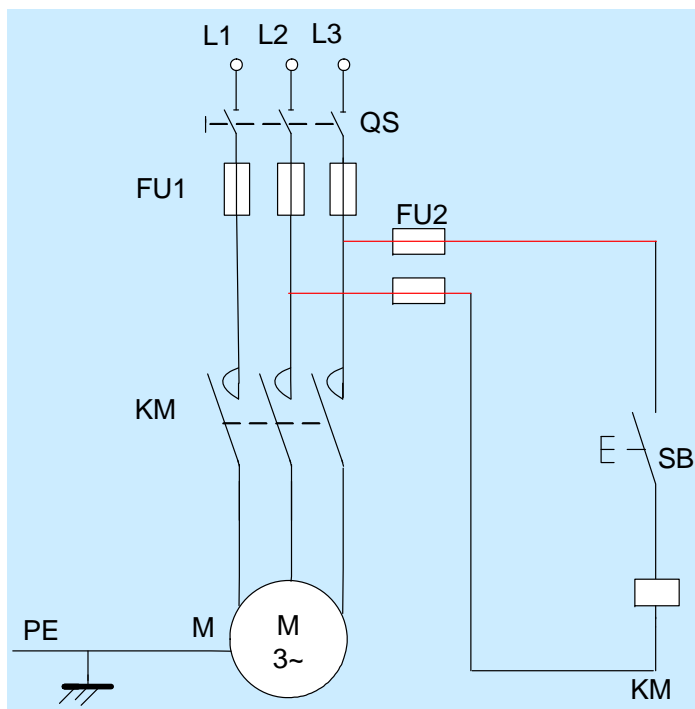


- 停止按钮串在自锁回路中能否实现起停功能？
- 该电路与单向长动控制电路的起停功能有何不同？

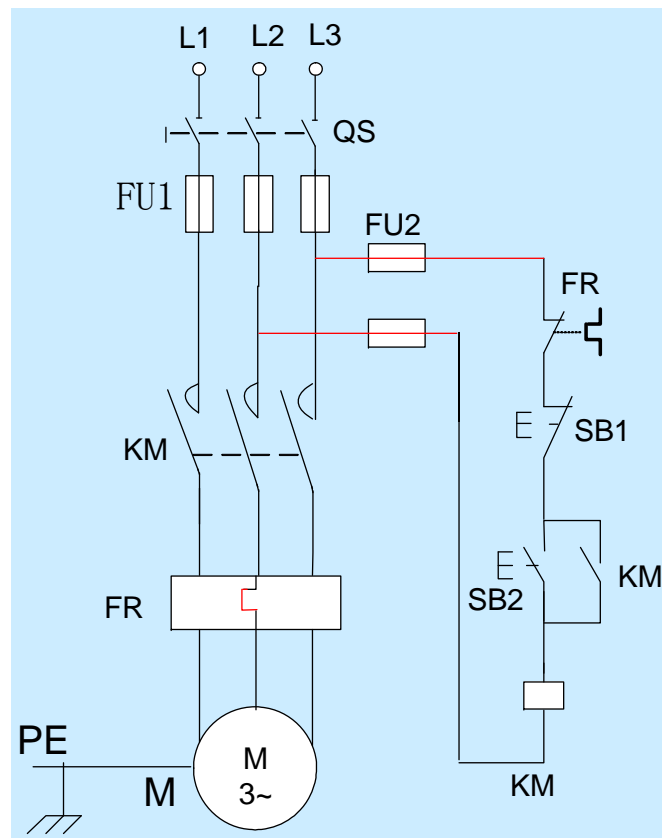




点动与长动控制电路的区别



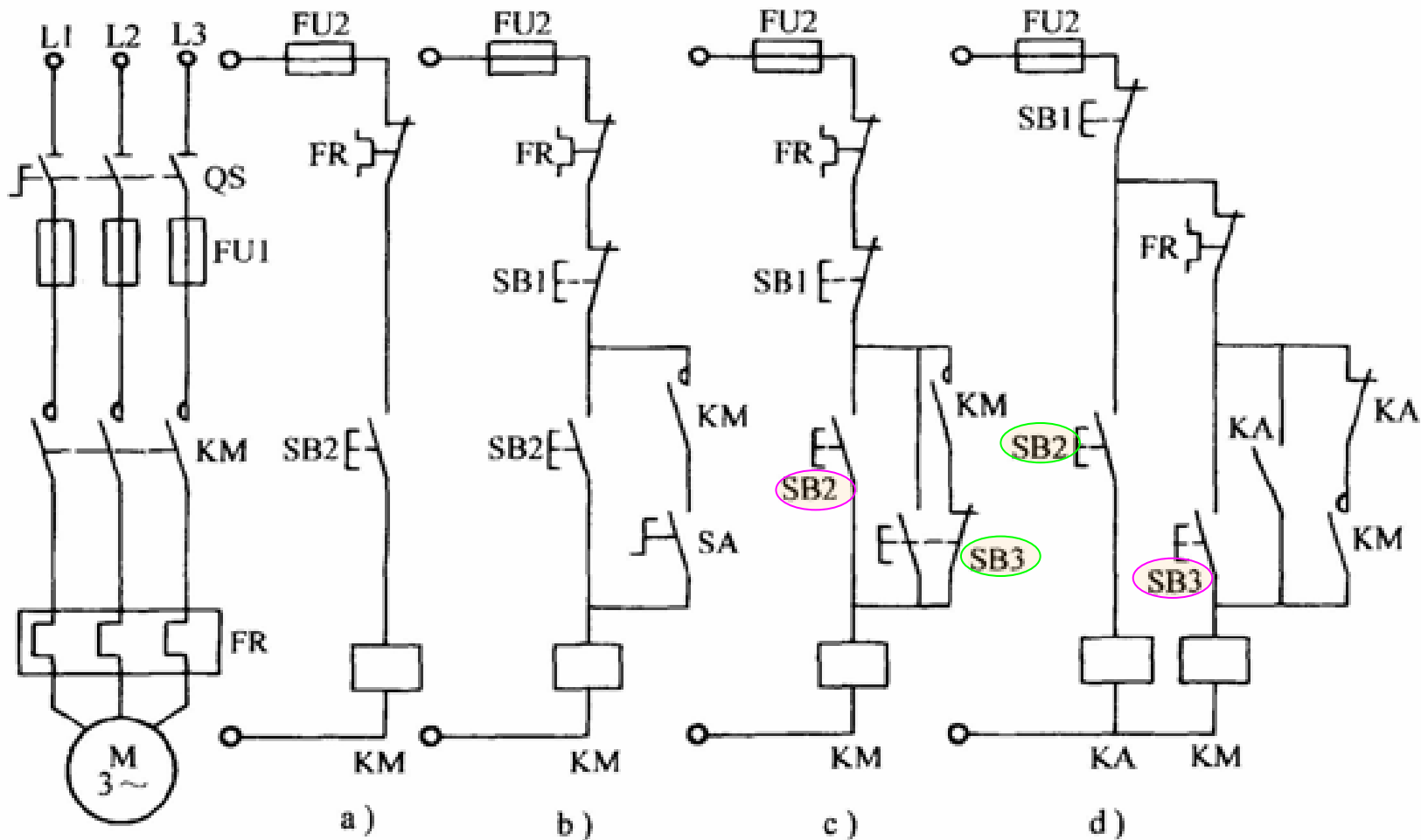
- 不设自锁触点
- 不另设停止按钮
- 不设FR



- 必设自锁触点
- 另设停止按钮
- 应设FR



3. 单向点动、长动混合控制电路

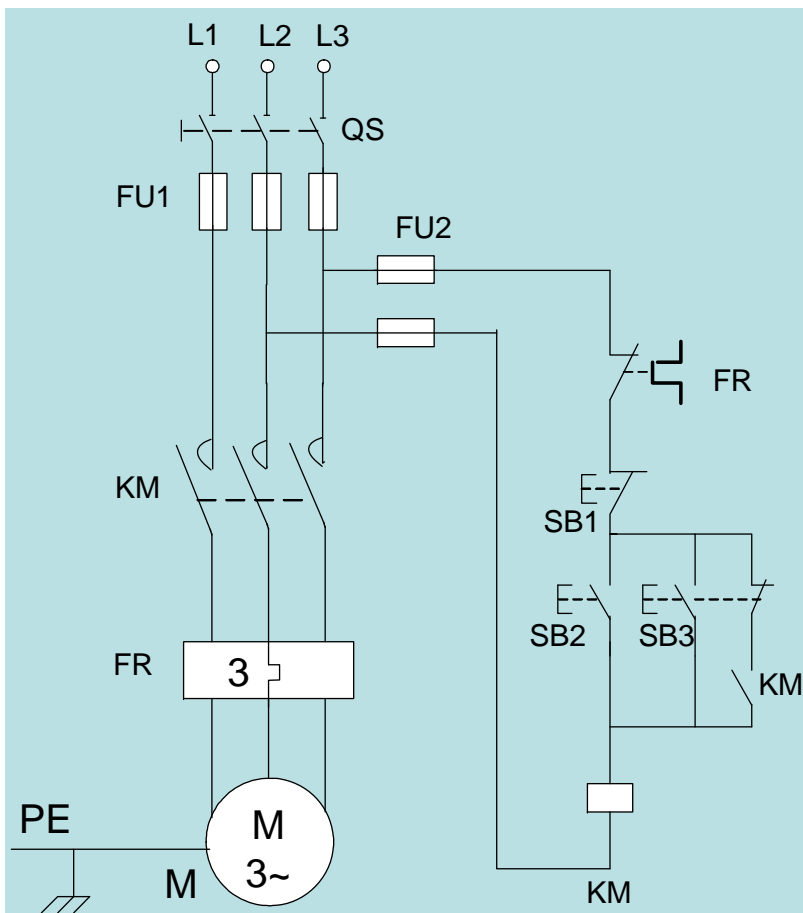


点动

点动+长动



3. 单向点动、长动混合控制电路



(1) 采用复合按钮

点动：SB3

长动：SB2 停止：SB1

连续控制：

欲起动，按SB2→线圈KM得电、自锁→主触点KM闭合→电机M起动

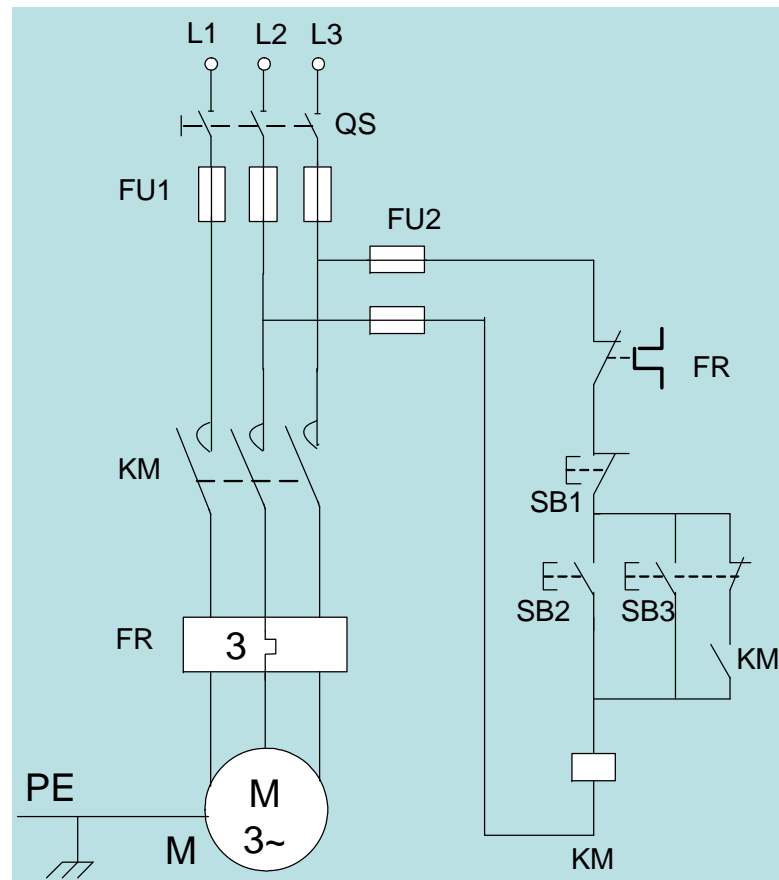
欲停止，按SB1→线圈KM断电→主触点KM断开→电机M停止转动



3. 单向点动、长动混合控制电路

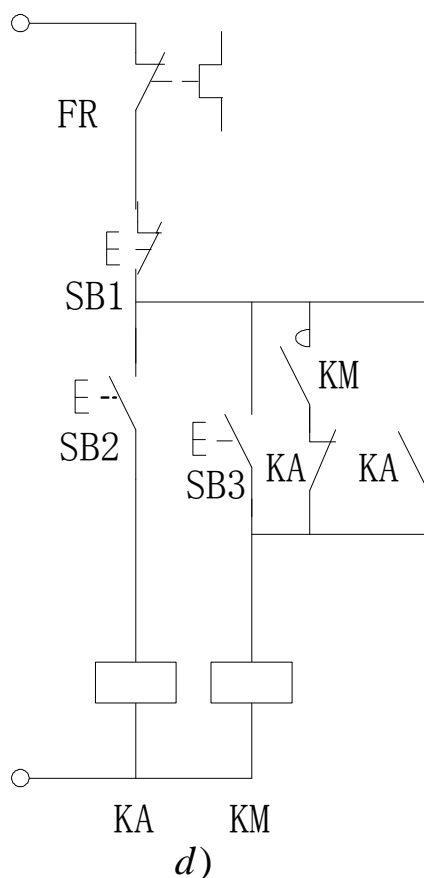
点动控制:

欲启动, 按SB3 → 线圈KM得电
 → 主触点KM闭合 → 电机M启动
 欲停止, 松SB3 → 线圈KM断电
 → 主触点KM断开 → 电机M停止
 转动





3. 单向点动、长动混合控制电路



(2) 采用中间继电器

*KA*线圈与点动按钮**串联**

- 优点：点动与长动工作相对独立，工作可靠

点动：SB2

长动：SB3 停止：SB1

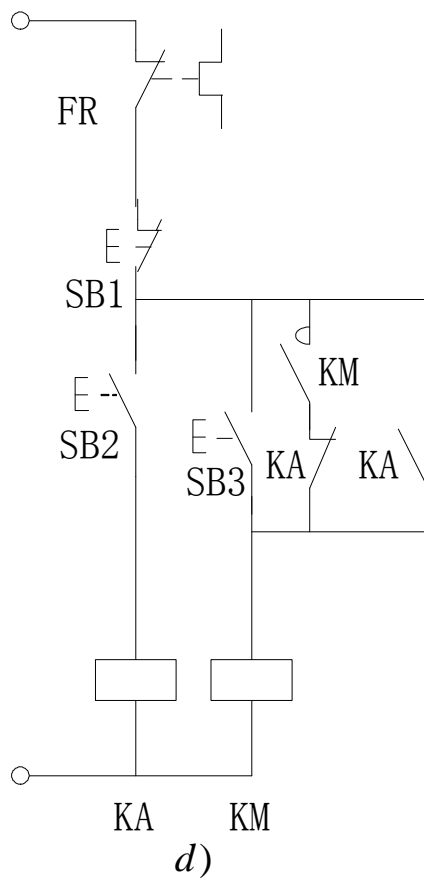
连续控制：

欲**启动**，按SB3→线圈KM得电、自锁→主触点KM闭合→电机M启动。

欲**停止**，按SB1→线圈KM断电→主触点KM断开→电机M停止转动。



3. 单向点动、长动混合控制电路



点动控制：

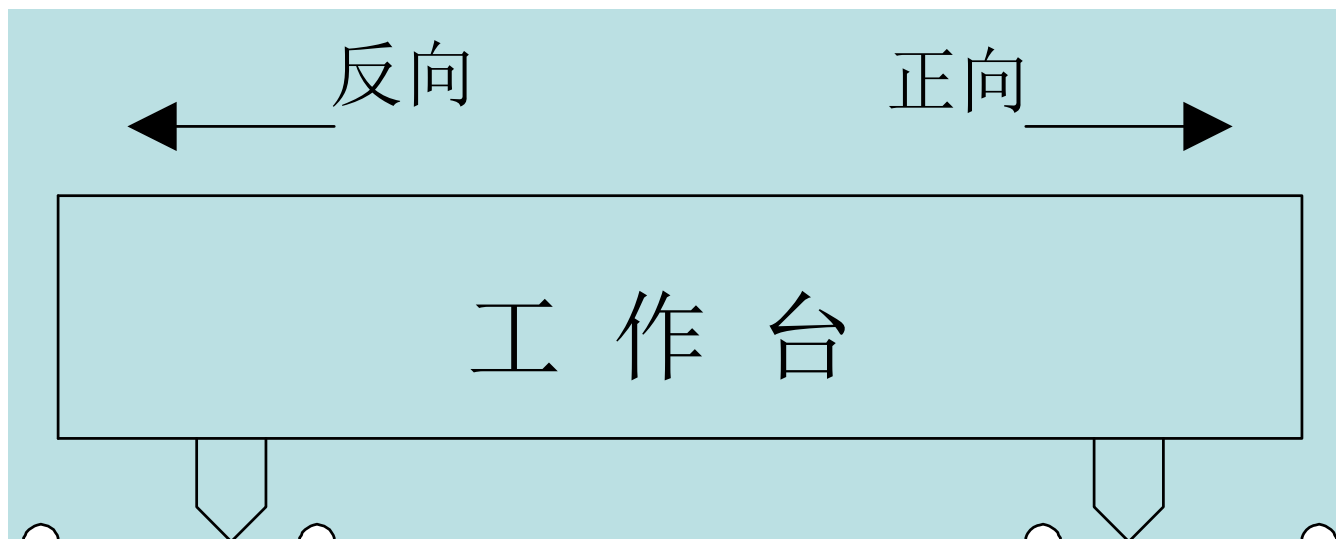
欲起动，按SB2→线圈KA得电
→KA常闭触点先断开以切断KM
自锁回路，KA常开触点后闭合
→线圈KM得电→主触点KM闭合
→电机M起动

欲停止，松SB2→线圈KA断电
→KA常开触点先复位→线圈KM
断电→主触点KM断开→电机M
停止转动



二、电动机正反转控制电路

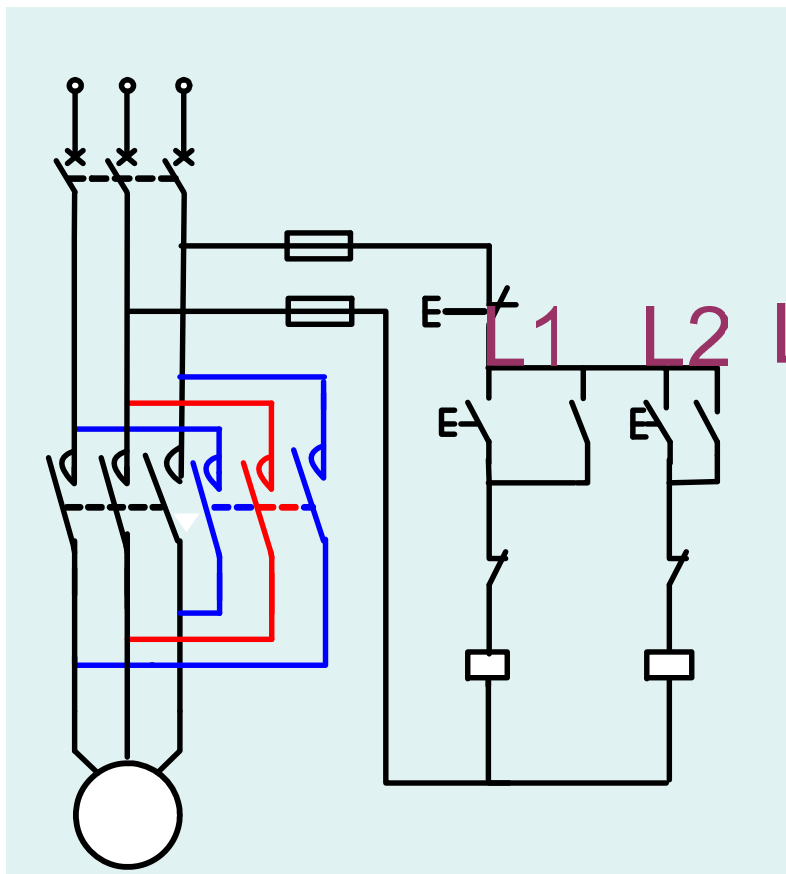
机械部件作正、反两个方向的运动，均可通过控制电动机的正、反转来实现。





电动机旋转方向

电源的相序



L1、L2、L3 --- 三相交流电源相序
 U、V、W --- 三相电动机的相序

三相交流电动机:

改变电动机旋转方向



改变旋转磁场方向



改变电源的相序

FU



由KM1、KM2主触点分
别送入正/负相序电源

SB1

■ 将三相电源线中任意两
相对调即可改变电机转向

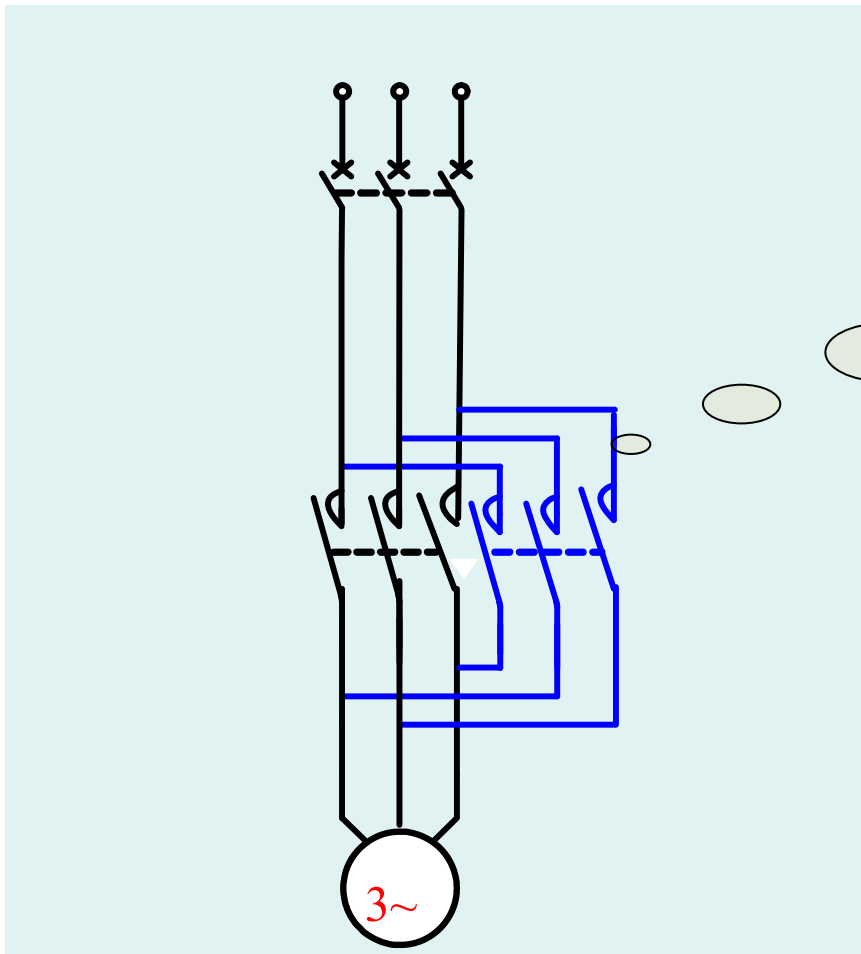
KM1

SB2

SB



思考



主电路中，电
源相序这样调
换，电机能反
向吗？

L1 L2 L3

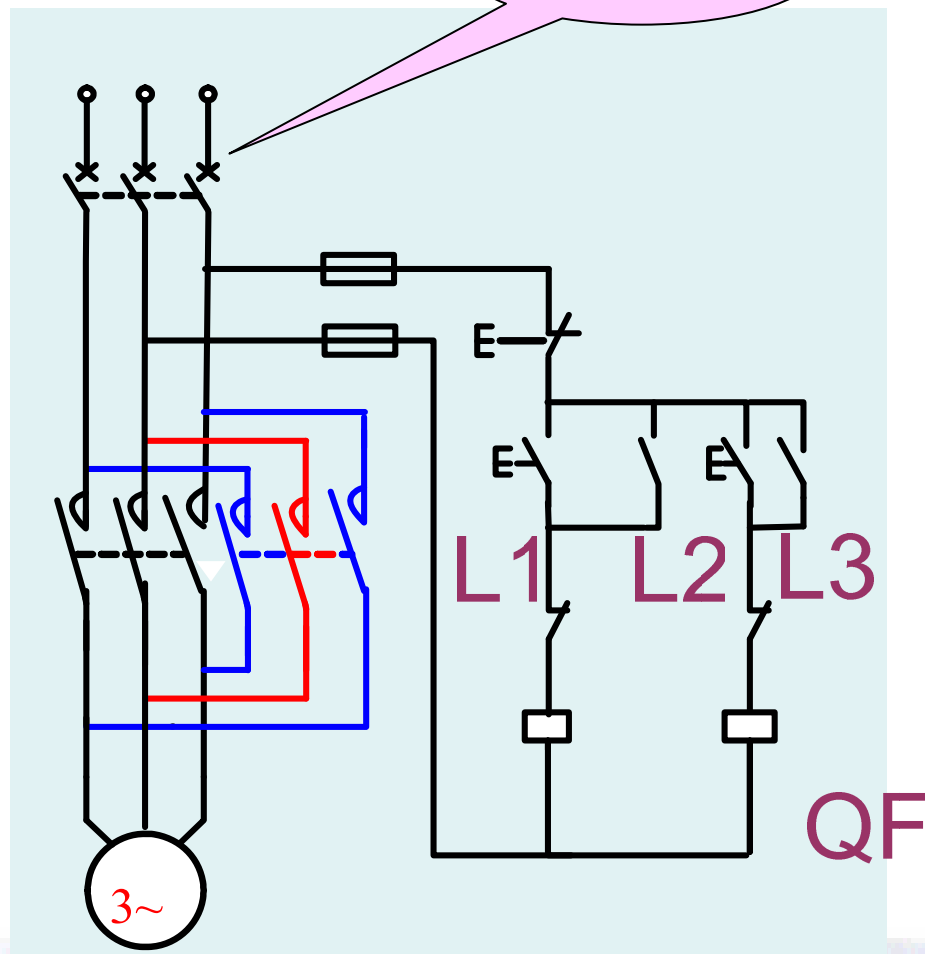
QF



1. 正—停—反控制电路

主电路:

断路器



断路器QF作为电源开关，它具有短路保护、过载保护、失压保护的功能。

注意：

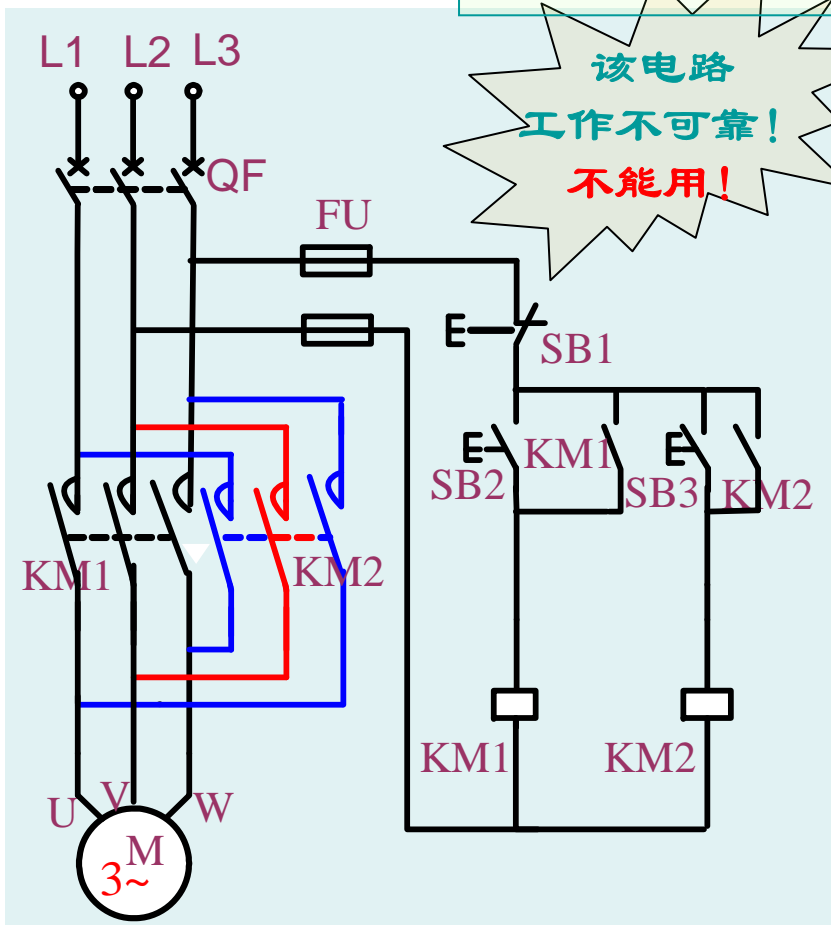
为避免电源相间短路，KM1和KM2主触点不可同时闭合

FU



控制电路

该控制电路由两个单向旋转电路组合而成。



该电路
工作不可靠！
不能用！

- 1) 按SB2, 电机正转
- 2) 按SB1, 电机停转

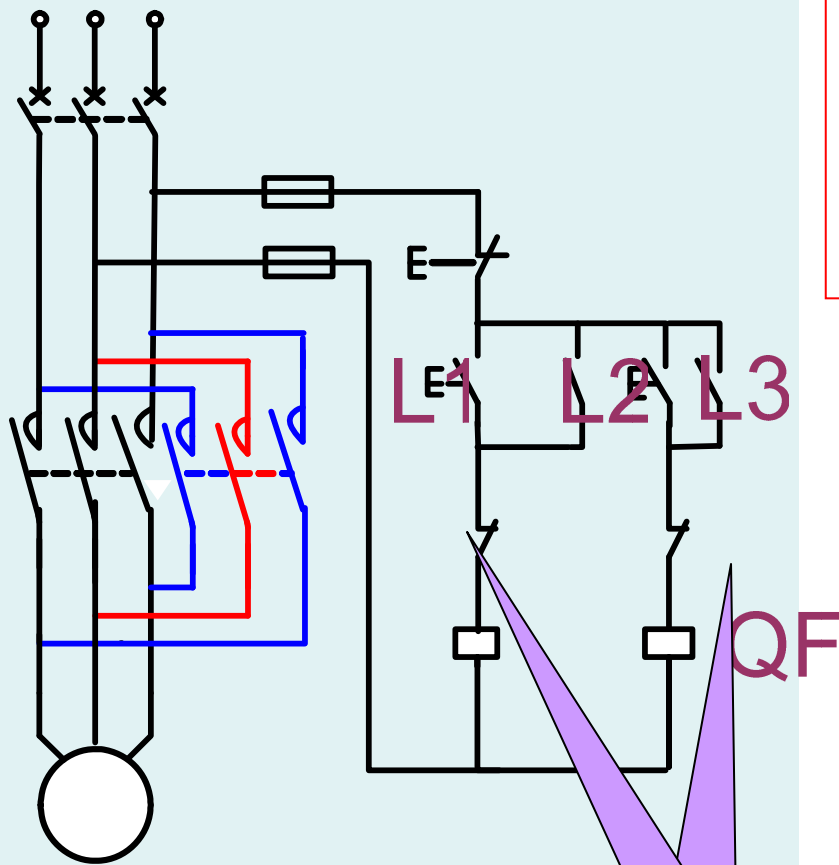
- 1) 按SB3, 电机反转
- 2) 按SB1, 电机停转

- 该电路**任何时候**只允许一个接触器通电工作。
- 若由于误操作会引起电源两相短路，致使QF自动跳闸，电动机无法工作。

无互锁电路



前述电路如何改进



具有电气互锁电路

互锁
触点

■ 利用两个接触器的常闭辅助触点KM1、KM2分别**串接**在对方接触器的线圈电路中以达到相互制约的方法称为**互锁(电气互锁)**。

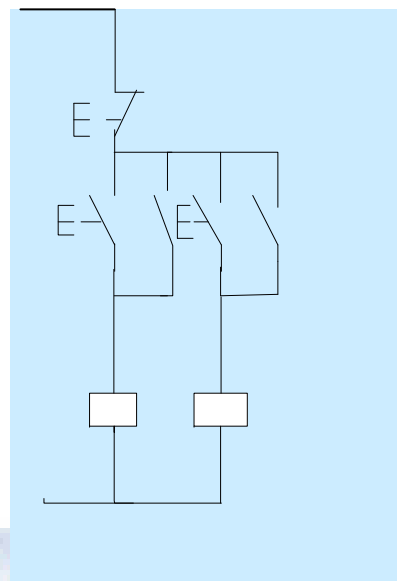
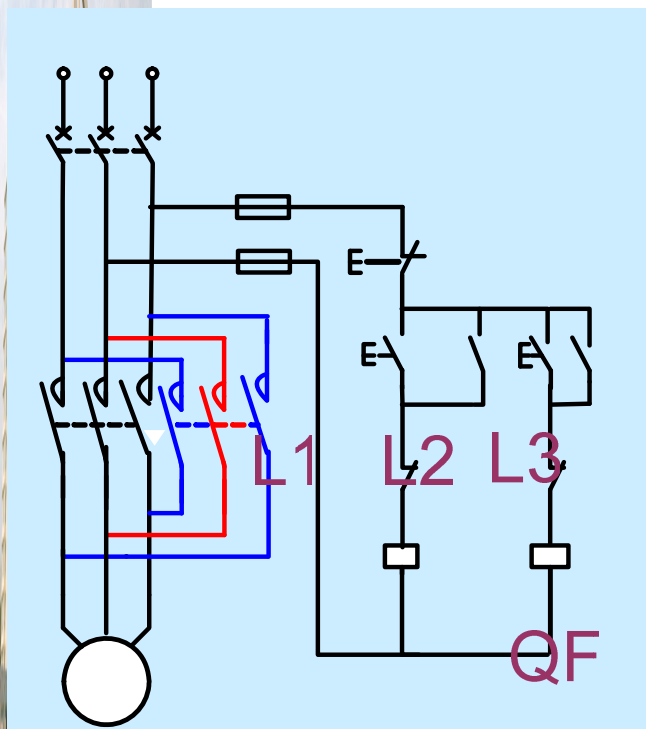
■ 这两个常闭辅助触点称为**互锁触点**。

正—停—反：

- 按SB2，电机正转
- 按SB1，电机停转
- 按SB3，电机反转



自锁与互锁的区别



自 锁	互 锁
常开触点	常闭触点
并联在起动按钮两端	串接在对方线圈电路中
“或”逻辑 有记忆作用	“非”逻辑 互相否定

B1

KM1

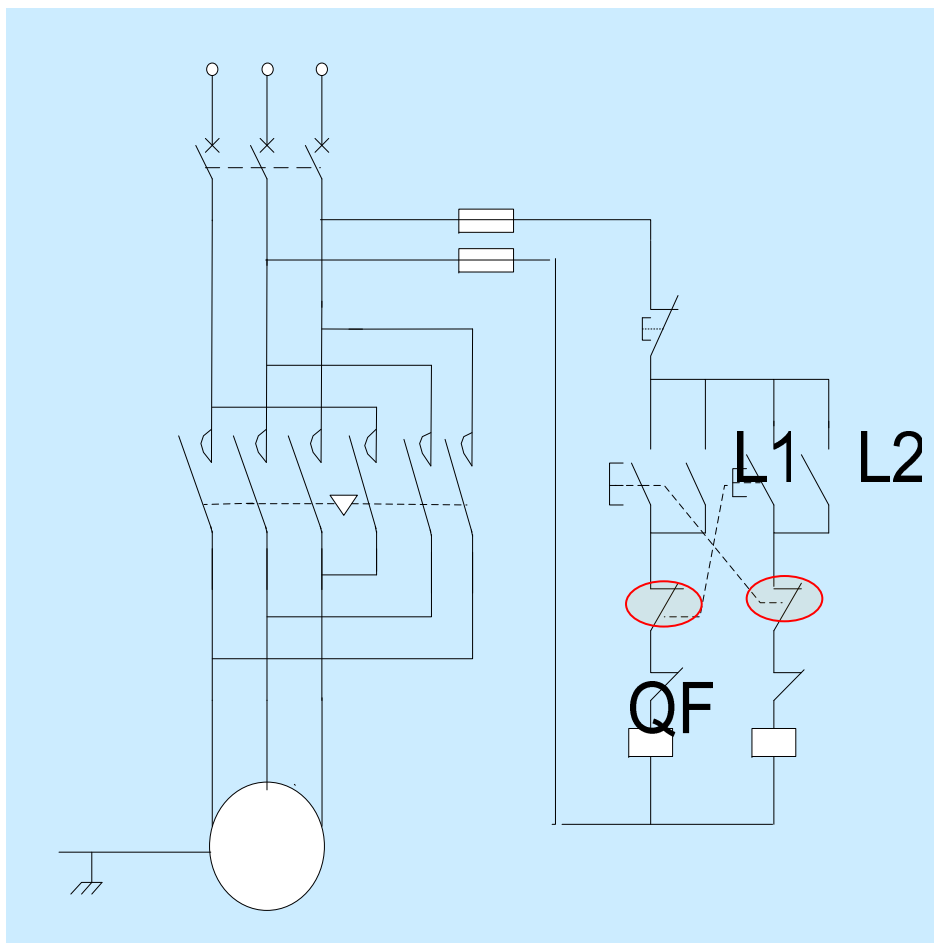
博学 求是 明德

SP2

SP2



2. 正一反一停控制电路



具有双重互锁电路

■ 利用正反转起动按钮的**常闭辅助触头**分别**串接**在对方接触器的线圈电路中，这种互锁称为**按钮互锁(机械互锁)**。

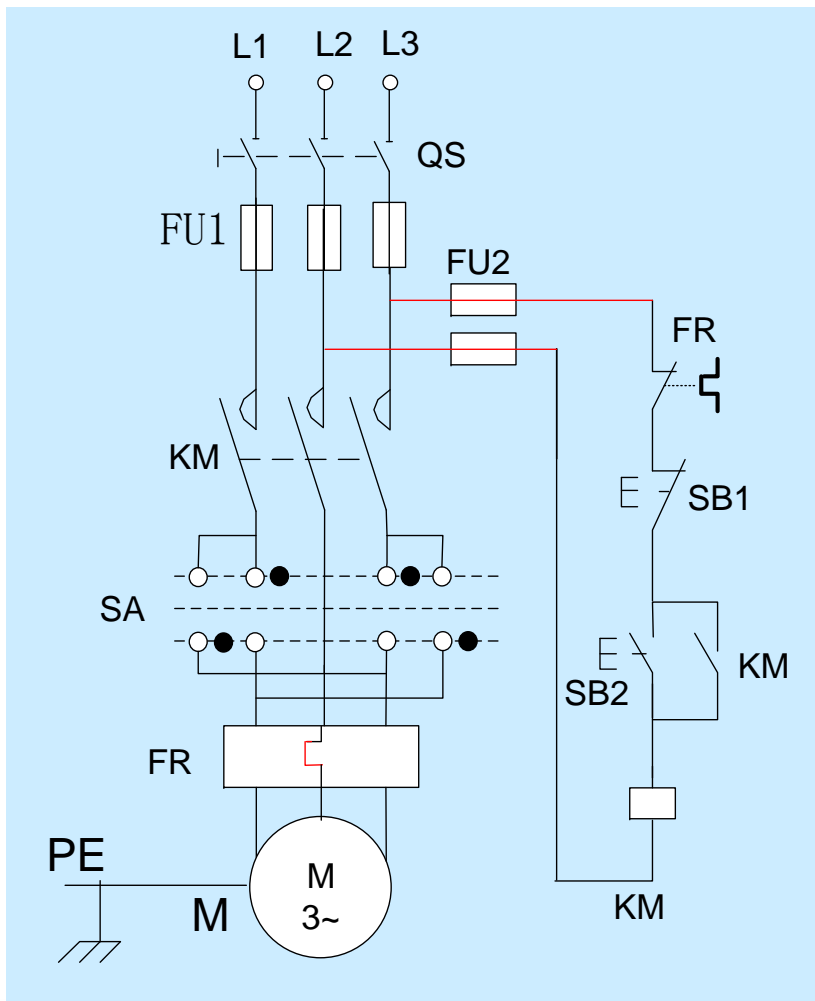
■ **电气互锁: KM1、KM2**
■ **机械互锁: SB2、SB3**

正→反向切换:

按下SB3 → KM1 **断电** →
KM2得电 → M由正转切换
为反转。



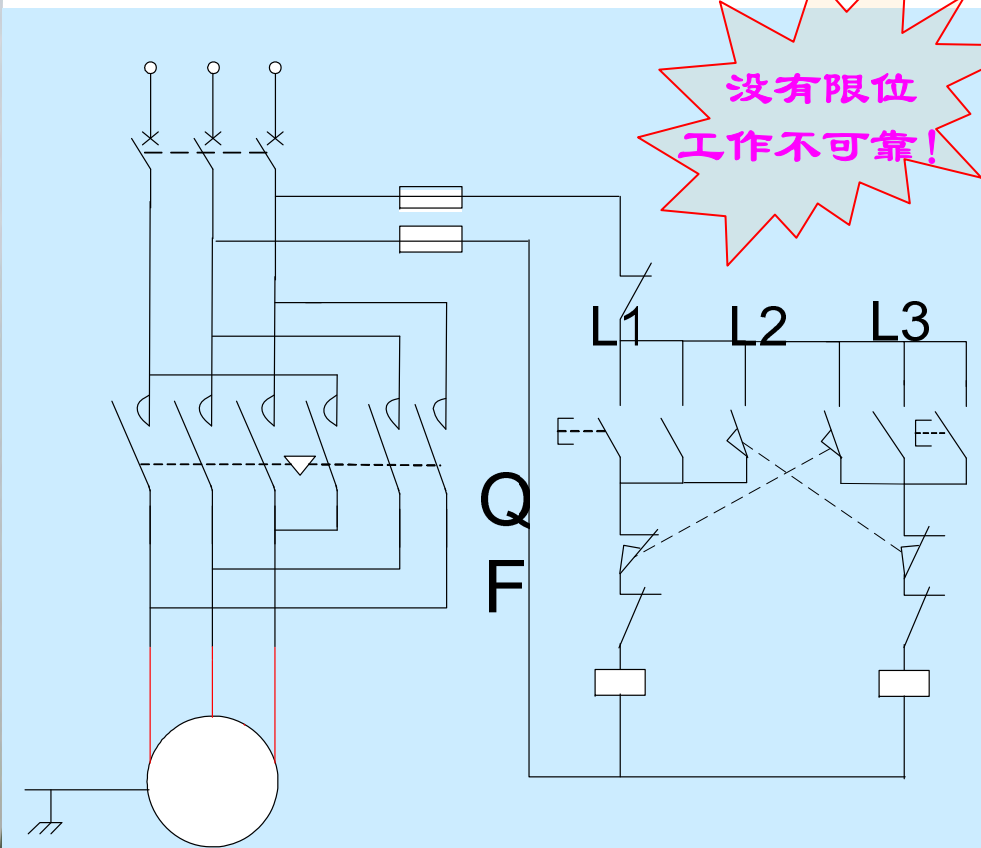
思考



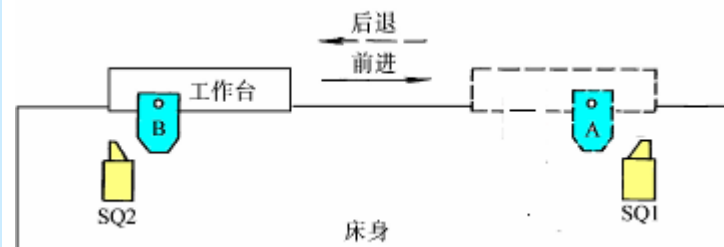
- 请分析如左图示电路的工作原理？该电路如何实现电机正反转？



3. 自动往返行程控制电路



没有限位
工作不可靠!



- SQ1-正向变反向行程开关
- SQ2-反向变正向行程开关

SB1

■ 按SB2→KM1吸合、自锁→M正转→拖动运动部件前进→压下SQ1→KM1断电，KM2得电→M正转变反转→拖动运动部件后退→压下SQ2→KM2断电，KM1得电→M反转变正转→拖动运动部件前进……→按下SB2M停转

KM1

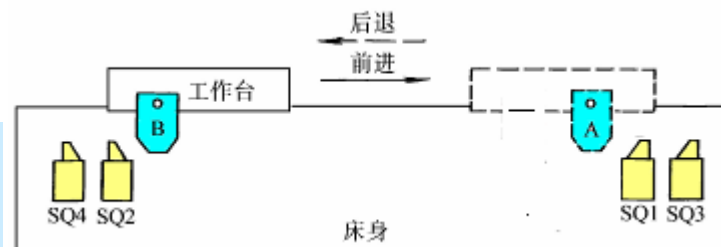
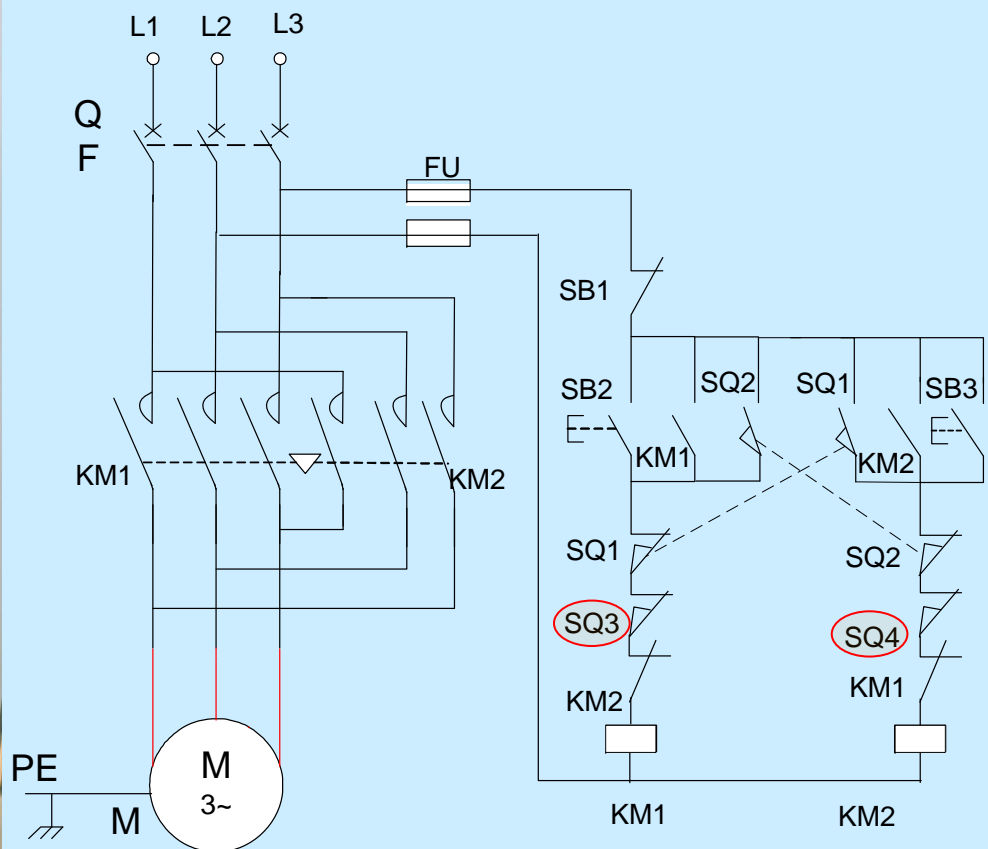
KM2 求是 明德 KM1



3. 自动往返行程控制电路



前述电路如何改进



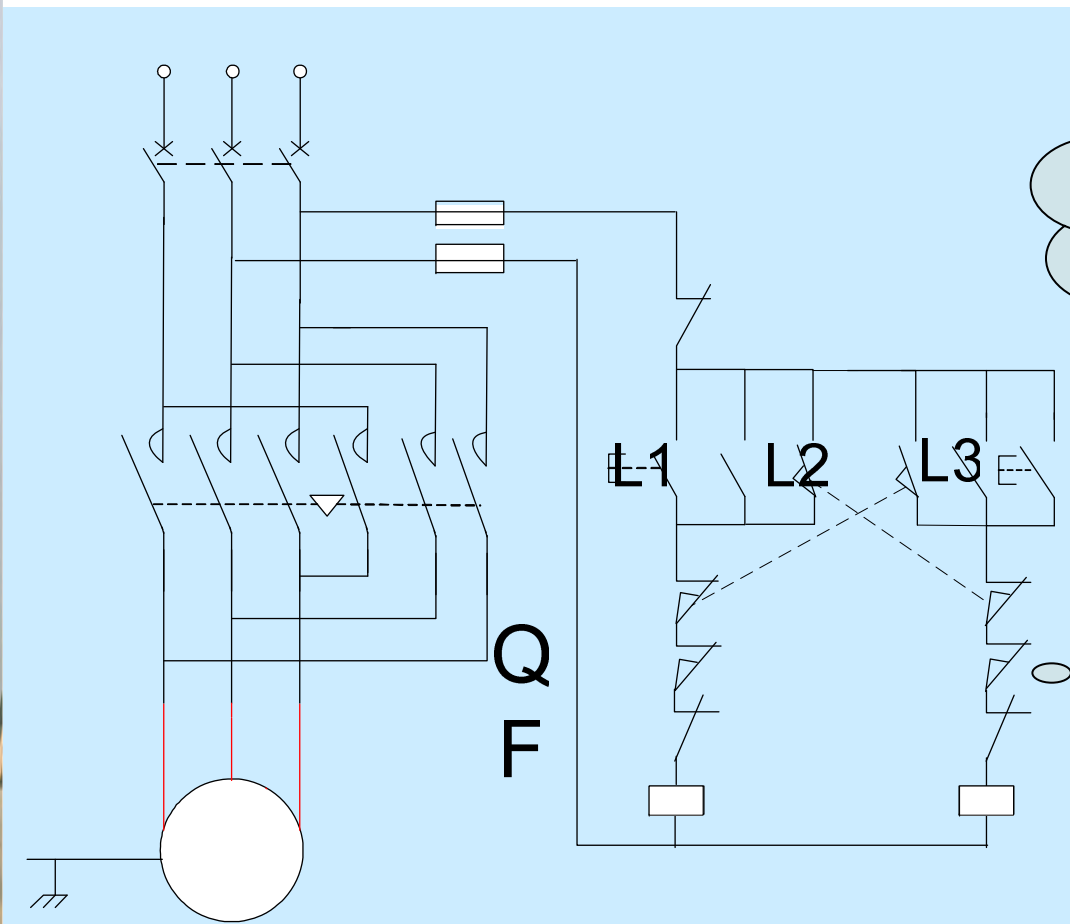
- SQ1-正向变反向行程开关
- SQ2-反向变正向行程开关
- SQ3-正向极限保护用行程开关
- SQ4-反向极限保护用行程开关

应用运动部件的行程作为控制参量的控制方法称为**行程原则**

- 按SB2→KM1吸合、自锁→M正转→拖动运动部件前进→移至右极限位置→压下SQ3→KM1线圈失电→M停转



思考



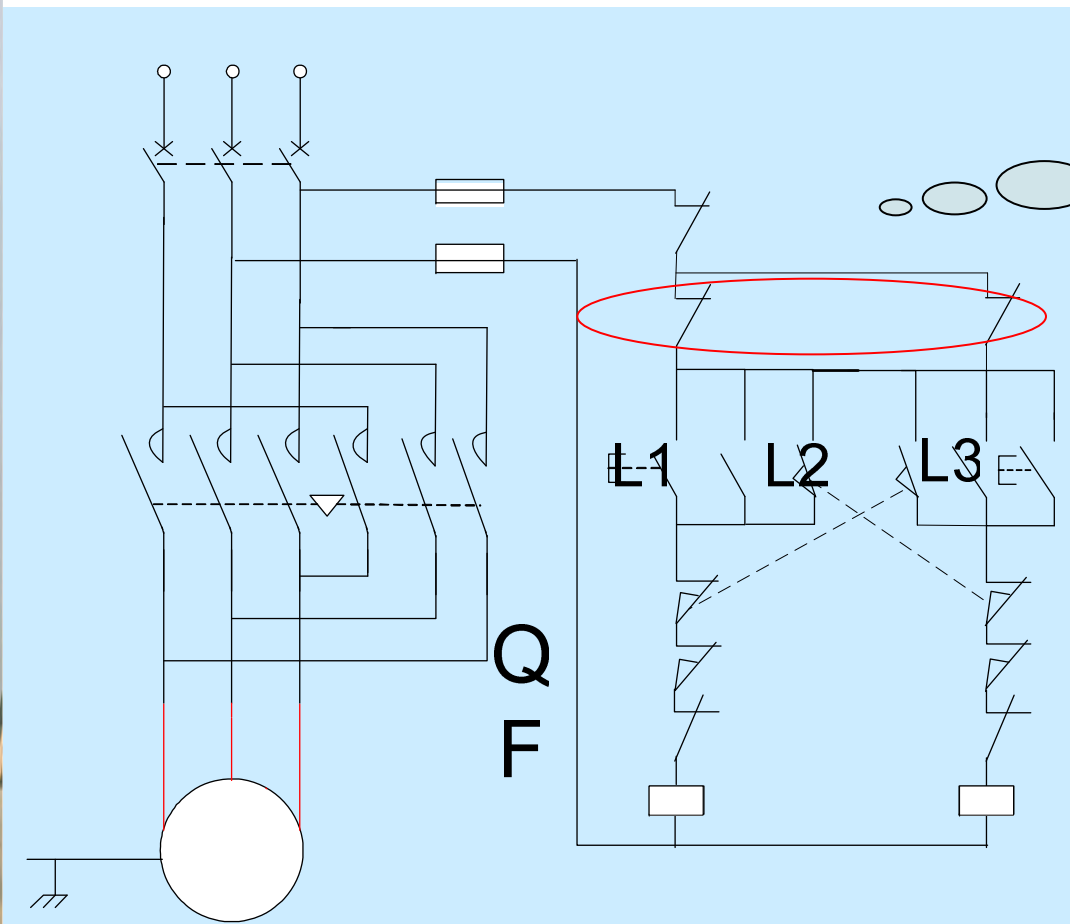
左图中，极限开关 SQ 的常闭触点放在自锁回路中行吗？

FU

SB1



思考



分析左图电路与
前页电路，功能
上有何不同？

FU

SB1

SB3



降压起动控制电路

降压起动：起动时，先降低加在电动机定子绕组上的电压，待起动后再将电压升高到额定值，使之在额定电压下运行。适合10KW以上，空载或轻载起动电机。

■ 三相笼型异步电动机常用的减压起动方法：

定子串电阻(或电抗器)减压起动

星—三角($\text{Y}-\Delta$)减压起动

自耦变压器减压起动

延边三角形减压起动



一、定子串电阻减压起动控制

■ 控制原理

三相笼型异步电动机定子绕组串电阻时，**起动时利用电阻分压**，则电动机定子绕组起动电压降低，**起动结束后**（即电机转速接近额定值时）**将电阻短接**，使电动机在额定电压下正常运行，以减小起动电流。

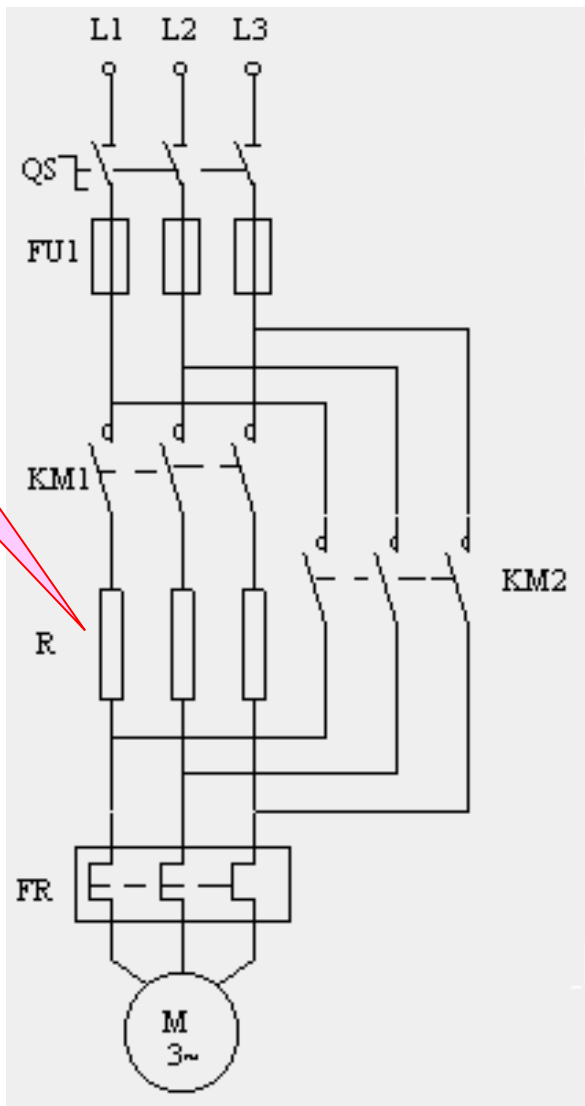
■ 特点

设备简单、经济，在中小型生产机械中应用较广

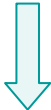


主电路

起动
电阻



起动时:KM1通
串入R



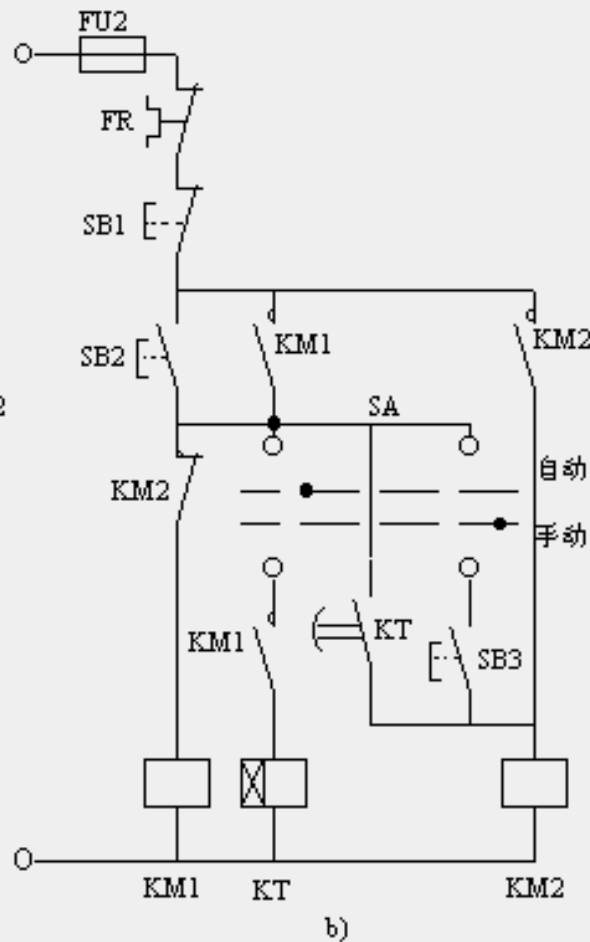
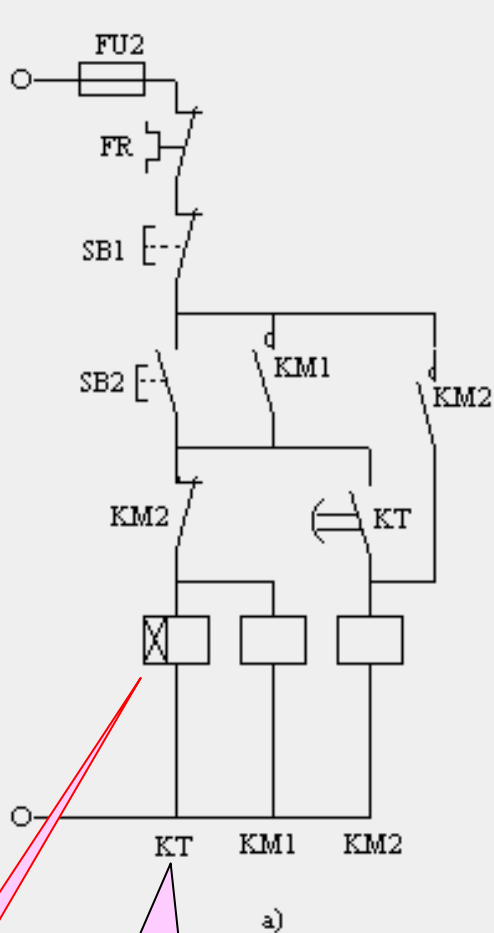
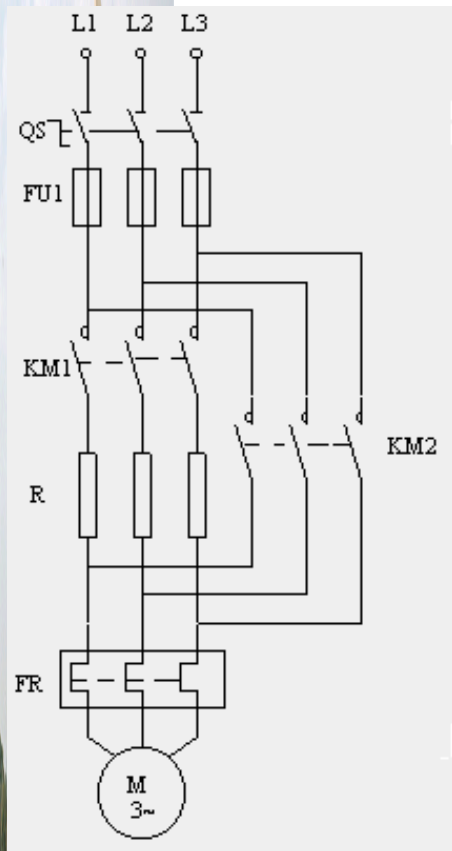
延时



起动结束:KM2通
短接R



控制电路



SA置自动
同a图

SA置手动
KT被切除
SB2-串电阻减压启动

SB3-短接电阻全压运行

通电延时

用KT实现减压启动和全压运行的自动切换

控制过程中选择时间作为控制参量进行控制的方式称为**时间原则**。



起动电阻选用

- 由电阻丝绕制的**板式电阻或铸铁电阻**
⇒ 电阻功率大，能够通过较大电流，
但能耗较大
- 降低能耗 ⇒ 可采用**电抗器**代替电阻



二、星—三角(γ — Δ)减压起动控制

■ 使用条件

正常运行时定子绕组接成三角形的笼型异步电动机。

■ 控制原理

起动时，定子绕组首先接成星形，待转速上升到接近额定转速时，将定子绕组的接线由星形接成三角形，电动机便进入全电压正常运行状态。

■ 特点

方法简单、经济，可用在操作较频繁的场所，但其起动转矩只有全压起动时的1/3，适用于空载或轻载。





二、星—三角(Υ — Δ)减压起动控制

■ 两种情况

用于13kW以下电动机的起动电路

——两个接触器和一个时间继电器实现

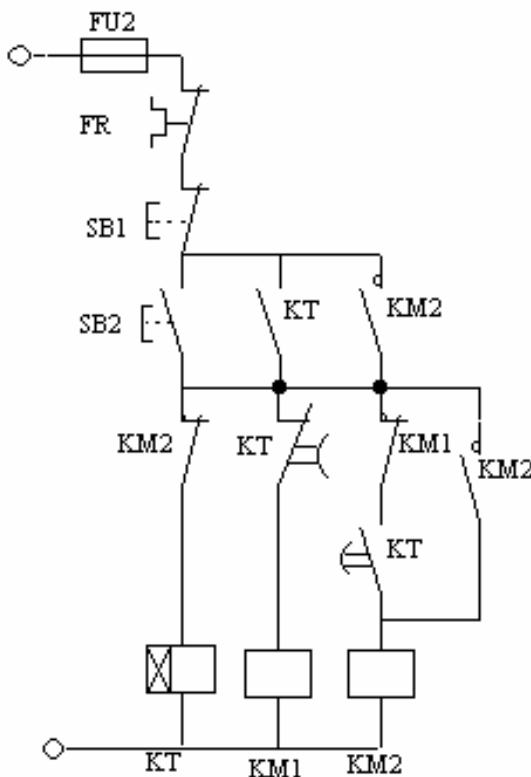
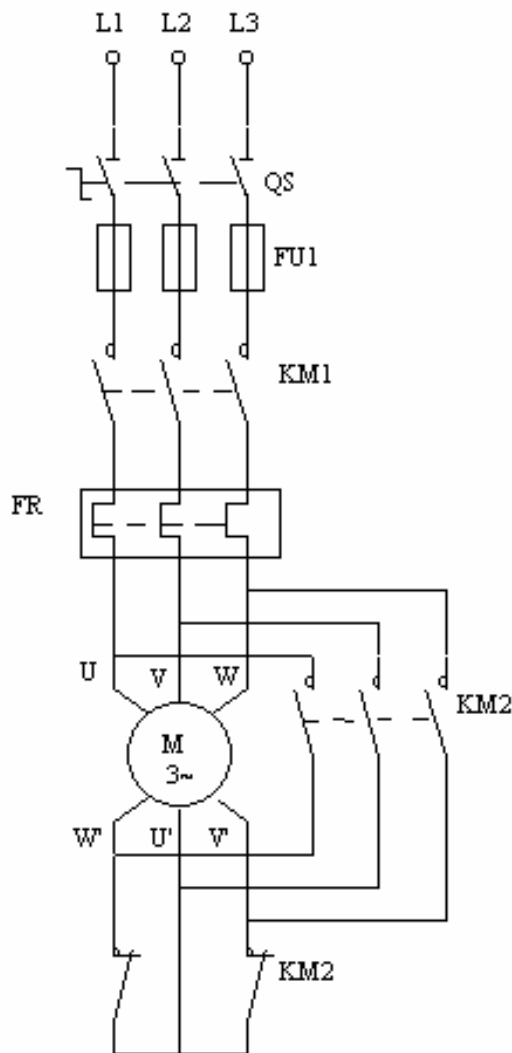
用于13kW以上电动机的起动电路

——三个接触器和一个时间继电器实现



1. 13kW以下电动机的起动电路

主电路



KM1--线路接触器

KM2--星-三角形
变换接触器

起动: KM1通/KM2断,
星形起动

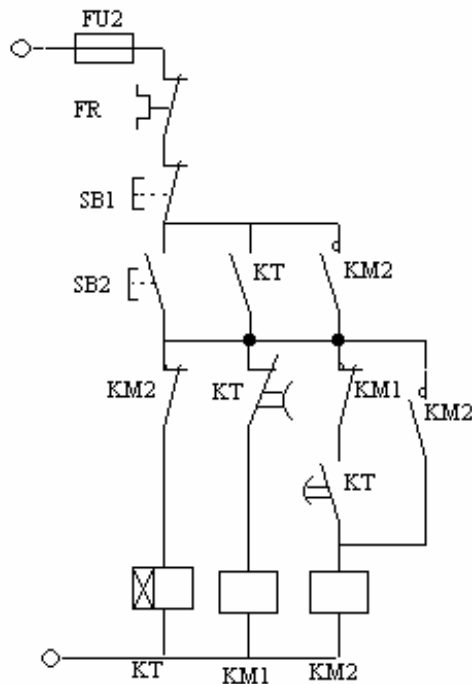
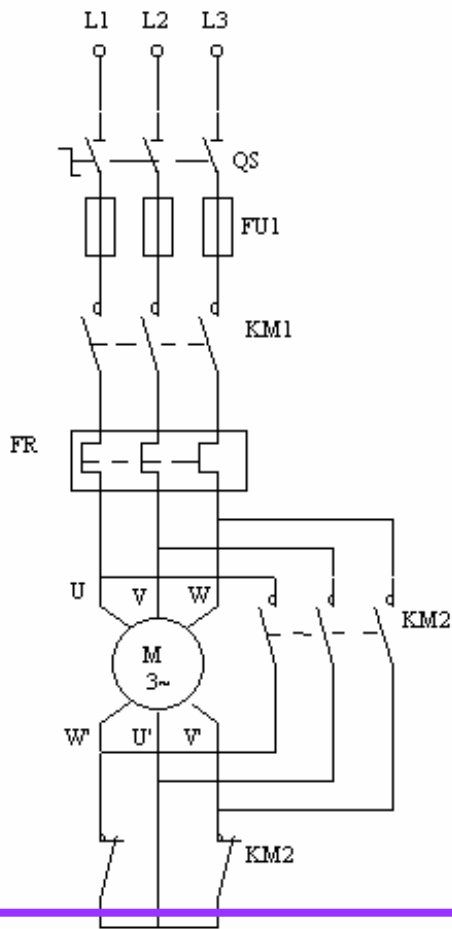
运行: KM1通/KM2通,
三角形运行



1. 13kW以下电动机的起动电路

控制电路

用KT实现的自动切换



- KM1 得电 - KM1 断电 - KM2 得电 - KM1 得电
- 该电路中，在KM1瞬时断开和接通时，产生一定的浪涌电流，因容量有限，故该电路仅适用于4~13kW的电动机的起动控制。

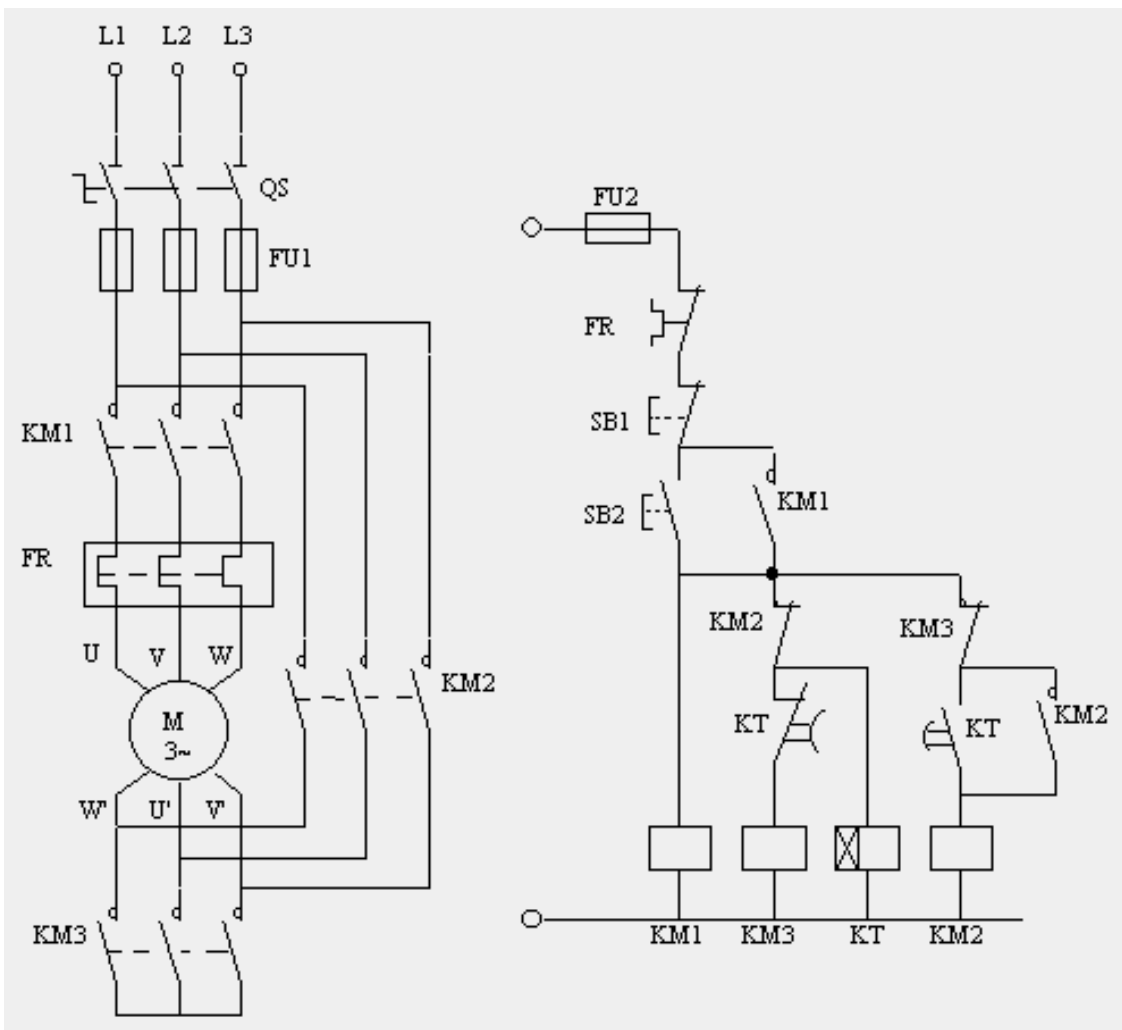
接SB2

{ KT得电、自锁 $\xrightarrow{\text{延时毕}}$ KM2后得电，变 Δ \rightarrow KM2自锁
 { KM1得电 \rightarrow 电机Y启动 $\xrightarrow{\text{延时毕}}$ KM1先断电
 { KT先断电 \rightarrow KM1得电 \rightarrow 电机 Δ 运行



2. 13kW以上电动机的起动电路

主电路



{
 KM1
 KM2 (Δ)
 KM3 (Y)

KM2、KM3不能同时吸合

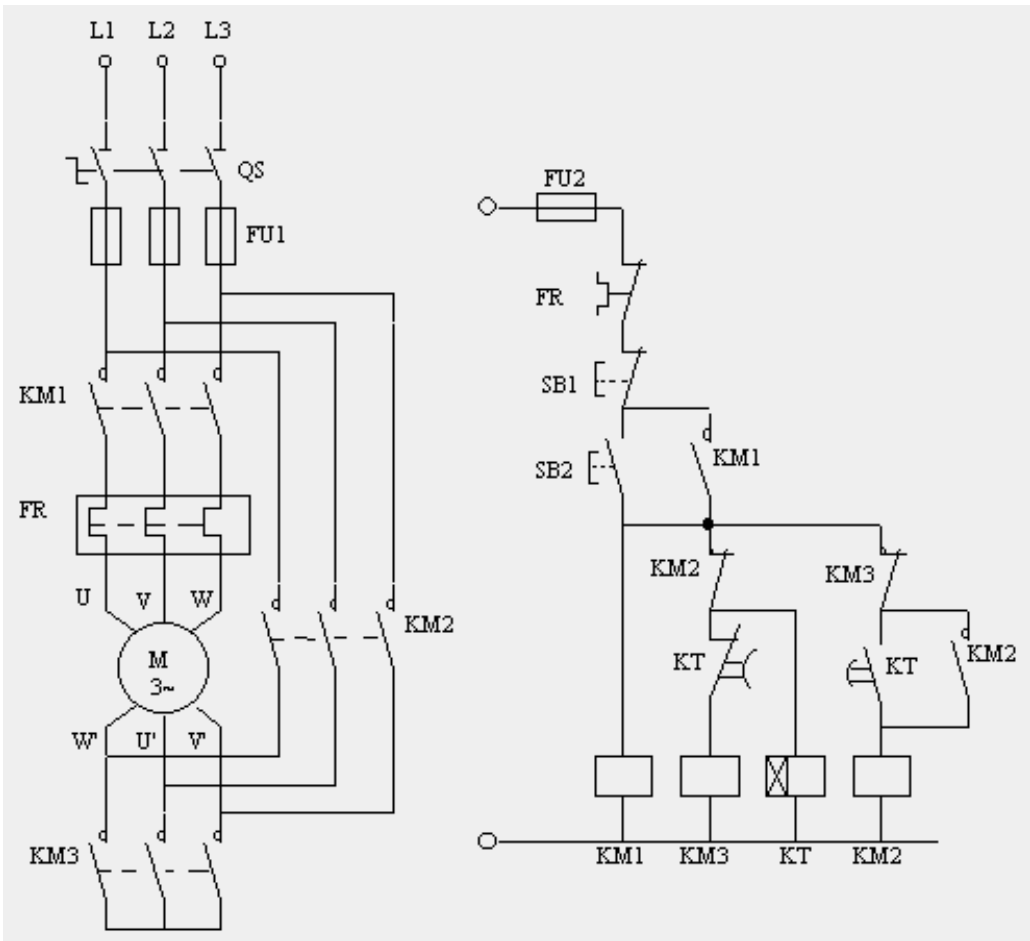


2. 13KW以上电动机的起动电路

控制电路

用KT实现的自动切换

■ KM1、KM3得电-KM3断电-KM2得电



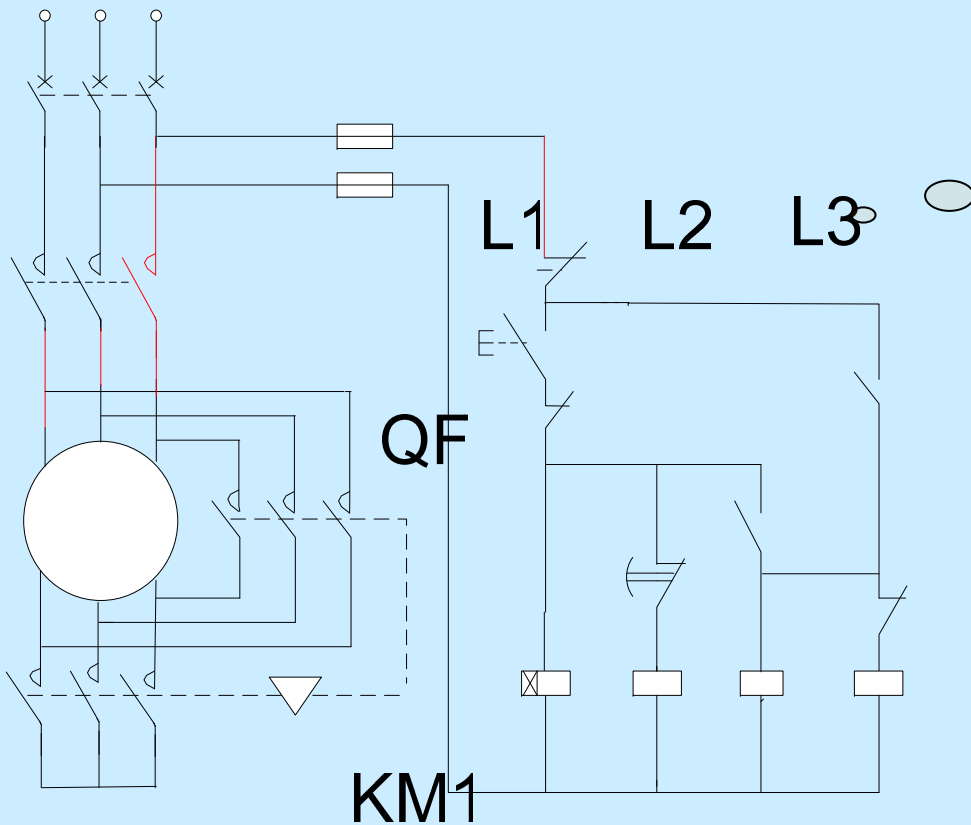
按SB2 → KM1得电, 自锁 → 电机Y起动

→ KM3得电

→ KT得电 延时毕 → KM3断电 → KM2得电, 自锁 → 电动机Δ运行



思考



分析左图电路控制过程。

■ KM3先吸合
FU后吸合

■ 互锁保护措施

■ 电机绕组由Y形形后，随着KM3得电，KT断电复位

4

S

5

6

按SB2 → KT吸合、延时 → 延时毕 → KM3失电 → KM2吸合 → 电机“Δ”运行。
 → KM3吸合 → KM1吸合、自锁 → 电机“Y”启动。



三、自耦变压器减压起动控制电路

■ 控制原理:

使用带抽头的自耦变压器提供起动电压。起动时，定子绕组电压是自耦变压器二次电压 U_2 。起动完毕时，自耦变压器便被脱开，定子绕组的电压变为变压器一次电压，电机进入全压工作状态。

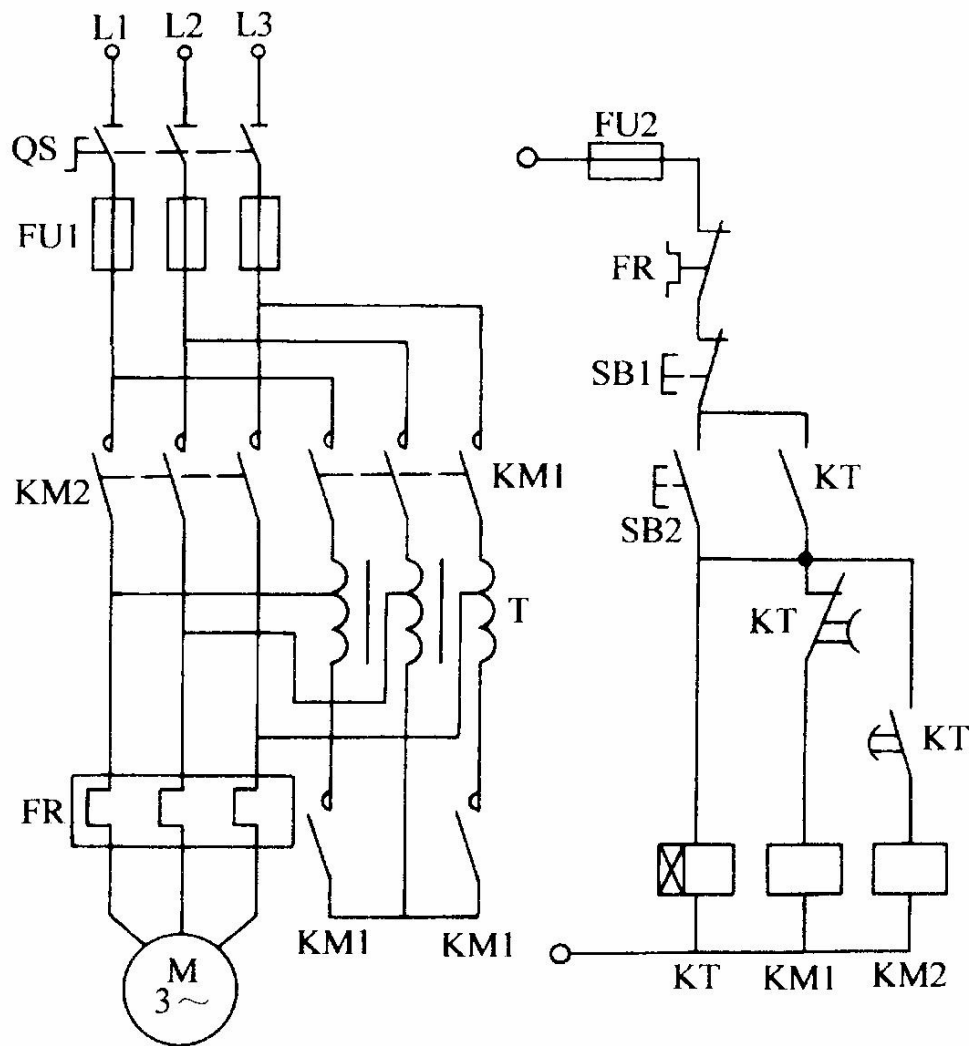
■ ∵电压变比为 $K=U_1 / U_2 > 1$

∴自耦变压器减压起动时的电压为额定电压的 $1 / K$ ，起动电流减小到 $1 / K^2$ ，由于 $T \propto U^2$ ，此时的起动转矩降为直接起动时的 $1 / K^2$ 。

■ 自耦变压器减压起动常用于空载或轻载起动。



三、自耦变压器减压起动控制电路



- 起动时，合 QS，按 SB2, KM1、KT 同时得电并自锁，电机经变压器二次侧降压起动；
- 当电动机转速接近于额定转速时，延时到, KT 动作, KM1 断电, KM2 得电, 电机全压运行。
- 该方法适用于正常工作时接成星形或三角形的 **较大容量电动机**，起动转矩可以通过改变自耦变压器抽头的连接位置而改变，缺点是自耦变压器价格较贵，且不允许频繁起动。

图 2-11 自耦变压器降压起动控制电路



四、延边三角形减压起动控制电路

■ 使用条件

正常运行时定子绕组接成**三角形**的笼型异步电动机。

■ 控制原理

起动时，电动机定子绕组联接为延边三角形减压起动，当电动机转速接近额定电压时，定子绕组联接为三角形正常运转。

- 电动机定子绕组作延边三角形连接时，每相绕组承受的电压比三角形连接时低，此时定子绕组相电压与线电压的关系取决于每相定子绕组两部分的匝数比。

- **改变延边部分与三角形连接部分的匝数比 (N_1/N_2) 就可以改变电动机绕组相电压的大小**，从而达到改变起动电流和起动转矩的目的。 ▶



四、延边三角形减压起动控制电路

■ 比较:

- **星—三角形减压起动控制**: 不增加专用起动设备实现减压起动, 虽然星形联接时起动电流小, 但起动转矩却只有额定电压时起动转矩的 $1/3$ 。

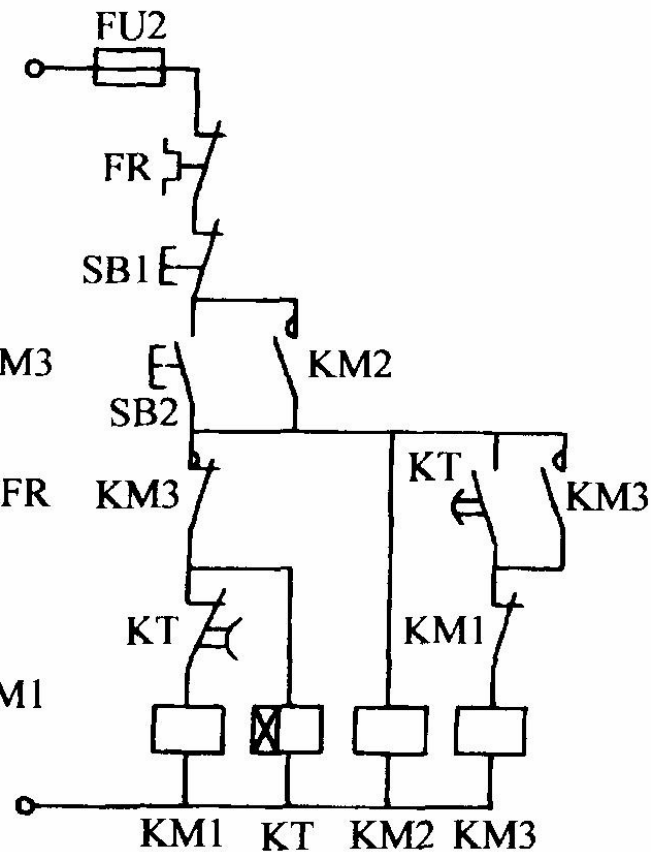
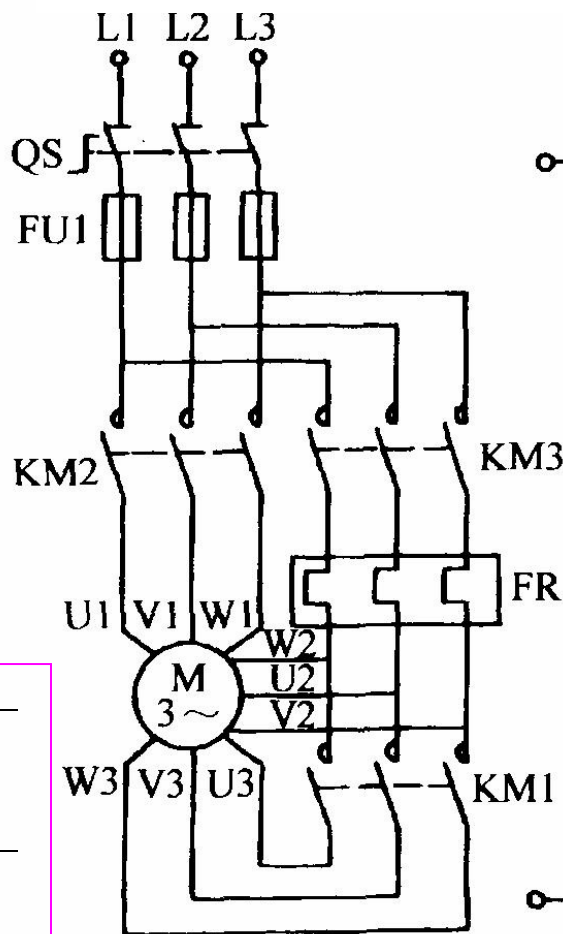
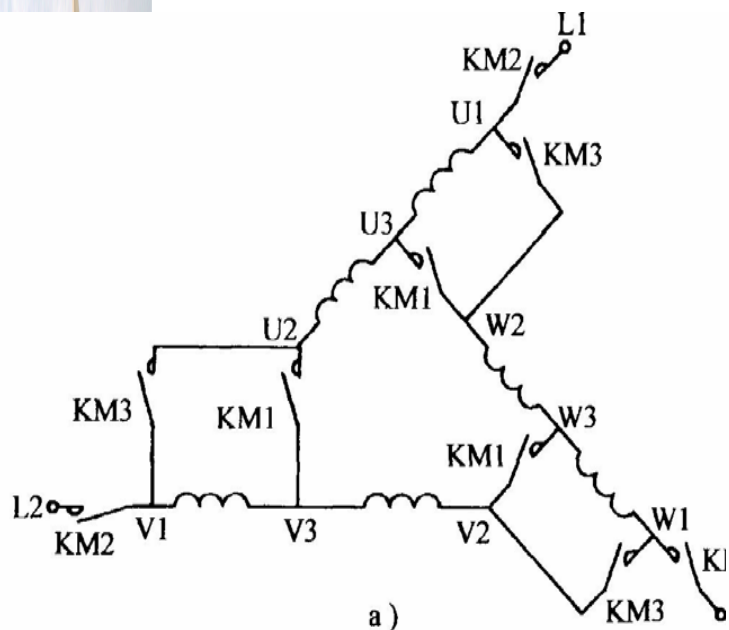
适用于空载或轻载的状态下起动。

- **延边三角形减压起动**: 是一种既不增加起动设备, 即能**减小起动电流**, 又能**提高起动转矩**的起动方法。

适用于定子绕组特别设计的异步电动机, 这种电动机共有9个或12个出线端。



四、延边三角形减压起动控制电路



- KM2和KM1得电，KM3断电——延边三角形起动
- KM2和KM3得电，KM1断电——三角形运行



§ 2.4 三相绕线转子异步电动机 起动控制

- 在一般**要求起动转矩较高**的场合，绕线转子异步电动机得到了广泛的应用。
- **三相绕线转子异步电动机起动控制方法：**
三相绕线转子异步电动机的**转子绕组**可以通过滑环串**接起动电阻**以达到减小起动电流、提高转子电路功率因数和起动转矩的目的。
- **起动控制分类：**按起动时转子绕组串接装置不同
 - { **串电阻起动**
 - { **串频敏变阻器起动**



一、转子串电阻起动控制电路

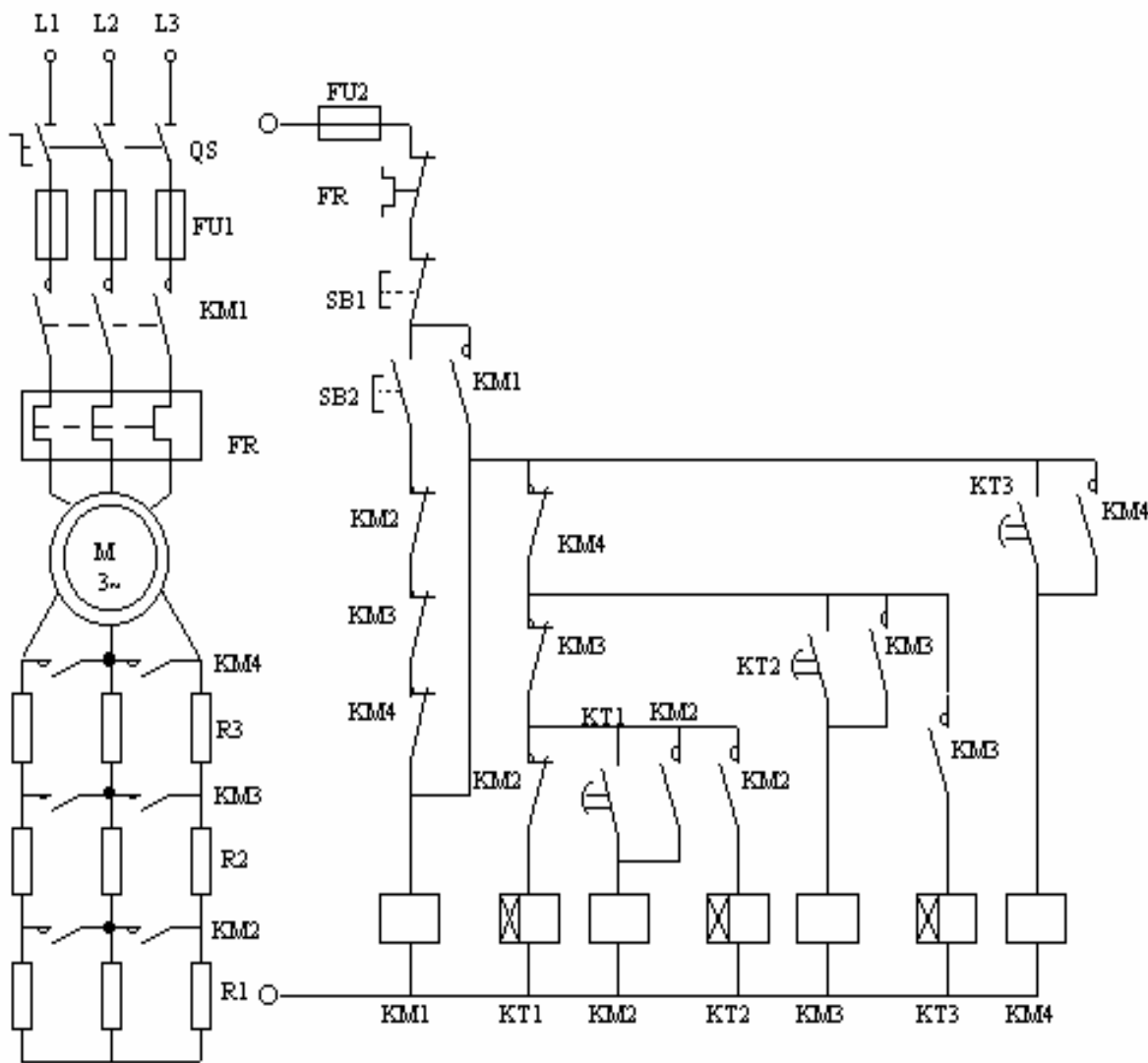
■ 控制原理

串接在三相转子绕组中的起动电阻一般都接成星形。起动前，起动电阻全部接入，起动过程中将电阻依次短接，起动结束时，转子电阻全部被短接。

■ 短接起动电阻的方式

- 三相电阻不平衡短接法
- 三相电阻平衡短接法

转子串电阻起动——按时间原则控制



- 合QS，按SB2 →
- 吸合 →
- KT1吸合延时到 →
- KM2吸合短接R1 →
- KT2吸合延时到 →
- KM3吸合短接R2 →
- KT3吸合延时到 →
- KM4吸合短接R3 →



转子串电阻起动——按时间原则控制

■ 注意:

(1) 电路中只有KM1、KM4长期通电，而KT1、KT2、KT3、KM2、KM3线圈的通电时间均被压缩到最低限度；

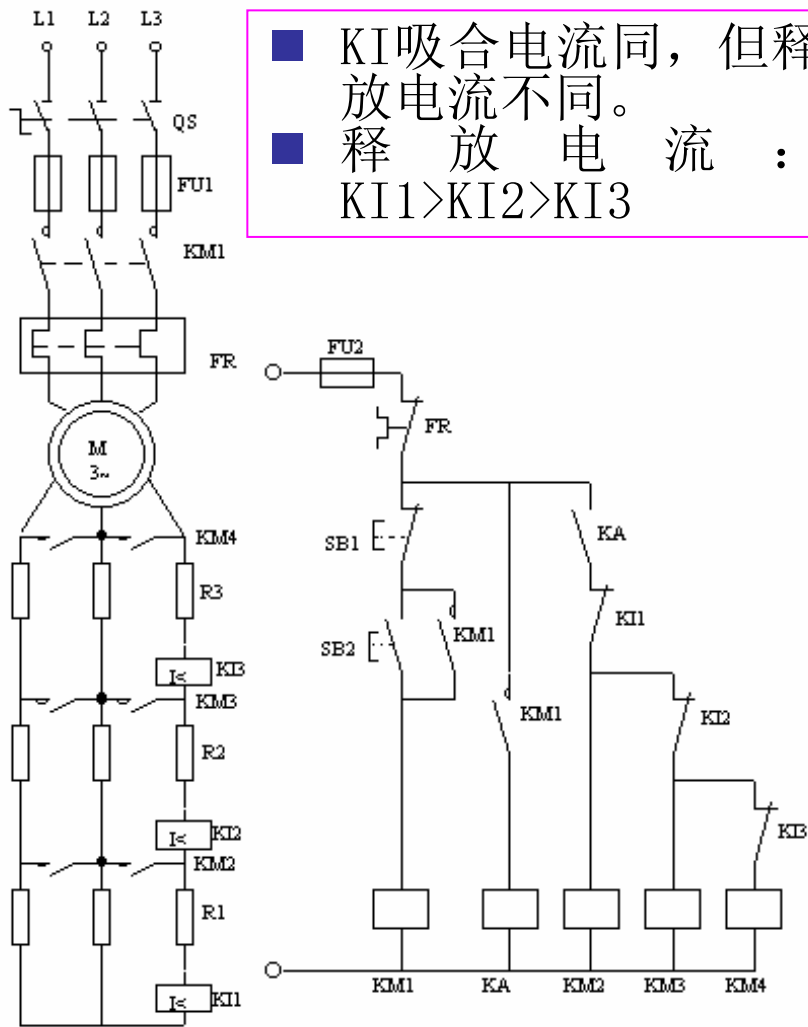
作用: a) 节省电能，延长电器寿命

b) 减少电路故障，保证电路可靠工作。

(2) 一旦时间继电器损坏，电路将无法实现电动机正常起动和运行；

(3) 采用逐段短接电阻，会使电流及转矩突然增大，产生较大的机械冲击。

转子串电阻起动——按电流原则控制



- KI吸合电流同，但释放电流不同。
- 释 放 电 流：
 $KI1 > KI2 > KI3$

- 合QS，按SB2 →
- KM1吸合 →
- KI1KI2KI3吸合 →
- 转速升电流降 →
- KI1释放 →
- KM2吸合短接R1 →
- KI2释放 →
- KM3吸合短接R2 →
- KI3释放 →
- KM4吸合短接R3 →



二、转子绕组串频敏变阻器起动控制电路

■ 三相绕线转子异步电动机转子串电阻起动缺点

存在一定的机械冲击，同时串接电阻起动线路复杂，工作不可靠，而且电阻本身比较笨重、能耗大、控制箱体积大。

■ 频敏变阻器的阻抗能够随着转子电流频率的减小而自动减小

■ 转子等效阻抗和转子回路感应电动势由大到小的变化，使串频敏变阻器起动实现了近似恒转矩的起动特性。



二、转子绕组串频敏变阻器起动控制电路

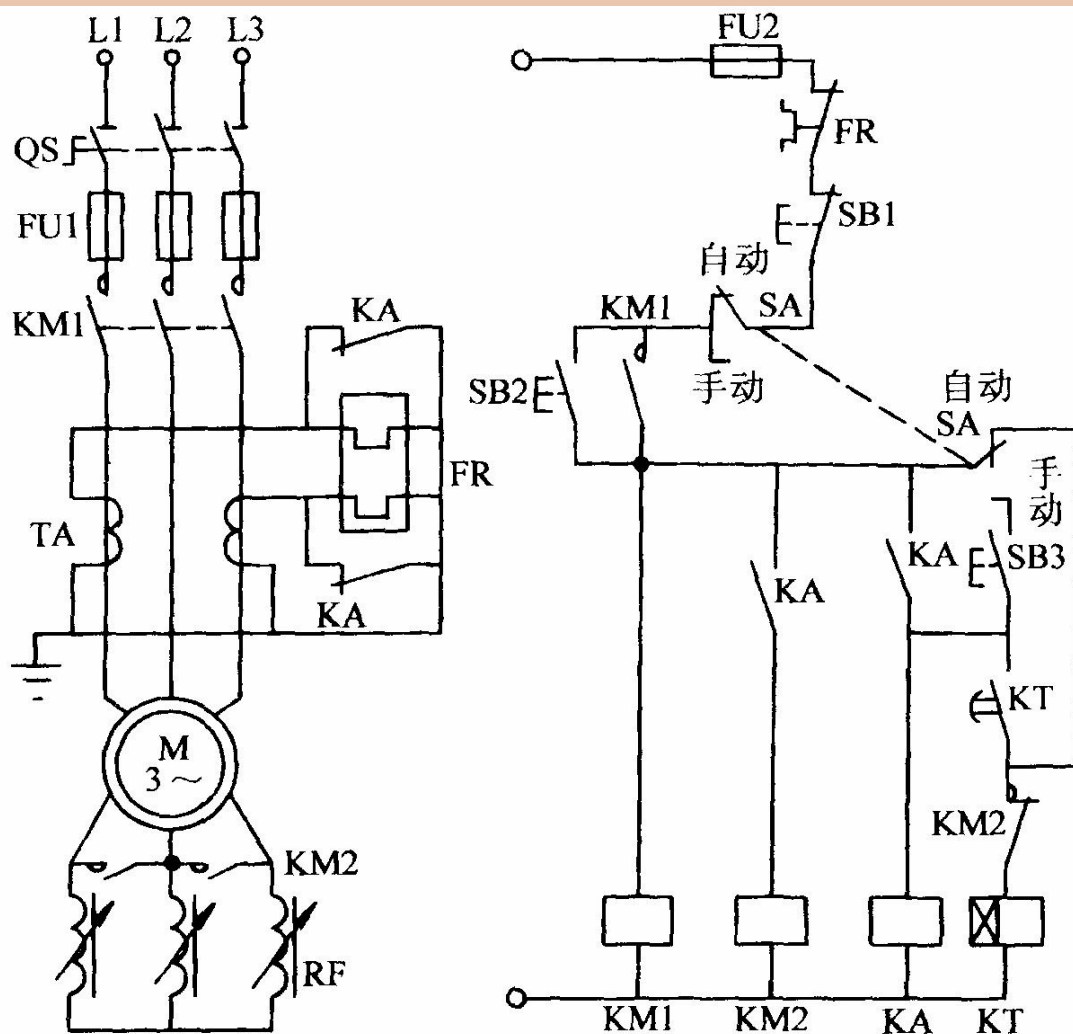


图 2-17 采用频敏变阻器的起动电路

- **RF**为频敏变阻器
- **“自动”位置**：按 SB2、KM1、KT 得电，KT 延时到 → KA 得电 → KM2 得电 → KM2 主触头将频敏变阻器短接，完成电动机的起动。
- **“手动”位置**：按 SB2 → 电动机达到额定转速时，按 SB3



§ 2.5 三相异步电动机的制动控制

■ 制动原因

三相异步电机自脱离电源，由于惯性，转子经一段时间才停止，会造成运动部件停位不准、工作不安全等现象。

■ 制动方法两类

机械制动：电磁抱闸等产生机械力强迫电机迅速停车
电气制动：产生与电动机旋转方向相反的电磁转矩，使电动机工作在制动状态

■ 电气制动控制电路分类

反接制动
能耗制动
再生制动
电容制动



一、反接制动控制电路

■ 定子电源反接制动控制原理

即 **改变电动机电源的相序**，使定子绕组产生反向旋转磁场，从而产生制动转矩，使电动机转子迅速降速。

■ 注意

(1) 为防止转子降速后反向起动，当 **电动机转速接近于零时应迅速切断电源**。

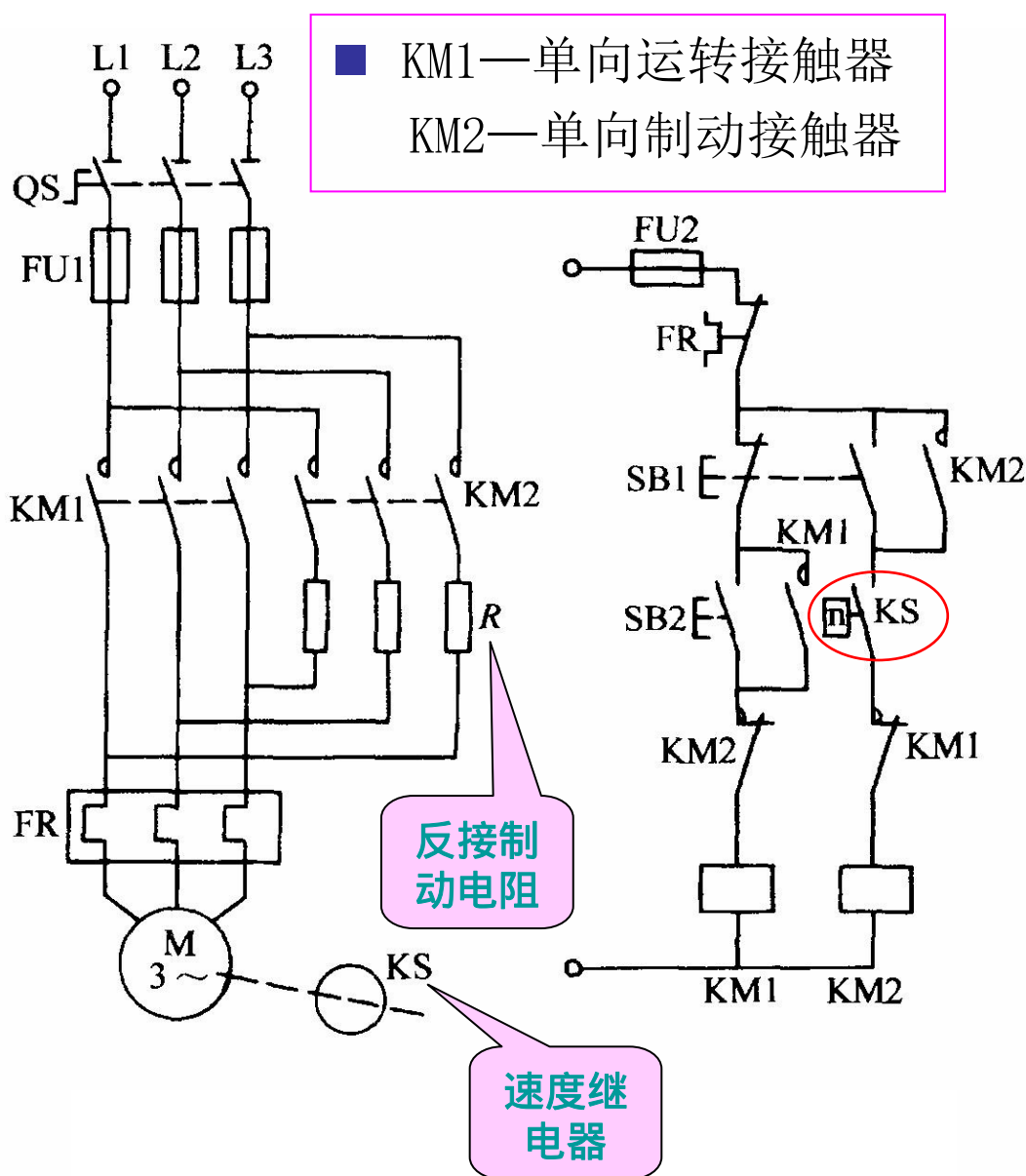
(2) 为了减小冲击电流，通常在电动机主电路中 **串反接制动电阻** (对称法和不对称法) 来限制反接制动电流。

■ **反接制动特点**：制动迅速，效果好，但冲击大

■ **适用范围**：10kW以下的小容量电动机



1. 电动机单向运转的反接制动控制电路

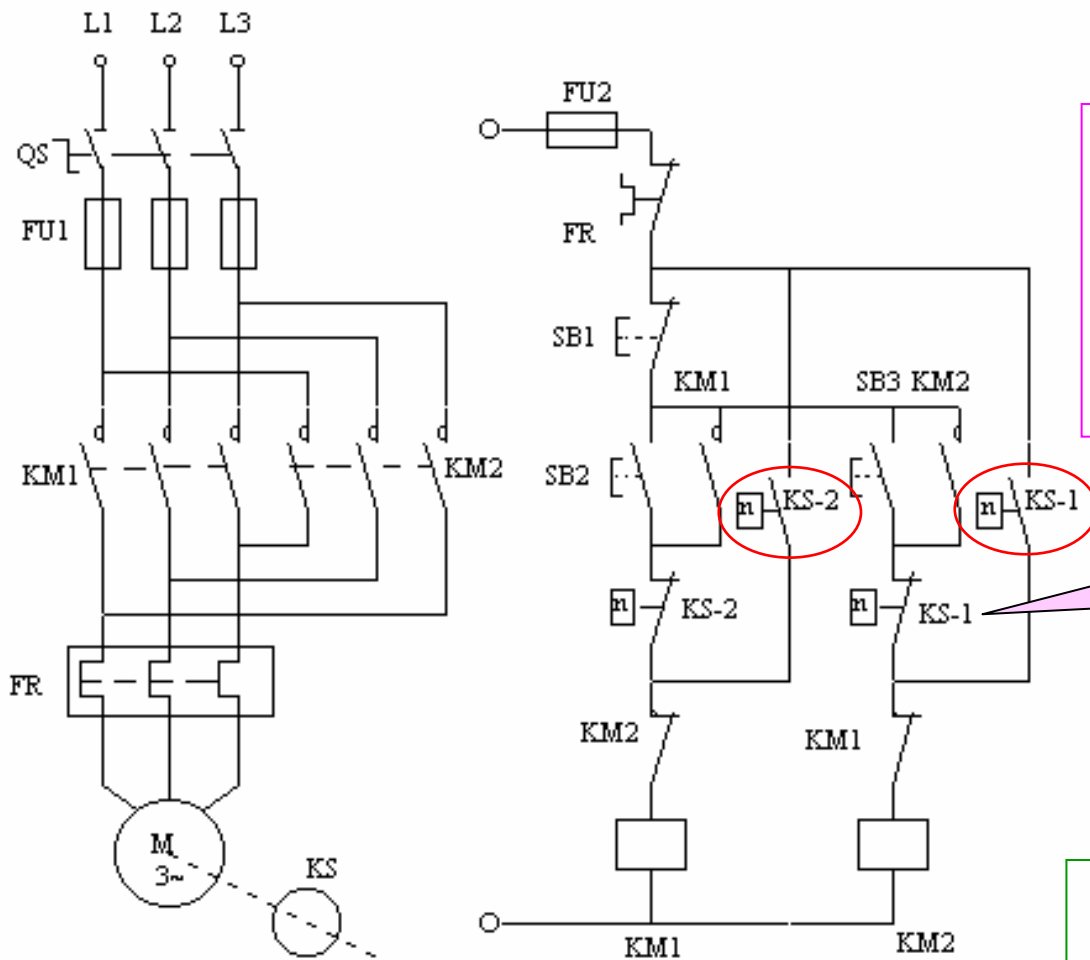


- 采用速度继电器来检测电动机转速的变化。
- 当转速高于120r/min时触头动作；
- 当转速低于100r/min时触头复位，切除反向电源。

控制过程中选择速度（转速）作为控制参量进行控制的方式称为速度原则。



2. 电动机可逆运行的反接制动控制电路



- KM1—正转接触器
- KM2—反转接触器
- KS1—正转速度继电器
- KS2—反转速度继电器

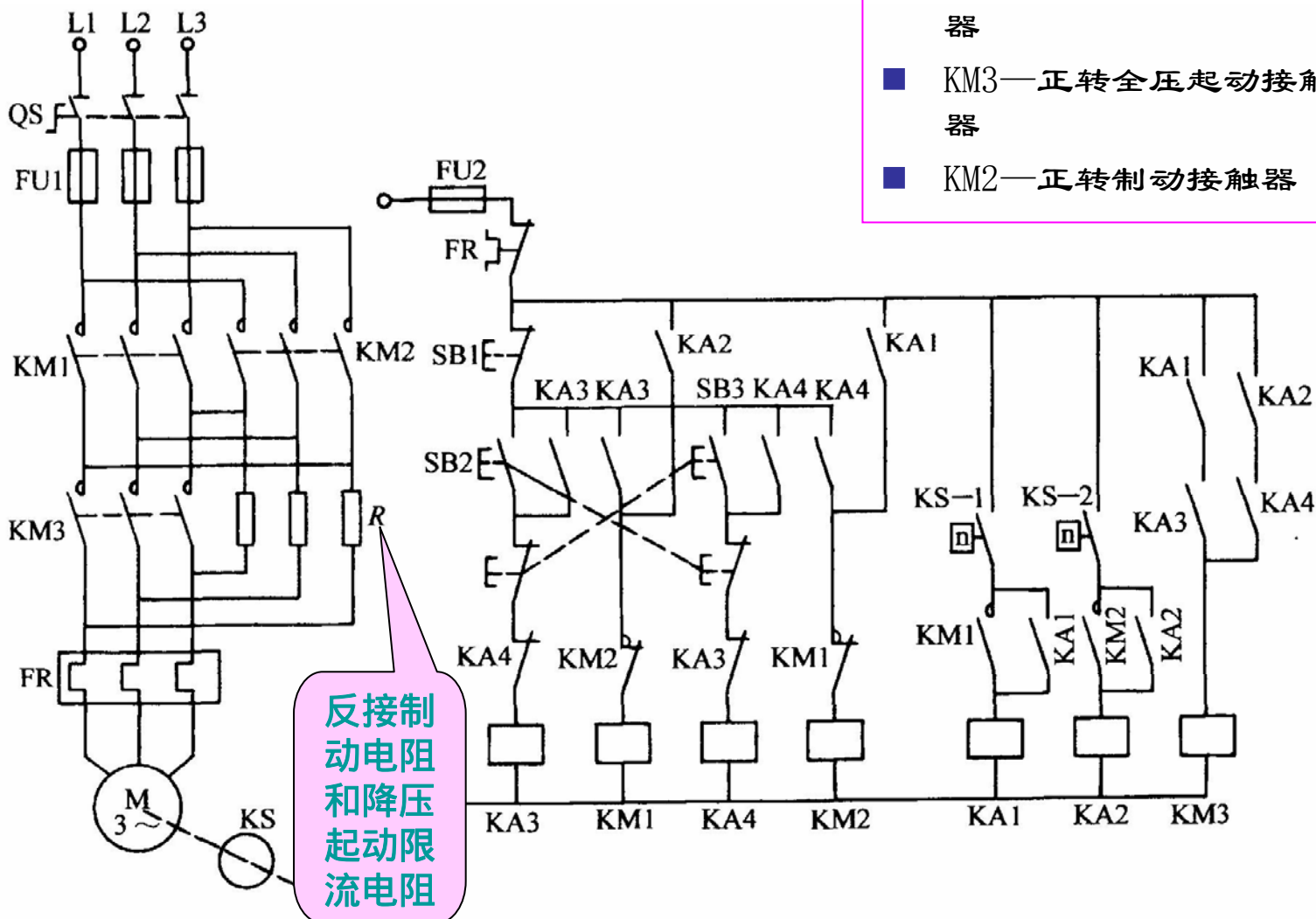
该常闭触点有什么作用？

■ 主电路未设置限流电阻，冲击电流大。



2. 电动机可逆运行的反接制动控制电路

■ 定子串电阻降压启动+反接制动



正向：

- KM1—正转降压启动接触器
- KM3—正转全压启动接触器
- KM2—正转制动接触器

图 2-20 具有限流电阻的可逆反接制动控制电路



二、能耗制动控制电路

■ 控制原理

在电动机脱离三相交流电源之后，迅速在定子绕组上加一个**直流电压**，利用转子感应电流与静止磁场的作用来达到制动的目的。

■ 特点

制动力强、制动平稳、无大的冲击，能使生产机械准确停车，但需要直流电源、低速时制动力矩小。电动机功率较大时，制动的直流设备投资大。

■ 控制方法

可以采用**时间**或**速度**控制原则，分别由**时间继电器**和**速度继电器**完成。



1. 单向能耗制动控制电路——时间原则

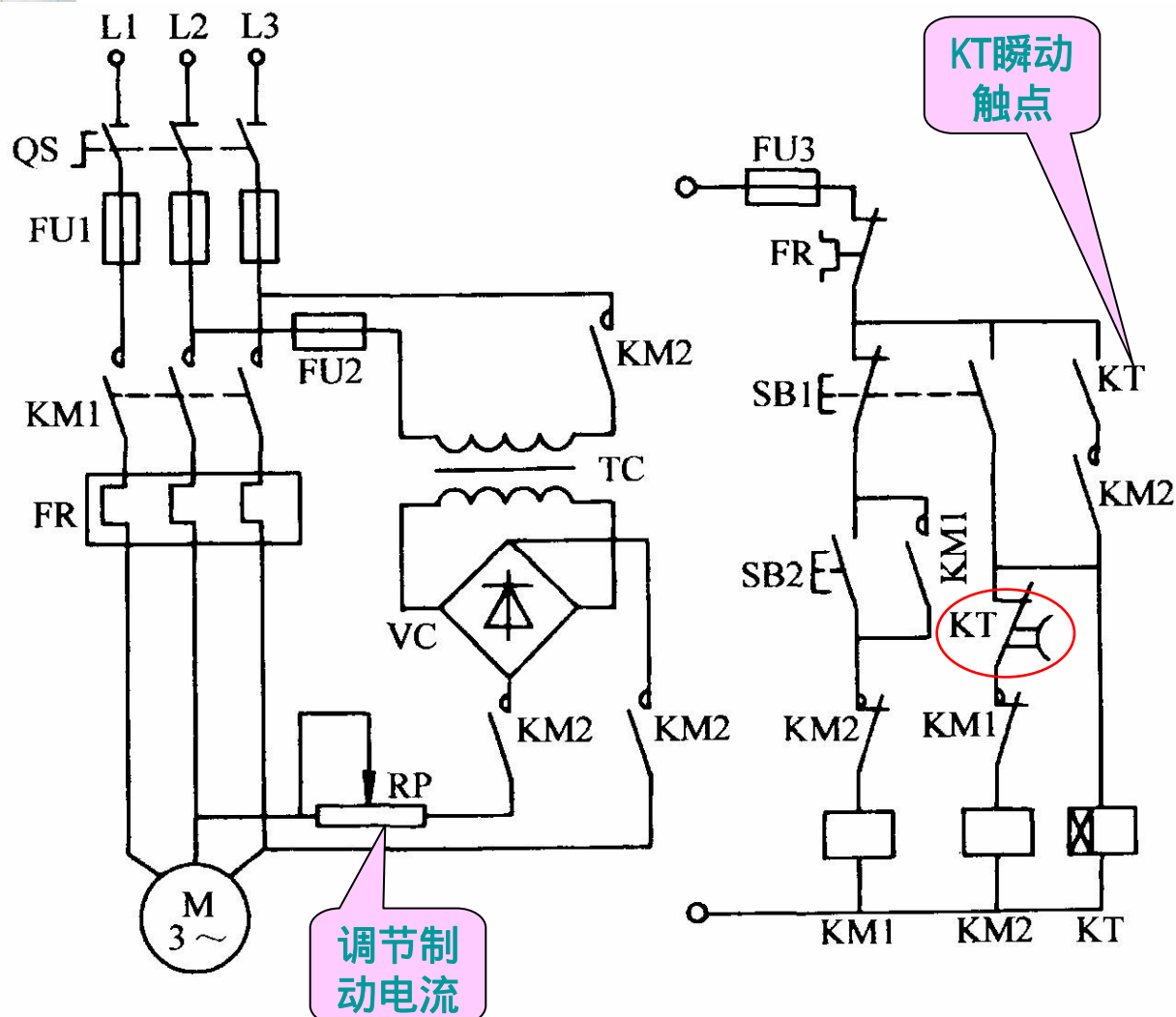


图 2-21 时间原则控制的单向能耗制动控制电路

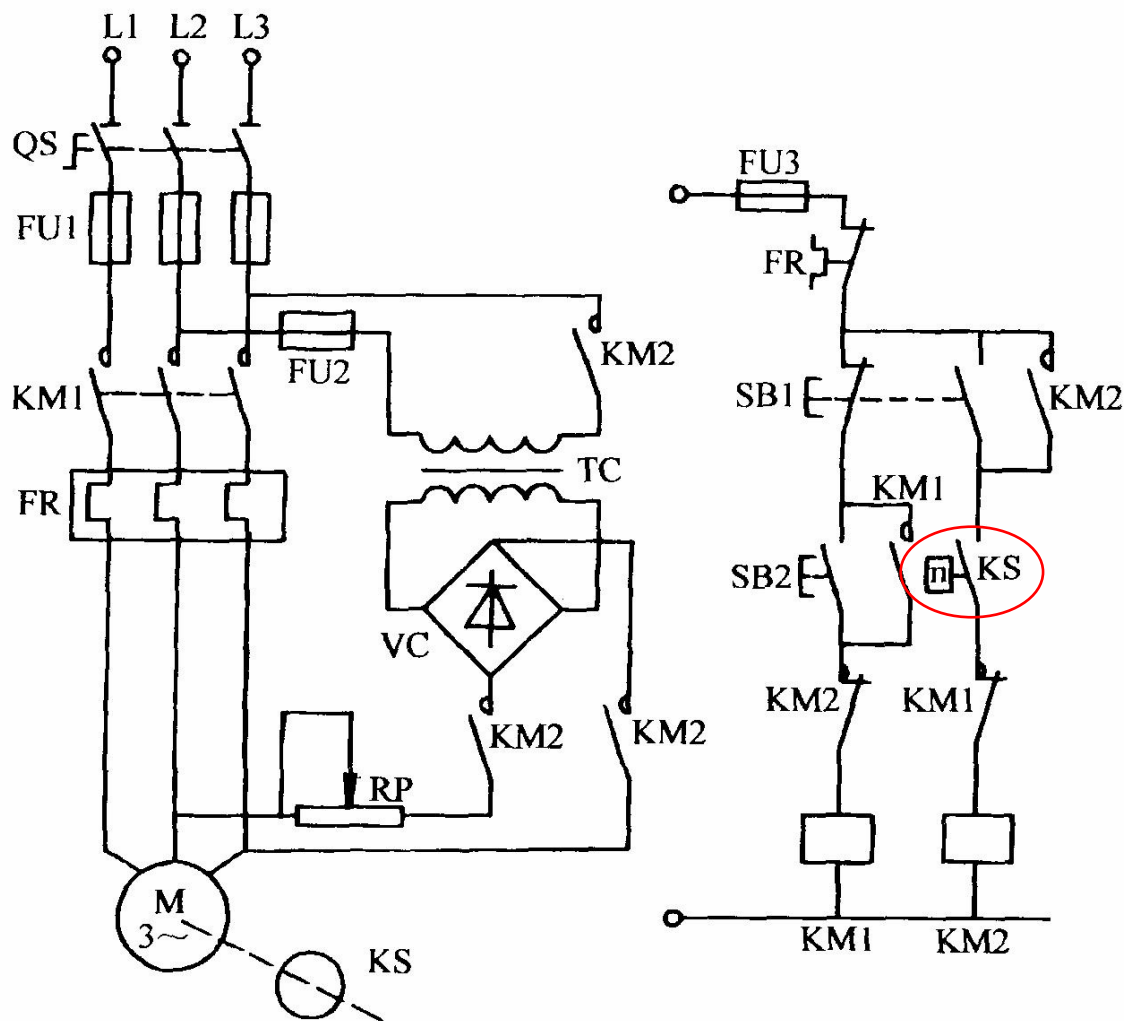
■ KT瞬动触点作用：

当KT线圈断线或其它故障，使KT触点不起作用时，只要按下停止按钮SB1，可以点动能耗制动。若无此触点，发生故障时，按下SB1将使KM2线圈长期通电吸合，从而使电机定子绕组长期接入直流电源。

■ 制动结束时，利用时间继电器KT的延时**常闭触点**断开制动电路。



1. 单向能耗制动控制电路——速度原则



- 制动快结束时，利用速度继电器KS的常开触点断开制动电路。

图 2-22 速度原则控制的单向能耗制动控制电路



2. 电动机可逆运行能耗制动控制电路

— 时间原则

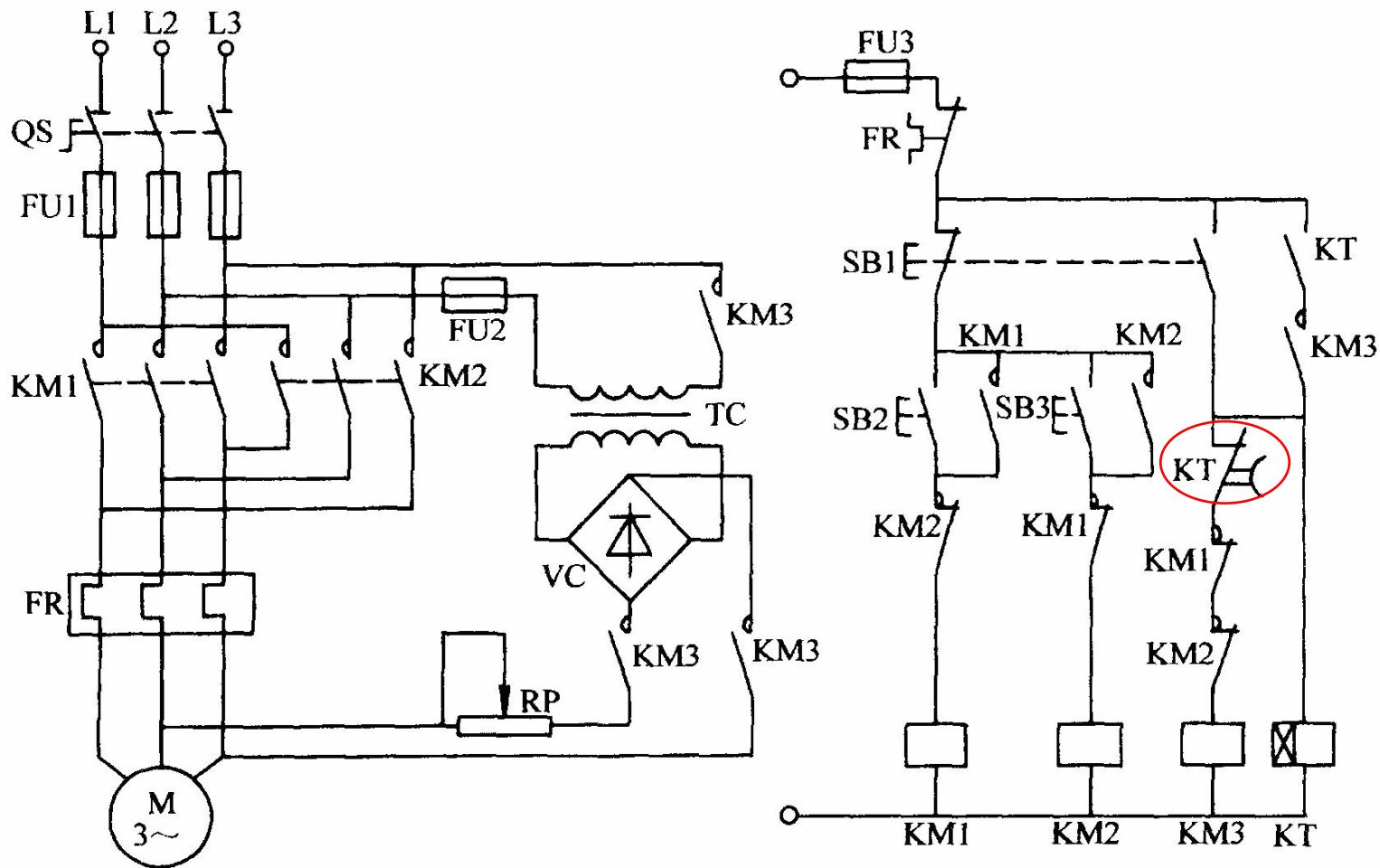
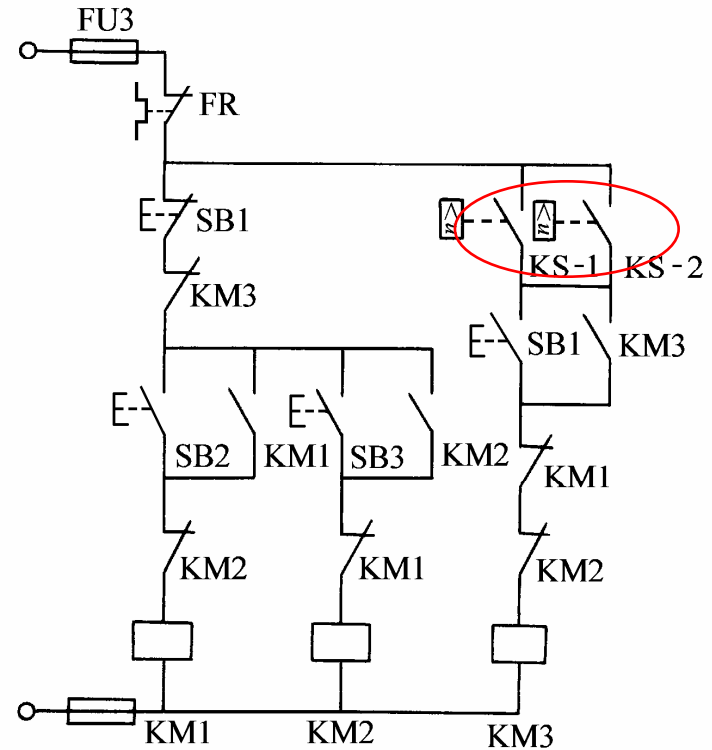
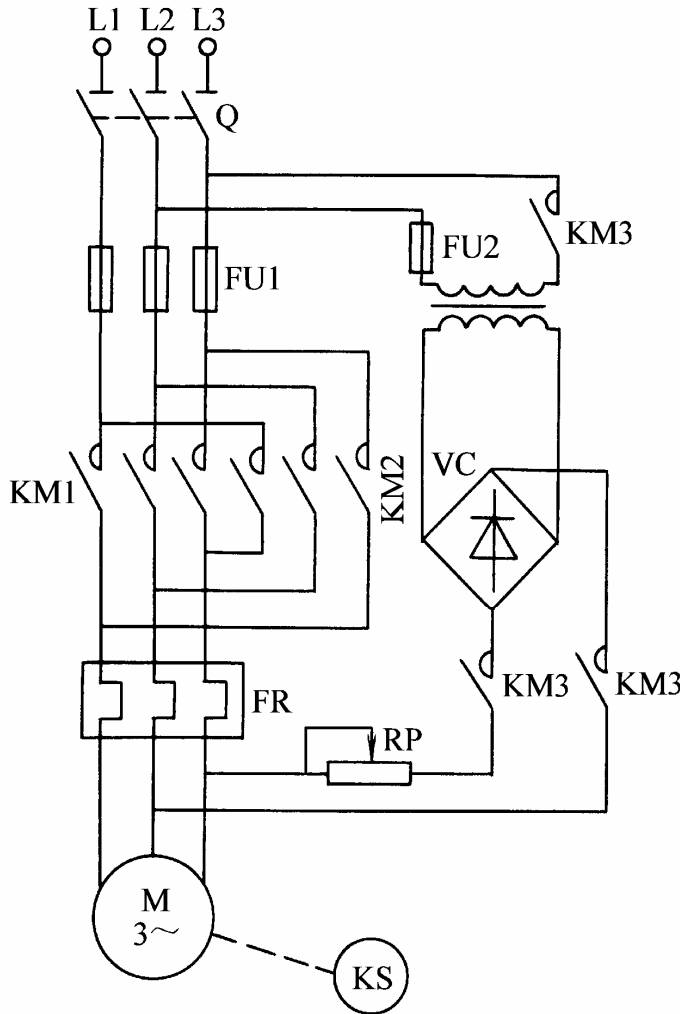


图 2-23 电动机可逆运行能耗制动控制电路



2. 电动机可逆运行能耗制动控制电路

—速度原则





反接制动 能耗制动

反接制动时，制动电流很大，因此制动力矩大，制动效果显著，但在制动时有冲击，制动不平稳且能量消耗大。

能耗制动与反接制动相比，制动平稳，准确，能量消耗少，但制动力矩较弱，特别在低速时制动效果差，并且还需提供直流电源。

在实际使用时，应根据设备的工作要求选用合适的制动方法。



§ 2.6 三相笼型异步电动机的有级调速控制

■ 三相异步电动机的调速原理

$$n = 60 f_1 (1 - s) / p$$

电机调速的方法:

变极对数调速(P)

变频调速(f_1)

变转差率调速(s):

改变 S 可通过调定子电压、改变转子电路中的电阻(只适合绕线式异步电机)、采用串级调速、电磁转差离合器调速等来实现。



§ 2.6 三相笼型异步电动机的有级调速控制

■ 变极对数调速

要求：必须选用双速或多速电动机。

特点：有级调速方法

仅适用：三相**笼型**异步电动机

改变极对数 P 的方法：

改变定子绕组的连接方法

在定子上设置具有不同极对数的两套互相独立的绕组



一、三相笼型异步电动机的有级调速控制原理

■ 改变定子绕组的连接方法—双速电机

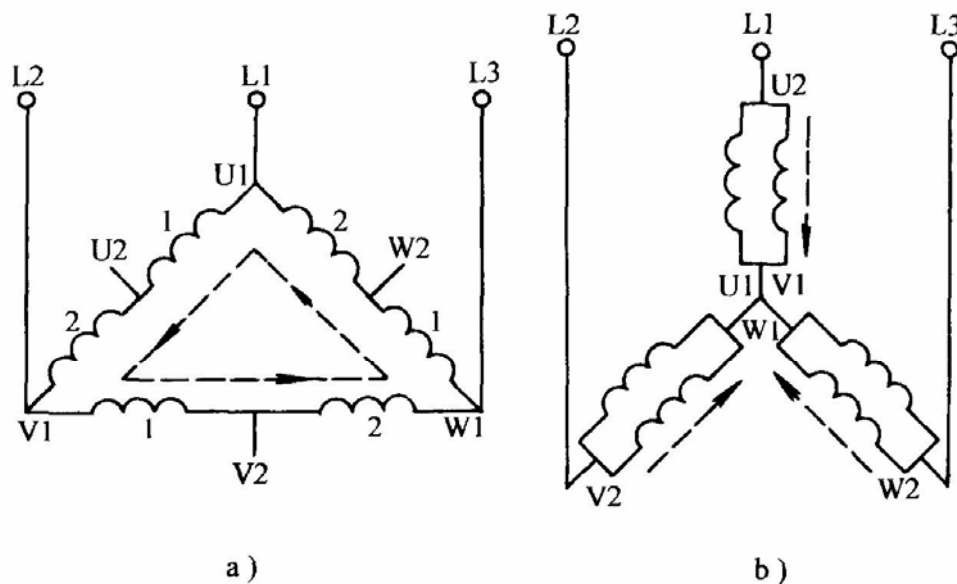


图 2-25 4/2 极的双速电动机三相定子绕组接线示意图

a) 三角形 b) 双星形

- 图a 三角形连接，电动机四极运行，为低速
- 图b 双星形连接，电动机两极运行，为高速



二、接触器控制的双速电动机控制电路

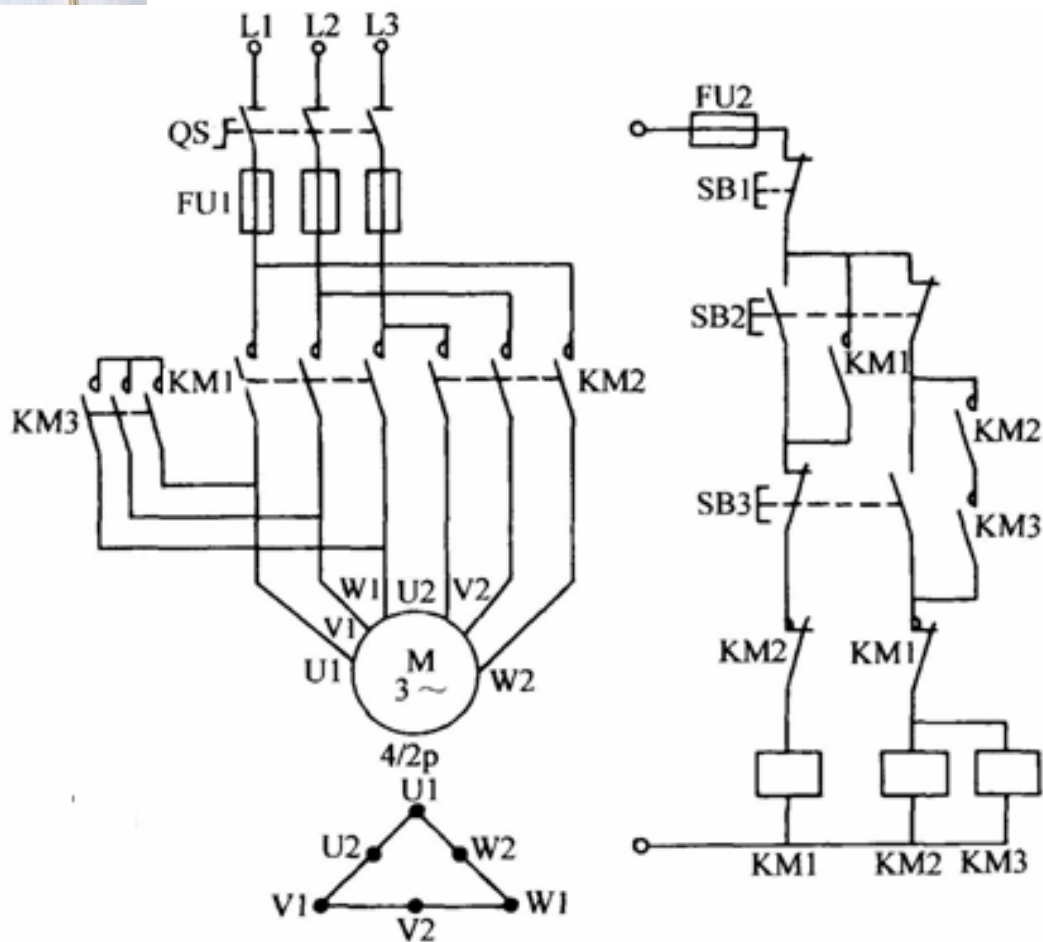


图 2-26 接触器控制的双速电动机控制电路

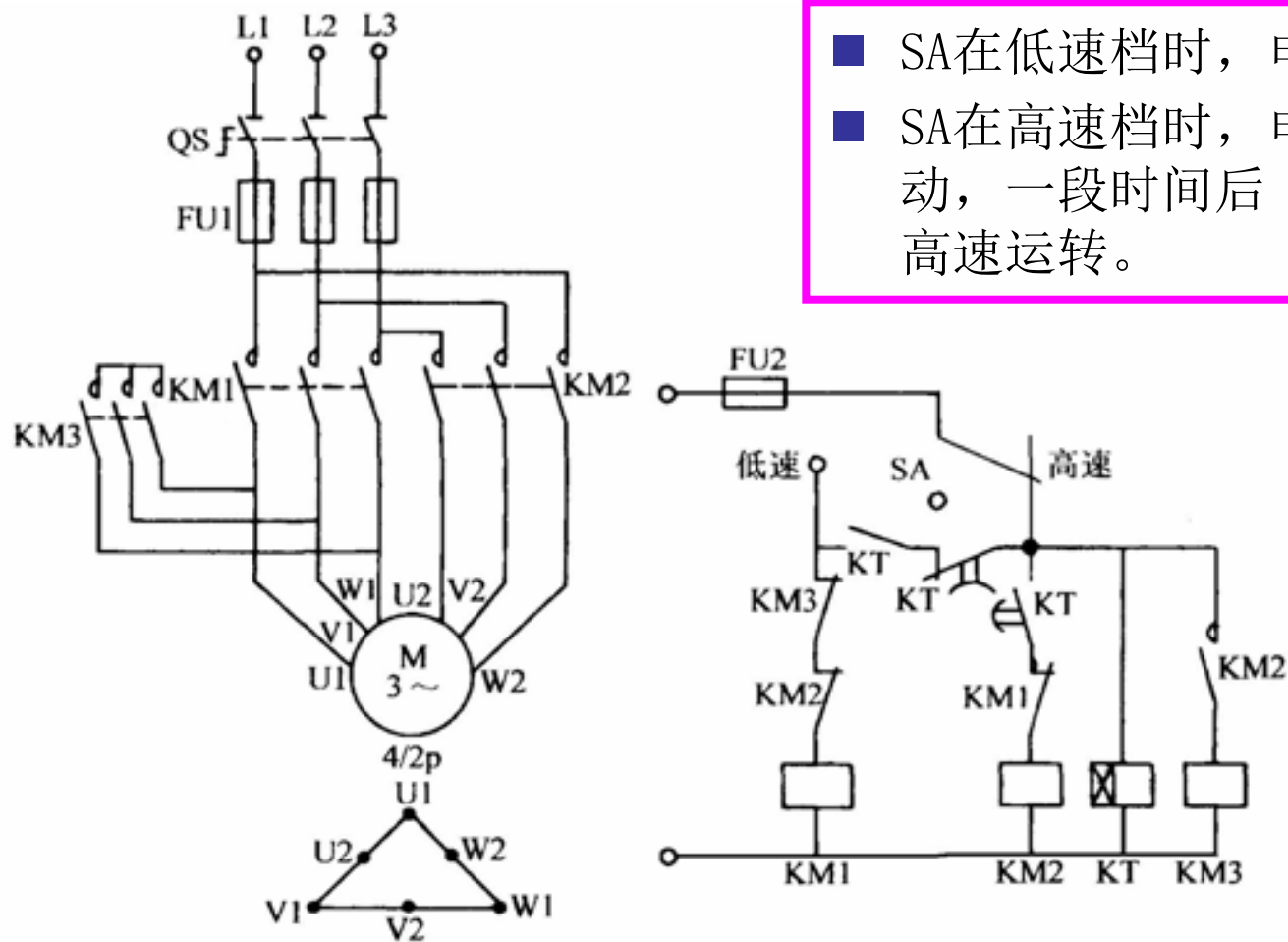
- KM1得电, KM2和KM3断电
—— 三角形, 4极, 低速
- KM2和KM3得电, KM1断电
—— 双丫, 2极, 高速

- SB2 低速按钮
- SB3 高速按钮

- KM1 与 KM2和KM3不能同时得电, 需要互锁。



三、时间继电器自动控制的双速电动机控制电路



- SA在低速档时，电机低速运行
- SA在高速档时，电机先低速启动，一段时间后（KT），电机高速运转。

图 2-27 时间继电器控制的双速电动机控制电路



§ 2.7 直流电动机的控制

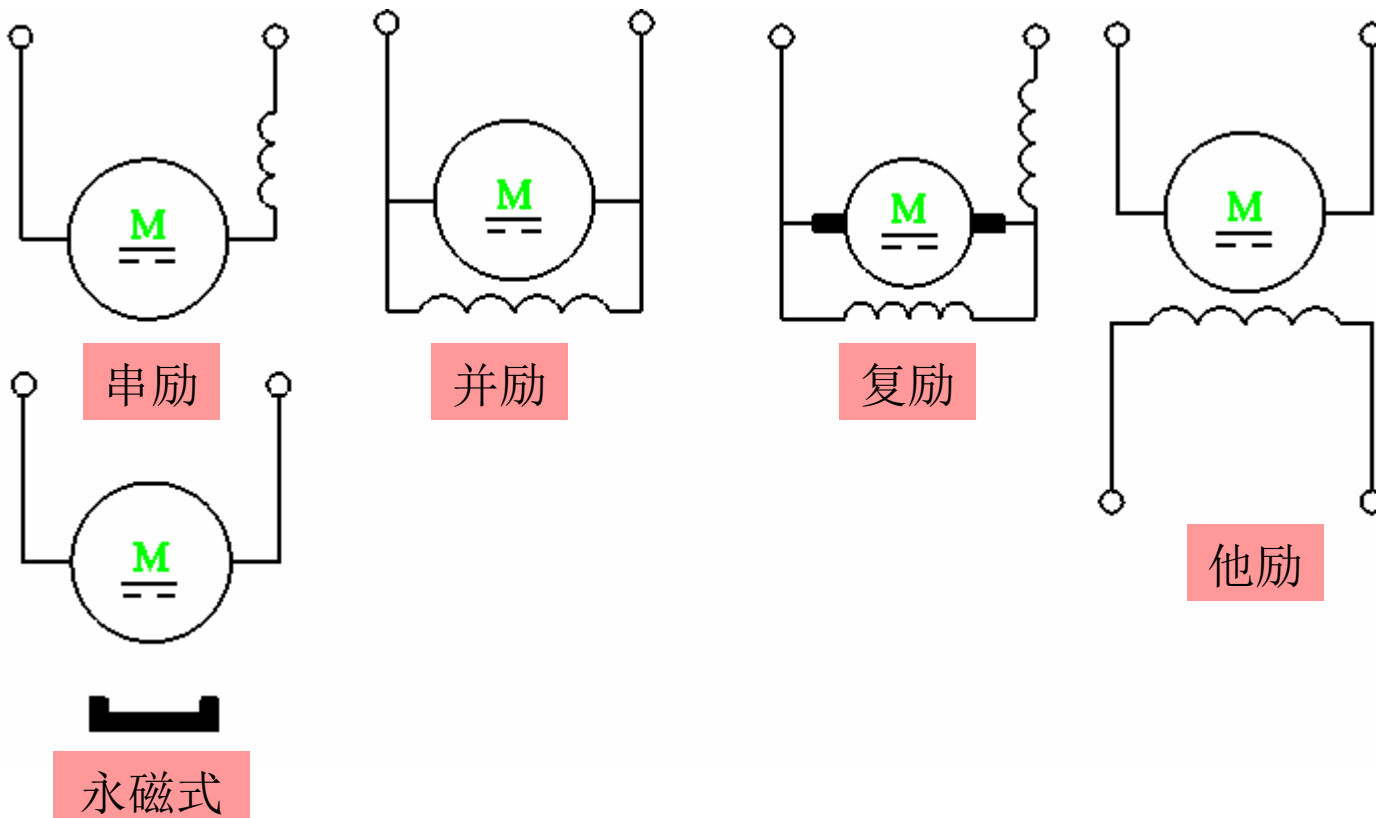
■ 直流电动机优点

具有优良的调速特性，调速平稳、方便，调速范围广，过载能力大，能快速起动、制动和反转，能满足生产过程自动化系统各种不同的特殊运行要求。虽然其制造成本和维护费用比交流电动机大，但在对电动机的调速性能和起动性能要求高的生产机械上仍得到广泛应用。



§ 2.7 直流电动机的控制

- 直流电动机根据定子磁场产生方式不同可分为：**电磁式**和**永磁式**。
- 电磁式励磁绕组有四种连接方式（**他励**、**串励式**、**并励式**、**复励式**）。





一、直流电动机的基本控制方法

1. 直流电动机的起动控制

■ 特点

起动冲击电流大，一般不允许**直接起动**

■ 起动过程

起动电流要小，起动转矩要大→在接通电枢绕组电源时**同时或提前**接上额定的励磁电压。

- **他励、并励**直流电动机起动时，在接通电枢绕组电源时，必须同时或提前接上额定的励磁电压。
- **串励**直流电动机的励磁电流和电枢电流是同时接通的。



一、直流电动机的基本控制方法

2. 直流电动机的正反转控制

■ 由电磁转矩： $T = C_T \Phi I$

■ 改变直流电动机的转向有两个方法：

- (1) 电动机的励磁绕组两端电压的极性不变时，**改变电枢绕组两端电压的极性**，使电枢电流反向
- (2) 电枢绕组两端电压极性不变，而**改变励磁绕组两端电压的极性**，使励磁电流反向。

■ 反向过程：

- (1) 防止造成“飞车” → 改变励磁电流的同时要切断电枢绕组电源。
- (2) 消除励磁绕组因断开触头产生的感应电动势 → 加设阻容吸收装置。



一、直流电动机的基本控制方法

3. 调速控制

■ 突出优点

在很大的范围内具有平滑、平稳的调速性能。

■ 调速方法：

电枢回路串电阻调速、改变电枢电压调速、改变励磁调速和混合调速。

4. 制动控制

■ 直流电动机电气制动方法：能耗制动、反接制动和再生发电制动等几种方式。



二、他励(包括并励)直流电动机的控制电路

1. 电枢回路串电阻的起动与调速控制电路

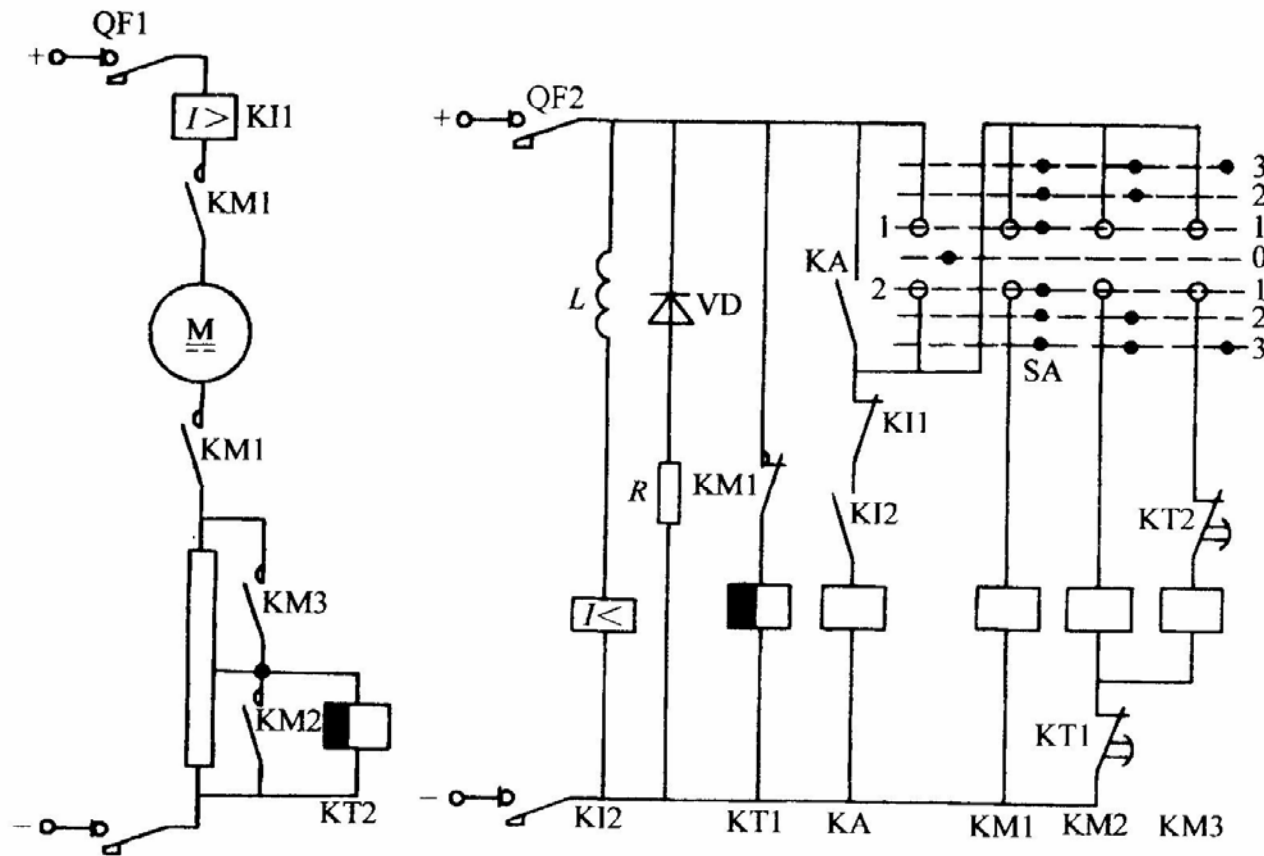


图 2-28 他励直流电动机电枢回路串电阻起动与调速控制电路



§ 2.8 电气控制系统的保护环节

常用的保护环节

◆ 短路保护

◆ 过电流保护

◆ 过载保护

◆ 零电压保护及欠电压保护

◆ 弱磁和失磁保护

电流型保护

电压型保护

电流型保护



§ 2.8

电气控制系统的保护环节

一、短路保护

■ 产生短路现象原因：

绝缘损坏、负载短接、接线错误等故障。

■ 短路的后果：

短路时产生的瞬时故障电流可达到额定电流的几倍到几十倍，使电气设备因过热损坏，甚至因电弧引起火灾。

■ 短路保护要求：

瞬动特性：即发生短路故障时，控制电路能迅速地切除电源

■ 短路保护常用方法：采用**熔断器FU**、**断路器QF**



§ 2.8 电气控制系统的保护环节

二、过载保护

■ **过载**：电动机的运行电流大于额定电流，但在1.5倍额定电流以内。

■ **引起电动机过载原因**：

负载的突然增加，电网电压降低，缺相运行等。

■ **过载后果**：

长期处于过载运行，也将引起电动机的过热，使其温升超过允许值而损坏绝缘，寿命缩短，严重时还会使电动机损坏。

■ **过载保护要求**：

具有**反时限特性**，且不会因为电动机短时过载冲击电流或短路电流的影响而瞬时动作。

■ **常用的过载保护元件**：**热继电器FR**、**断路器QF**



§ 2.8 电气控制系统的保护环节

三、过电流保护

- **过电流保护**：电动机或电器元件超过其额定电流的运行状态，但不超过2.5倍额定电流。
- **过电流现象产生原因**：
由于不正确的起动和过大的负载引起的。
- **过电流后果**：
在过电流情况下，电器元件一般不是马上损坏，只要在达到最大温升之前，电流值能恢复正常还是运行的。
- **常用的过电流保护元件**：**过电流继电器KI**
- 过电流保护广泛用于直流电动机或绕线转子异步电动机中，对于**三相笼型异步电动机**，其短时过电流不会产生严重后果，故**可不设置过电流保护**。



§ 2.8

电气控制系统的保护环节

四、零电压及欠电压保护

■ **零电压保护**: 为了防止电网失电后恢复供电时, 电动机自行起动的保护。

■ **零电压保护原因**:

电动机在运行中, 电源电压因某种原因消失后, 当电源电压恢复时, 如果电动机自行起动, 可能使生产设备损坏或造成人身事故。

■ **常用的零电压保护元件**: 自动复位按钮和接触器自锁触点, 零电压继电器KV, 中间继电器KA



§ 2.8 电气控制系统的保护环节

四、零电压及欠电压保护

- **欠电压保护**：在电动机的运行过程中，由于电源电压降低到 U_N 的60%~80%时，要求能自动切断电源而停止工作的保护。
- **欠电压保护原因**：

电动机运转时，电源电压过分降低引起电磁转矩下降，在负载转矩不变的情况下，电机转速下降，电流增大。此外，由于电压的降低会引起控制电器的释放，造成电路不正常工作。
- **常用的欠电压保护元件**：欠电压继电器KV，利用接触器本身的欠电压保护作用



§ 2.8 电气控制系统的保护环节

五、弱磁和失磁保护

■ 弱磁和失磁保护的原因：

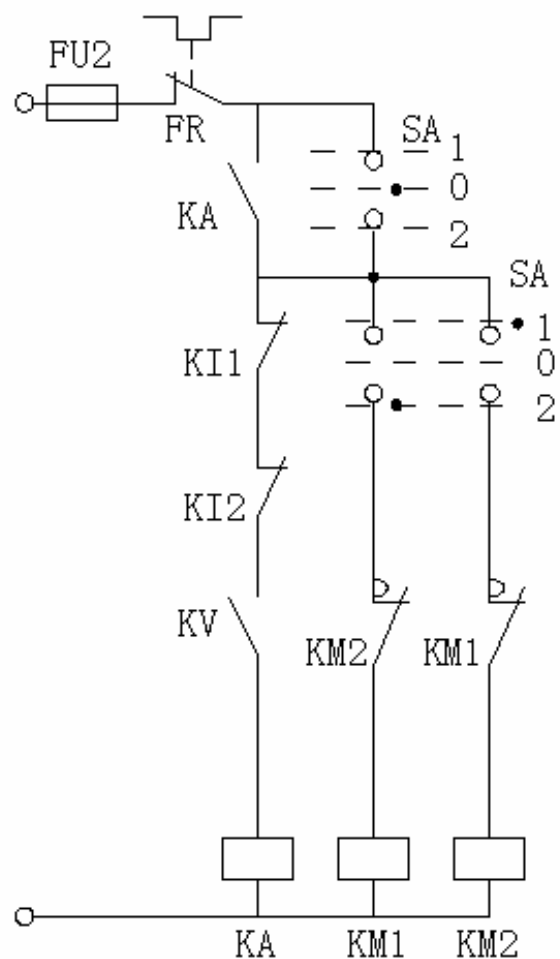
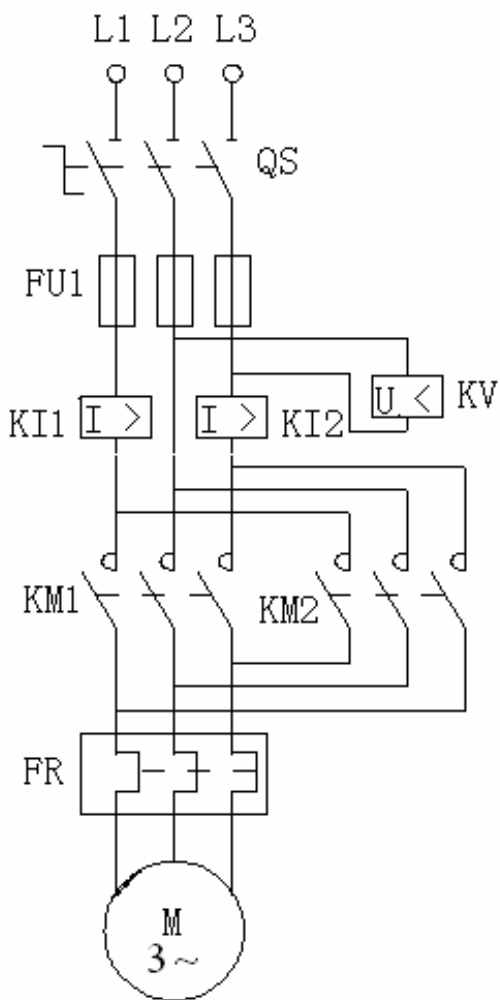
直流电动机只有在一定强度的磁场下才能起动，同时正在运行时磁场突然减弱或消失，电动机转速就会迅速升高，甚至发生“飞车”。

■ 常用的弱磁和失磁保护元件：

欠电流继电器KI（串入直流电动机励磁回路）



§ 2.8 电气控制系统的保护环节



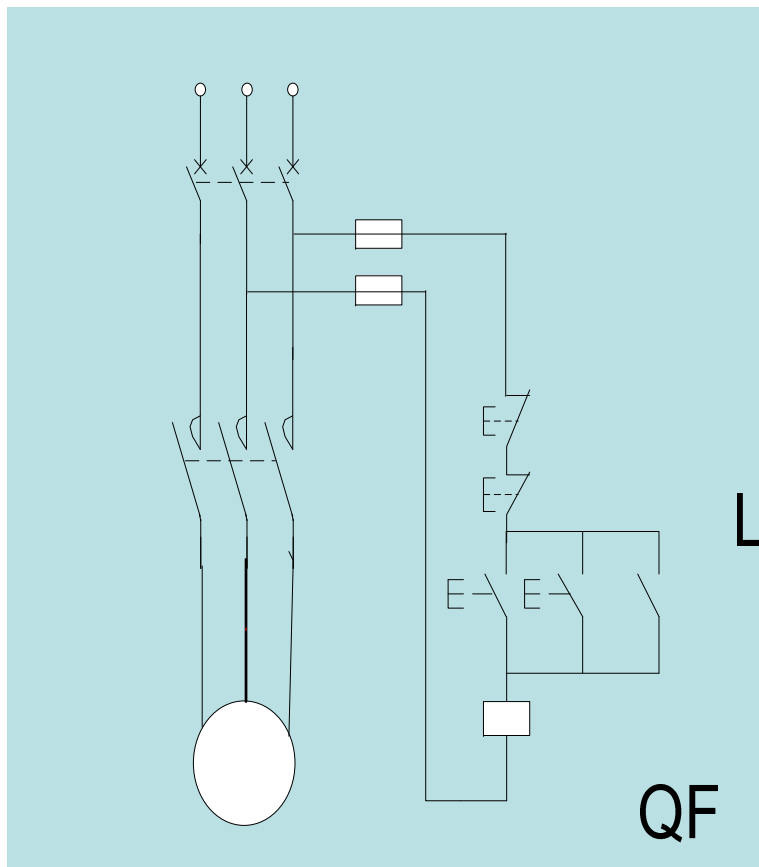
- **短路保护**: FU1和FU2
- **过载保护**: FR
- **过电流保护**: 过电流继电器KI1和KI2
- **零电压保护**: 中间继电器KA
- **欠电压保护**: 欠电压继电器KV
- **互锁保护**: KM1和KM2互锁触头



§ 2.9 其他典型的控制电路

(增)

(一) 多地点控制电路



■ 在一些大型生产机械和设备上，要求操作人员在不同方位能进行操作和控制，即**多地点控制**。

控制规律：

- **起动按钮**常开触点要**并联**，即逻辑或关系。
- **停止按钮**常闭触点要**串联**，即逻辑与关系。

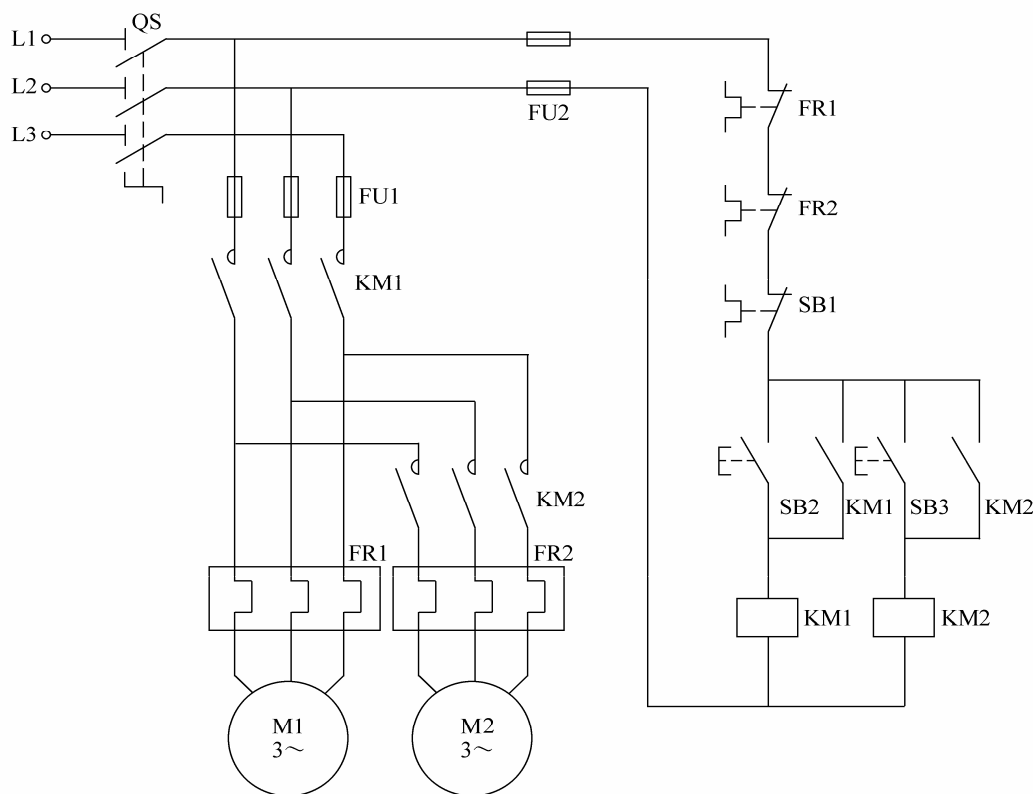


§ 2.9 其他典型的控制电路

(增)

(二) 顺序控制电路

1. 主电路中实现两台电动机顺序启动



■ 在生产实际中，有些设备往往要求其上的多台电动机的启动与停止必须按照一定的先后顺序进行，即电动机的**顺序控制**。

■ **顺序控制即可在主电路实现，也可在控制电路中实现。**

■ 两电机各自要有独立的电源；这样接，主触头(KM1)的负荷过重。



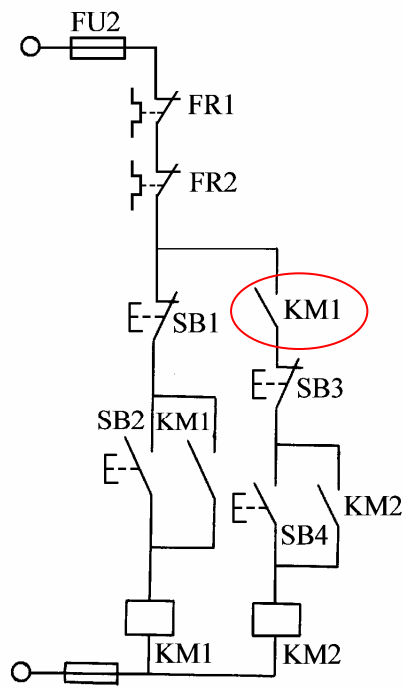
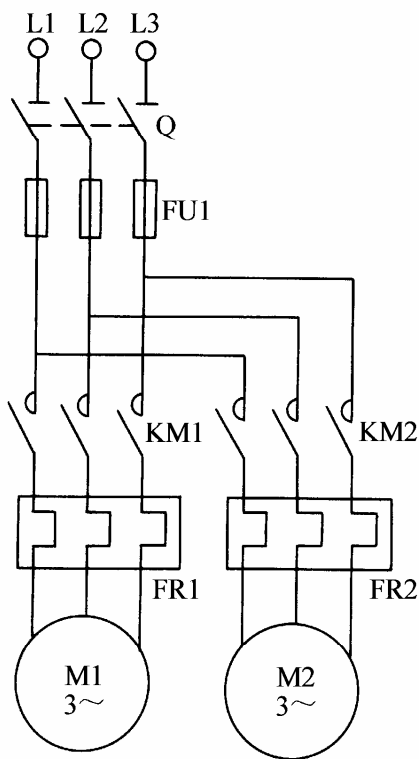
§ 2.9 其他典型的控制电路

(增)

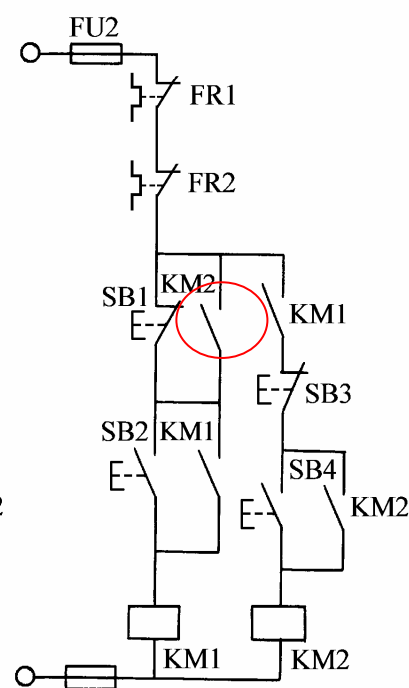
(二) 顺序控制电路

2. 控制电路中实现顺序控制

- 图a) M1先起动, M2后起动
- 图b) M1先起动, M2后起动;
M2先停止, M1再停止



a) 按顺序起动电路



b) 按顺序起动、停止的控制电路



§ 2.9 其他典型的控制电路

(增)

总结：顺序控制电路控制规律

- 当要求甲接触器工作后方允许乙接触器工作，则将甲接触器的常开触点串入乙接触器的线圈电路中。
- 当要求乙接触器线圈断电后方允许甲接触器线圈断电，则将乙接触器的常开触点并联在甲接触器的停止按钮两端。

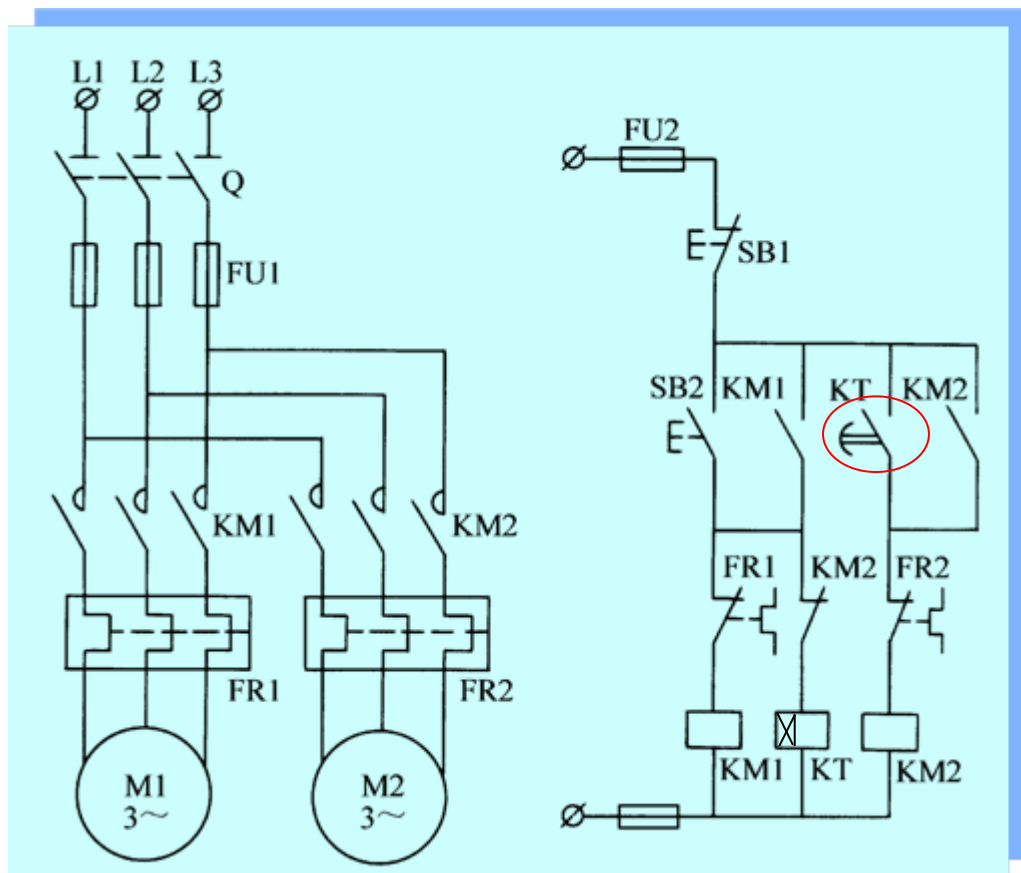


§ 2.9 其他典型的控制电路

(增)

(二) 顺序控制电路

3. 时间继电器实现顺序控制



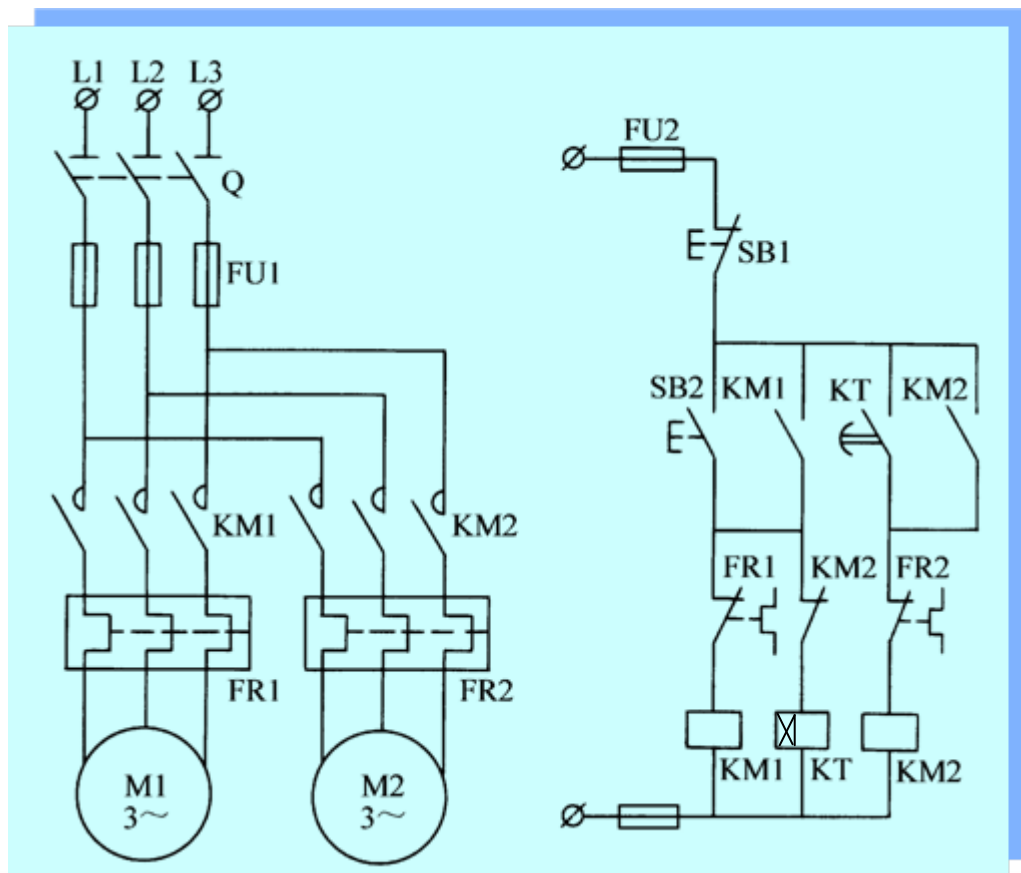


§ 2.9 其他典型的控制电路

(增)

(二) 顺序控制电路

3. 时间继电器实现顺序控制

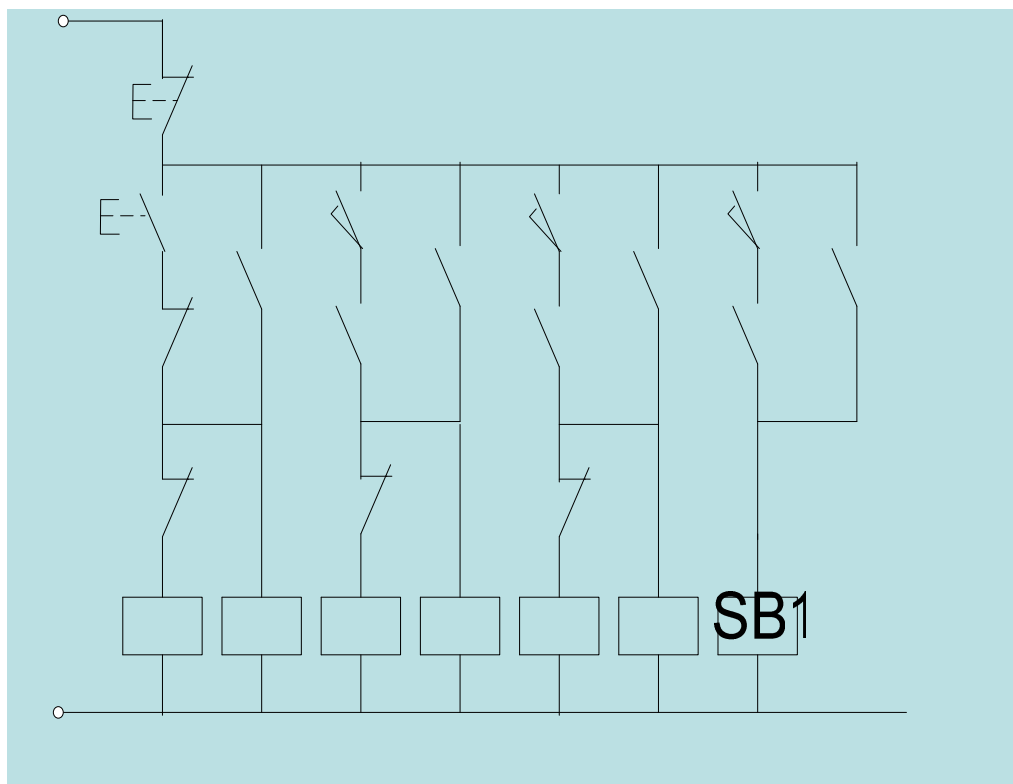




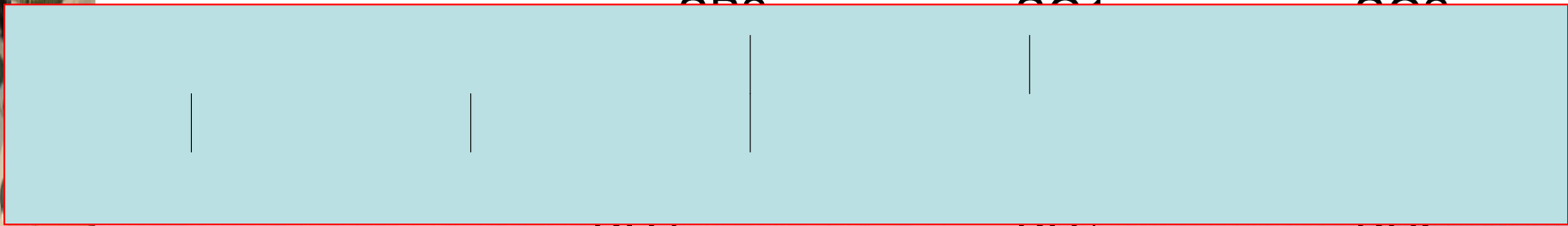
§ 2.9 其他典型的控制电路

(增)

(三) 步进控制电路



按SB1→KA4失电
→工作结束。





组成电气控制电路的基本规律

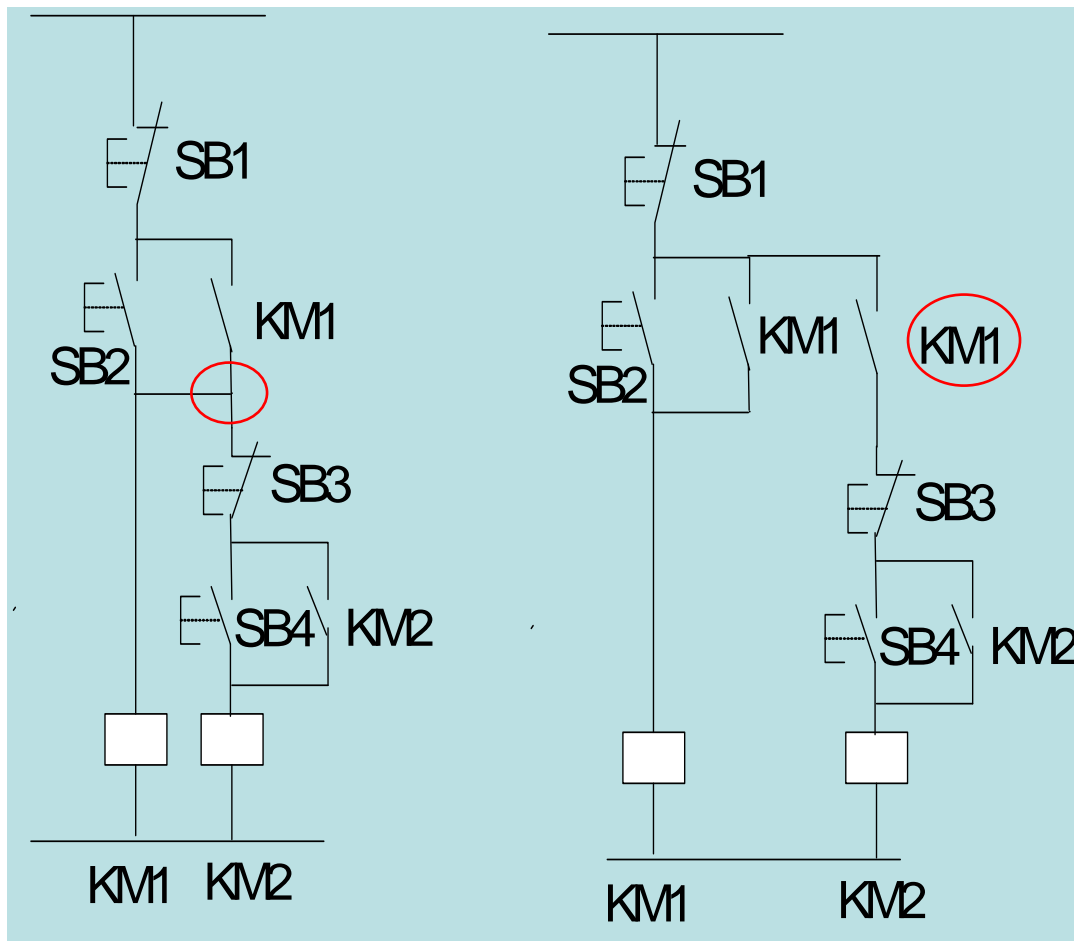
(一) 按联锁控制的规律

■ 按联锁进行控制是组成电气控制电路的基本规律之一

联锁： 电器之间互相制约、互相配合的关系，包括自锁、互锁控制。



1. 顺序控制电路中



先

后

先

后

KM1先得电

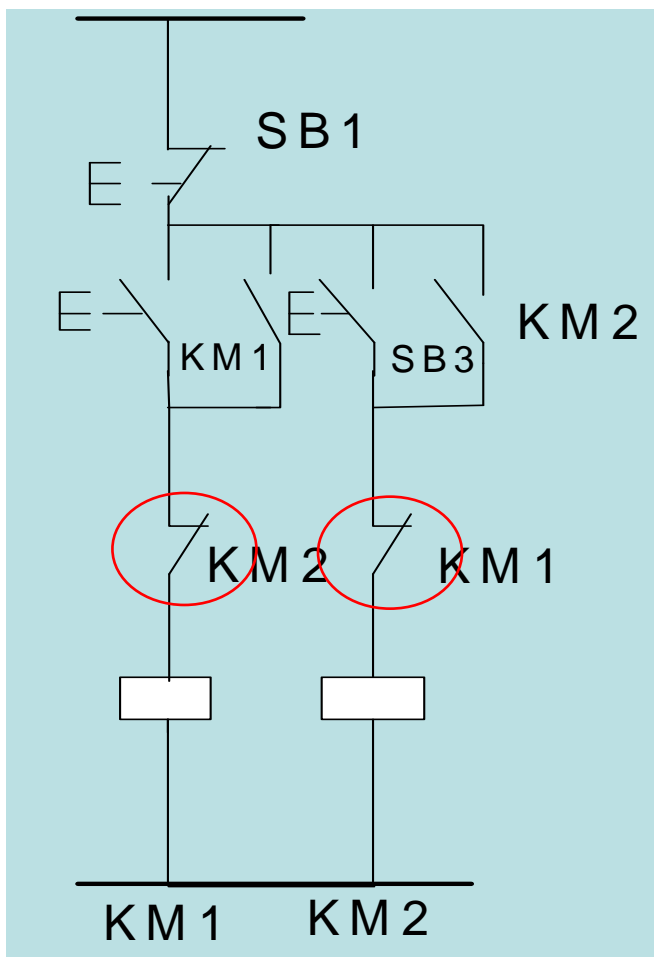
KM2后得电

KM2控制线圈的电源从KM1的自锁触点后引入。

KM1的常开触点串接在KM2线圈的控制电路中



2. 电动机正、反转控制电路中

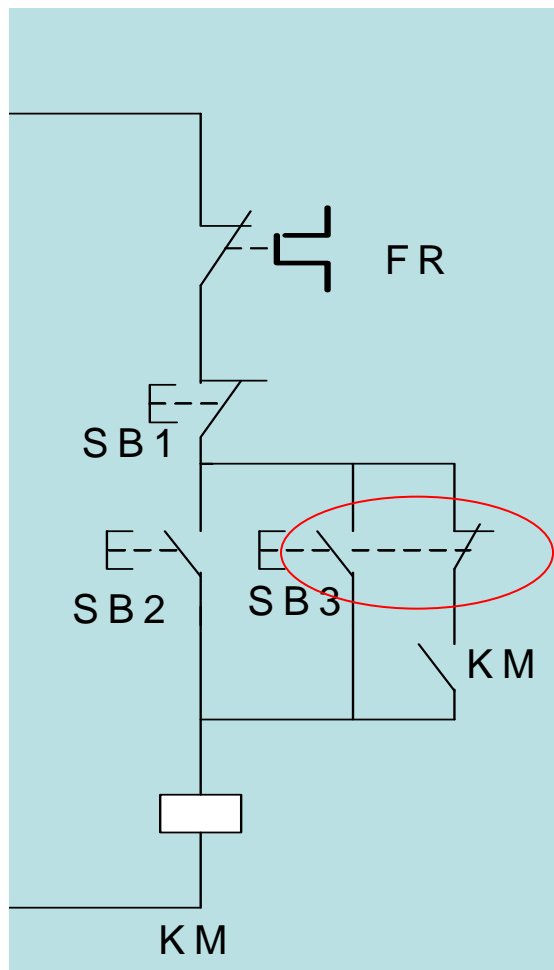


■ 接触器KM1、KM2不能同时得电吸合。

■ 常闭触点分别串接在对方线圈电路中，这种联锁关系称为互锁



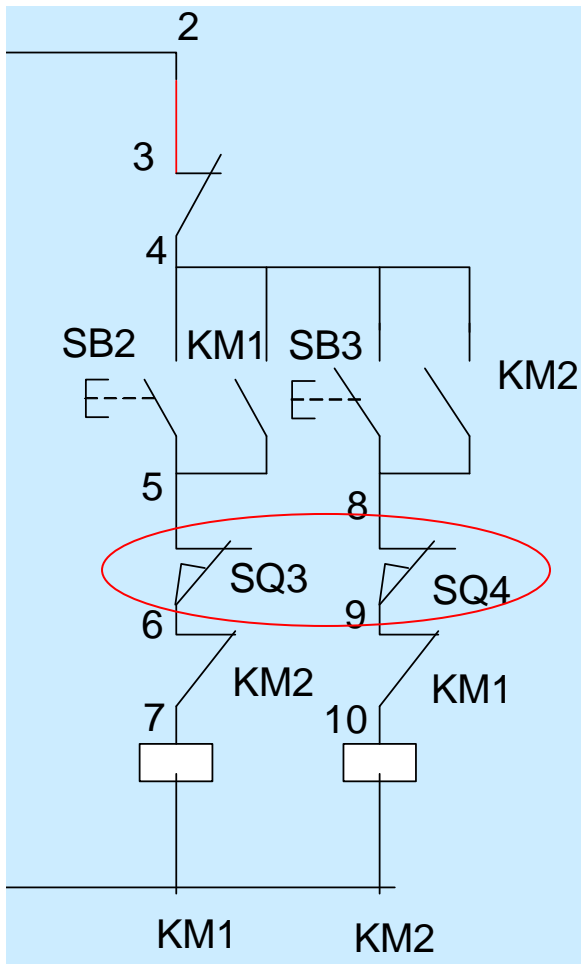
3. 单向点动、长动混合控制电路中



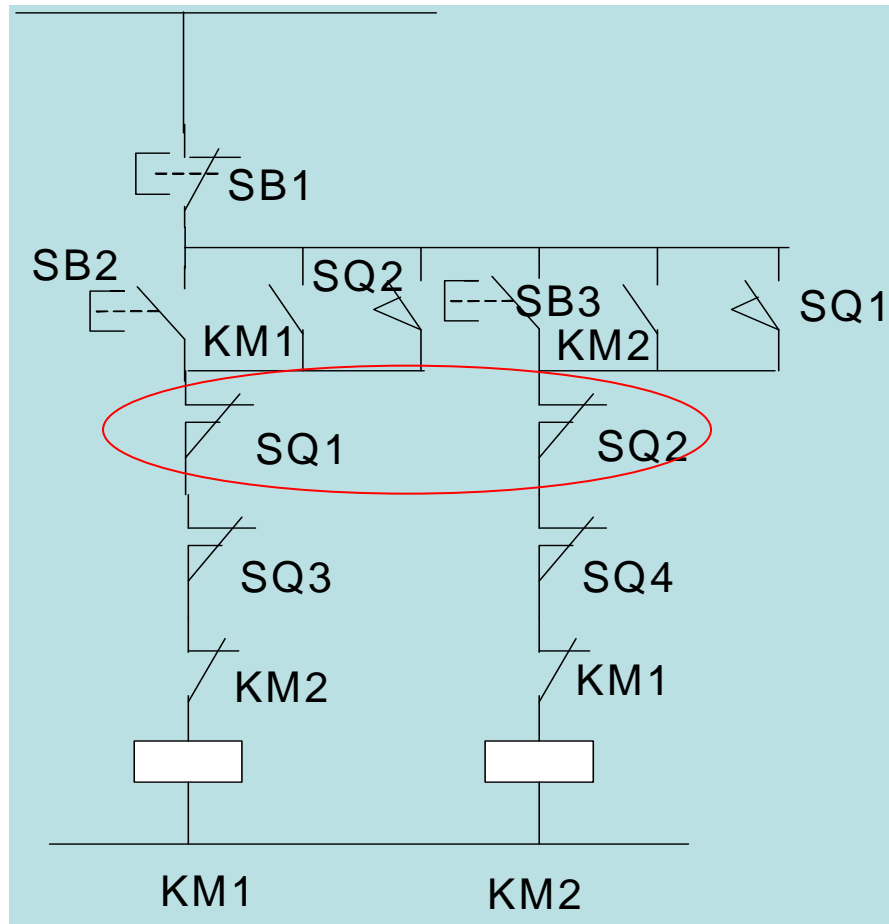
- 复合按钮作点动控制按钮
- 其常闭触点串接在自锁回路中



4. 具有极限保护的正反转控制电路中



极限保护



行程控制

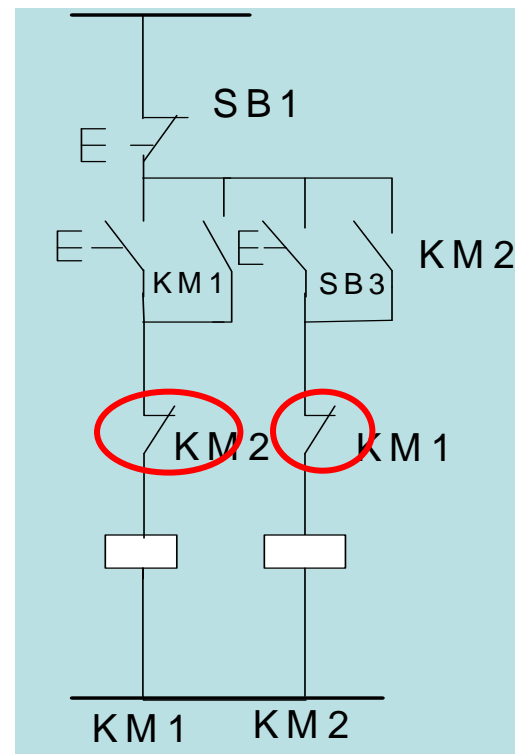


按联锁控制的规律

- 实现联锁控制的基本方法是采用反应某一运动的联锁触点控制另一运动的相应电器，从而达到联锁控制的要求。



正确选择联锁触点



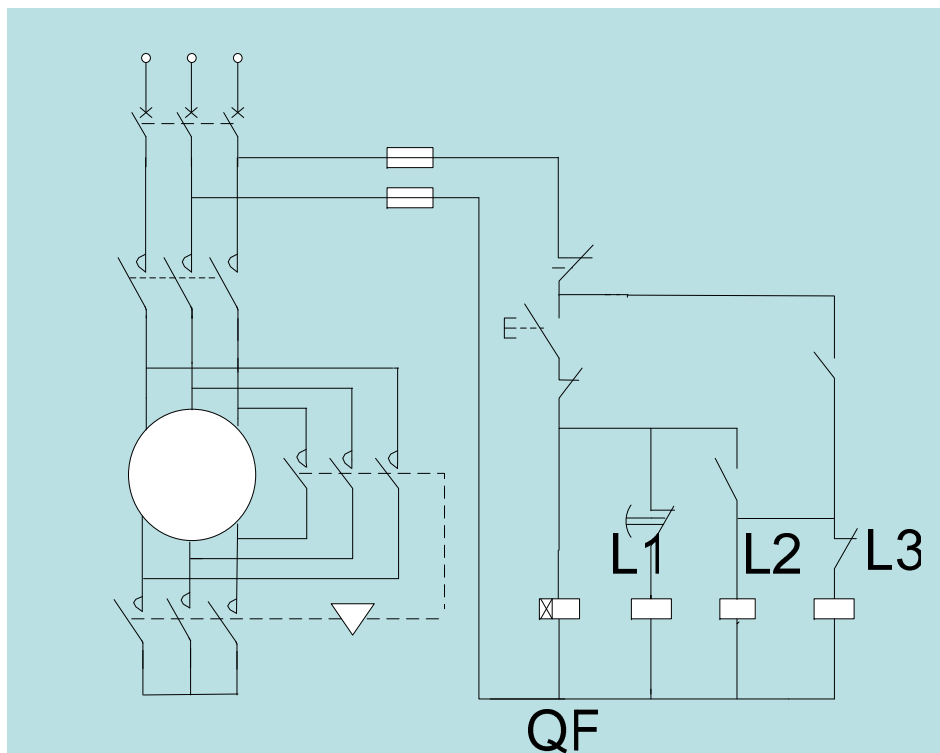


(二) 按控制过程的变化参量 进行控制的规律

- 选择某些能反映生产过程的变化参数作为控制参量进行控制是组成电气控制电路的基本规律之一。
- 变化参数：
电流、电压、压力、行程、速度、时间



1. 星形—三角形降压起动控制电路



- 选择时间作为控制参量——时间原则
- 采用时间继电器

FU 2

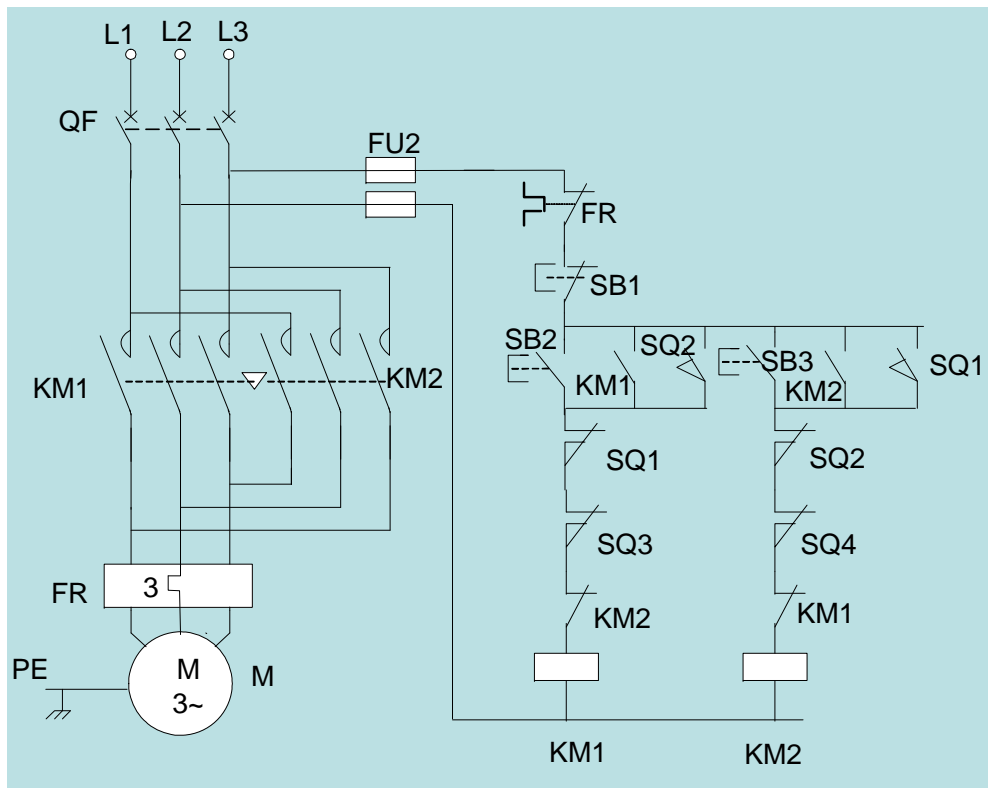
1

KM1

博学 求是 明德
SB1



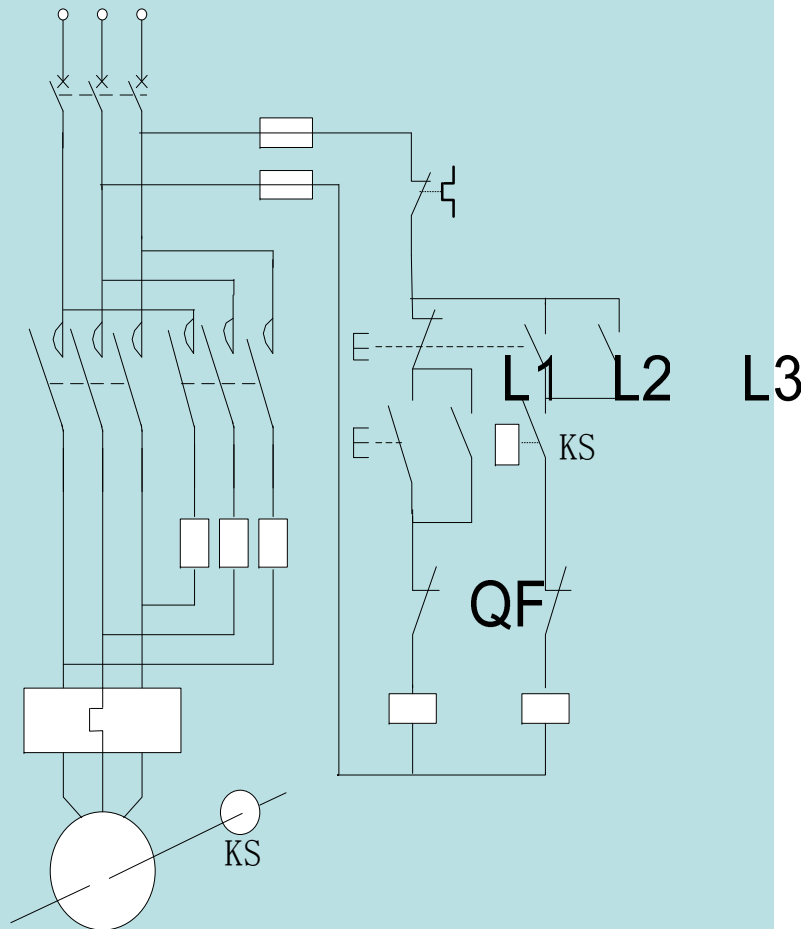
2. 自动往返控制电路



- 选择行程作为控制参量——行程原则
- 采用行程开关



3. 反接制动控制电路



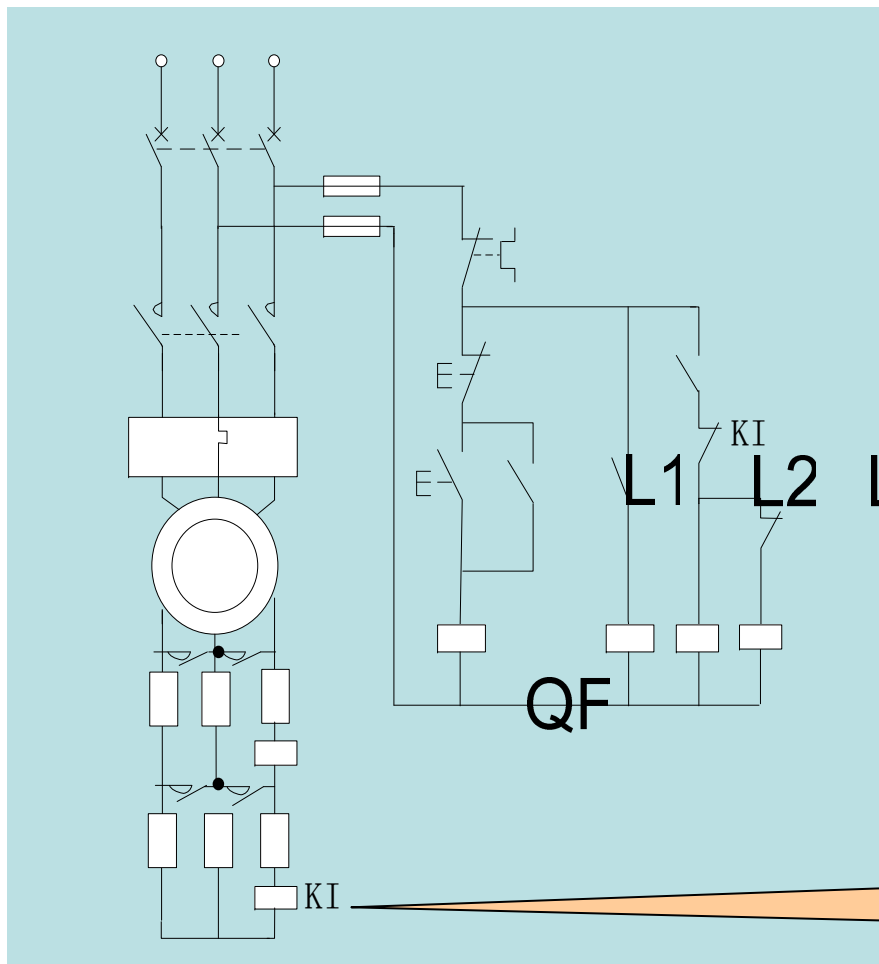
- 选择速度作为控制参量——速度原则
- 采用速度继电器

FU

FR



4. 绕线式异步电动机的控制电路



- 选择电流作为控制参量——**电流原则**
- 采用电流继电器

FR
欠电流继电器

KM1



按控制过程的变化参量进行控制的规律



- 正确选择控制参量、确定控制原则
- 选定能反映该控制参量变化的电器元件



总结

1. 基本控制电路

■ 起动控制

全压起动

定子串电阻起动

降压起动

Y- Δ 起动

■ 正反转控制

正-停-反

正-反-停

■ 制动控制

反接制动

能耗制动

■ 调速控制

双速控制



总结

2. 其他典型控制电路

- 点动与连动控制
- 多地点控制
- 顺序控制
- 自动往复循环控制
- 步进控制



总结

3. 控制规律

- 按联锁控制
- 按控制过程的变化参量控制

时间原则

行程原则

速度原则

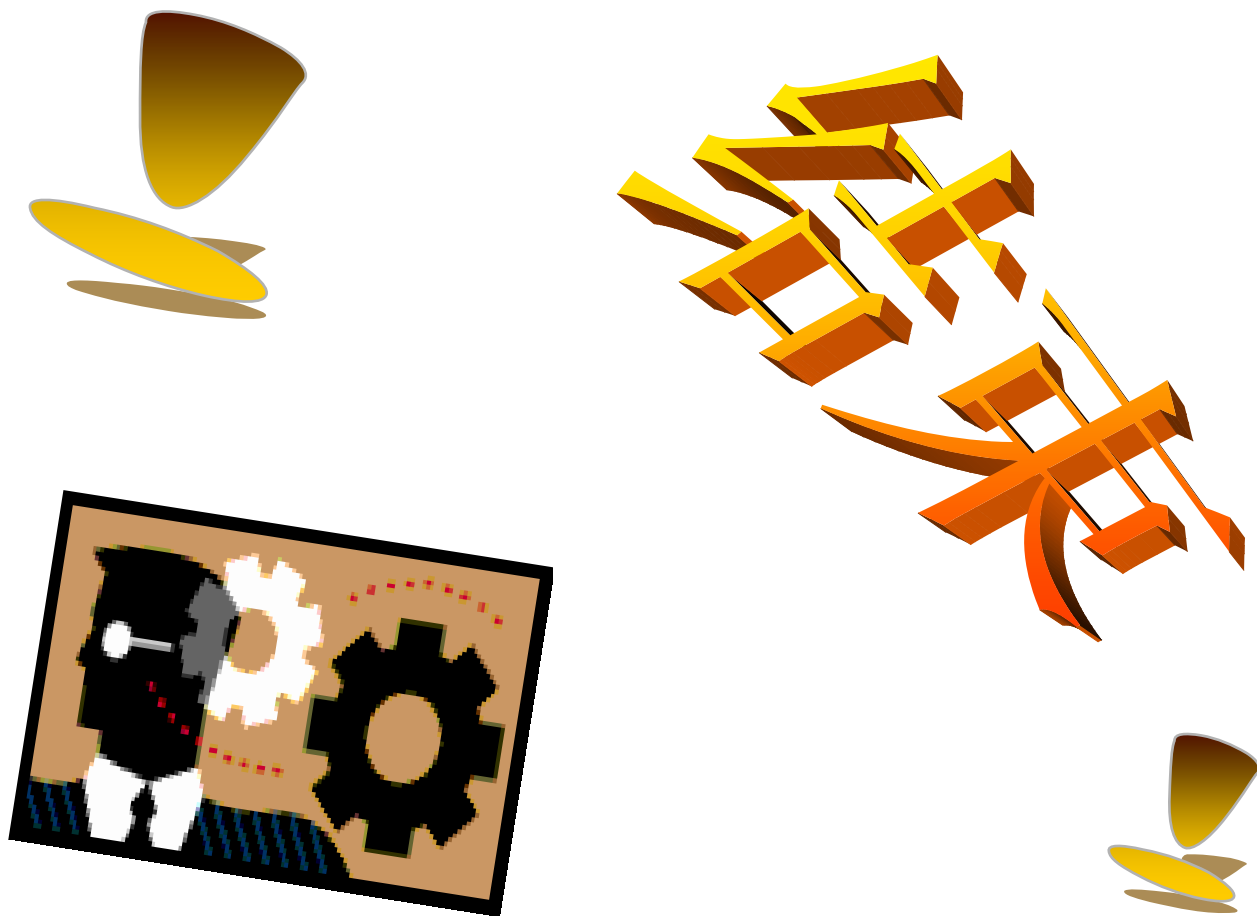
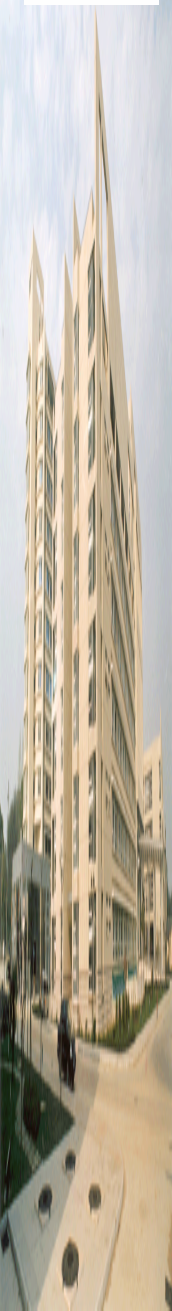
4. 保护环节

- 短路保护
- 过载保护
- 零压及失压保护
- 过电流保护
- 弱磁和失磁保护



作业

- 2-14、设计某控制电路，三台异步电动机启动时，M1先启动，经过10s后，M2自行启动，运行30s后，M1停止并同时使M3自行启动，再运行30s后，电动机全部停止。
- 2-17、一台四级皮带式运输机，分别由M1、M2、M3、M4四台电动机拖动，其动作顺序如下：启动时，要求按M1→M2→M3→M4顺序启动，停车时，要求按M4→M3→M2→M1顺序停车。**顺序启动和顺序停车的时间间隔为30秒**，试设计其控制电路。



第三章 典型生产机械电气控制电路分析

- ➔ § 3.1 电气控制电路的分析基础
- ➔ § 3.2 卧式车床的电气控制电路分析
- ➔ § 3.3 X62W型卧式万能铣床的电气控制电路分析
- ➔ § 3.4 T68型卧式镗床的电气控制电路分析

§ 3.1 电气控制电路的分析基础

一、电气控制电路分析的内容

1. 设备说明书
2. 电气控制电路图

二、电路图阅读分析的方法与步骤

1. 分析主电路
2. 分析控制电路
3. 分析辅助电路
4. 分析联锁与保护环节
5. 分析特殊控制环节
6. 总体检查

§ 3.1 电气控制电路的分析基础

二、电路图阅读分析的方法与步骤

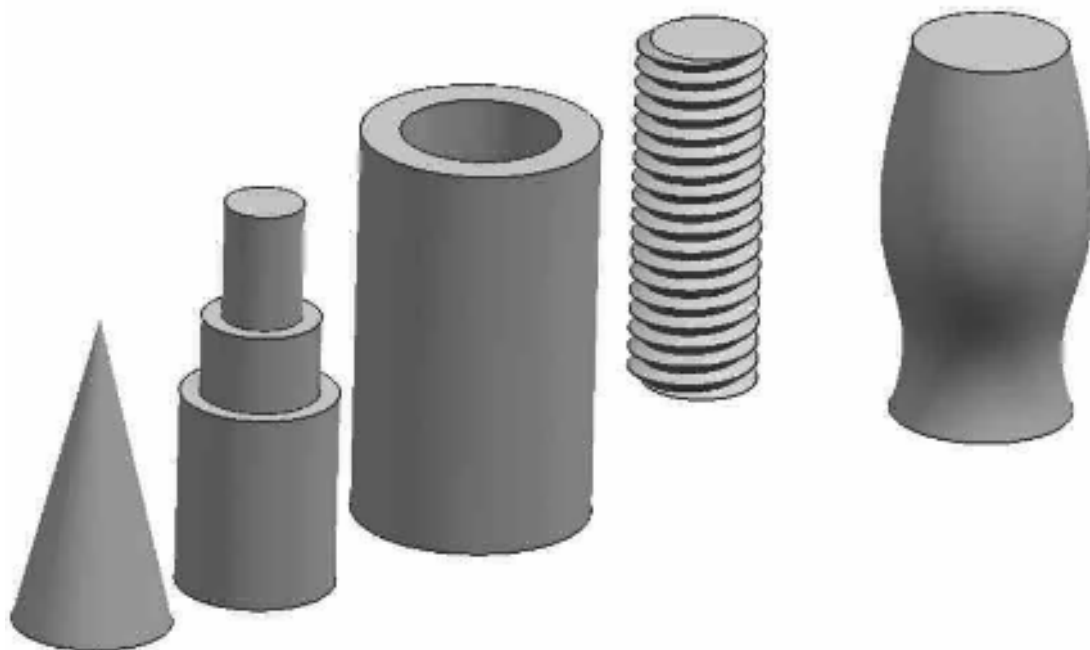
- 1** 先机后电
- 2** 先主后辅
- 3** 化整为零
- 4** 集零为整、统观全局
- 5** 总结特点

§ 3.2 卧式车床的电气控制电路分析

一、卧式车床的加工对象

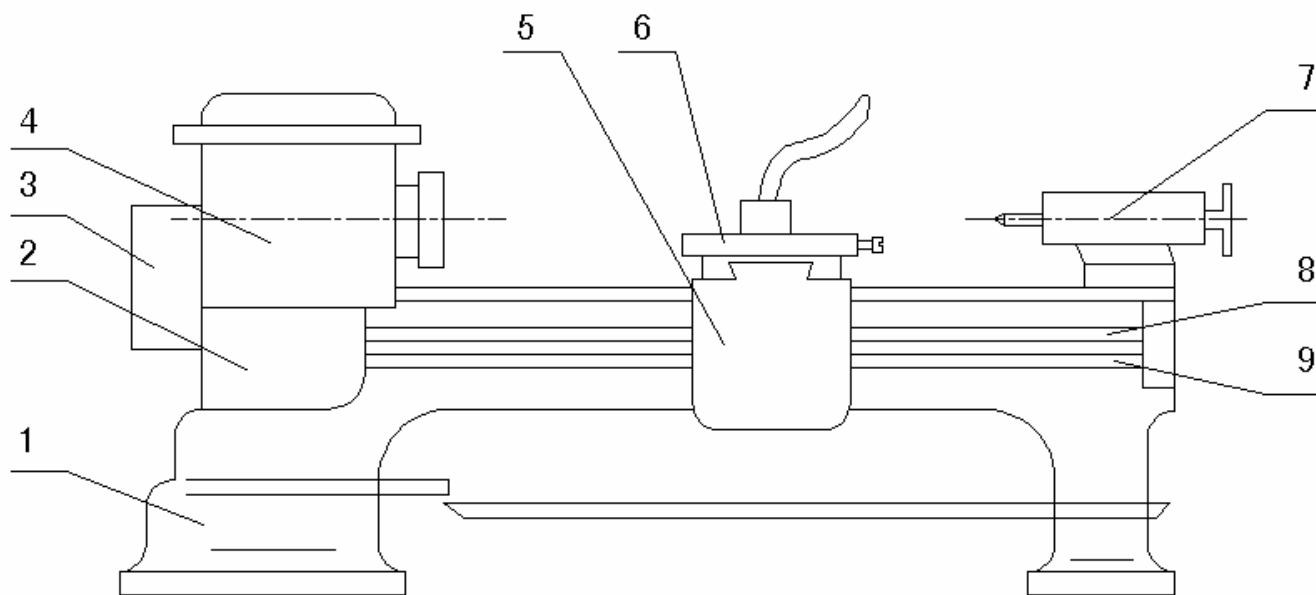
适合于加工各种轴类、套筒类和盘类零件上的**回转表面**

如车削内外圆柱面、圆锥面、端面、螺纹、钻孔、扩孔、铰孔等



§ 3.2 卧式车床的电气控制电路分析

二、卧式车床的主要结构及运动形式



卧式车床组成：**四箱**（主轴箱**4**、进给箱**2**、挂轮箱**3**、溜板箱**5**），**两杠**（丝杠**8**、光杠**9**），**两座**（尾座**7**、刀架**6**）及床身**1**等组成。

二、卧式车床的主要结构及运动形式



为了加工各种旋转表面，车床必须具有**切削运动**和**辅助运动**。切削运动包括主运动和进给运动，除此之外的所有运动均称为辅助运动。

主运动：是主轴通过卡盘或顶尖带动工件作旋转运动，它消耗绝大部分能量；

进给运动：是溜板带动刀架的纵向和横向的直线运动，它消耗的能量很小。有手动进给和机动进给两种方式。

辅助运动：如刀架的快速移动及工件的夹紧与放松。

三、卧式车床的电力拖动及控制要求

1. 主轴转速和进给速度可调

■ **转速可调**：车削加工时，由于工件的材料性质、尺寸、工艺要求、加工方式、冷却条件及刀具种类不同，切削速度应不同，要求主轴转速能在相当大的范围内进行调节。

■ **中小型普通车床主轴调速方法**：

①**电气调速**：通过改变电动机的磁极对数来改变电动机的转速，以扩大车床主轴的调速范围。

②**机械调速**：采用不变速的电机，*用齿轮箱的有级调速实现变速。*

■ **进给速度可调**：满足不同进给量及螺纹螺距加工需要。

2. 主轴能正反两个方向旋转 为避免乱扣，加工螺纹时需反向退刀

3. 主轴电动机起动应平稳 小功率电机直接起动/大功率电机减压起动

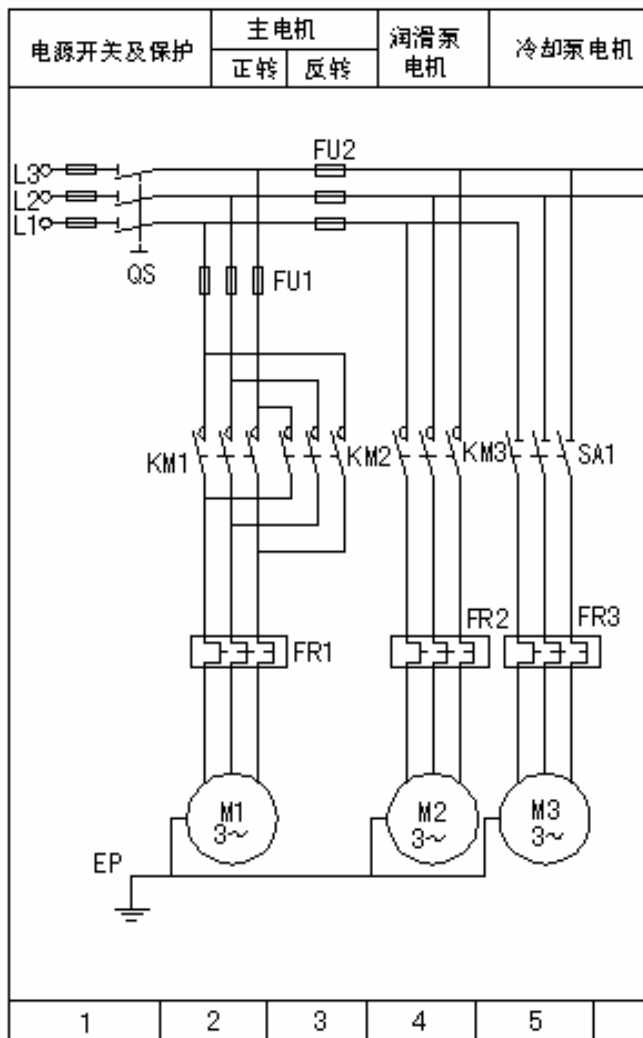
4. 主轴应能迅速停车 电气制动/机械制动

5. 车削时的刀具及工件应进行冷却 应有冷却泵电机

6. 控制电路应有必要的保护及照明等电路

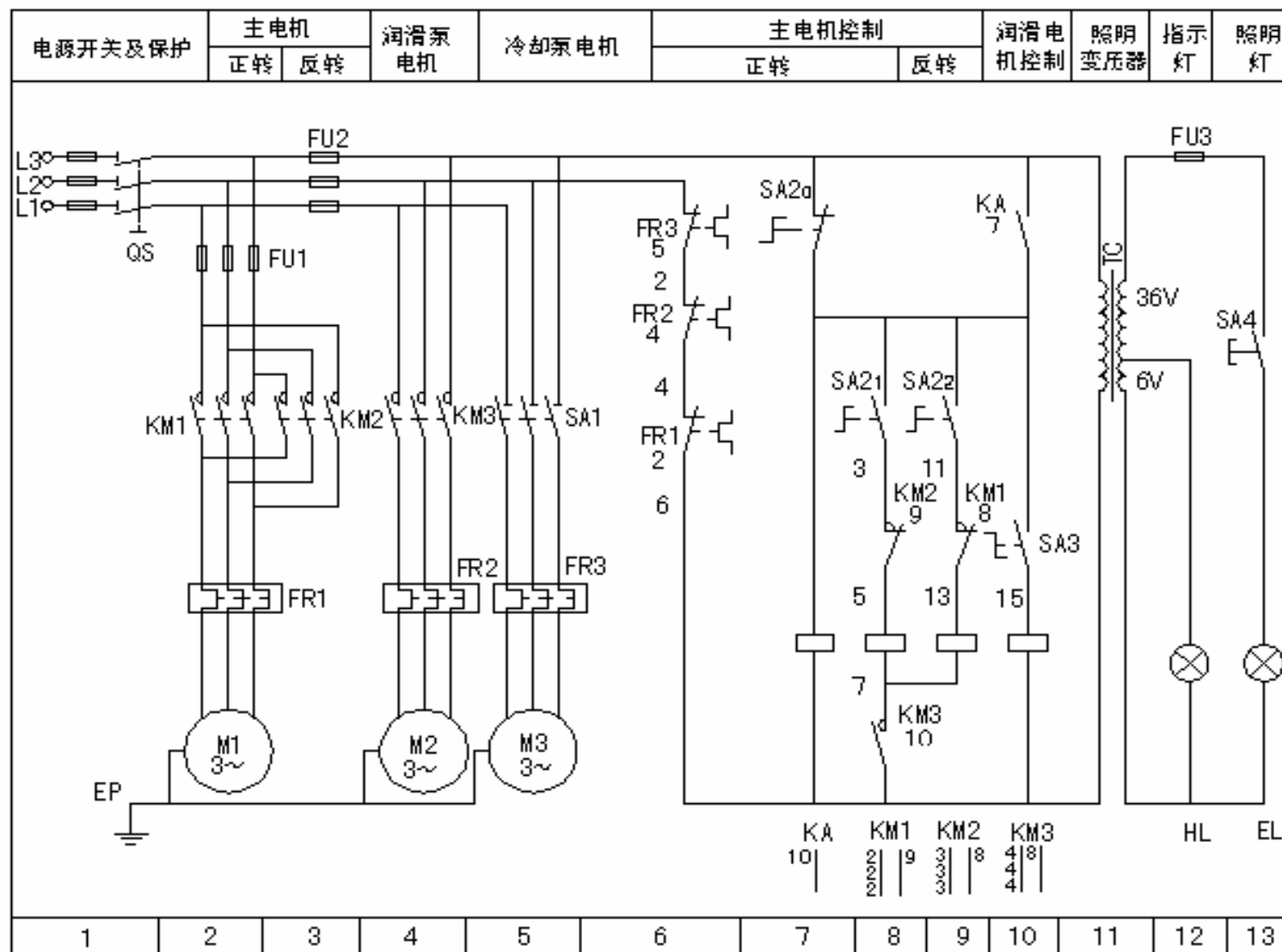
四、C616卧式车床的电气控制电路分析

1. 主电路分析



- QS：隔离器，作隔离电源用
- M1主电动机：带动主轴实现主运动；通过进给机构带动刀架实现进给运动
 - FU1、FR1：分别为M1作短路、过载保护
 - KM1、KM2：M1的正、反转接触器
- M2润滑泵电动机：提供润滑剂（**顺序启动：M2先启动，M1后启动**）
 - FU2：熔断器，为M2和M3作短路保护
 - KM3：M2的起、停接触器
 - FR2：热继电器，作M2的过载保护
- M3冷却泵电动机：提供冷却液
 - SA1：M3的接通和断开用组合开关
 - FR3：作M3的过载保护

四、C616卧式车床的电气控制电路分析

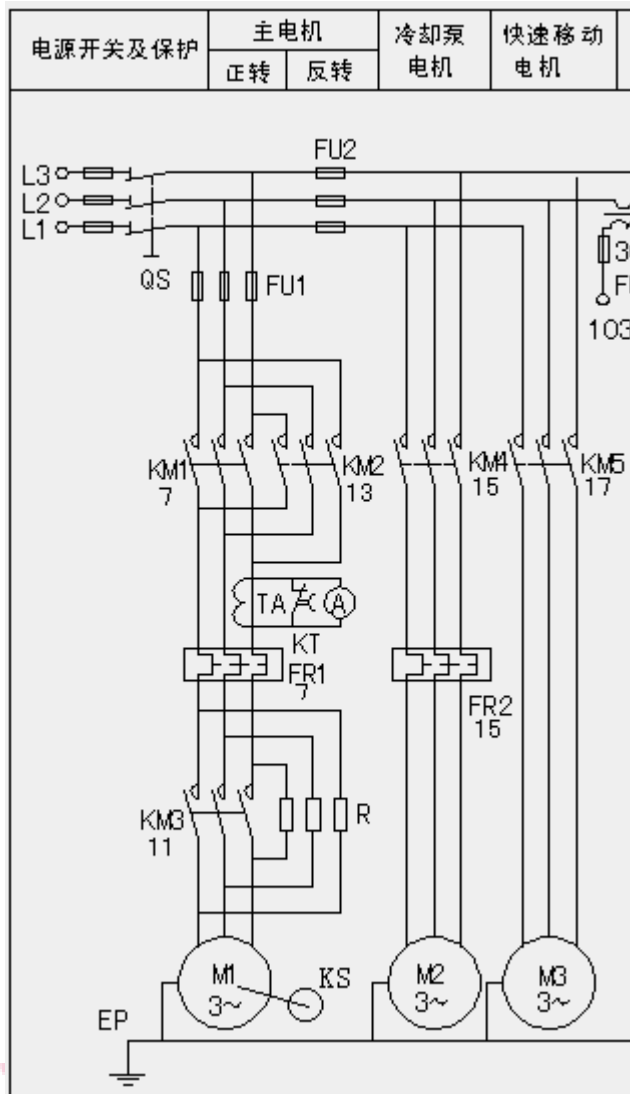


C616卧式车床的电气控制电路特点:

- 采用三台电机拖动：主电机、润滑泵电机、冷却泵电机。但无快速移动电机。
- 主电机采用全压起动，无制动控制；主电机的起停及变向是通过操纵杆来控制；主电机控制电路具有双重联锁保护。
- 润滑泵电机与主电机有顺序起动联锁。
- 具有短路、过载、零电压等保护措施。

五、C650卧式车床的电气控制电路分析

1. 主电路分析



■ QS：隔离器，作隔离电源用

■ M1主电动机：带动主轴实现主运动；通过进给机构带动刀架实现进给运动

FU1、FR1：分别为M1作短路、过载保护

KM1、KM2：M1的正、反转接触器

KM3：M1的制动限流接触器

R：限流电阻（点动和制动时串入回路，防止电流冲击造成M1过载。）

TA：电流互感器，通过它接入电流表A以监视M1绕组电流，起到变流和电气隔离的作用。

KS：M1反接制动用速度继电器

■ M2冷却泵电动机：提供冷却液

FU2：熔断器，为M2和M3作短路保护

FR2：热继电器，作M2的过载保护

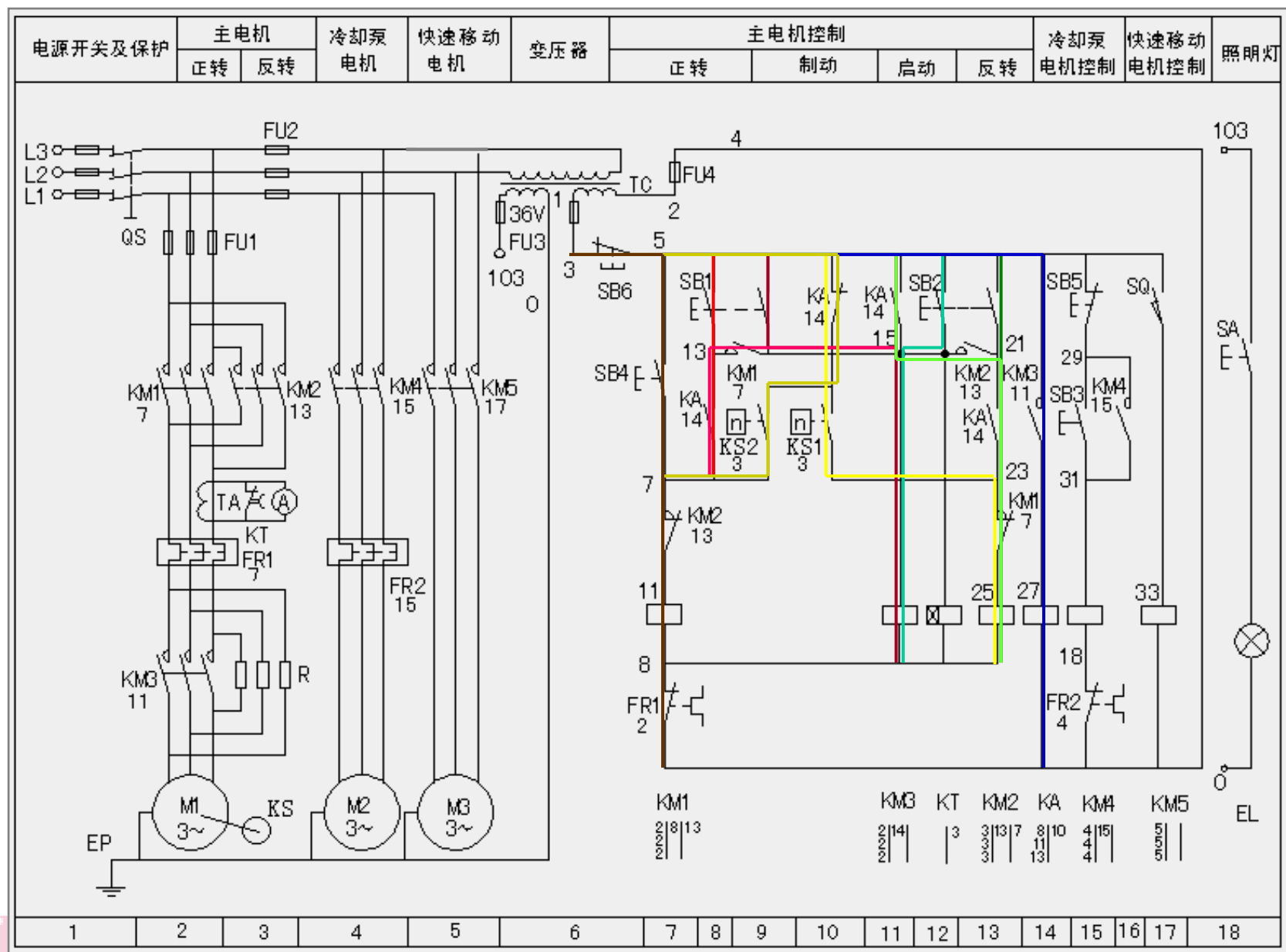
KM4：M2的起动接触器

■ M3快速移动电动机：拖动刀架快速移动

KM5：M3的起动接触器

因M3的短时工作故不设过载保护。

五、C650卧式车床的电气控制电路分析



五、C650卧式车床的电气控制电路分析

2. 控制电路分析

(1) 主电动机M1的点动调整控制

SB4控制

(2) 主电动机M1的正、反转控制电路

1) 正转：SB1控制 2) 反转：SB2控制

(3) 主电动机M1的反接制动控制

速度继电器实现反接制动，由按钮SB6控制

(4) 刀架的快速移动和冷却泵控制

转动刀架手柄压下行程开关SQ控制刀架的快速移动
SB3起启动冷却泵电机，SB5停止冷却泵电机

(5) 其他辅助线路

- 1) 监视主回路负载的电流表通过电流互感器TA接入
- 2) 时间继电器KT：防止启动、**点动**和**制动**时，电流对电流表的冲击
- 3) 照明灯由SA控制
- 4) 控制电路电源：采用控制变压器TC低压供电，更加安全。



C650卧式车床的电气控制电路特点:

- 采用三台电机拖动，尤其车床的溜板箱的快速移动单独由一台电机拖动。
- 主电机有点动、全压起动和制动控制；主电机的起停及变向是通过按钮来控制；主电机控制电路只有一重电气联锁保护。
- 具有短路、过载（ $M1$ 和 $M2$ ）、零电压（ $M1$ 和 $M2$ ）等保护措施。

§ 3.3 X62W型卧式万能铣床的电气控制电路分析

■ 铣床：

用于加工机械零件的平面、斜面、沟槽等型面的机床。

装上分度头以后，可以加工直齿轮和螺旋面；

装上回转工作台，则可以加工凸轮和弧形槽。

■ X62W卧式万能铣床优点：

主轴转速高、调速范围宽、调速平稳、操作方便，工作台装有完整的自动循环加工装置。

■ X62W型铣床有三种运动：

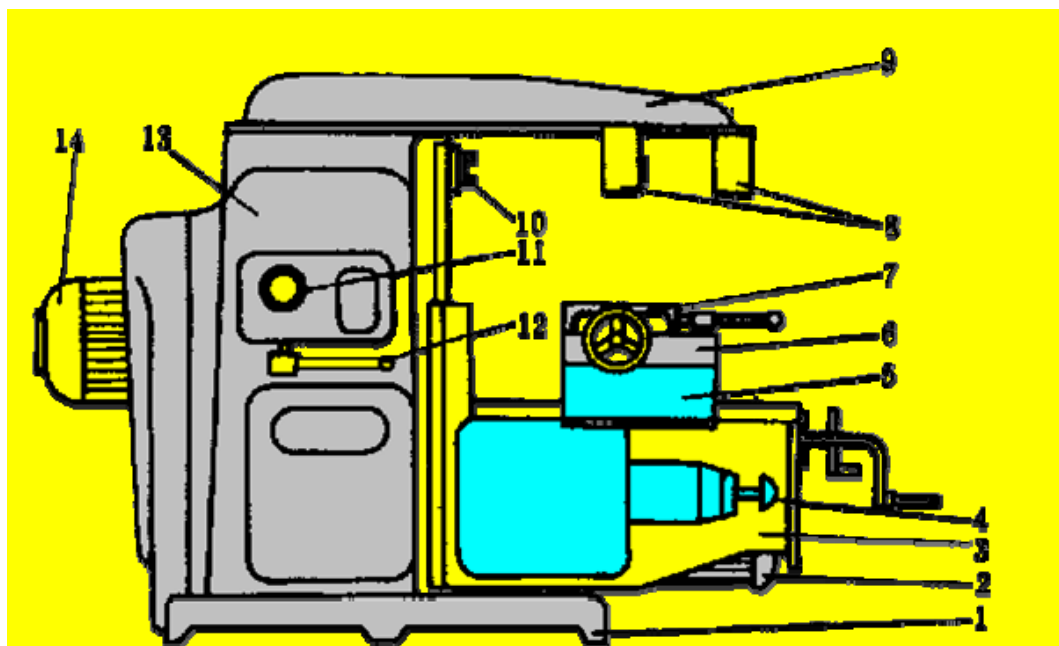
主运动：主轴带动铣刀的旋转运动；

进给运动：工作台带动工件在纵向、横向、垂直3个方向上的直线运动（手动/机动进给）及圆工作台的旋转运动。

辅助运动：工作台在在纵向、横向、垂直3个上的快速直线运动。

一、X62W型卧式万能铣床主要结构及运动形式

■ X62W卧式万能铣床由床身13、悬梁9、刀杆支架8、工作台7、转动部分6、溜板5和升降台3等部件组成。



卧式万能铣床外形图

1—底座 2—进给电动机 3—升降台 4—进给变速手柄及变速盘 5—溜板 6—转动部分 7—工作台 8—刀架支杆 9—悬梁 10—主轴 11—主轴变速盘 12—主轴变速手柄 13—床身 14—主轴电动机

一、X62W型卧式万能铣床主要结构及运动形式

■ 该铣床可以实现以下几个方向的进给运动：

十字手柄

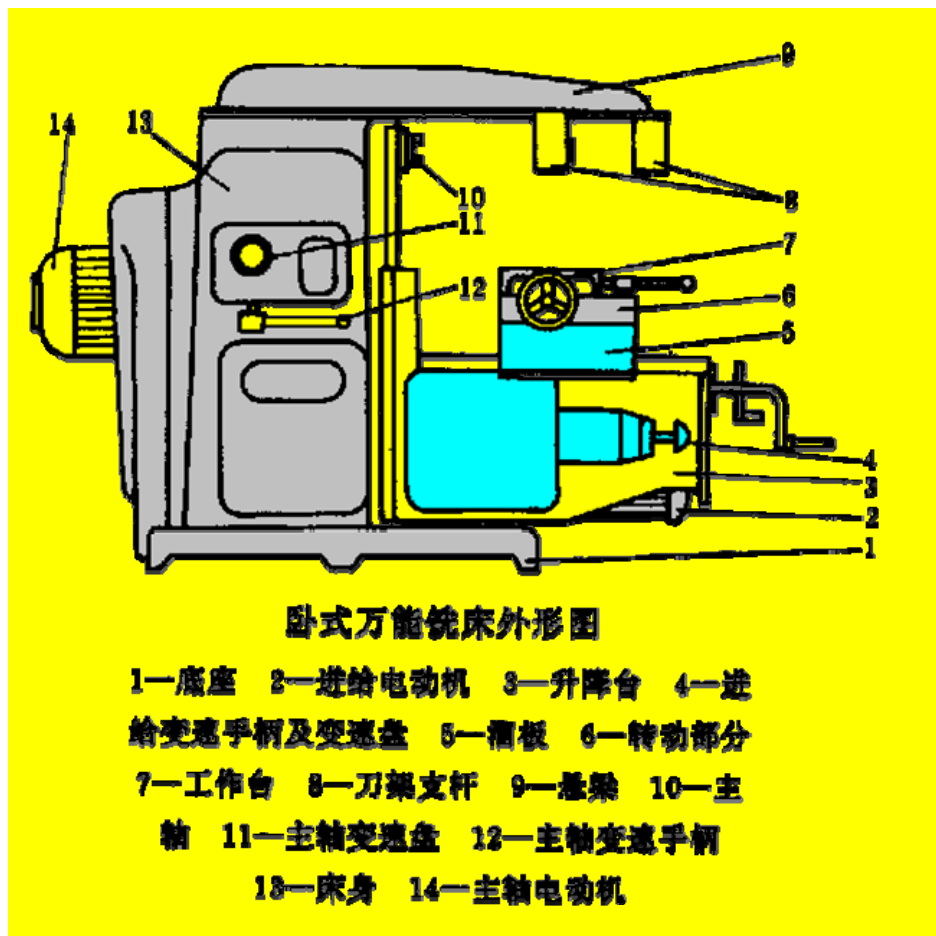
垂直进给--升降台3沿床身上的垂直导轨作上下移动；

横向进给--溜板5沿升降台上的水平导轨作平行于主轴轴线方向的前后运动；

纵向操作手柄

纵向进给--工作台7沿可转动部分6上的水平导轨作垂直于主轴轴线方向的左右移动；

倾斜进给--由于转动部分6可绕垂直轴线左右旋转45度，故工作台在水平面内沿倾斜方向进给，以加工螺旋槽等。



二、X62W型卧式万能铣床的电力拖动及控制要求

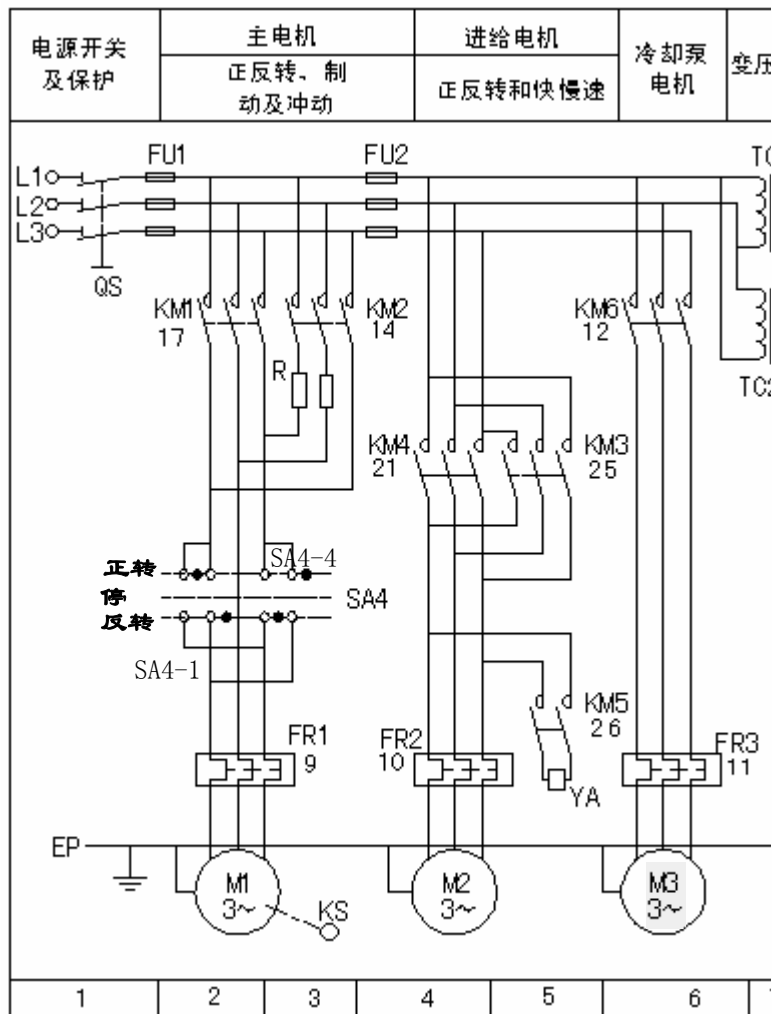
1. X62W型万能铣床的主轴与工作台各自采用**单独**的笼型异步电动机拖动。
2. 主轴电动机：可**直接**起动（一般空载起动）；**正反转**控制（顺铣和逆铣）；调速控制（变速箱）和**变速冲动**控制（齿轮短时啮合，主电机瞬时转动）；**制动**控制；起停**两地**控制。
3. 进给电动机：工作台的纵向、横向和垂直三个方向的进给运动由同一台进给电动机拖动，三个方向的选择由**操纵手柄**改变传动链来实现；操作手柄**两地**控制；**正反转**控制（左右、前后、上下六方向运动）；**联锁**保护（同一时间只允许工作台向一个方向移动）和**极限**保护；调速控制（变速箱）和**变速冲动**控制（齿轮短时啮合，进给电机瞬时转动）。

二、X62W型卧式万能铣床的电力拖动及控制要求

4. 主运动与工作台进给运动之间应有起停顺序联锁控制：进给运动在铣刀旋转后进行，结束时在铣刀停转前停进给运动。
5. 快速移动也由进给电动机拖动，通过吸合一个快速电磁铁的方法来改变传动链的传动比来实现快速移动。
6. 圆工作台的旋转运动也由进给电动机拖动，且要求圆工作台的旋转运动与工作台的垂直、纵向、横向三个方向的直线运动之间有联锁保护控制。
7. 冷却泵由一台电动机拖动，供给铣削时的冷却液。

三、X62W型卧式万能铣床电气控制电路分析

(一) 主电路分析



- QS：隔离器，作隔离电源用
- M1主轴电动机：带动主轴实现主运动
FU1、FR1：分别为M1作短路、过载保护

- SA4：主轴转向预选开关
- KM1：M1的起动接触器
- KM2：反接制动接触器，与速度继电器KS配合实现反接制动

R：反接制动限流电阻

- M2进给电动机：带动工作台实现进给运动、快速移动以及圆工作台的旋转运动
- KM3、KM4：M2的正、反转接触器
- KM5：工作台快速移动接触器，通过它的主触头控制快速电磁铁YA（KM5接通为快速，断开为工进）

FU2：熔断器，为M2和M3作短路保护

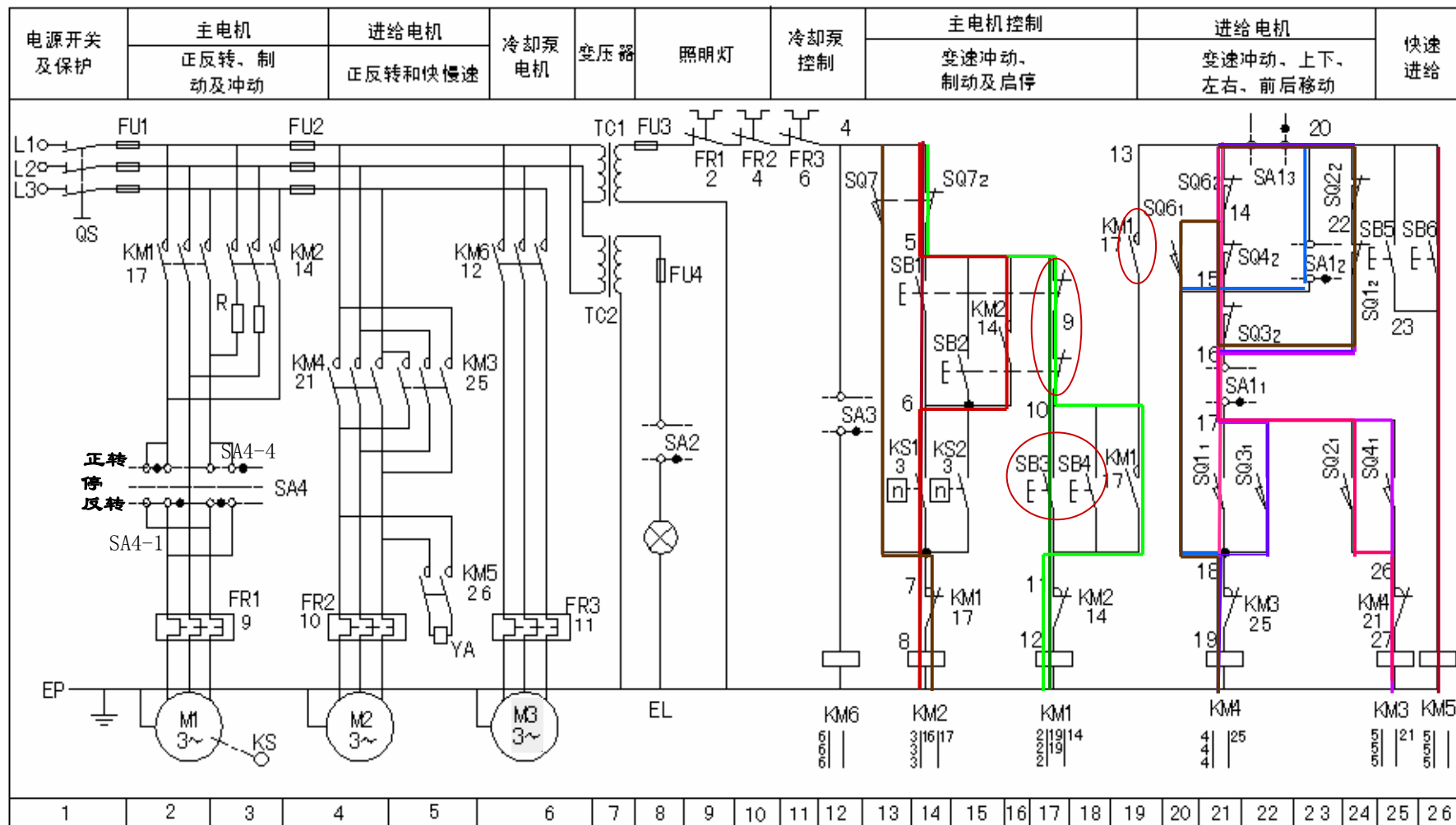
FR2：为M2作过载保护

- M3冷却泵电动机：提供冷却液

KM6：M3的起动接触器

为作过载保护

三、X62V 型卧式万能铣床电气控制电路分析



位置触点	正转	停止	反转
SA4-1	+	-	-
SA4-2	-	-	+
SA4-3	-	-	+
SA4-4	+	-	-

主轴变速手柄
纵向操作手柄
进给变速手柄

升降及横向操纵手柄触点	向前向下	中间(停)	向后向上
SQ3 ₁	+	-	-
SQ3 ₂	-	+	+
SQ4 ₁	-	-	+
SQ4 ₂	+	+	-

纵向操纵手柄触点	向左	中间(停)	向右
SQ1 ₁	-	-	+
SQ1 ₂	+	+	-
SQ2 ₁	+	-	-
SQ2 ₂	-	+	+

位置触点	接通工作台	中间位(停止)	断开工作台
SA1 ₁	-	-	+
SA1 ₂	+	-	-
SA1 ₃	-	-	+

(二) 控制电路分析

1. **控制电路电源**:控制电路电压110V, 由控制变压器TC1供给。

2. 主轴电动机M1的控制

(1) 主轴电动机M1的启动: 两处控制的启动按钮SB3或SB4

(2) 主轴电动机M1的停车制动: 两处控制的停止按钮SB1或SB2

(3) 主轴变速时的冲动控制: 变速手柄与冲动行程开关SQ7通过机械上的联动机构进行控制的。

变速方法:

① 将变速手柄向下压, 然后拉到前面

② 转动变速盘进行机械变速, 选择所需的转速

③ 把变速手柄以连续较快的速度推回原来的位置。

1) M1 停车时变速 扳动变速手柄→机械变速→推回手柄→SQ7 短时受压→SQ7-2 分断, SQ7-1 闭合→M1 在反接制动状态下短时低速运行→推回手柄 SQ7 复位→变速结束。

2) M1 运转时变速 扳动变速手柄 SQ7 短时受压→SQ7-2 分断, SQ7-1 闭合→M1 反接制动→机械变速→推回手柄→SQ7 短时受压→M1 在反接制动状态下短时低速运行→推回手柄 SQ7 复位→主轴在新转速下运行。

(二) 控制电路分析

3. 工作台进给电动机M2的控制

注：(1) 转换开关SA1控制回转工作台运动，工作台运动时应关闭回转工作台。

(2) M1和M2有起动联锁：KM1闭合后，工作台才能运动。

(3) 工作台运动有上下、左右、前后六个方向，由操纵手柄控制。

(1) 工作台左右(纵向)运动的控制：SQ1、SQ2

① 手柄扳到右或左，其联动机构与纵向传动丝杠的离合器接合

② 其联动机构压下SQ1或SQ2使KM3或KM4动作控制M2正转或反转

(2) 工作台的上下(升降)和前后(横向)运动的控制：SQ3、SQ4

升降运动：

① 手柄扳到上或下，其联动机构与垂直传动丝杠的离合器接合

② 其联动机构压下SQ4或SQ3，使KM3或KM4动作控制M2正转或反转

横向运动：

① 手柄扳到后或前，其联动机构与横向传动丝杠的离合器接合

② 其联动机构压下SQ4或SQ3，使KM3或KM4动作控制M2正转或反转

(二) 控制电路分析

3. 工作台进给电动机M2的控制

(3) 工作台进给变速时的冲动控制： 瞬时接通，使齿轮易于啮合

变速方法： ① 先起动M1

② 将蘑菇形手柄向外拉出并转动手柄，将所需进给速度标尺数字对准箭头

③ 把蘑菇形手柄向外拉到极限位置并随即推回原位

(4) 工作台的快速移动控制： 纵向、横向、垂直三个方向上实现

SB5(或SB6)， KM5， 电磁铁YA

注：若要求快速移动在主轴电动机不转情况进行时，先起动主轴电动机M1，并将转换开关SA4扳在“停止”位置，按下SB5(或SB6)。

(二) 控制电路分析

3. 工作台进给电动机M2的控制

(5) 工作台各运动方向的联锁:

同一时间，只允许一个方向运动，这种联锁是利用机械和电气的方法来实现的。

例：工作台升降运动联锁，利用机械方法实现的;工作台纵向与横向、升降运动联锁，利用电气方法实现的。

(6) 工作台控制:

使用回转工作台时，工作台纵向及十字操作手柄都应置于中间位置，另外SA1扳到“接通圆工作台”位置（SA1₂闭合，SA1₁和SA1₃断开）。

注：回转工作台控制电路中串联了SQ1~SQ4常闭触头，实现联锁保护。

4. 冷却泵电动机M3的控制：由SA3控制KM6

5. 照明电路：变压器TC2供给24V安全电压，由SA2控制

6. 保护环节：短路、过载、失压、行程限位保护

四、X62W卧式万能铣床电器控制电路的特点

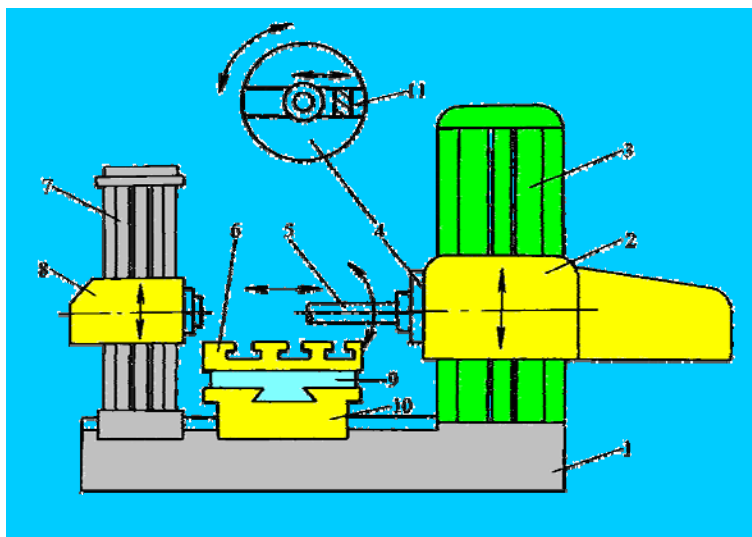
- 电气控制电路与机械配合相当密切；
- 运动速度的调整主要是通过机械方法；
- 主轴变速和进给变速均设置了变速冲动控制，从而使变速顺利；
- 进给电机采用机械挂档与电气开关联动的手柄操作，且手柄扳动方向与工作台进给方向一致，运动方向直观；
- 采用两地控制，操作方便；
- 具有完整的电气联锁，具有短路、零压、过载及行程限位保护环节，工作可靠。

§ 3.4 T68型卧式镗床的电气控制电路分析

一、卧式镗床的主要结构及运动情况

卧式镗床的运动归纳为：

- 1) **主运动**：镗轴的旋转运动与平旋盘的旋转运动。
- 2) **进给运动**：镗轴的轴向进给、平旋盘上刀具溜板径向进给、镗头架的垂直进给、工作台的横向进给与纵向进给。
- 3) **辅助运动**：工作台的旋转运动，后立柱的水平移动及尾架的垂直移动。



T68卧式镗床结构示意图

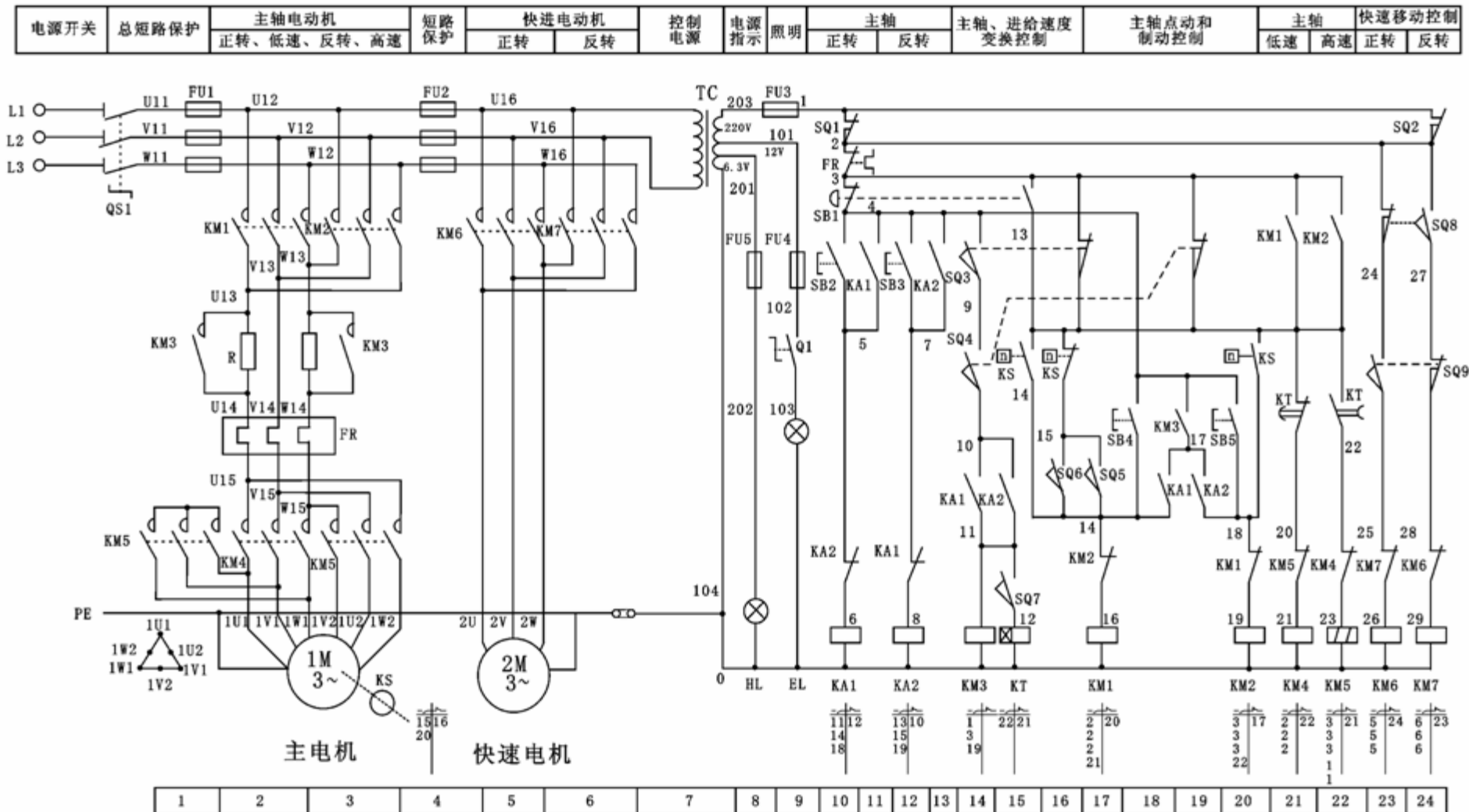
1-床身 2-镗头架 3-前立柱 4-平旋盘 5-镗轴 6-工作台
7-后立柱 8-尾座 9-上溜板 10-下溜板

§ 3.4 T68型卧式镗床的电气控制电路分析

二、卧式镗床电力拖动及控制要求

- 1) 主轴较大的调速范围，恒功率调速，采用机电联合调速。
- 2) 变速时，低速或断续变速冲动。
- 3) 主轴正反转低速点动调整，要求主轴电机正反转及点动控制
- 4) 为使主轴迅速准确停车，主轴电动机应具有机械制动。
- 5) 一般卧式镗床主运动与进给运动由一台主轴电机拖动，由各自传动链传动。为缩短时间，可快速移动，由一台快速电机拖动。
- 6) 镗床运动部件较多，设置必要的联锁和保护，使操作尽量集中。

三、T68型卧式镗床的电气控制电路分析



KH-T68卧式镗床电气原理图

三、T68型卧式镗床的电气控制电路分析

1. 主电路分析

(1) T68型卧式镗床有两台电动机，M1为主轴与进给电动机，M2为快速移动电动机。其中M1为一台4/2极的双速电动机，绕组接法为三角/双星形。

(2) 电动机M1由5只接触器控制，其中KM1、KM2为电动机正反转控制接触器，KM3为低速起动接触器，接触器KM4、KM5用于电动机的高速起动运行。

(3) 电动机M2由接触器KM6、KM7实现正反转控制，设有短路保护。因快速移动时所需时间很短，所以M2实行点动控制，且无需过载保护。

(4) 主轴电动机正反转停车时，均有电磁铁抱闸进行机械制动。

三、T68型卧式镗床的电气控制电路分析

2. 控制电路分析

- (1) 主轴电动机的点动控制
- (2) 主轴电动机的起动控制
 - 1) 低速起动控制。
 - 2) 高速起动控制
- (3) 主轴电动机的停车和制动控制
- (4) 主轴变速和进给变速控制
- (5) 镗头架、工作台快速移动的控制

3. 照明电路

控制变压器的一组二次绕组向照明电路提供36V安全电压。照明灯EL由开关SA控制。熔断器FU4作照明电路的短路保护。

4. 机床的联锁和保护

四、T68卧式万能镗床电器控制电路的特点

- 1) 主轴与进给电动机M1为双速电动机，低速时由接触器KM3控制，将定子绕组接成三角形，高速时由接触器KM4、KM5控制，将定子绕组接成双星形。高低速转换由主轴孔盘变速机构内的限位行程开关SQ1控制。低速时，可直接起动；高速时，先低速起动，而后自动转换为高速运行的二级控制，以减小起动电流。
- 2) 电动机M1能可逆运行，并可正反向点动及制动。
- 3) 主轴和进给变速均可在运行中进行。只要进行变速，M1电动机就停止，变速完成后，可自动低速起动，使变速过程顺利进行。
- 4) 主轴箱及工作台与主轴以单独的电动机M2拖动其快速移动。它们之间的进给有机械和电气联锁保护。

第四章 电气控制系统的设计



第一节 电气控制系统设计的一般原则、 基本内容和设计程序



第二节 电气原理电路设计的方法与步骤



第三节 电气控线路设计的主要参数计算 和元器件选择



第四节 电气控制装置的工艺设计

电气控制系统的设计包括两个基本内容：

1、电气原理图设计

- 为满足生产机械和工艺的控制要求进行的电气控制电路设计
- 决定着生产机械设备的合理性与先进性，是电气控制系统设计的**核心**。

2、电气工艺设计

- 为电气控制装置的制造、使用、运行及维修的需要进行的生产施工设计
- 决定着电气控制系统生产可行性、经济性、美观、使用维修方便

第一节 电气控制系统设计的 一般原则、基本内容和设计程序

一、电气控制系统设计的一般原则

1. 最大限度地满足生产机械和生产工艺对电气控制的要求
2. 设计方案要合理
3. 机械设计与电气设计应相互配合
4. 确保控制系统安全可靠地工作

二、电气控制系统设计的基本任务、内容

- 电气控制系统设计的**基本任务**是根据控制要求设计、编制出设备制造和使用维修过程中所必须的图纸、资料等。
- **图纸**包括电气原理图、电气系统的组件划分图、元器件布置图、安装接线图、电气箱图、控制面板图、电器元件安装底板图和非标准件加工图等。
- **文字资料**包括编制外购件目录、单台材料消耗清单、设备说明书等。

二、电气控制系统设计的基本任务、内容

电气控制系统设计的**内容**主要包含**原理设计**与**工艺设计**两个部分：

1、原理设计内容

- 1) 拟订电气设计任务书
- 2) 确定电力拖动方案和控制方式
- 3) 确定电动机的类型、型号、容量、转速
- 4) 设计电气控制原理图
- 5) 选择电器元件，制订元器件明细表
- 6) 编写设计说明书

二、电气控制系统设计的基本任务、内容

2、工艺设计内容

- 1) 设计电气总布置图、总安装图与总接线图
- 2) 设计组件布置图、安装图和接线图
- 3) 设计电气箱、操作台及非标准元件
- 4) 列出元件清单
- 5) 编写使用维护说明书

第二节 电气控制原理电路设计的方法与步骤

一、电气控制原理电路的基本设计方法

电气控制原理电路设计的方法有**分析设计法**和**逻辑设计法**。

1、分析设计法

分析设计法是根据生产工艺的要求**选择适当的基本控制环节**按其联锁条件组合起来，并经补充和修改，将其综合成满足控制要求的完整线路。当没有现成的典型环节时，可根据控制要求边分析边设计。

■ **优点**：设计方法简单，无固定的设计程序，容易为初学者所掌握，在电气设计中被普遍采用

■ **缺点**：设计出的方案不一定是最佳方案，当经验不足或考虑不周全时会影响线路工作的可靠性

2、逻辑设计法

逻辑设计法是利用**逻辑代数**来进行电路设计，从生产机械的拖动要求和工艺要求出发，将控制电路中的接触器、继电器线圈的通电与断电，触点的闭合与断开，主令电器的接通与断开看成逻辑变量，根据控制要求将它们之间的关系用逻辑关系式来表达，然后再化简，做出相应的电路图。

■ **优点**：是能获得理想、经济的方案

■ **缺点**：难度较大，设计过程复杂，在一般常规设计中，很少单独采用

二、电气原理图设计的基本步骤

(1) 根据确定的拖动方案和控制方式设计系统的原理框图

(2) 设计出原理框图中各个部分的具体电路

设计时按主电路→控制电路→辅助电路→联锁与保护→总体检查，反复修改与完善的步骤进行。

(3) 绘制总原理图

(4) 恰当选用电器元件，并制订元器件明细表

三、原理图设计的一般要求

- 1、电气控制原理应满足工艺的要求
- 2、控制电路电源种类与电压数值的要求

控制电路类型	常用的电压值/V		电源设备
交流电力传动的控制电路 较简单	交流	380、220	不用控制电 源变压器
交流电力传动的控制电路 较复杂		110 (127) 、 48	采用控制电 源变压器
照明及信号指示电路		48、24、6	采用控制电 源变压器
直流电力传动的控制电路	直流	220、110	整流器或直 流发电机
直流电磁铁及电磁离合器的 控制电路		48、24、12	整流器

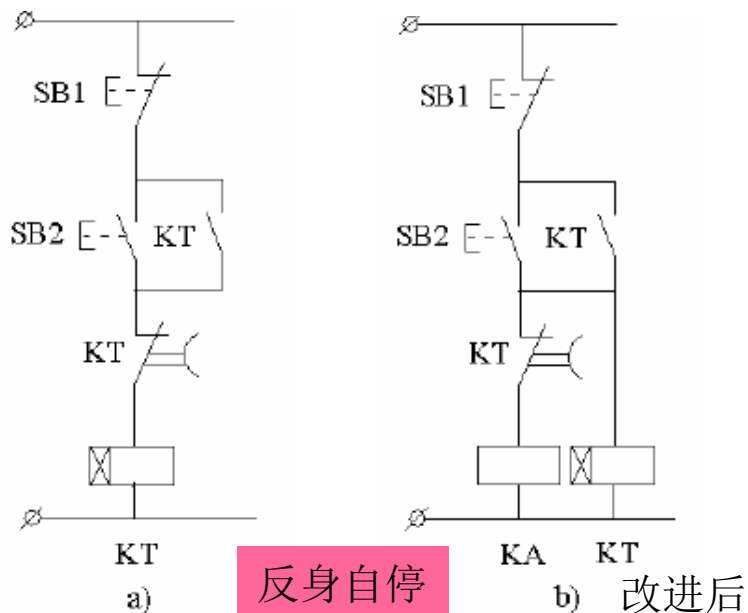
3、控制电路力求可靠、安全、简单、经济

(1) 避免触头的“竞争”和“冒险”现象

竞争：是指在一个控制信号作用下，电路从一种稳定状态转换到另一稳定状态，常常有几个元器件的触头状态同时发生变化，由于**各电器元件总有一定的动作时间**，对时序电路来说，往往发生不按时序动作的情况，触头争先吸合，就会得到几个不同的输出状态，这种现象称为电路的“竞争”。

冒险：对于开关电路，由于**电器元件的延时释放作用**，存在开关元件不按要求的逻辑功能输出，这种现象称为“冒险”。

“竞争”和“冒险”现象会造成电路不按控制要求动作，逻辑混乱，控制失灵，严重的还会造成相间短路，电机、电器及机械装置损害，危害极大。



(2) 正确连接电器线圈

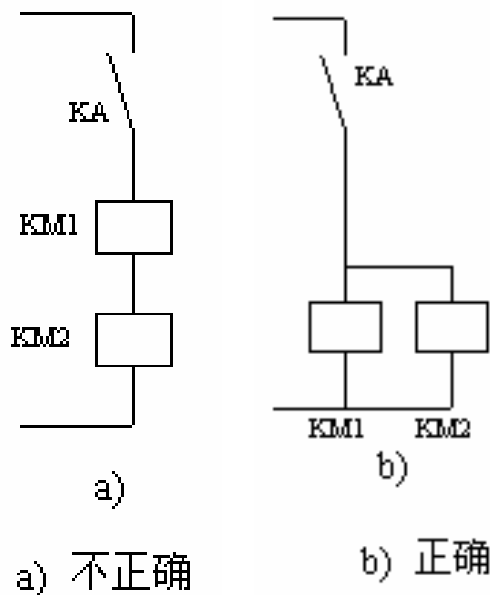
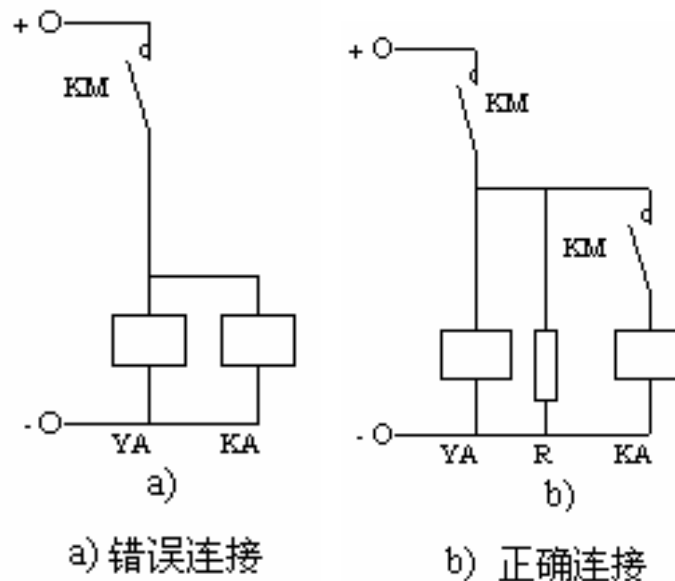


图4-1 交流控制电路线圈连接

图4-2 直流控制回路大电感线圈
与直流继电器线圈的连接

(3) 合理安排电器元件和触点的位置

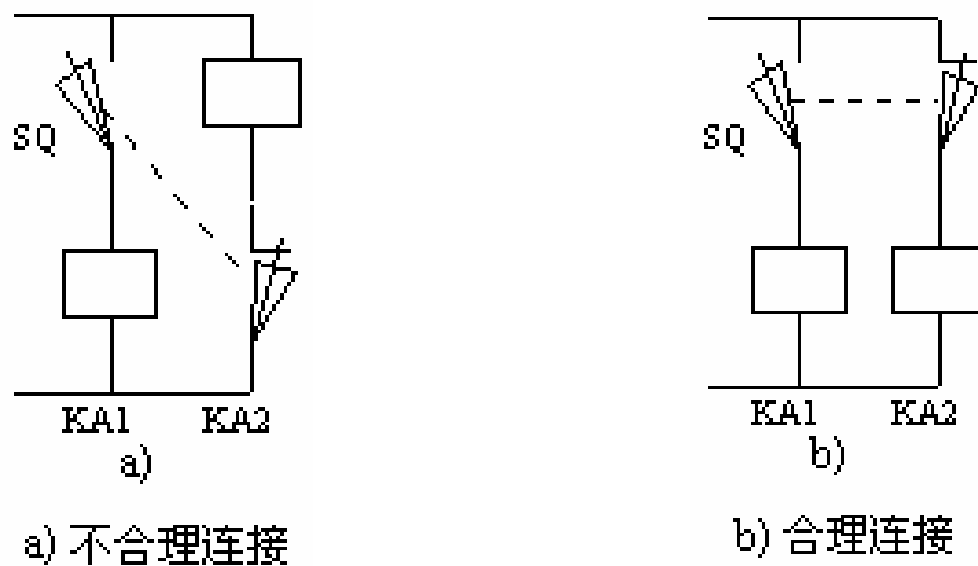


图4-3 电气元件和触头间的连接

(4) 防止出现寄生电路

寄生电路是指在控制电路的动作过程中，出现的不是由于误操作而产生的意外接通的电路。

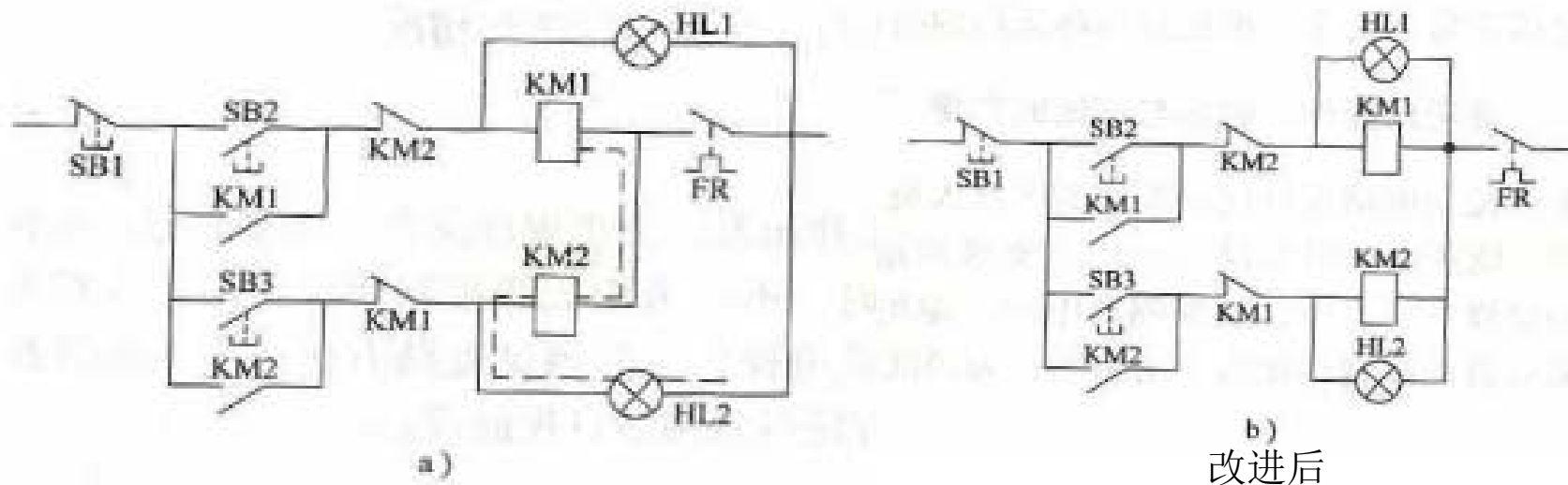
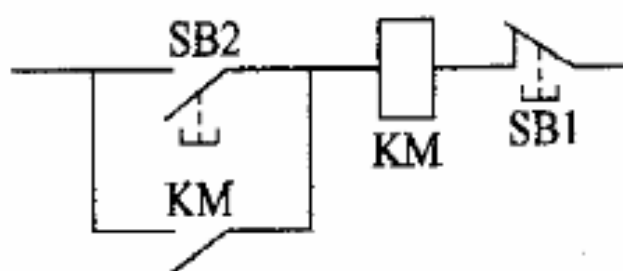
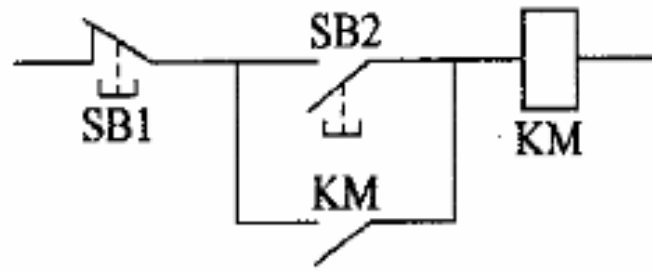


图4-4 寄生回路

(5) 尽量减少连接导线的数量，缩短连接导线的长度

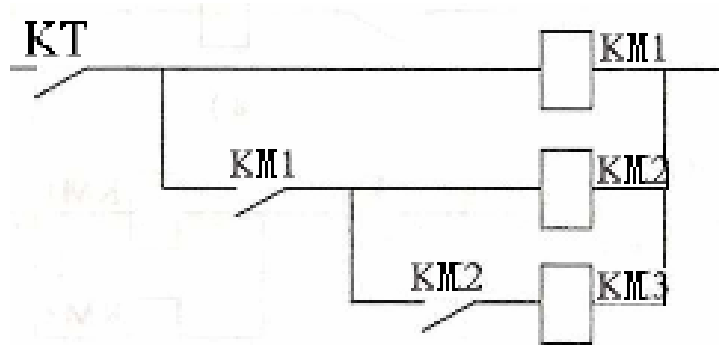


a)

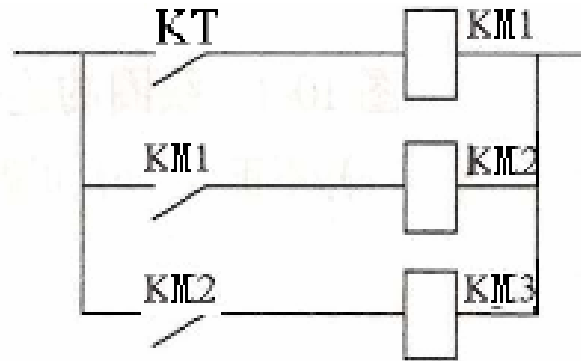


b)

(6) 控制电路工作时，应尽量减少通电器的数量；控制触头应合理布置



a)



b)

(7) 考虑触头的接通和分断能力

在电路中采用小容量的继电器触点来断开或接通大容量接触器线圈时，要分析触点容量的大小。若不够时，必须加大继电器容量或增加中间继电器，否则工作不可靠。

(8) 应具有必要的保护环节

常用的有漏电开关保护、过载、短路、过电流、过电压、失电压、联锁与行程保护等措施。

第三节 电控线路设计的主要参数计算

一、异步电动机起动、制动电阻的计算

1、三相绕线转子异步电动机起动电阻的计算

绕线式异步电动机在起动时，为降低起动电流，增加起动转矩，并获得一定的调速范围，常采用转子串电阻降压起动方法，因此要确定外接电阻的级数和电阻的大小。电阻的级数越多，转矩波动就越小，控制电路也就越复杂。通常电阻级数可以根据表4-2来选取。

下面介绍平衡短接法电阻阻值的计算。起动电阻级数确定后，转子绕组中每相串联的各级电阻值，可用下式计算：

$$R_n = k^{m-n} r$$

式中， n 为各级起动电阻的序号， $n=1$ 且表示第一级，即最先被短接的电阻； m 为起动电阻级数； k 为常数； r 为最后被短接的那一级电阻值。

k 、 r 计算:

$$k = \sqrt[m]{\frac{1}{s}}$$

$$r = \frac{E_2(1-s)}{\sqrt{3}I_2} \times \frac{k-1}{k^m-1}$$

式中， s 为电动机额定转差率； E_2 为正常工作时电动机转子电压（V）； I_2 为正常工作时电动机转子电流（A）。

$$P = \left(\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}\right) I_{2s}^2 R$$

每相起动电阻的功率为:

I_{2s} 为转子起动电流（A），取 $I_{2s} = 1.5I_2$ ； R 为每相的串联电阻（ Ω ）。

2、笼型异步电动机反接制动电阻的计算

反接制动时，三相定子回路各相串联的限流电阻 R 估算:

$$R \approx k \frac{U_\phi}{I_s}$$

式中， U_ϕ 为电动机定子绕组相电压（V）； I_s 为全压起动电流（A）； k 为系数，当最大反接制动电流 $I_m < I_s$ 时，取 $k=0.13$ ；当 $I_m < 0.5I_s$ 时，取 $k=1.5$ 。

反接制动时，若仅在两相定子绕组中串接限流电阻，选用电阻值是上述计算值的1.5 倍。制动电阻的功率为：

$$P = \left(\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4}\right) I_N^2 R$$

式中， I_N 为电动机额定电流； R 为每一相串接的限流电阻值。根据制动频繁程度适当选取前面系数。

二、笼型异步电动机能耗制动参数

1、能耗制动直流电流与电压的计算

直流电流越大，制动效果越好，但过大的电流引起绕组发热，能耗增加，且当磁饱和后对制动转矩的提高也不明显，通常制动直流电流 I_d 按下式

$$I_d = (1 \sim 2) I_N$$

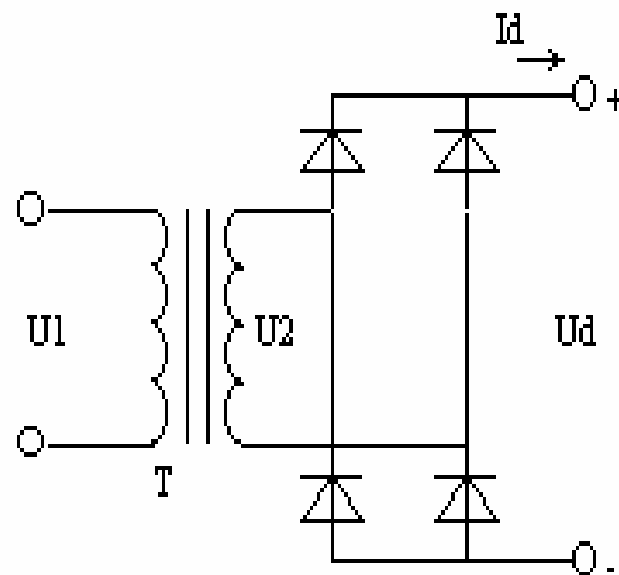
或

$$I_d = (2 \sim 4) I_0$$

I_0 为电动机空载电流； I_N 为电动机额定电流。

制动时，直流电压 U_d 为： $U_d = I_d R$

R 为两相串联定子绕组的冷电阻



2、整流变压器参数计算

(1) 变压器二次交流电压 $U_2 = U_d / 0.9$

(2) 变压器容量 由于变压器仅在能耗制动时工作，所以容量允许比长期工作时小。根据制动频繁程度，取计算容量的0.25~0.5倍。

三、控制变压器的选用

控制变压器一般用于降低控制电路或辅助电路电压，以保证控制电路安全性和可靠性。选择控制变压器的原则为：

(1) 控制变压器一、二次侧电压应与交流电源电压、控制电路电压与辅助电路电压要求相符。

(2) 应保证变压器二次侧的交流电磁器件在起动时能可靠的吸合。

(3) 电路正常运行时，变压器温升不应超过允许温升。

(4) 控制变压器容量的近似算式:

$$S \geq 0.6 \sum S_1 + 0.25 \sum S_2 + 0.125 \sum S_3 K$$

式中, S 为控制变压器容量 (VA); S_1 为电磁器件的吸持功率 (VA); S_2 为接触器、继电器起动功率 (VA); S_3 为电磁铁起动功率 (VA); K 为电磁铁工作行程 L 与额定行程 L_N 之比的修正系数。当 $L/L_N = 0.5-0.8$ 时, $K = 0.7-0.8$; 当 $L/L_N = 0.85-0.9$ 时, $K = 0.85-0.95$; 当 $L/L_N = 0.9$ 以上时, $K = 1$ 。

满足上式时, 可以保证电器元件的正常工作。式中系数0.25和0.125为经验数据, 当电磁铁额定行程小于15mm, 额定吸力小于15牛时, 系数0.125修正为0.25。系数0.6表示在电压降至60%时, 已吸合的电器仍能可靠地保持吸合状态。

控制变压器也可按长期运行的温升来考虑, 这时变压器容量应大于或等于最大工作负荷的功率, 即

$$S \geq \sum S_1 K_1$$

式中， S_1 为电磁器件吸持功率（VA）； K_1 为变压器容量的储备系数，一般 K_1 取1.1-1.25。

控制变压器容量也可按下式计算
$$S \geq 0.6 \sum S_1 + 1.5 \sum S_2$$
 式中的 S 、 S_1 、 S_2 同前式。

四、接触器的选用

不同的使用场合及控制对象，接触器的操作条件与工作繁重程度也不同。为尽可能经济正确地使用接触器，必须对控制对象的工作情况及接触器的性能有较全面的了解，不能仅看产品的铭牌数据，因接触器铭牌上所标定的电压、电流、控制功率等参数均为某一使用条件下的额定值，选用时应根据具体使用条件正确选择。

(1) 根据接触器所控制负载的工作任务来选择所使用的接触器类别。接触器的触头数量、种类等应满足控制线路的要求。

(2) 根据接触器控制对象的工作参数（如工作电压、工作电流、控制功率、操作频率、工作制等）确定接触器的容量等级。

(3) 根据控制回路电压决定接触器线圈电压。

(4) 对于特殊环境条件下工作的接触器应选用特定的产品。

（一）交流接触器的选用

交流接触器控制的负载可分为电动机负载和非电动机类负载（如电热设备、照明装置、电容器、电焊机等）。

1、电动机负载时的选用

把电动机的负载按轻重程度分为一般任务、重任务和特重任务三类。

（1）一般任务

主要运行于间歇性使用类别，其操作频率不高，用来控制笼型异步电动机或绕线转子电动机，在达到一定转速时断开，并有少量的点动。这种任务在使用中所占的比例很大，并常与热继电器组成电磁起动器来满足控制与保护的要求。属于这一类的典型机械有：压缩机、泵、通风机、升降机、传送带、电梯、搅拌机、离心机、空调机、冲床、剪床等。选配接触器时，只要使选用接触器的额定电压和额定电流等于或稍大于电动机的额定电压和额定电流即可，通常选用CJ10系列。

(2) 重任务

主要运行于包括间歇性和正常运行的混合类别，平均操作频率可达100次/h或以上，用以起动笼型或绕线转子电动机，并常有点动、反接制动、反向和低速时断开。属于这一类的典型机械有：车床、钻床、铣床、磨床、升降设备、轧机辅助设备。在这类设备的控制中，电动机功率一般在20kW以下，因此选用CJ10Z系列重任务交流接触器较为合适。

(3) 特重任务

主要运行于几乎长期运行的类别，操作频率可达600~1200次/h，个别的甚至达3000次/h，用于笼型或绕线转子电动机的频繁点动、反接制动和可逆运行。属于这一类的典型设备有：印刷机、拉丝机、镗床、港口起重设备、轧钢辅助设备。选用接触器时一定要使其电寿命满足使用要求。对于已按重任务设计的CJ10Z等系列接触器可按电寿命选用，电寿命可按与分断电流平方成反比的关系推算。有时，粗略按电动机的起动电流作为接触器的额定使用电流来选用接触器，便可得到较高的电寿命。由于控制容量大，常可选用CI12系列。

有时为了减少维护时间和频繁操作带来的噪声，可考虑选用晶闸管交流接触器。

交流接触器的主要参数是：主触头额定电流、额定电压及线圈控制电压。

一般来说，接触器主触头的额定电压应大于或等于负载回路的额定电压。

主触头的额定电流应等于或稍大于实际负载额定电流。对于电动机负载，下面经验公式也可以使用：

$$I_N = \frac{P_N \times 10^3}{kU_N}$$

式中， P_N (kW)、 U_N (V) 分别为受控电动机的额定功率、额定（线）电压， k 为经验系数，一般取1~1.4。

查阅每种系列接触器与可控制电动机容量的对应表也是选择交流接触器额定电流的有效方法。

接触器吸引线圈的电压值应取控制电路的电压等级。

2、非电动机负载时的选用

非电动机负载有电阻炉、电容器、变压器、照明装置等。选用接触器时，除考虑接触器接通容量外，还要考虑使用中可能出现的过电流。

(二) 直流接触器的选用

直流接触器主要用于控制直流电动机和电磁铁。

1、控制直流电动机时的选用

首先弄清电动机实际运行的主要技术参数。接触器的额定电压、额定电流（或额定控制功率）均不得低于电动机的相应值。当用于反复短时工作制或短时工作制时，接触器的额定发热电流应不低于电动机实际运行的等效有效电流，接触器的额定操作频率也不应低于电动机实际运行的操作频率。

然后根据电动机的使用类别，选择相应使用类别的接触器系列。

2、控制直流电磁铁时的选用

控制直流电磁铁时，应根据额定电压、额定电流、通电持续率和时间常数等主要技术参数，选用合适的直流接触器。

五、电磁式控制继电器的选用

1、类型的选用 继电器的类型及用途可查表。首先按被控制或被保护对象的工作要求来选择继电器的种类，然后根据灵敏度或精度要求来选择适当的系列。如时间继电器有直流电磁式、交流电磁式（气囊结构）、电动式、晶体管式等，可根据系统对延时精度、延时范围、操作电源要求等综合考虑选用。

2、使用环境的选用 继电器选用时应考虑继电器安装地点的周围环境温度、海拔高度、相对湿度、污染等级及冲击、振动等条件，确定继电器的结构特征和防护类别。如继电器用于尘埃较多场所时，应选用带罩壳的全封闭式继电器，如用于湿热带地区时，应选用湿热带型（TH），以保证继电器正常而可靠地工作。

3、使用类别的选用 继电器的典型用途是控制交、直流接触器的线圈等。对应的继电器应按使用类别选用。

4、额定工作电压、额定工作电流的选用 继电器在相应使用类别下触点的额定工作电流和额定工作电压表征继电器触点所能切换电路的能力。选用时，继电器的最高工作电压可为该继电器的额定绝缘电压。继电器的最高工作电流一般应小于该继电器的额定发热电流。通常一个系列的继电器规定了几个额定工作电压，同时列出相应的额定工作电流（或控制功率）。

选用电压线圈的电流种类和额定电压值时，应注意与系统要求一致。

5、工作制的选用 继电器一般适用于8h工作制（间断长期工作制）、反复短时工作制和短时工作制。工作制不同对继电器的过载能力要求也不同。

当交流电压（或中间）继电器用于反复短时工作制时，由于吸合时有较大的起动电流，因此其负担比长期工作制时重，选用时应充分考虑此类情况，使用中实际操作频率应低于额定操作频率。

六、热继电器的选用

1、原则上按被保护电动机的额定电流选取热继电器。根据电动机实际负载选取热继电器的整定电流值为电动机额定电流的**0.95~1.05倍**。对于过载能力较差的电动机，选取热继电器的额定电流为电动机额定电流的60%~80%。

2、对于长期工作或间断长期工作制的电动机，必须保证热继电器在电动机的起动过程中不致误动作。以在6倍额定电流下，起动时间不超过6秒的电动机所需的热继电器按电动机的额定电流来选取。

3、用热继电器作断相保护时的选用。对于星型接法的电动机，只要选用正确、调整合理，使用一般不带断相保护的三相热继电器也能反映一相断线后的过载情况。对于三角形接法的电动机，一相断线后，流过热继电器的电流与流过电动机绕组的电流其增加比例是不同的，这时应选用带有断相保护装置的热继电器。

4、三相与两相热继电器的选用。一般故障情况下，两相热继电器与三相热继电器具有相同的保护效果。但在电动机定子绕组一相断线、多台电动机的功率差别比较显著、电源电压不平衡等情况下不宜选用两相热继。

七、熔断器选择

1、熔断器类型与额定电压的选择

根据负载保护特性和短路电流大小、各类熔断器的适用范围来选用熔断器的类型。根据被保护电路的电压来选择额定电压。

2、熔体与熔断器额定电流的确定

熔体额定电流大小与负载大小、负载性质密切相关。对于负载平稳、无冲击电流，如照明电路、电热电路可按负载电流大小来确定熔体的额定电流。对于笼型异步电动机，其熔断器熔体额定电流如第一章所述，为：

单台电动机

$$I_{fu} = I_N (1.5 \sim 2.5)$$

如多台电动机共用一个熔断器保护

$$I_{fu} = I_N (1.5 \sim 2.5) + \sum I_N$$

轻载起动及起动时间较短时，式中系数取1.5，重载起动及起动时间较长时，式中系数取2.5。

熔断器的额定电流按大于或等于熔体额定电流来选择。

3、校核保护特性

对上述选定的熔断器类型及熔体额定电流，还必须校核熔断器的保护特性曲线是否与保护对象的过载特性有良好的配合，使在整个范围内获得可靠的保护。同时，熔断器的极限分段能力应大于或等于所保护电路可能出现的短路电流值，这样才能得到可靠的短路保护。

4、熔断器的上下级的配合

为满足选择性保护的要求，应注意熔断器上下级之间的配合，一般要求上一级熔断器的熔断时间至少是下一级的3倍，不然将会发生越级动作，扩大停电范围。为此，当上下级采用同一型号的熔断器时，其电流等级以相差两级为宜，若上下级所用的熔断器型号不同，则根据保护特性上给出的熔断时间选取。

八、其它控制电器的选用

1、控制按钮的选用

- (1) 根据使用场合，选择控制按钮的种类，如开启式、保护式、防水式、防腐式等。
- (2) 根据用途，选用合适的型式，对手把旋钮式、钥匙式、紧急式、带灯式等。
- (3) 按控制回路的需要，确定不同的按钮数，如单钮、双钮、三钮、多钮等。
- (4) 按工作情况的要求，选择按钮的颜色。根据GB5226-85的规定，按钮的颜色的含义与典型用途见表4-4。

2、行程开关的选用

- (1) 根据应用场合及控制对象选择。有一般用途行程开关和起重设备用行程开关。
- (2) 根据安装环境选择防护型式，如开启式或保护式。
- (3) 根据控制回路的电压和电流选择行程开关系列。
- (4) 根据机械与行程开关的压力与位移关系选择合适的头部型式。

。

3、自动开关的选用

- (1) 根据要求确定自动开关的类型，如框架式、塑料外壳式、限流式等。
- (2) 根据保护特性要求，确定几段保护。
- (3) 根据线路中可能出现的最大短路电流来选择自动开关的极限分断能力。
- (4) 根据电网额定电压、额定电流确定开关的容量等级。
- (5) 初步确定自动开关的类型和等级后，要和其上、下级开关保护特性进行协调配合，从而在总体上满足保护的要求。

第四节 电气控制装置的工艺设计

电气控制系统在完成原理设计和电器元件选择之后，下一步就是进行电气工艺设计并付之实施。主要有**电气控制设备总体布置**，**总接线图设计**，各部分的电器装配图与接线图，各部分的元件目录、进出线号、主要材料清单及使用说明书等。

一、电气设备的总体布置设计

电气设备总体布置设计的任务是根据电气控制原理图，将控制系统按照一定要求划分为若干个部件，再根据电气设备的复杂程度，将每一部件划分成若干单元，并根据接线关系整理出各部分的进线和出线号，调整它们之间的连接方式。单元划分的原则：

(1) 功能类似的元件组合在一起。如按钮、控制开关、指示灯、指示仪表可以集中在操作台上；接触器、继电器、熔断器、控制变压器等控制电器可以安装在控制柜中。

(2) 接线关系密切的控制电器划为同一单元，减少单元间的连线。

(3) 强弱电分开，以防干扰。

(4) 需经常调节、维护和易损元件组合在一起以便于检查与调试。

电气控制设备的不同单元之间的接线方式通常有以下几种：

(1) 控制板、电器板、机床电器的进出线一般采用接线端子，可根据电流大小和进出线数选择不同规格的接线端子。

(2) 被控制设备与电气箱之间采用多孔接插件，便于拆装、搬运。

(3) 印制电路板及弱电控制组件之间的连接采用各种类型的标准接插件。

二、绘制电器元件布置图

同一部件或单元中电器元件按下述原则布置：

(1) 一般监视器件布置在仪表板上。

(2) 体积大和较重的电器元件应安装在电器板的下方，发热元件安装在电器板的上方。

(3) 强电弱电应分开，弱电部分应加装屏蔽和隔离，以防干扰。

(4) 需要经常维护、检修、调整的电器元件安装不宜过高或低。

(5) 电器布置应考虑整齐、美观、对称。尽量使外形与结构尺寸类似的电器安装在一起，便于加工、安装和配线。

(6) 布置电器元件时，应预留布线、接线、和调整操作的空间。

三、绘制电气控制装置的接线图

电气控制装置的接线图表示整套装置的连接关系，绘制原则：

(1) 接线图的绘制应符合GB6988中5-86《电气制图接线图和接线表》的规定。

(2) 在接线图中，各电器元件的外形和相对位置要与实际安装的相对位置一致。

(3) 电器元件及其接线座的标注与电气原理图中标注应一致，采用同样的文字符号和线号。项目代号、端子号及导线号的编制分别应符合GB5904-85《电气技术中的项目代号》、GB4026-83《电器接线端子的识别和用字母数字符号标志接线端子的通则》及GB4884-85《绝缘导线标记》等规定。

(4) 接线图应将同一电器元件的各带电部分（如线圈、触点等）画在一起，并用细实线框住。

(5) 接线图采用细线条绘制，应清楚地表示出各电器元件的接线关系和接线去向。

接线图的接线关系有两种画法：

- ①直接接线法。
- ②符号标注接线法。

(6) 接线图中要标注出各种导线的型号、规格、截面积和颜色。

(7) 接线端子板上各接线点按线号顺序排列，并将动力线、交流控制线、直流控制线分类排开。元件的进出线除大截面导线外，都应经过接线板，不得直接进出。

四、电控柜和非标准零件图的设计

电气控制系统比较简单时，控制电器可以安装在生产机械内部，控制系统比较复杂或操作需要时，都要有单独的电气控制柜。

电气控制柜设计要考虑以下几方面问题：

(1) 根据控制面板和控制柜内各电器元件的数量确定电控柜总体尺寸。

(2) 电控柜结构要紧凑、便于安装、调整及维修、外形美观，并与生产机械相匹配。

(3) 在柜体的适当部位设计通风孔或通风槽，便于柜内散热。

(4) 应设计起吊钩或柜体底部带活动轮，便于电控柜的移动。

电控柜结构常设计成立式或工作台式，小型控制设备则设计成台式或悬挂式。电控柜的品种繁多，结构各异。设计中要吸取各种型式的优点，设计出适合的电控柜。

非标准的电器安装零件，如开关支架、电气安装底板、控制柜的有机玻璃面板、扶手等，应根据机械零件设计要求，绘制其零件图。

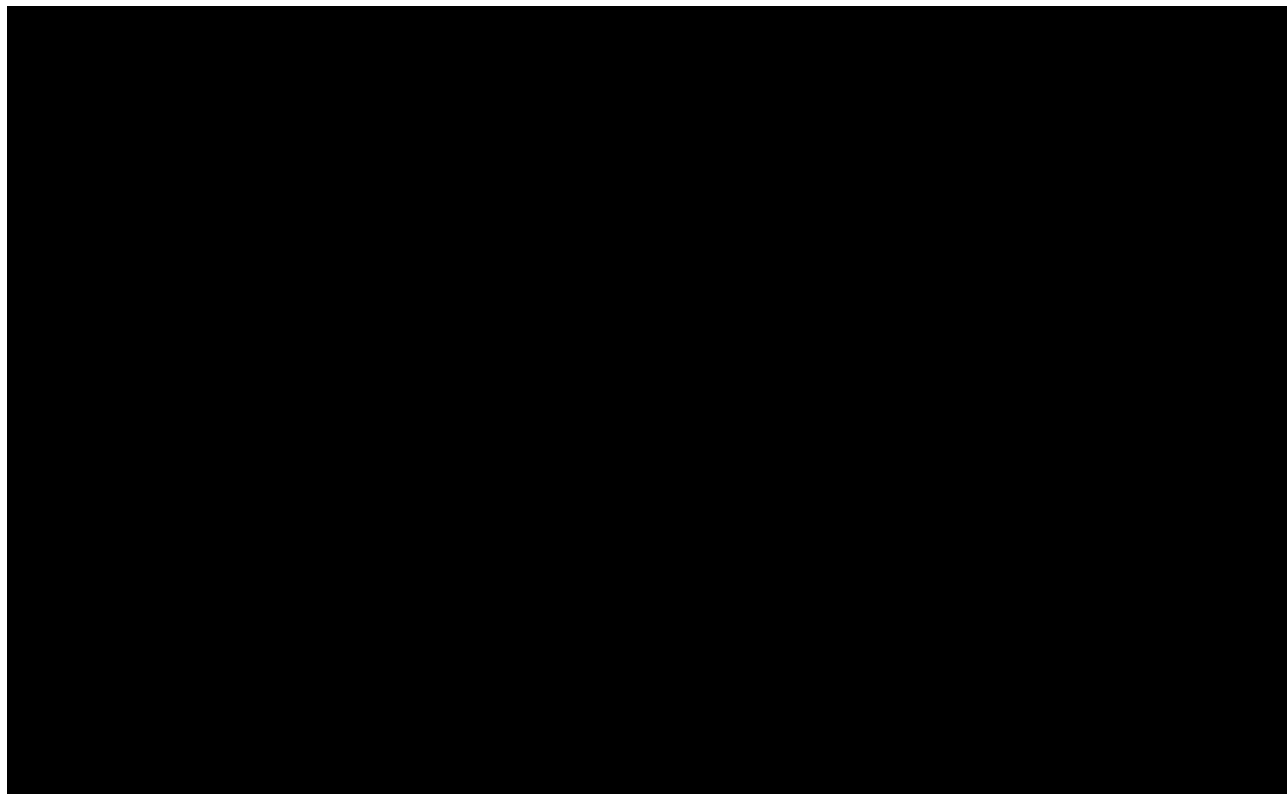
五、清单汇总

在电气控制系统原理设计及工艺设计结束后，应根据各种图纸，对本设备需要的各种零件及材料进行综合统计，列出元件清单、标准件清单、材料消耗定额表，以便生产管理部门做好生产准备工作。

六、编写设计说明书和使用说明书

设计说明和使用说明是设计审定、调试、使用、维护过程中必不可少的技术资料。设计和使用说明书应包含拖动方案的选择依据，本系统的主要原理与特点，主要参数的计算过程，各项技术指标的实现，设备调试的要求和方法，设备使用、维护要求，使用注意事项等。

第五章 可编程序控制器概述



第五章 可编程序控制器概述

- § 5.1 可编程序控制器简介
- § 5.2 可编程序控制器的发展趋势
- § 5.3 可编程序控制器的主要功能及特点
- § 5.4 可编程序控制器的基本组成
- § 5.5 PLC控制与继电器控制的比较
- § 5.6 可编程序控制器的工作原理

§ 5.1 可编程序控制器简介

一、PLC的由来

■ PLC源于**汽车制造业**

■ 20世纪20年代以来，继电器控制系统曾一度占据工业控制领域的主导地位。

■ 继电器控制系统的**弱点**：

体积大、耗电多、可靠性差、寿命短、运行速度慢、适应性差等。

■ **尤其是可靠性差、不具有通用性、灵活性**已经无法适应汽车工业换代周期迅速缩短的需要。

PLC的由来

- 20世纪60年代，计算机迅猛发展，人们曾试图用计算机来实现工业控制的需要。但因其价格高、输入/输出电路不匹配和编程技术复杂等原因，一直未能得到推广应用。
- 1968年，美国最大的汽车制造商通用汽车公司（GM）设想将继电器与计算机两者长处结合起来提出设计新型电气控制装置，拟定了十项公开招标的技术要求。

简单易懂、操作方便
价格便宜

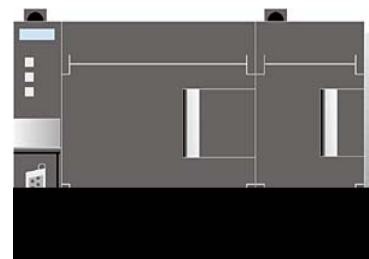


硬接线控制

功能完备
灵活
通用



通用工业控制装置PLC



存储程序控制



PLC的由来

- 1969年美国数字设备公司（**DEC**）研制出世界上第一台可编程序控制器（**PDP-14**型），并在 **GM** 公司的汽车自动装配线上试用，获得了成功。
- 1971 年日本研制出第一台可编程序控制器。
- 1974 年我国开始研制，1977 年开始工业应用。

二、可编程序控制器的定义

可编程序控制器(PLC)

Programmable

Logic

Controller

定义：

“ **可编程序控制器**是一种数字运算操作的电子系统，专为在**工业环境下**应用而设计。它采用了可编程序的存贮器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令。并通过数字式和模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。可编程序控制器及其有关外部设备，都应按易于与工业系统联成一个整体，易于扩充其功能的原则设计。”

§ 5.2 PLC的发展概况和发展趋势

一、可编程序控制器的发展概况

- 第一阶段（初创期）
- 第二阶段（成熟期）
- 第三阶段（大发展期）
- 第四阶段（继续发展阶段）

第一阶段（1969—1972）

初创期

PDP-14

- 编程语言：
采用计算机的初级语言
- 硬件结构：
采用中、小规模集成电路
- 控制功能：
逻辑控制、计数定时、顺序控制

- 可编程序逻辑控制器（Programmable Logic Controller）简称PLC

把计算机的程序存储技术引入继电器控制系统

功绩

第二阶段（1973—1978）

成熟期

- 编程语言：梯形图编程法
- 硬件结构：采用微处理器
- 控制功能：增多

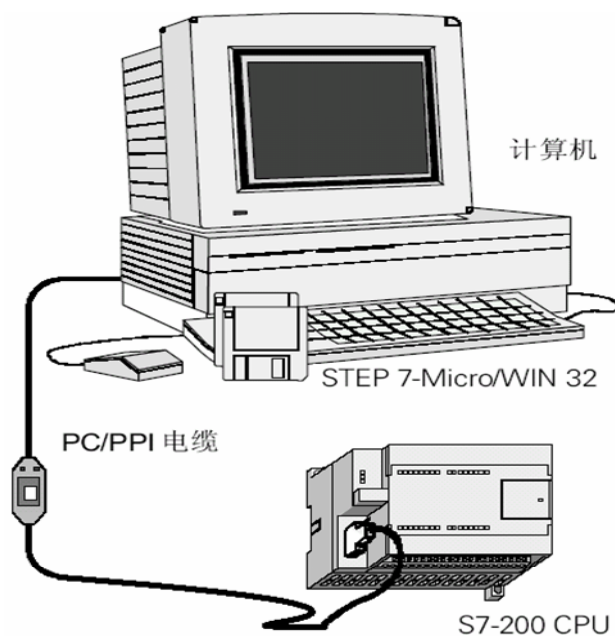
➤ 可编程序控制器（Programmable Controller）简称PC

把计算机的编程灵活、功能齐全、应用面广等优点与继电器控制系统的结构简单、使用方便、价格便宜等优点结合起来，PLC面向工业控制的特点显露出来。

1980,
NEMA

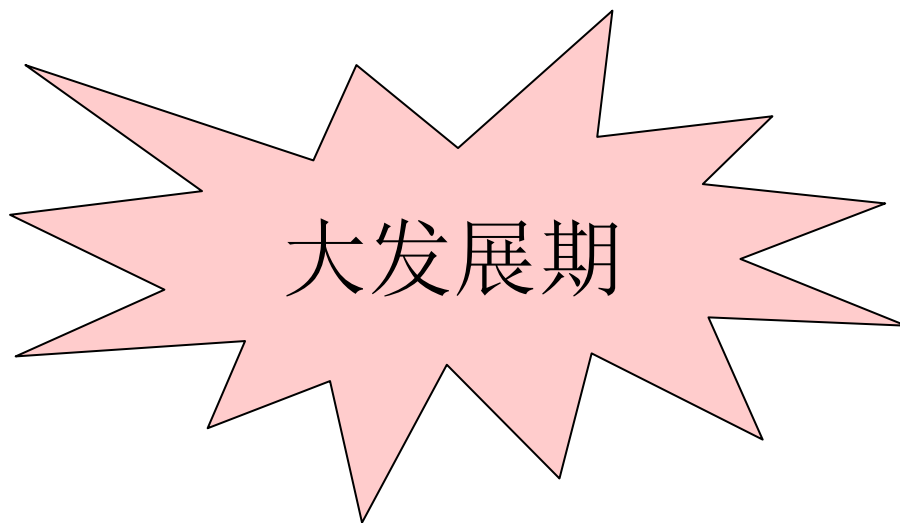
进入实用
化阶段

PLC?



- 个人计算机（**Personal Computer**）简称PC
- 为与个人计算机（PC）相区别，又把可编程序控制器简称为**PLC**。

第三阶段（1978—1984）



- PLC应用面扩大、销售额剧增
- 功能进一步增强、处理速度更快

第四阶段（1984—至今）



继续发展阶段

- 性能/价格比大幅度提高
- 编程语言多样化
- 人机对话能力增强

二、可编程序控制器发展趋势



大型化



小型化

(一) 大型化

大中型PLC发展方向：
展：

- * 大存储容量
- * 高速度
- * 高性能
- * 增加I/O点数

(二) 小型化

小型PLC发展方向:

- * 简易化
- * 体积小
- * 功能强
- * 价格低

§ 5.3 PLC的主要功能和特点

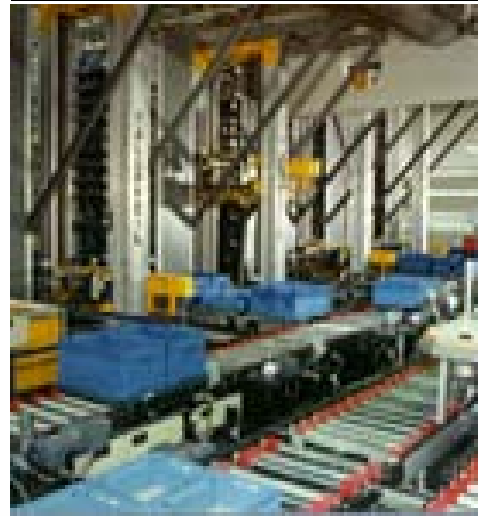
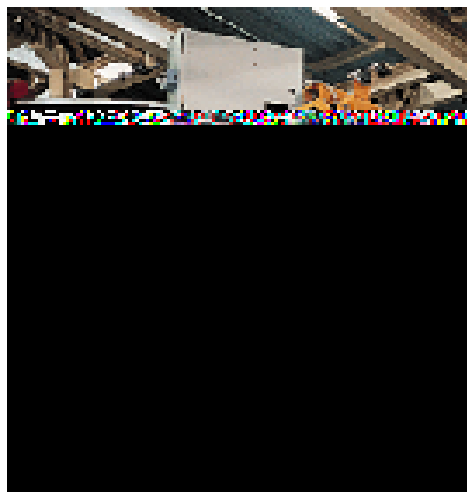
一、PLC的主要功能

- 开关量逻辑控制
- 模拟量控制
- **PID**控制
- 定时控制
- 计数控制
- 顺序（步进）控制
- 数据处理
- 通信和联网

主要功能

PLC的典型应用

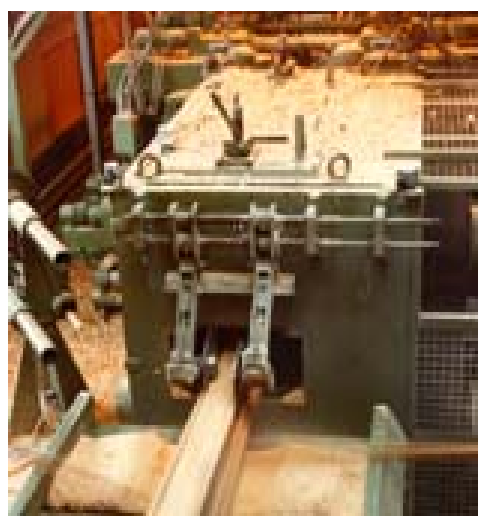
传送带生产线控制



印刷机械

PLC的典型应用

木材加工



空调控制



电梯控制

PLC的典型应用

灌装及包装机械



纺织机械



二、PLC的特点

PLC是专为工业环境下应用而设计的，具有**面向工业控制**的鲜明特点。

1. 可靠性高、抗干扰能力强
2. 通用性强、灵活性好
3. 编程简单、使用方便
4. 模块化结构
5. 安装简便、调试方便
6. 网络通信

三、PLC的分类

按PLC的控制规模分类

	小型机	中型机	大型机
控制点数	<256点	256点~ 2048点	>2048点
用户程序 存储容量	<2K字	2K~8K字	>8K字
样机	S7-200 系列 (西门子) CPM2A 系列 (OMRON)	S7-300 系列 (西门子) C200H 系列 (OMRON)	S7-400 系列 (西门子) CVM1/CS1 系列 (OMRON)

三、PLC的分类

按PLC的结构形式分类

	整体式	模块式	叠装式
特点	电源,CPU,I/O都集中在一个机箱内	由机架和各种模块(电源模块、CPU模块、I/O模块)组成	整体式与模块式结合起来,除了基本单元(整体式),还有I/O扩展模块(模块式)、智能模块(模块式)
优点	结构紧凑,价格低,体积小	配置灵活,装配方便,便于扩展维修	结构紧凑 体积小 配置灵活 安装方便
样机	小型机: 如美国GE公司的GE-I/J系列	大、中型机: S7-300 S7-400	S7-200

模块式

电源模块

底板

CPU模块

IO模块

Power in a Small Package!!

四、PLC著名品牌

■ 美国

A—B公司（Allen—Bradley 艾伦-布拉德利）

GE—Fanuc公司

莫迪康公司（Modicon）

■ 德国

西门子公司（Siemens）

■ 法国

施耐德公司（Schneider）

■ 日本

欧姆龙公司（OMRON）

三菱电机株式会社（Mitsubishi）

富士电机株式会社（Fuji Electric）

■ 中国

和利时、台达、永宏、安控、凯迪恩

§ 5.4 可编程序控制器的基本组成

一、PLC的基本组成

➤ 硬件系统

- 基本单元
(主机)

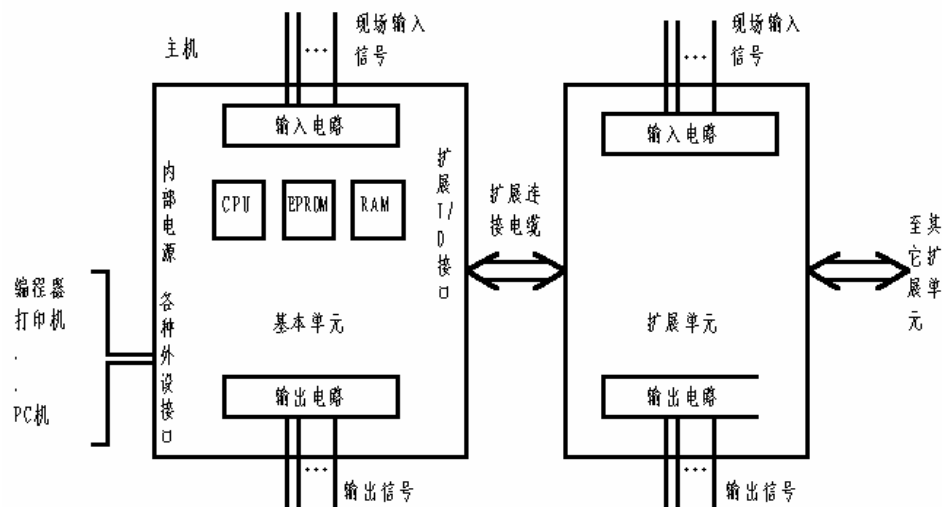
CPU

存储器 (RAM / EPROM)
输入/输出接口
扩展I/O接口
通信接口
内部电源

- I/O扩展单元
- 智能单元
- 外部设备

➤ 软件系统

- 系统程序
- 用户程序



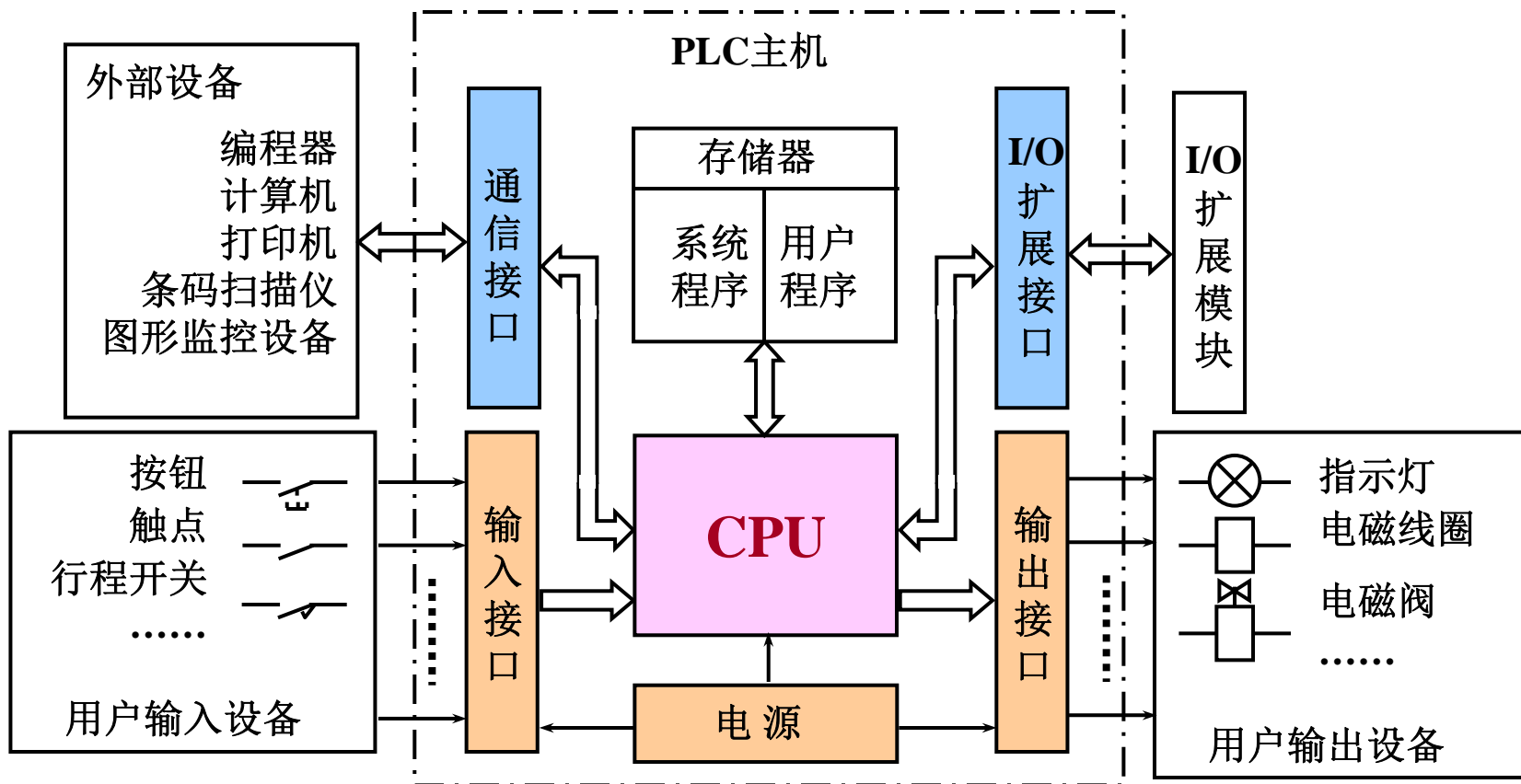


图5-1 整体式PLC组成示意图

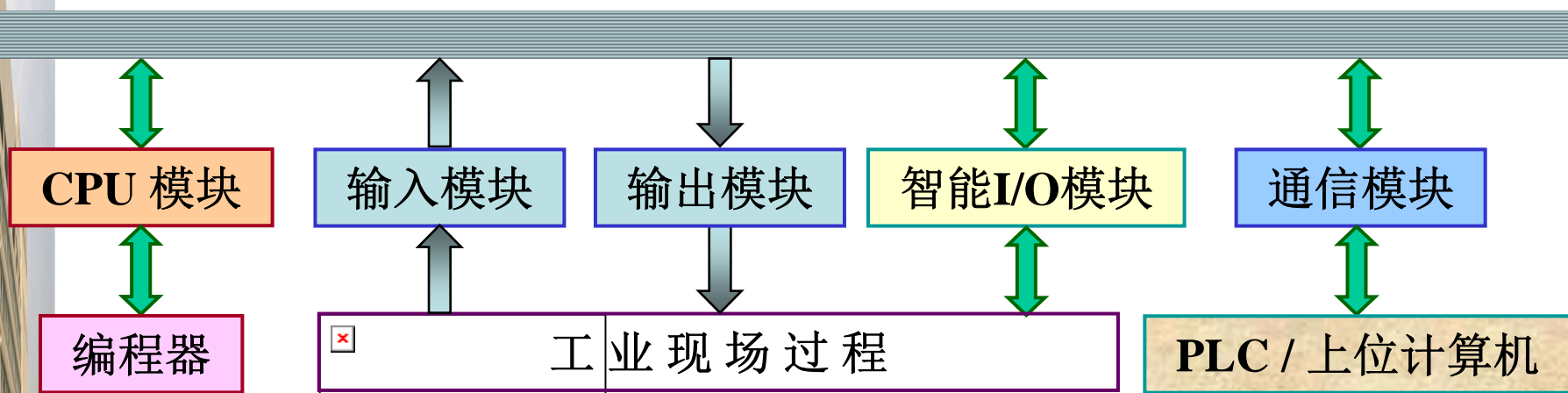


图5-2 模块式PLC组成示意图

二、PLC硬件系统组成

(一) 中央处理单元 (CPU)

主要功能:

- (1) 读入现场状态;
- (2) 控制存储和解读用户程序;
- (3) 执行各种运算程序;
- (4) 输出运算结果;
- (5) 执行系统诊断功能;
- (6) 与外部设备或计算机通信等。

- CPU一般由大规模或超大规模集成电路的处理芯片构成（如通用微处理器、单片机、位片式微处理器）。

(二) 存储器

存储器

系统程序存储器

存放系统程序；用户不能随意修改；采用PROM、EPROM、ROM存储

用户程序存储器

存放用户程序；用户可以修改；采用CMOS RAM、EPROM、EEPROM、Flash Memory存储

工作数据存储器

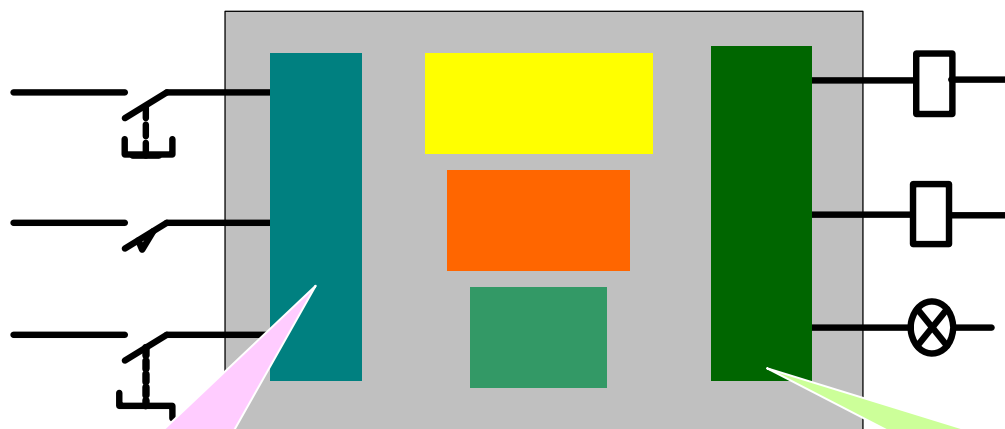
存放工作数据；其数据状态随程序的运行和控制过程随机变化，是构成PLC的内部器件（软元件）；采用RAM存储

用户存储器：

它的大小关系到用户程序容量的大小和内部器件的多少，是反映PLC性能指标之一

(三) 输入、输出单元 (接口)

■ 是PLC的CPU与现场I/O装置或其它外部设备之间连接的**接口部件**。



滤波
电平转换
光电隔离

功率放大
电平转换
光电隔离

类型:

输入
接口

开关量输入接口

- 直流输入 (12~24V DC)
- 交流输入 (100~120V AC) 或 (200~240V AC)
- 交/直流输入 (12~24V AC/DC)

模拟量输入接口

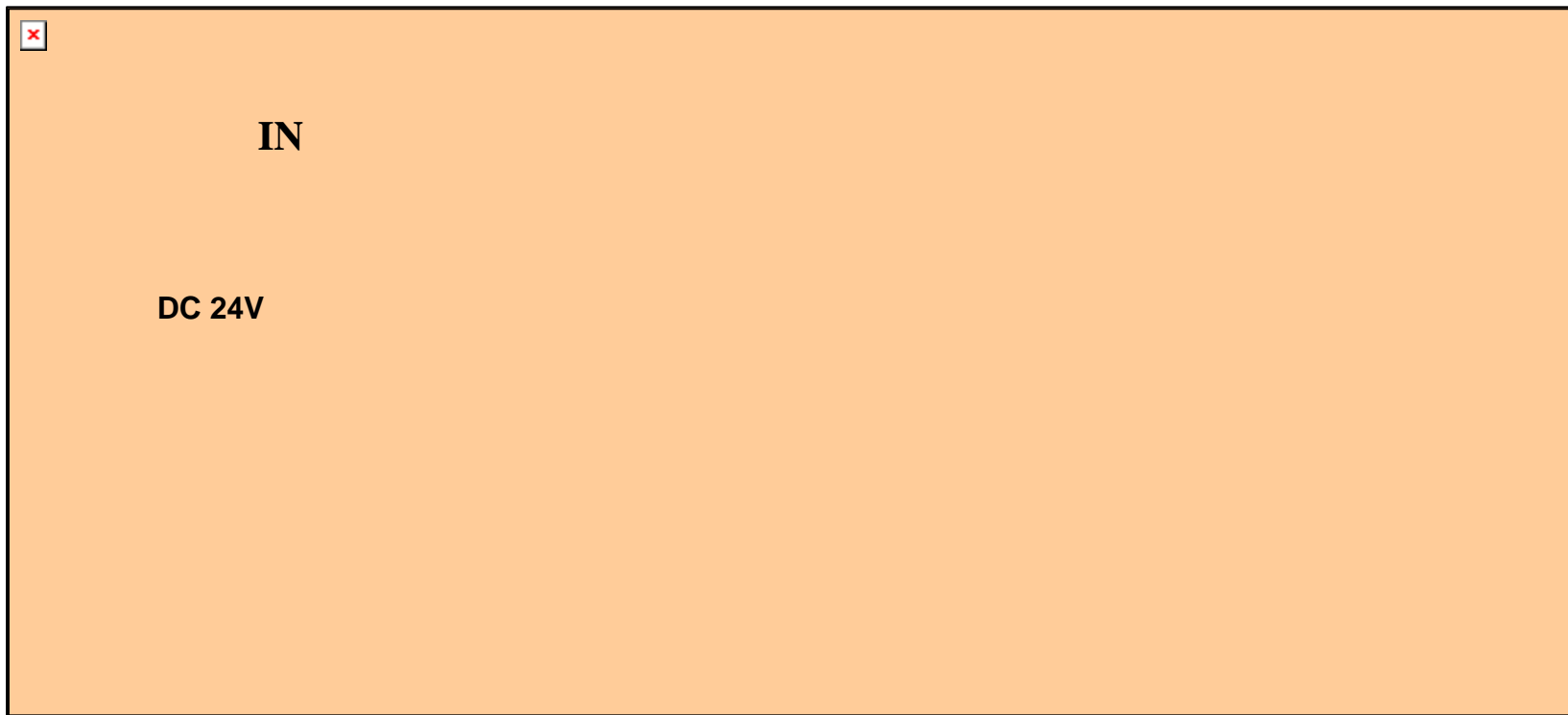
输出
接口

开关量输出接口

- 晶体管输出
- 晶闸管输出
- 继电器输出

模拟量输出接口

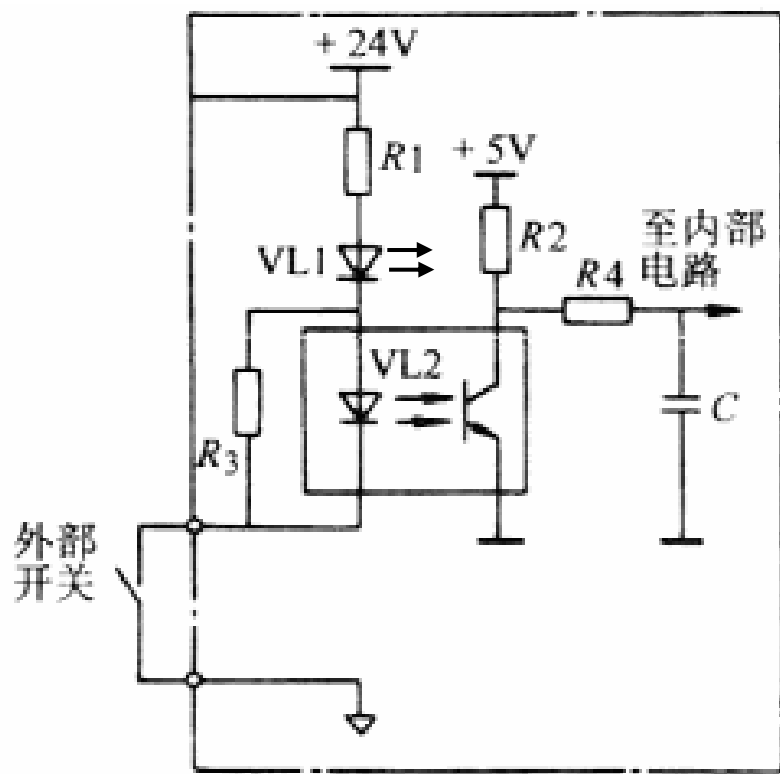
开关量输入接口电路----直流输入



直流输入电路（有源式）

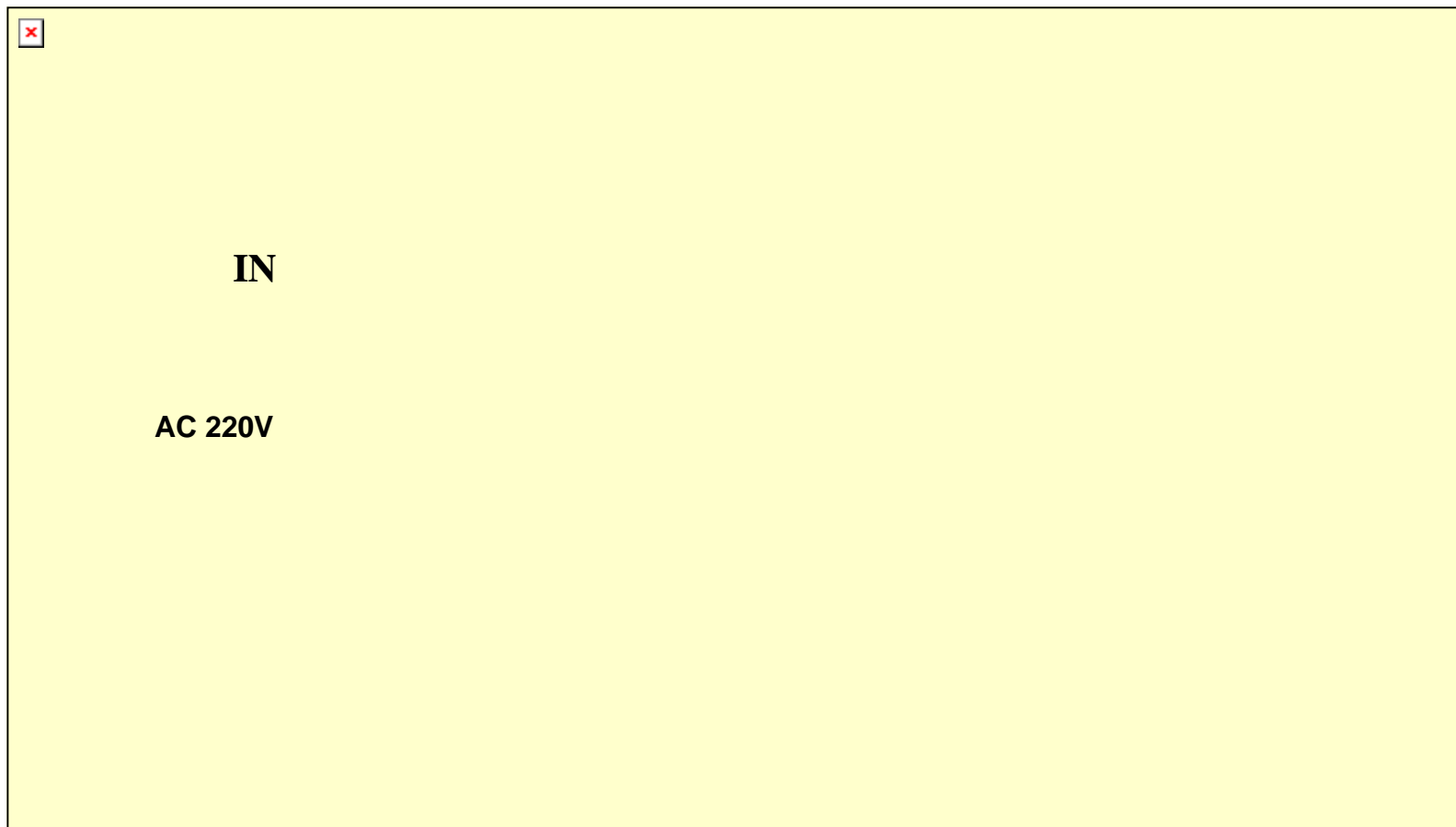
开关量输入接口电路----直流输入

还有的PLC内部提供24V的直流电源（如西门子S7-200），这时直流输入单元无需外接电源，用户只需将开关S接在输入端子和公共端子COM之间即可，即**无源式直流输入单元**。



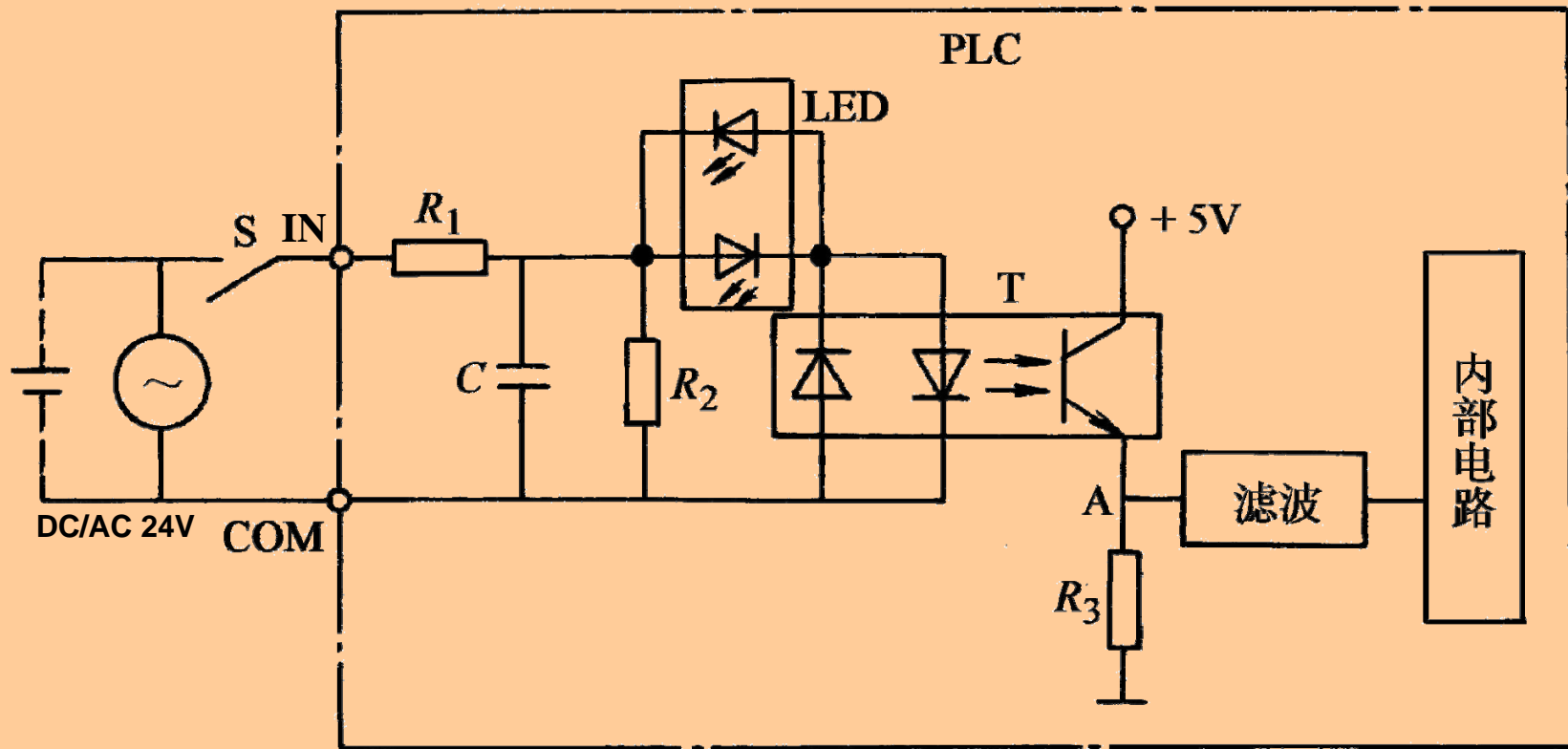
直流输入电路（无源式）

开关量输入接口电路----交流输入



交流输入电路

开关量输入接口电路----交直流输入



交直流输入电路

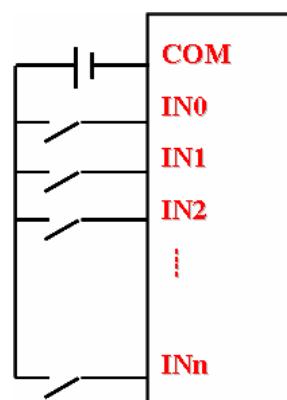
开关量输入接口电路

PLC输入接口电路有共点式、
分组式和隔离式之分。

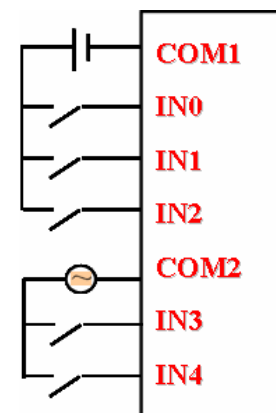
■ **共点式**：所有输入端共用一个公共端子COM；

■ **分组式**：将输入端子分为若干组，每组共用一个公共端子COM。各组之间是分隔的，可各自使用独立的电源；

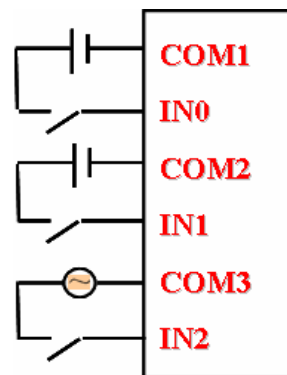
■ **隔离式**：每一个输入端子有一个公共端子COM。各个输入端子之间互相隔离，可各自使用独立的电源。



(a)共点式

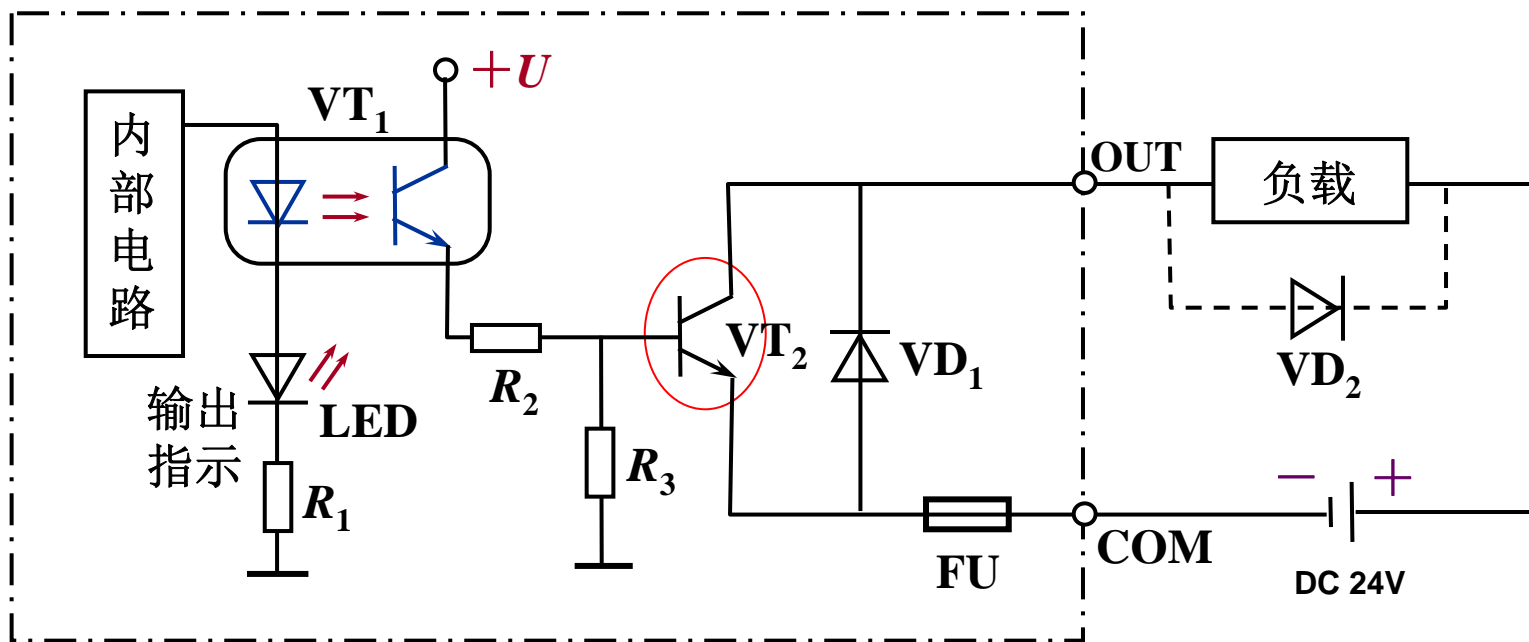


(b)分组式



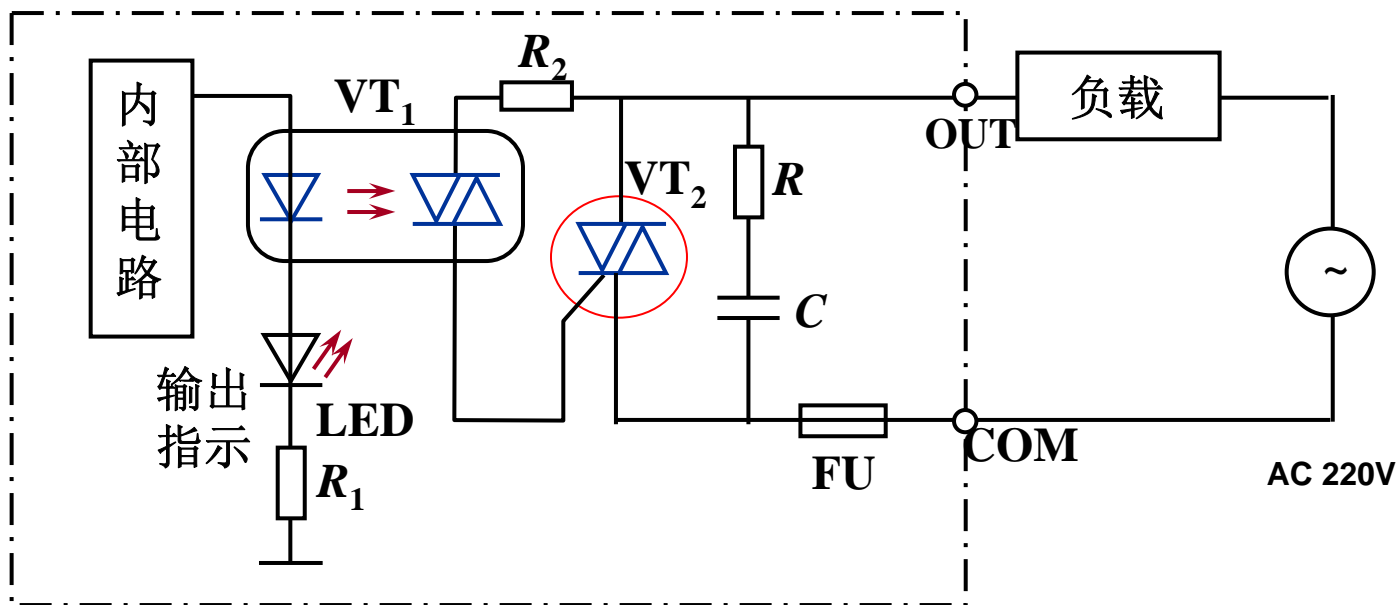
(c)隔离式

开关量输出接口电路——晶体管输出



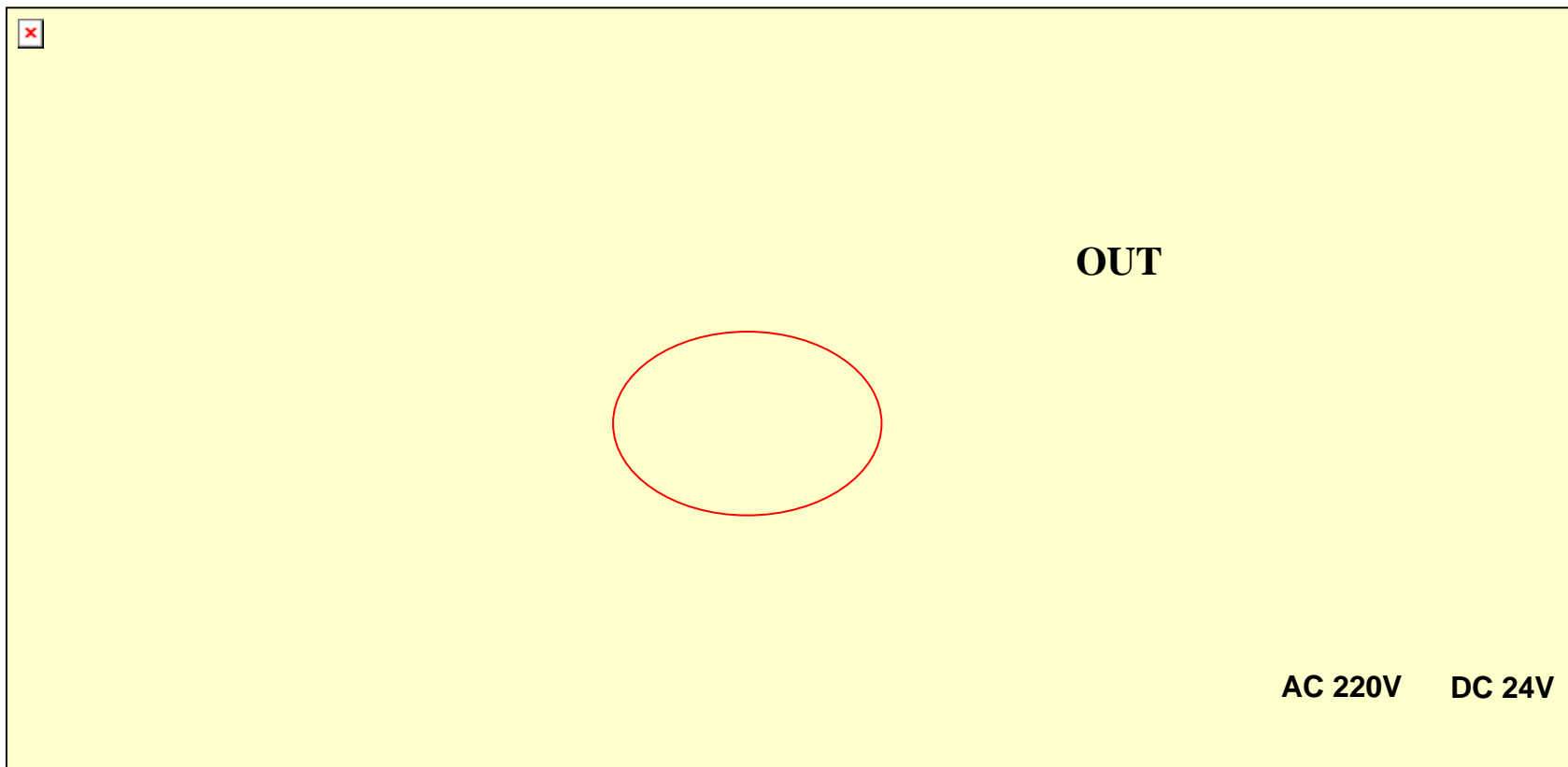
晶体管输出电路（直流输出）

开关量输出接口电路----晶闸管输出



晶闸管输出电路（交流输出）

开关量输出接口电路----继电器输出



继电器输出电路（直流或交流输出）

三种开关量输出接口电路比较

	晶体管输出	双向晶闸管输出	继电器输出
驱动负载类型	直流	交流	直流或交流
驱动负载能力	驱动负载小 (工作电流仅0.3~0.5 A)	驱动负载大 (工作电流约1A左右)	驱动负载大 (工作电流可达2~5 A)
响应速度	无触点元件， 响应速度最快	无触点元件， 响应速度较快	有触点元件， 响应速度最慢

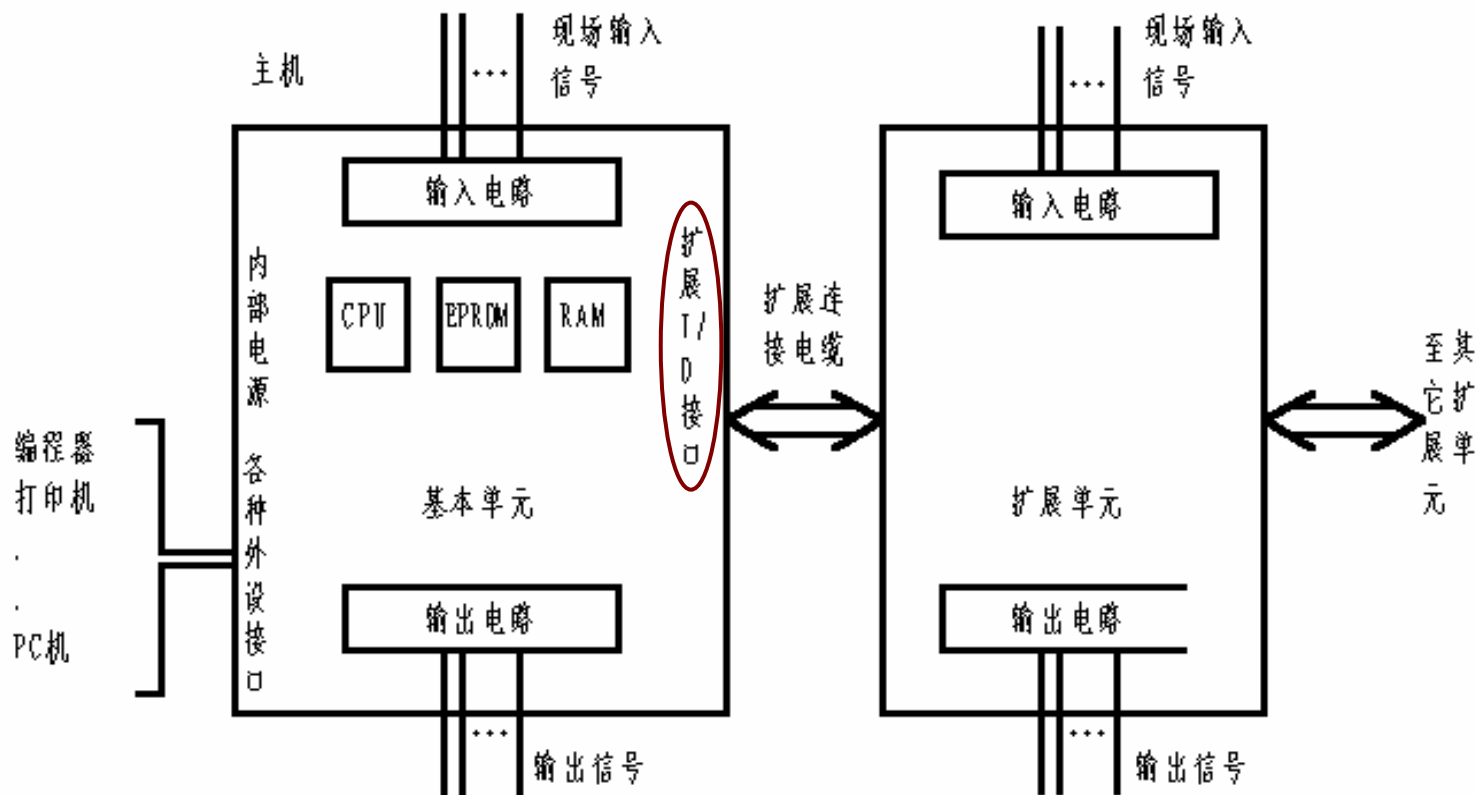
■ PLC输出接口电路也有**共点式**、**分组式**和**隔离式**之分。

(四) 电源单元

- 一般使用220V交流电源或24V直流电源供电
- 内部有一个开关电源，为主机、扩展模块、其它用电设备提供5V、24V直流电源
- 扩展模块通过与CPU连接的总线连接电缆取得5V直流电源
- CPU向外提供的 24V DC 电源从 (L+, M) 端引出。
- 具有掉电保护电路和后备电池电源
- 扩展模块时，每一个PLC系统必须效验开关电源的容量是否足够

(五) I/O扩展单元

- 作用：内部不配备CPU和存储器，仅扩展输入/输出电路(包括数字量I/O和模拟量I/O)。

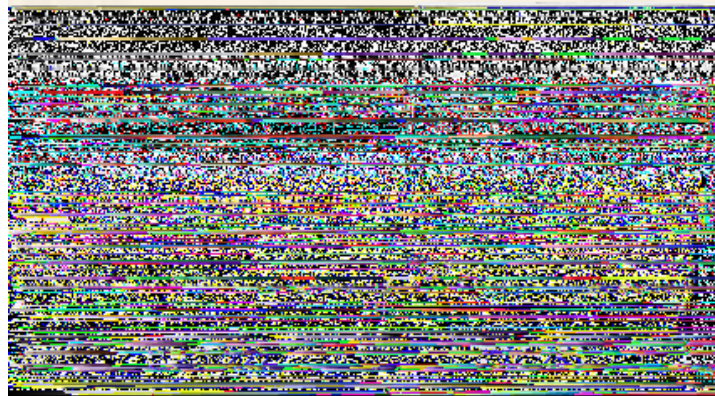


(六) 智能模块

■ 智能模块是一个独立的计算机系统，它有自己的CPU、系统程序、存储器以及与PLC系统总线相连的接口。

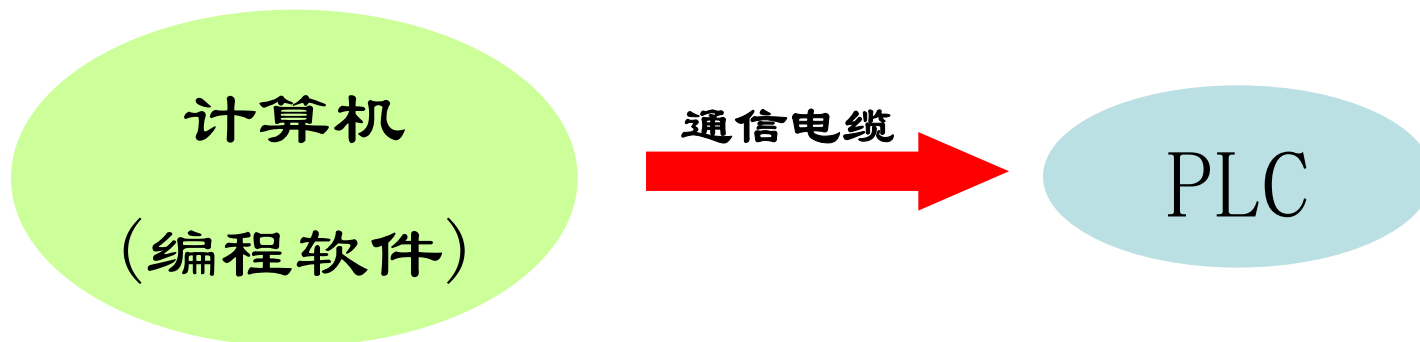
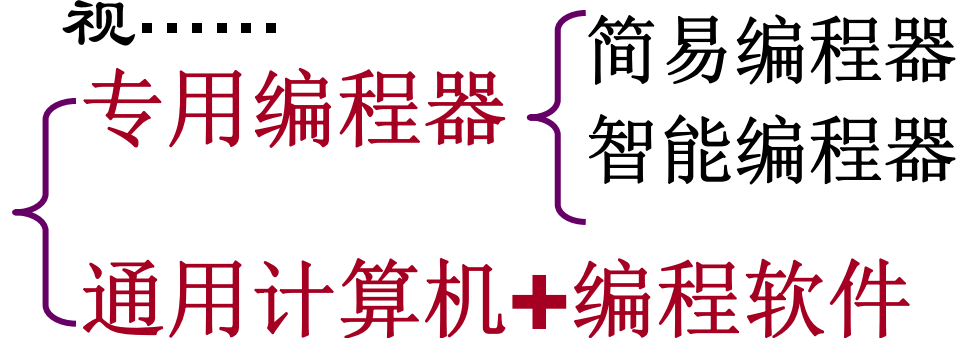
- PID 控制模块
- 高速计数模块
- 温度测量模块
- 运动控制模块
- 通信模块
- ASCII 模块
- BASIC 模块
- 中断控制模块

.....

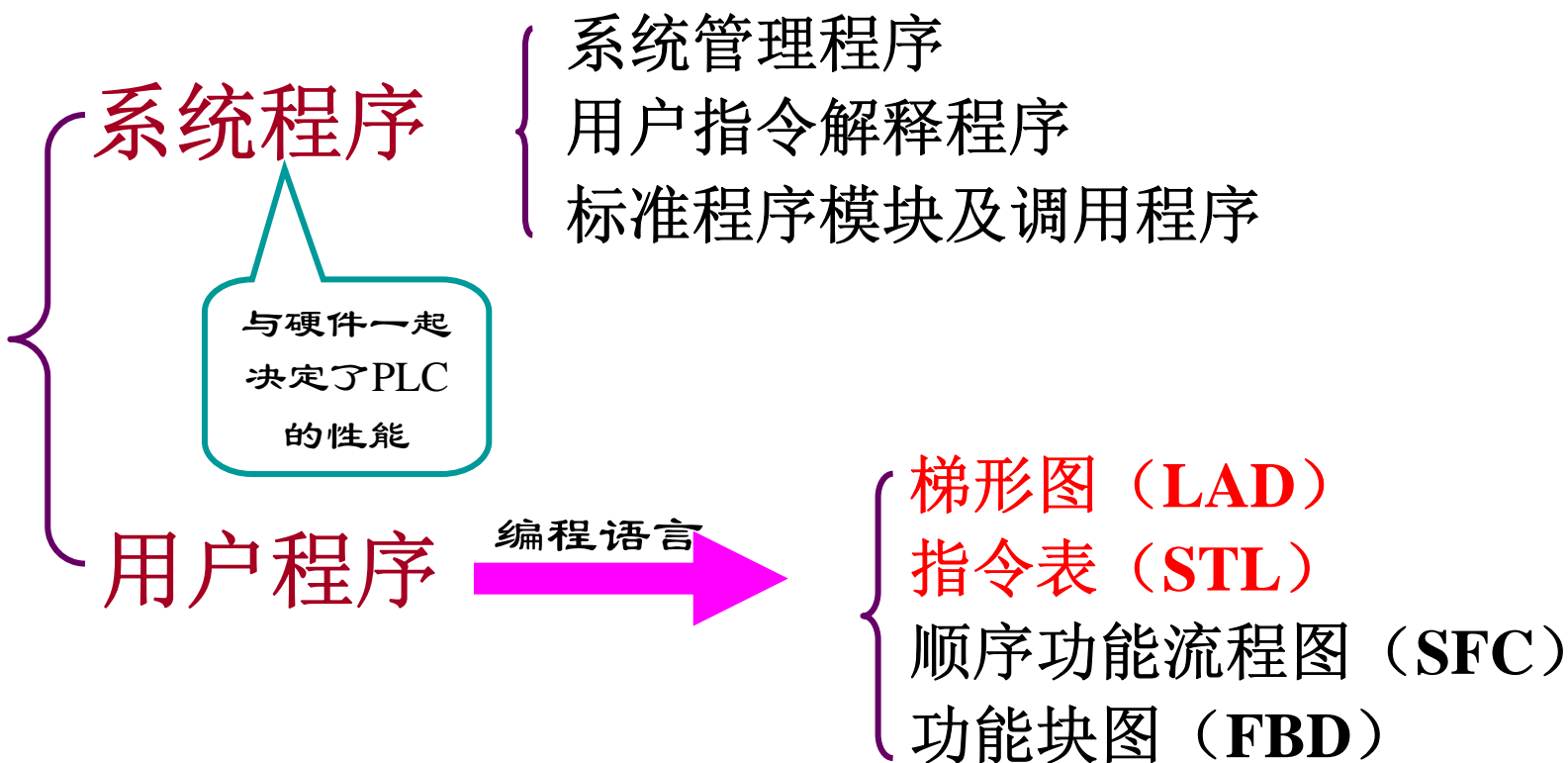


(七) 编程器

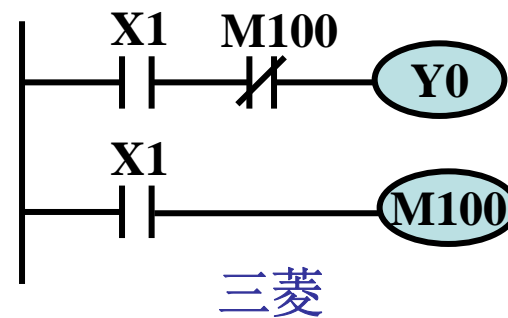
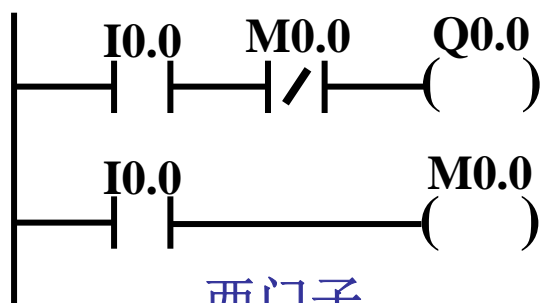
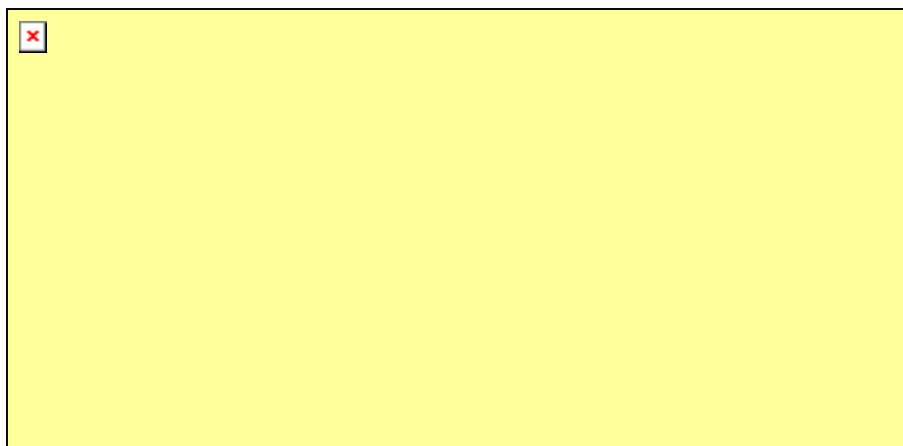
作用：用户程序的编制、编辑、调试、监视……



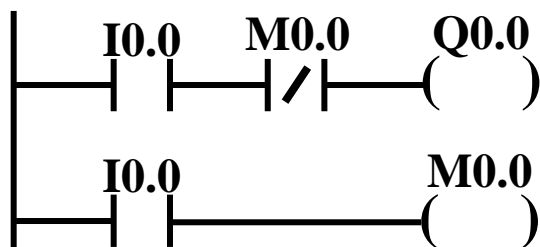
三、PLC软件系统组成



梯形图 (LAD) 编程



指令表 (STL) 编程

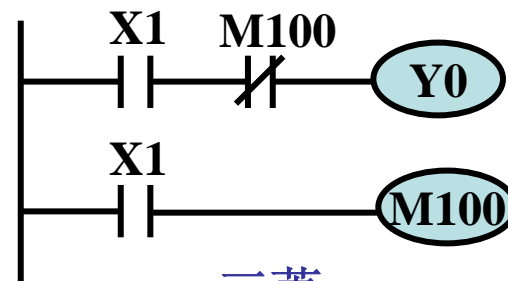


西门子

```

LD  I0.0
AN  M0.0
=   Q0.0
LD  I0.0
=   M0.0

```



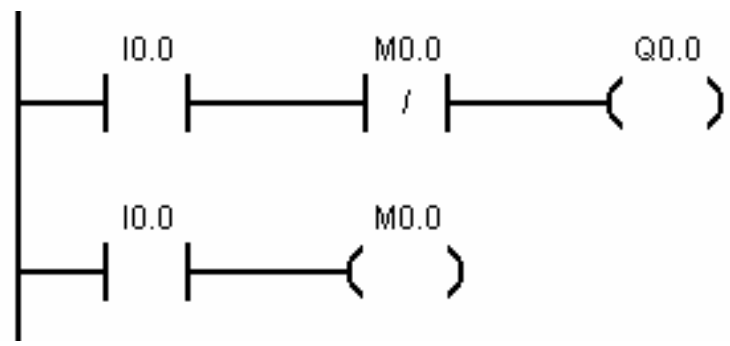
三菱

```

LD  X1
ANI M100
OUT Q0.0
LD  X1
OUT M0.0

```

功能块图 (FBD) 编程



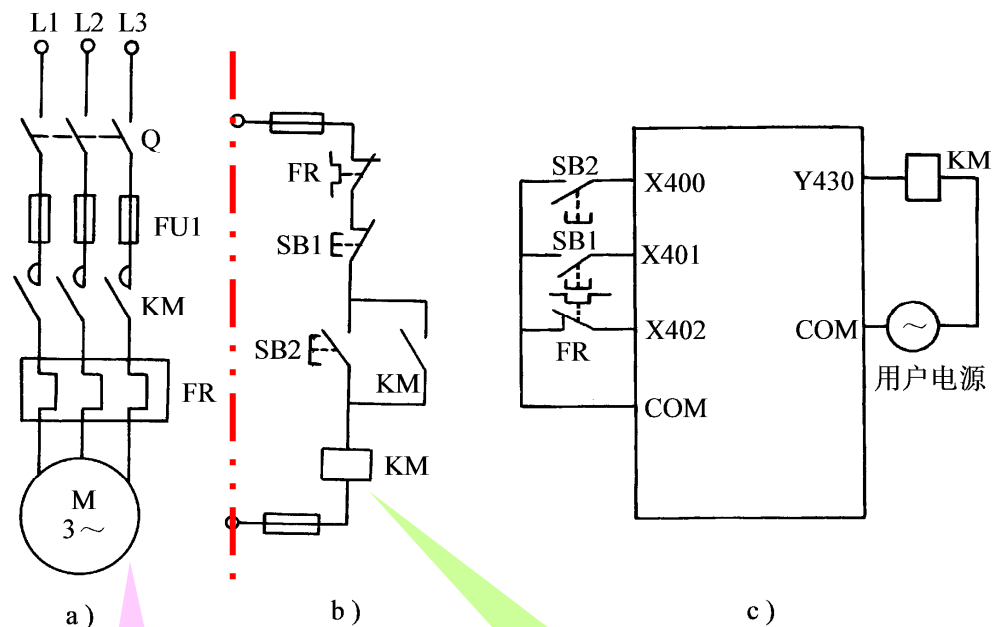
西门子



5.5 PLC控制与继电器控制的比较

一、PLC模拟继电器控制系统的编程方法

1. PLC 替代电路图中的控制电路部分

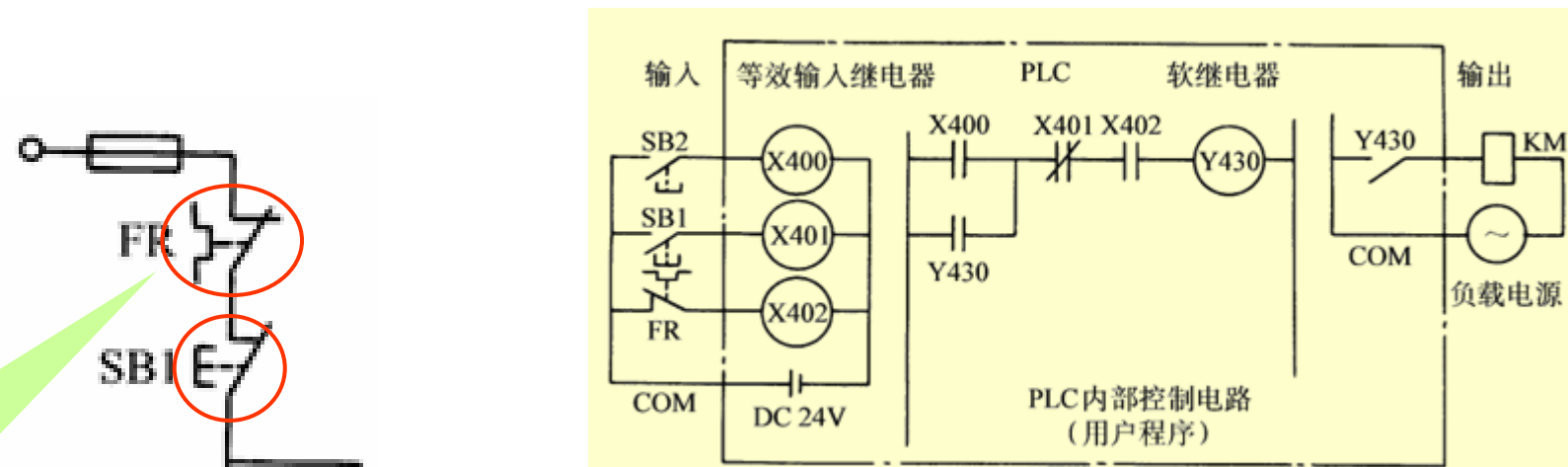


用PLC替代继电器控制系统就是**替代控制电路**那部分，主电路基本保持不变

主电路

控制电路

2.控制电路与PLC的比较



输入部分

输入部分

逻辑部分

输出部分

输出部分

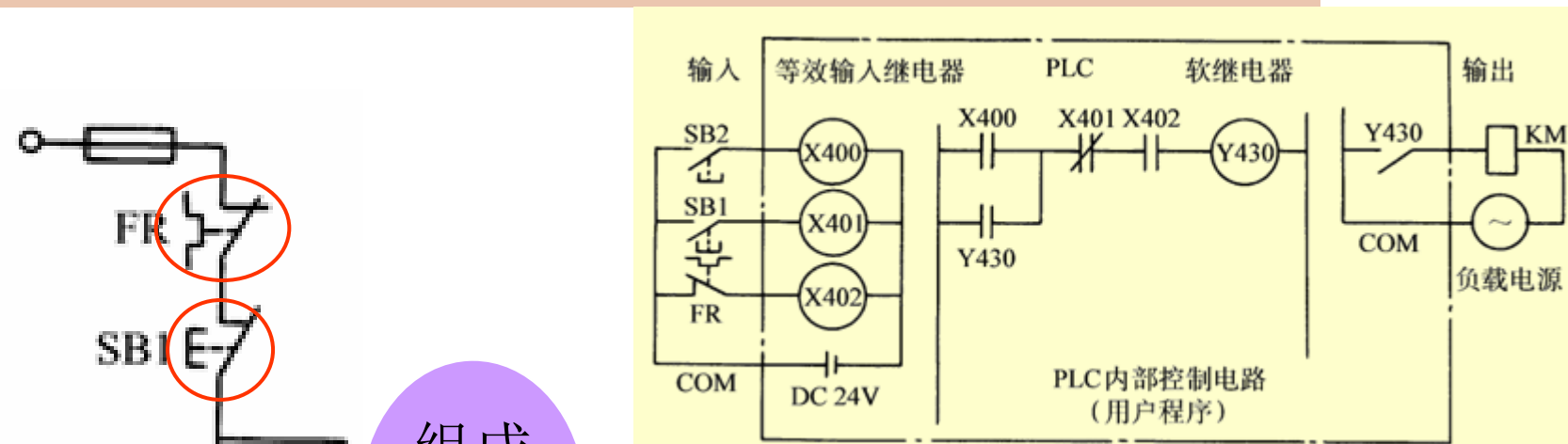
“硬接线”

逻辑部分：由各电器的触点和导线组成。各电器触点之间以固定方式接线。

“软接线”

由存放在存储器中的用户程序实现

3. PLC模拟继电器控制系统的编程方法



组成
元件
不同

控制条件
作用一致

逻辑
部分

“软继电器”：
“输入继电器”
“输出继电器”
“中间继电器”
“时间继电器”

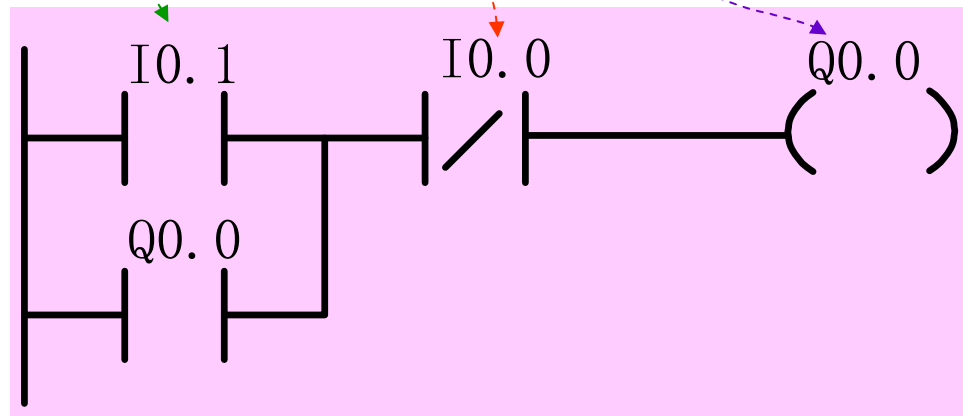
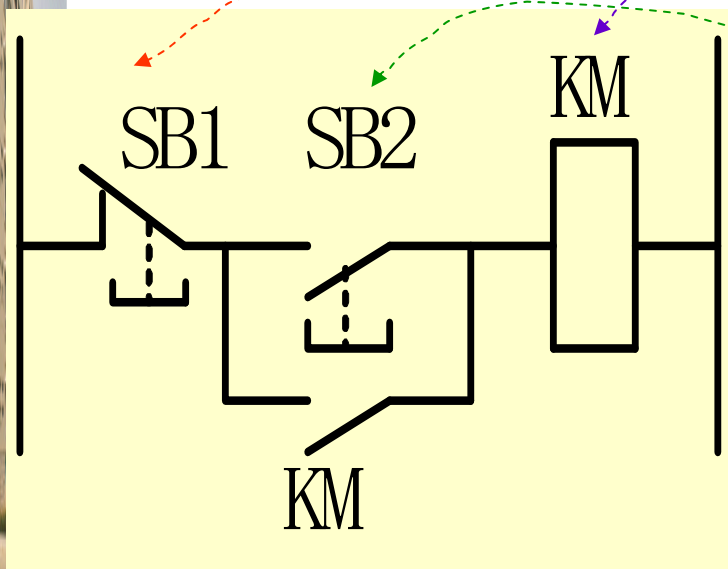
“软接
线”

逻辑部分：由各电器的触点和导线组成。各电器触点之间以固定方式接线。

“硬接
线”

二、梯形图是仿真继电器控制电路

1. 梯形图与继电器控制电路相呼应



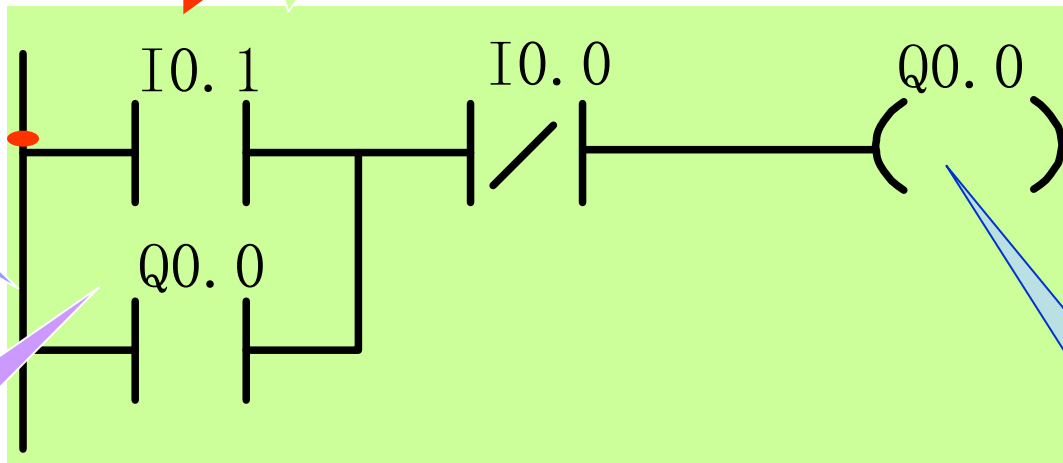
结构、功能
相同

电动机启、停控制电路

梯形图

2. 梯形图仿真继电器控制电路图

“能流”



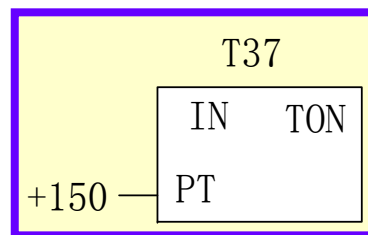
左母线

触点

右母线

线圈

功能方框



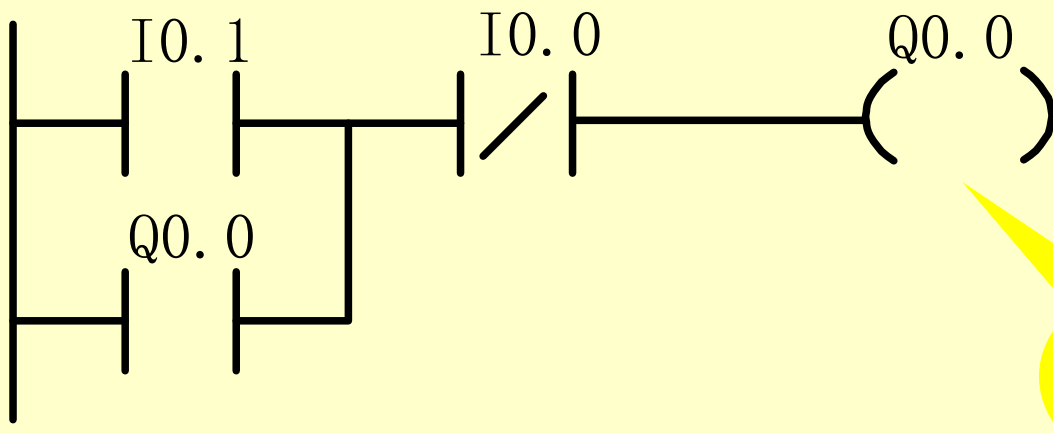
三、梯形图与继电器控制电路的：差异

- ① “软继电器”不是物理继电器
- ② “能流”的表示方式

为存储器中的某一位

从左到右
自上而下
不许倒流

能流



能流到线圈通

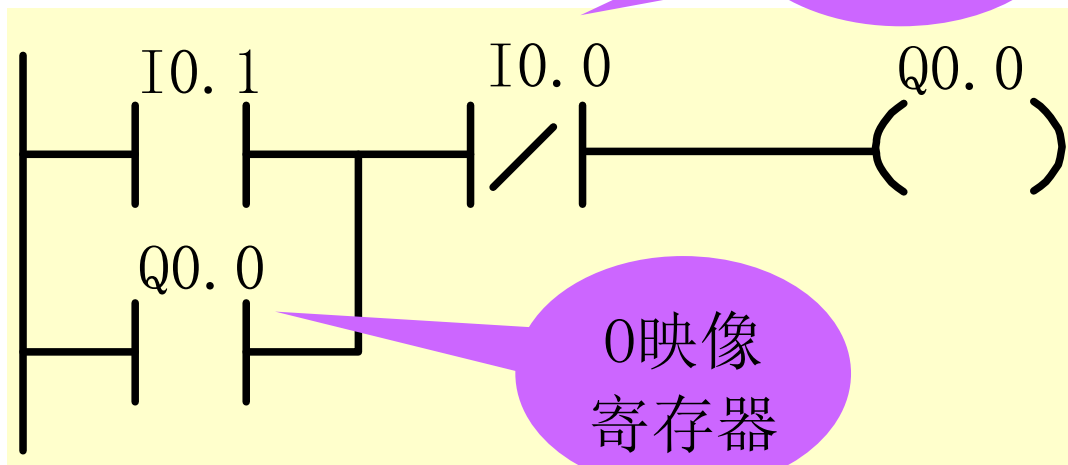
③ 触点不是现场物理开关的触点

④ 梯形图中的输出线圈不是物理线圈

⑤ 梯形图中的触点可无限次使用，但线圈通常只引用一次

由寄存器相
不能用它直
接驱动现场
执行机构

I映像
寄存器



同一常开/
常闭触点
的切换没有
时间的延迟

PLC认为：常开触点是取位状态操作；
常闭触点是位取反操作。

§ 5.6 可编程序控制器的工作原理

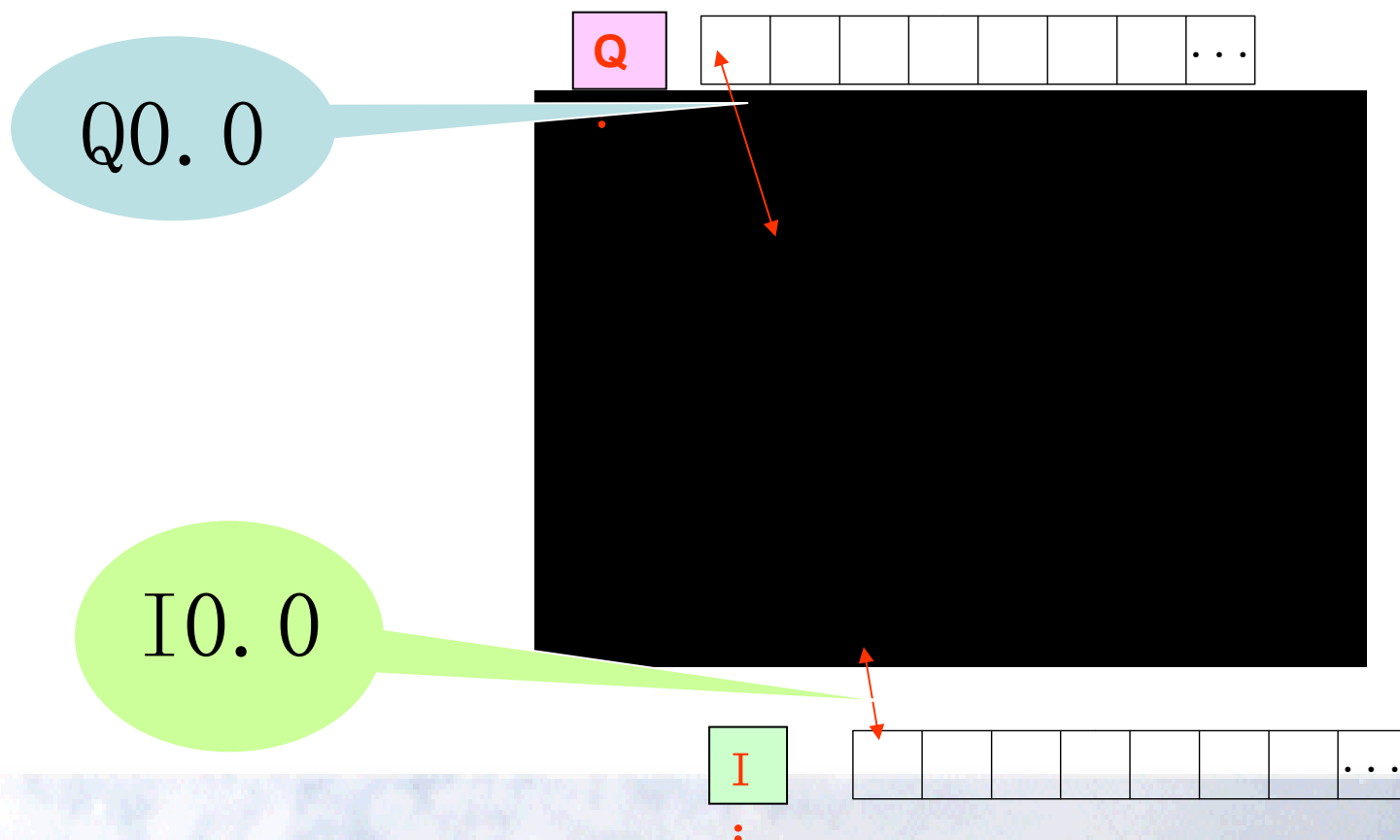
5.6.1 PLC工作原理

- 一、建立I/O映象区
- 二、循环扫描的工作方式
- 三、输入/输出延迟响应

一. 建立I/O映像区

存储器

系统的每一个输入点与输入映像区的某一位相对应
系统的每一个输出点与输出映像区的某一位相对应



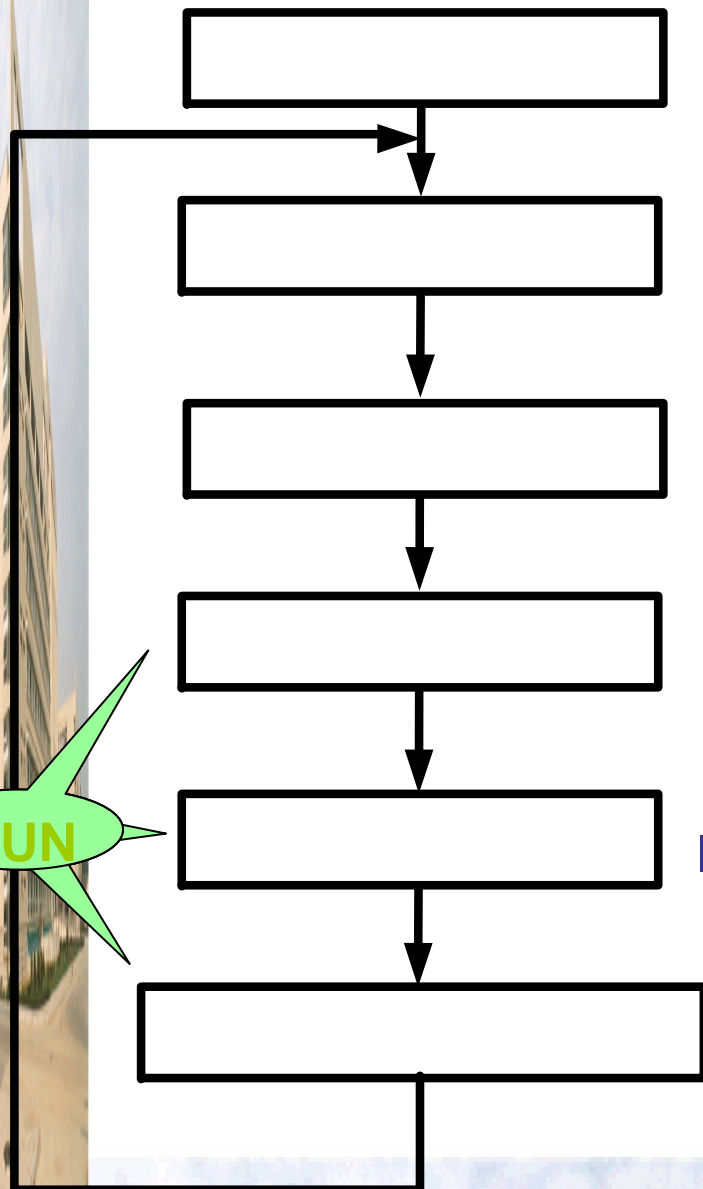
二.循环扫描的工作方式

(一) 可编程序控制器的工作过程

周期循环扫描

- 一个循环扫描过程所需的时间称为一个扫描周期

循环扫描过程



- 系统初始化，对I/O映象区清零，复位定时器...

- 对电源、内部电路、语法进行检查；定期复位监控定时器WDT

初始化

- PLC ↔ PLC ↔ PC; PLC ↔ 编程器

- 处理输入信息（集中/立即输入）

CPU 自诊断

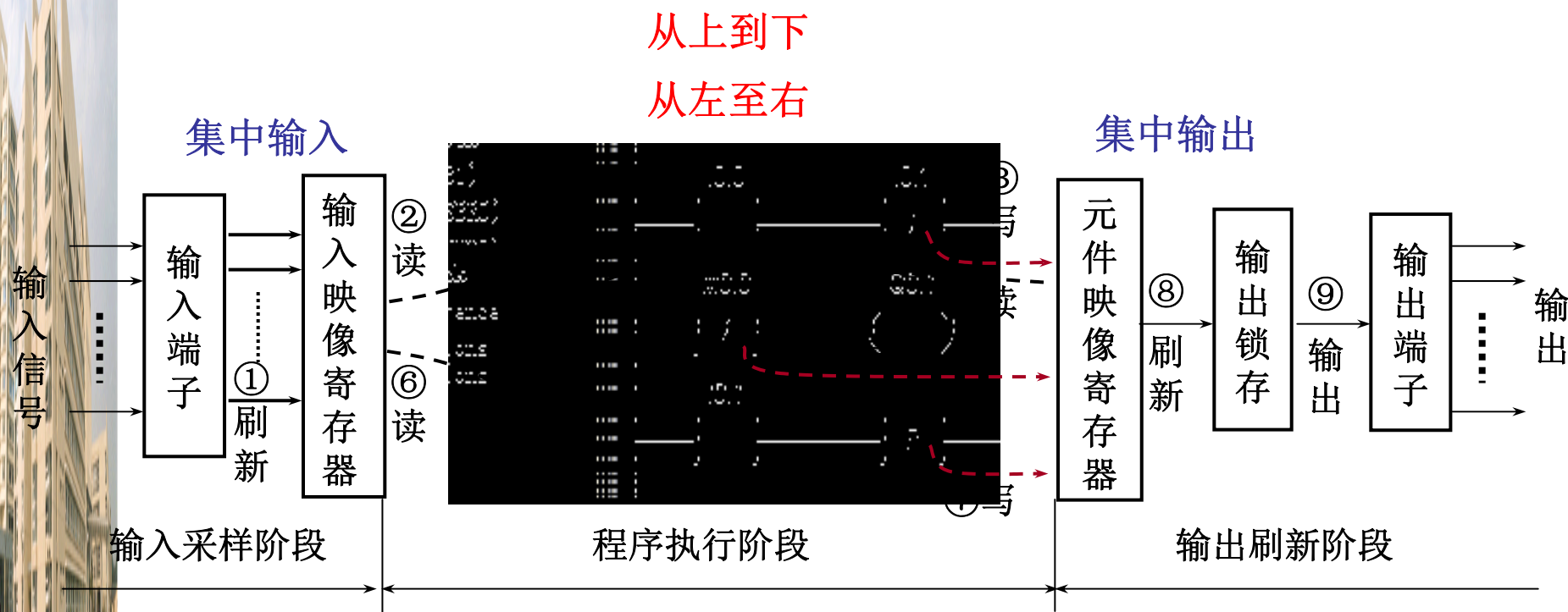
- 以扫描的方式按顺序逐句扫描处理...

- 处理输出信息（集中/立即输出）

通信信息处理

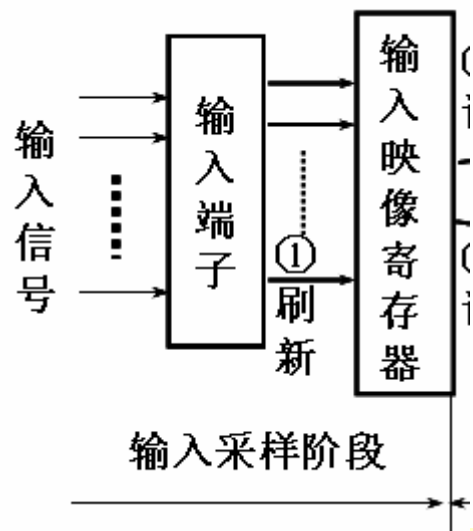
周而复始

（二）用户程序的循环扫描过程



- 输入处理与输出处理采用集中输入与集中输出的工作方式
- CPU以字节为单位读、写输入/输出映像寄存器

集中输入

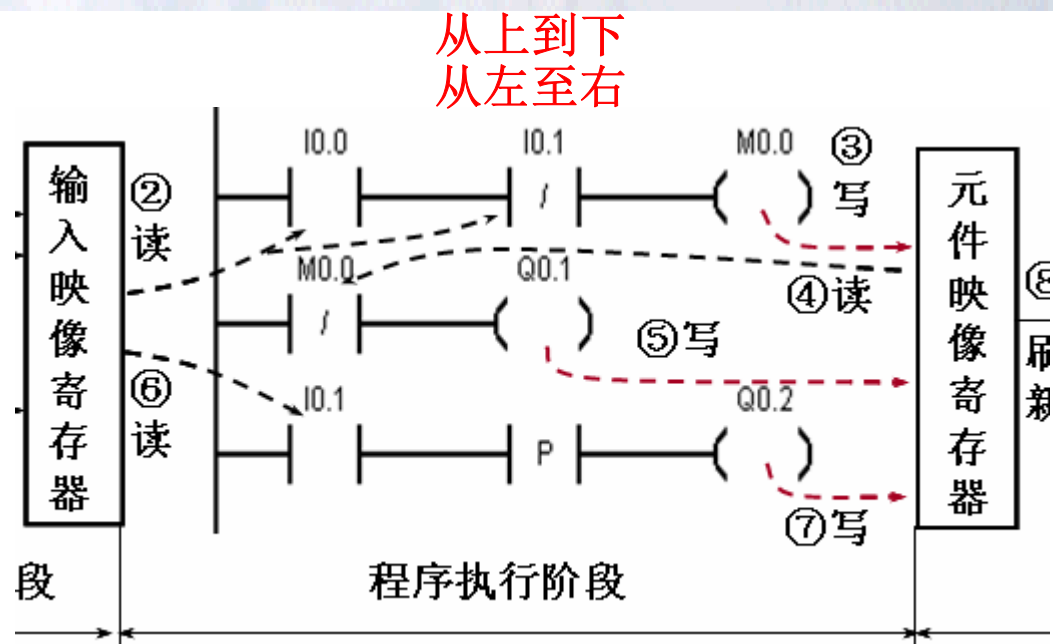


输入采样阶段:

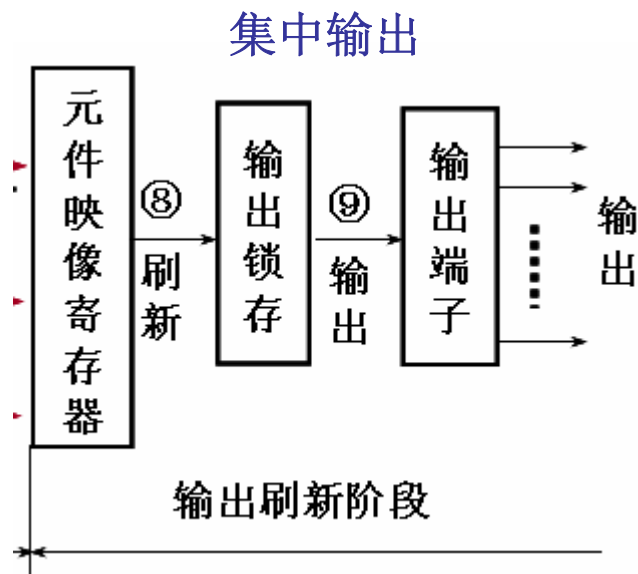
- PLC把所有外部数字量输入电路的I/O状态读入输入映像寄存器（I）。

外接输入电路闭合 → 对应的I映像寄存器状态为1

外接输入电路断开 → 对应的I映像寄存器状态为0



- RUN工作模式下，CPU从第一条程序开始，逐条顺序地执行用户程序。
- CPU执行指令时，从I/O映像寄存器或别的元件的映像寄存器读出其状态，根据指令要求执行相应的逻辑运算，运算结果写入线圈相应的映像寄存器，因此，各元件映像寄存器（除输入映像寄存器外）的内容随程序执行的进程而变化。
- 程序执行阶段，即使外部输入信号状态发生变化，输入映像寄存器的状态也不会变。变化的输入信号状态在下一个扫描周期被读入。



输出刷新阶段:

- 在刷新输出阶段，CPU将输出映像寄存器的0/1状态传送到输出模块并锁存。信号经输出模块隔离和功率放大后，驱动外部负载。

输出映像寄存器Q状态为1 外部负载通电

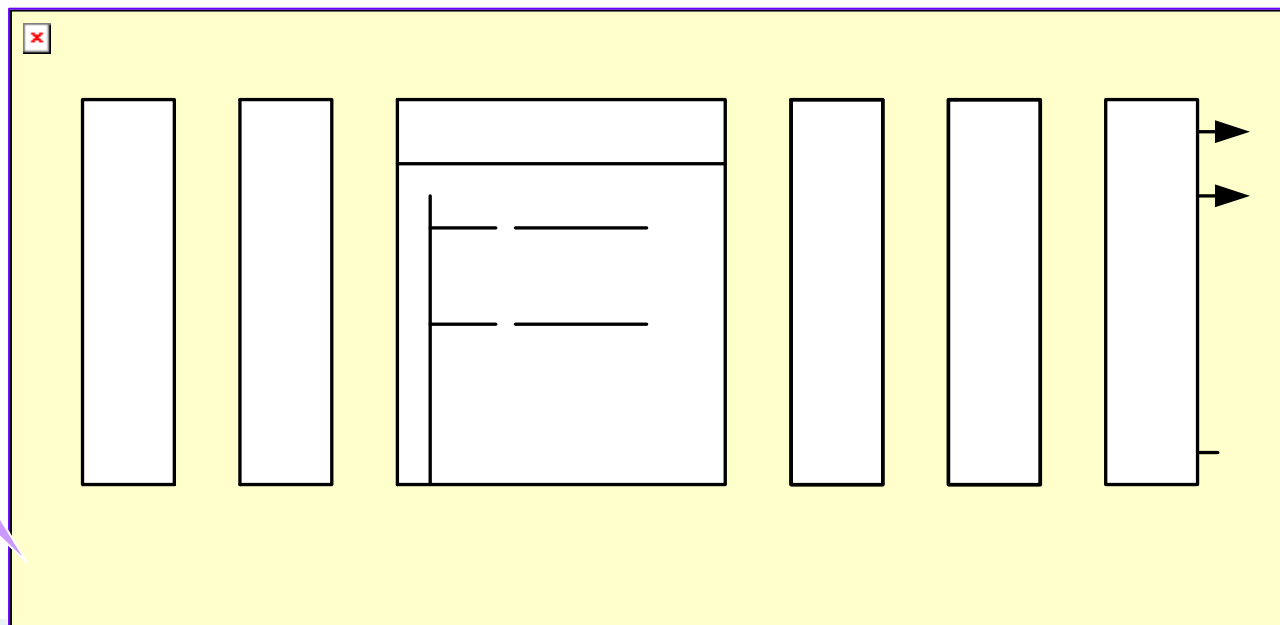
输出映像寄存器Q状态为0 外部负载断电

三. 输入、输出延迟响应

(一) 输入、输出延迟响应

PLC是以扫描的方式处理信息，它是顺序地、连续地、循环地逐条执行程序，在任何时刻它只能执行一条指令，即以“串行”处理方式进行工作，导致输入、输出延迟响应。

串行
处理

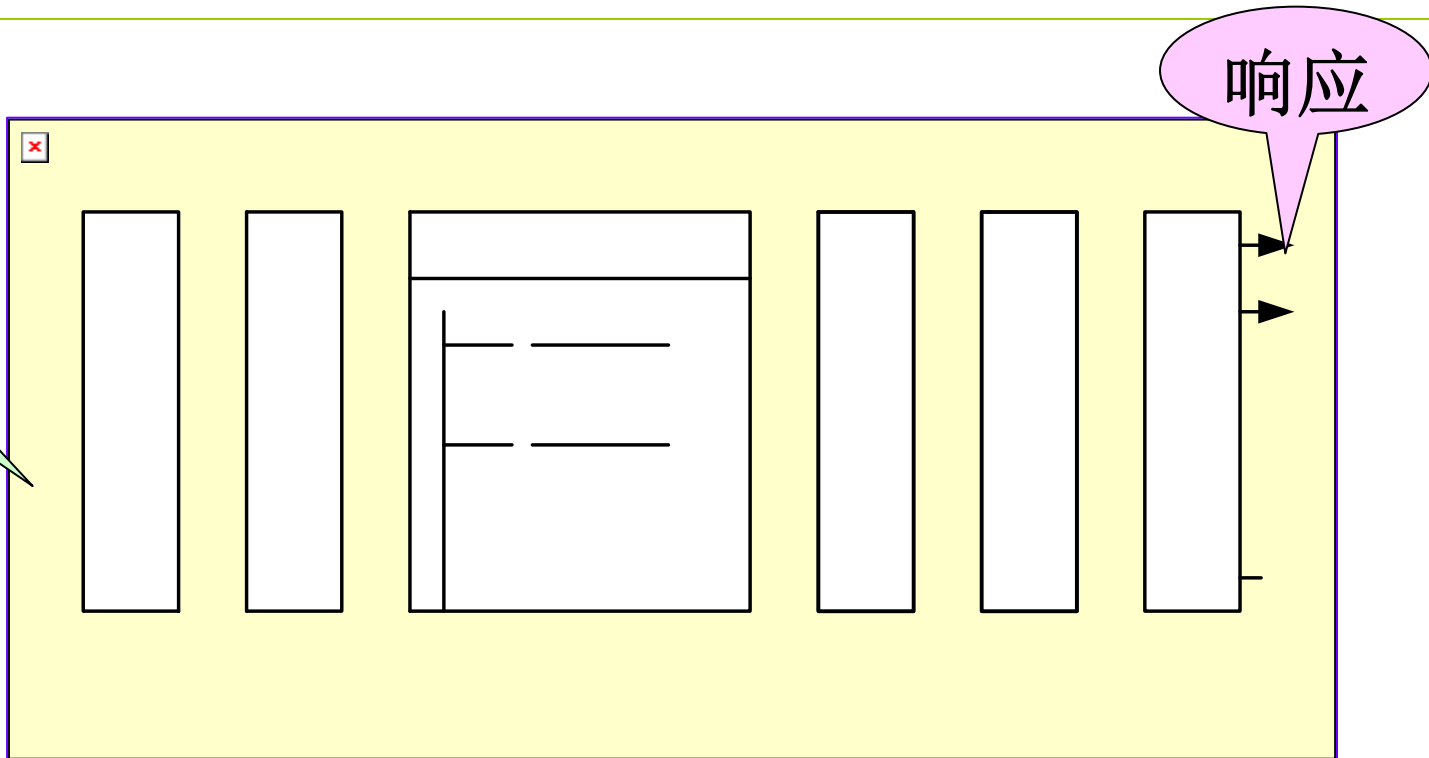


输入、输出延迟响应：

当PLC的输入端的信号发生变化到PLC输出端对该变化作出反应需要一段时间，这种现象称为**输入、输出延迟响应**或**滞后现象**

输入输出延迟响应

变化



(二) 响应时间

重要参数

影响因素：

① 输入延迟时间

(由输入RC滤波电路的时间常数决定)

② 输出延迟时间

(与输出电路的输出方式有关)

③ PLC循环扫描的工作方式

④ 集中采样、集中输出的处理方式

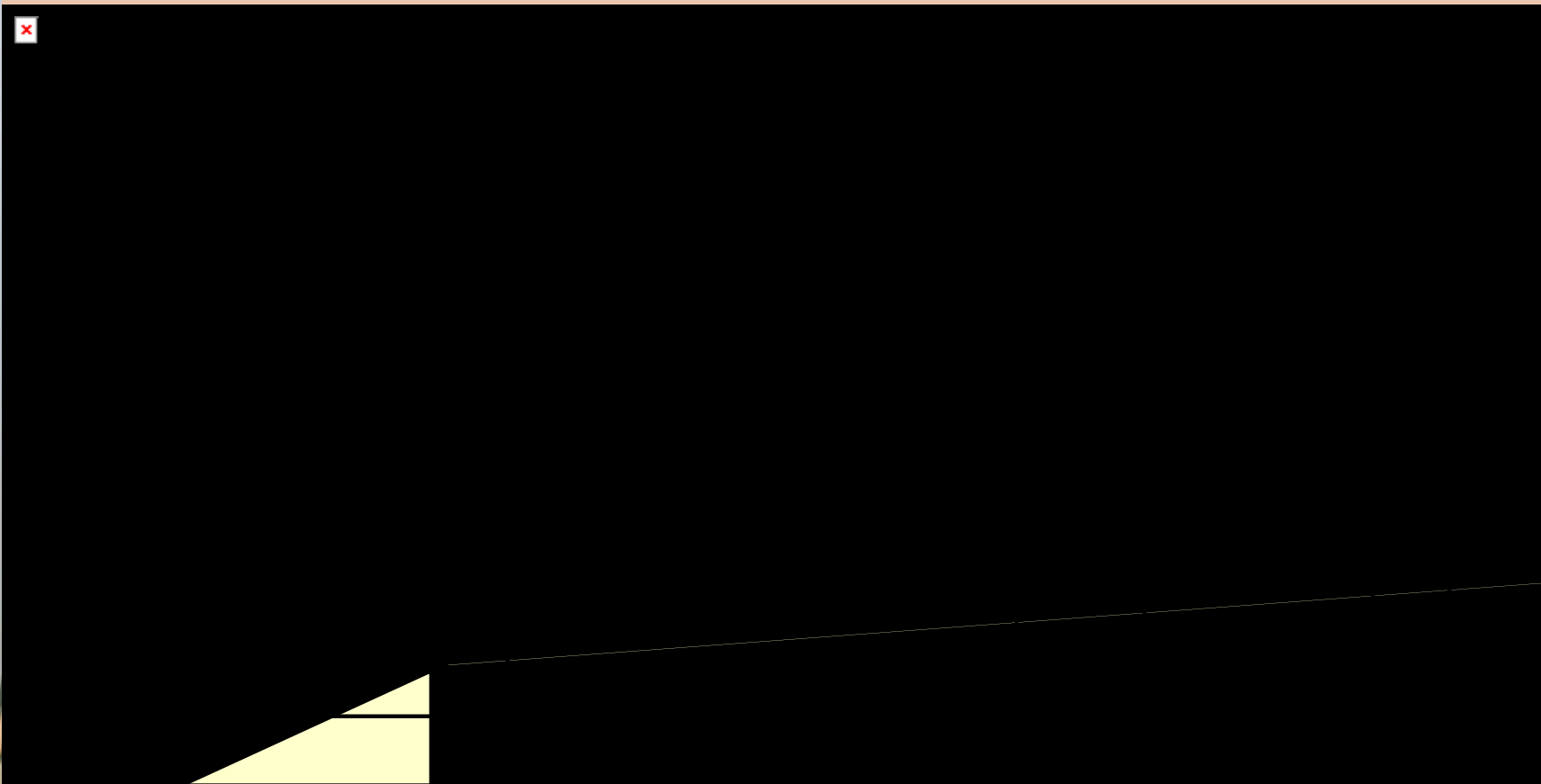
⑤ 用户程序中语句的安排

合理
选择

由工作原
理决定

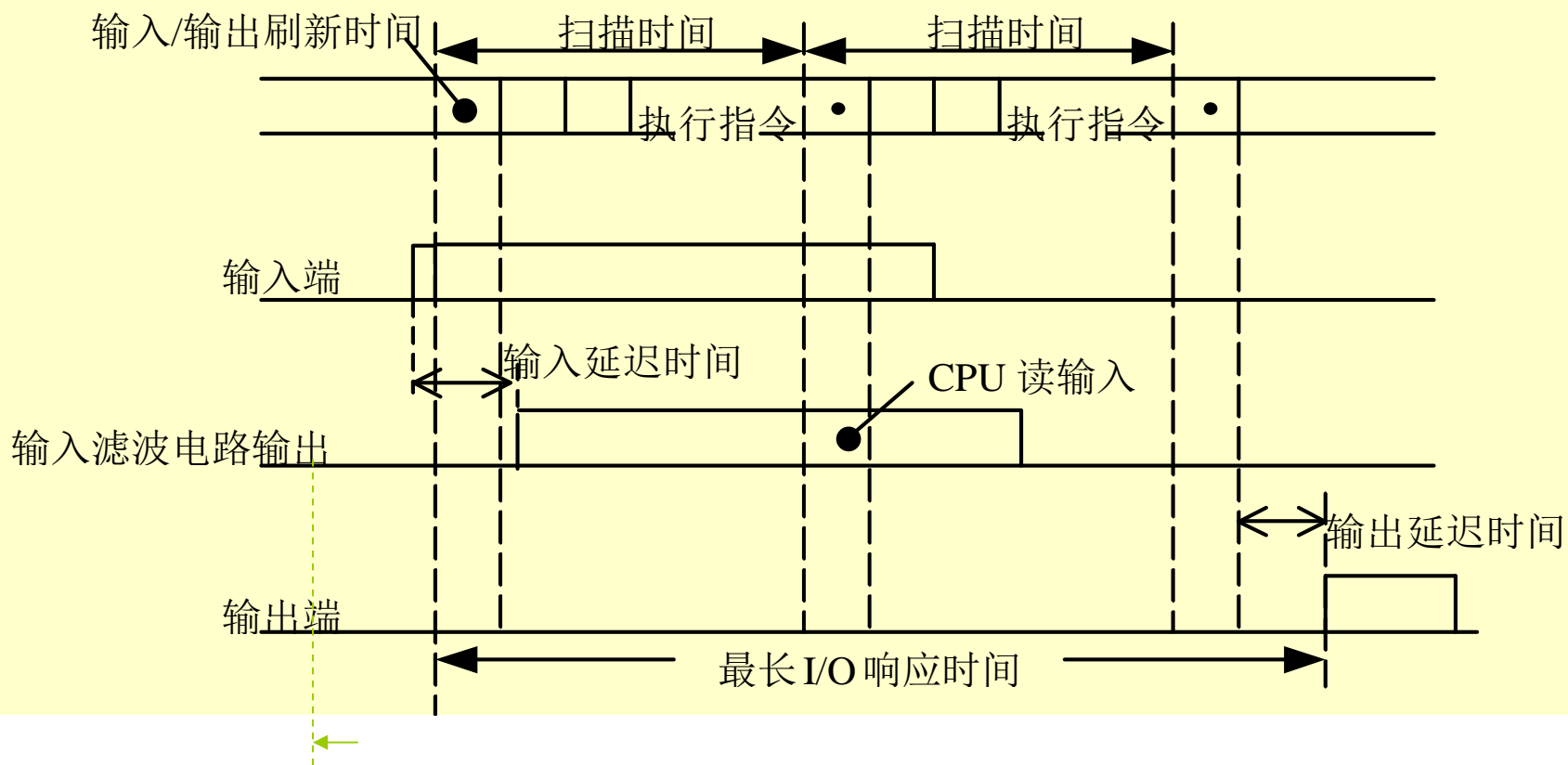
合理
安排

1.最短响应时间



■ 最短响应时间=输入延迟时间+一个扫描周期+输出延迟时间

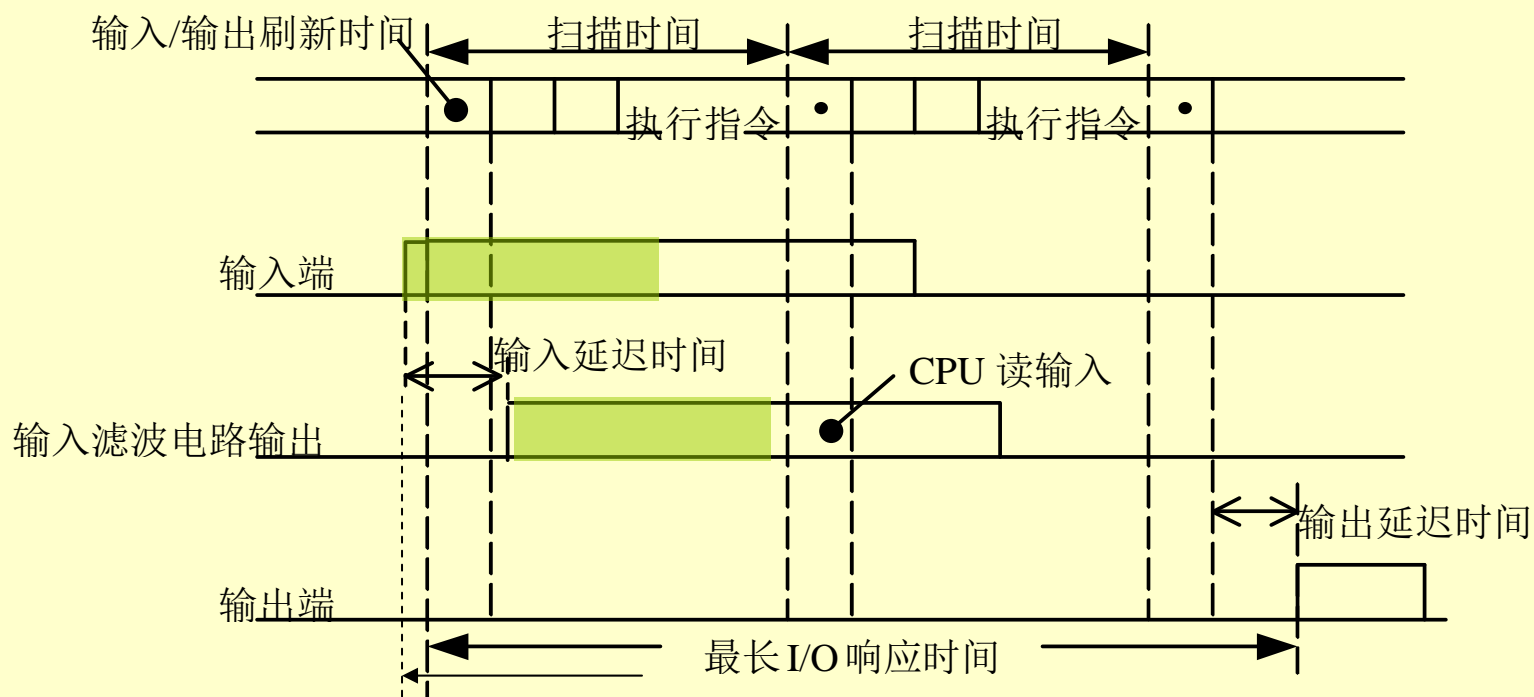
2. 最长响应时间



- 最长响应时间 = 输入延迟时间 + 两个扫描时间 + 输出延迟时间

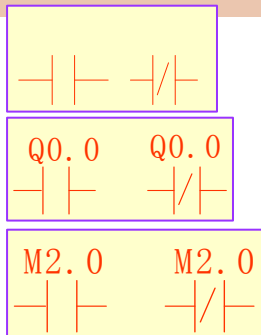
结论

- 输入信号至少应持续一个扫描周期的时间，才能保证被系统捕捉到。
- 对于持续时间小于一个扫描周期的窄脉冲，可以利用脉冲捕捉功能。
- 宏观上，PLC恢复了系统对输出变量控制的并行性。



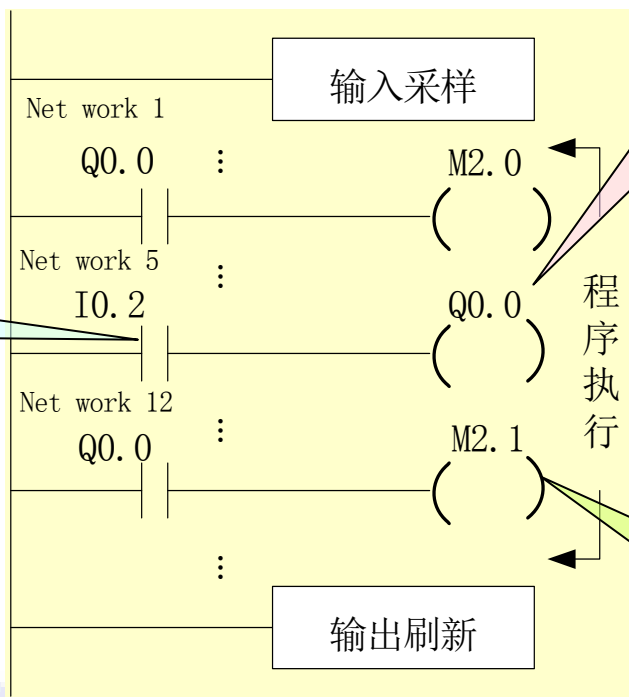
3. 用户程序的语句安排影响响应时间

- 输入继电器,模拟主令电器
- 输出继电器,模拟KM、YV
- 内部继电器,模拟KA
- “能流”到,线圈被激励



输入继电器

由外部信号驱动

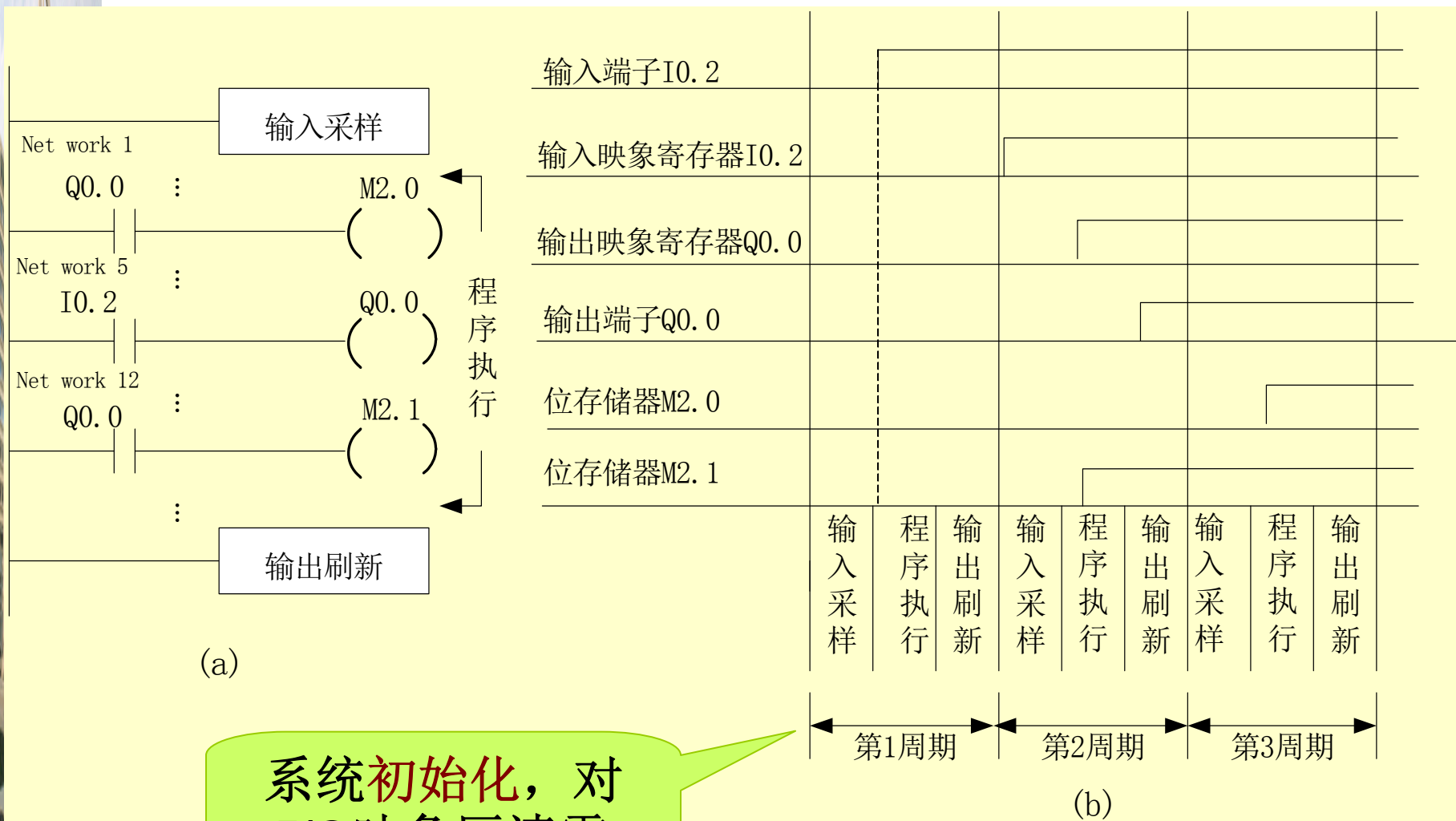


输出继电器

按程序执行结果而被激励

内部继电器

梯形图及各元件状态的时序图



系统初始化，对 I/O 映象区清零

第1周期 第2周期 第3周期

思考



- 如果将网络1、网络5的位置对调一下，位存储器M2.0在第二周期也能响应吗？

（三）在用户程序执行阶段

PLC对输入输出的处理规则

- ① 输入映像寄存器的内容，由输入采样时输入端子的状态决定。
- ② 输出映像寄存器的状态，由程序执行期间输出指令的执行结果决定。
- ③ 输出锁存电路的状态，由上一次输出刷新期间输出映像寄存器的状态决定。
- ④ 输出端子上各输出端的状态，由输出锁存电路来确定。
- ⑤ 执行程序时所用的I/O状态值，取用于输入、输出映像寄存器的状态。

5.6.2 PLC的主要性能指标

1) 存储容量

系统程序存放在系统程序存储器中。这里说的存储容量指的是用户程序存储器的容量。用户程序存储器的容量决定了PLC可以容纳用户程序的长短，一般以字（步）为单位来计算。中、小型PLC的存储容量一般在8 K字以下；大型PLC的存储容量可达到256 K字~2 M字；也有的PLC用存放用户程序的指令条数来表示容量。

5.6.2 PLC的主要性能指标

2) 输入/输出(I/O)点数

I/O点数指PLC面板上的输入、输出端子的个数。I/O点数越多，外部可接的输入器件和输出器件就越多，控制规模就越大。因此，I/O点数是衡量PLC性能的重要指标之一。

3) 扫描速度

扫描速度是指PLC执行程序的速度。一般以扫描1 K字所用的时间来衡量扫描速度。PLC用户手册一般给出执行各条指令所用的时间，用户可以通过比较各种PLC执行相同的操作所用的时间，来衡量扫描速度的快慢。

5.6.2 PLC的主要性能指标

4) 编程指令的种类和条数

这也是衡量PLC能力强弱的主要指标。编程指令种类及条数越多，其功能就越强，即处理能力、控制能力越强。

5) 内部器件的种类和数量

内部器件包括各种继电器、计数器/定时器、数据存储器等。其种类越多，数量越大，存储各种信息的能力和控
制能力就越强。

5.6.2 PLC的主要性能指标

6) 扩展能力

大部分PLC可以用I/O扩展单元进行I/O点数的扩展；有的PLC可以使用各种智能单元进行功能扩展等。

7) 智能单元的数量

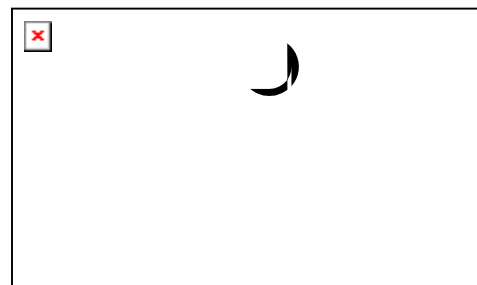
PLC不仅能完成开关量的逻辑控制，而且利用智能单元可完成模拟量控制、位置和速度控制以及通信联网等功能。智能单元种类的多少和功能的强弱是衡量PLC产品水平高低的一个重要指标，各个生产厂家都非常重视智能单元的开发。近年来智能单元的种类日益增多，功能也越来越强。

5.6.2 PLC的主要性能指标

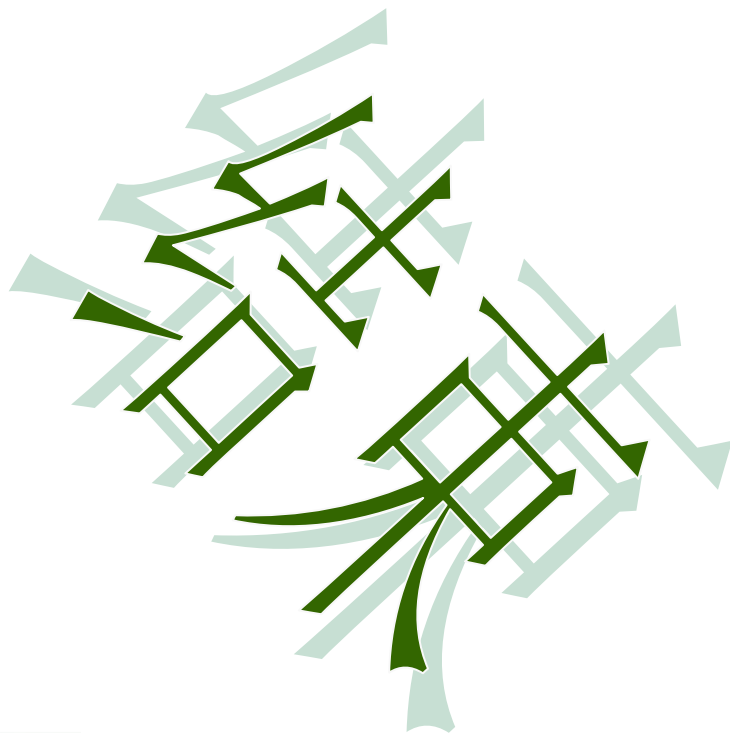
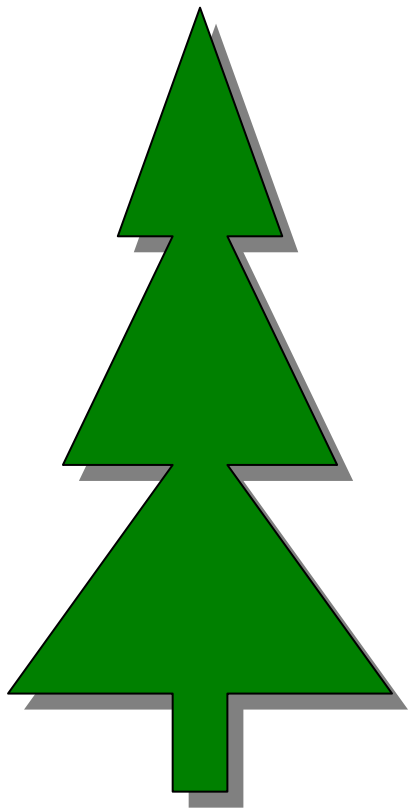
8) 支持软件

为了便于对PLC的编程和监控，各PLC生产厂家相继开发出各类计算机支持的编程和监控软件。性能优越的PLC支持软件可方便地实现用户软件的编制和修改，同时也可以对PLC的工作状态进行有效的监控。

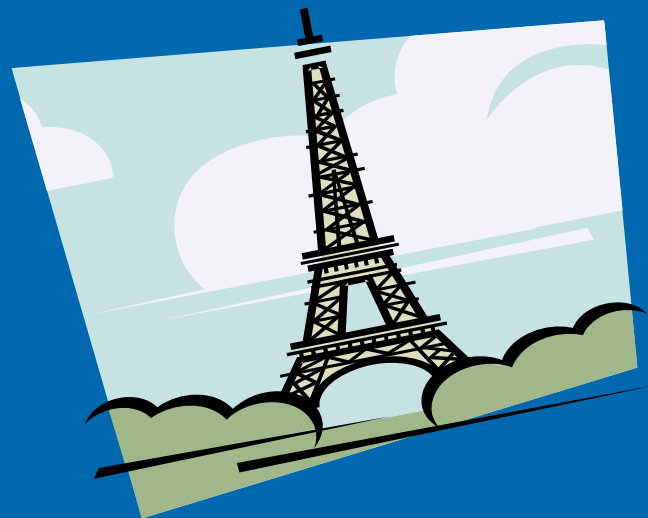
思考



1. 梯形图与继电器控制电路图存在哪些差异？
2. 简述可编程序控制器用户程序的工作过程。有何特点？
3. 可编程序控制器输入、输出延迟响应产生的原因有哪些？



第六章



S7-200 PLC的硬件系 统及内部资源

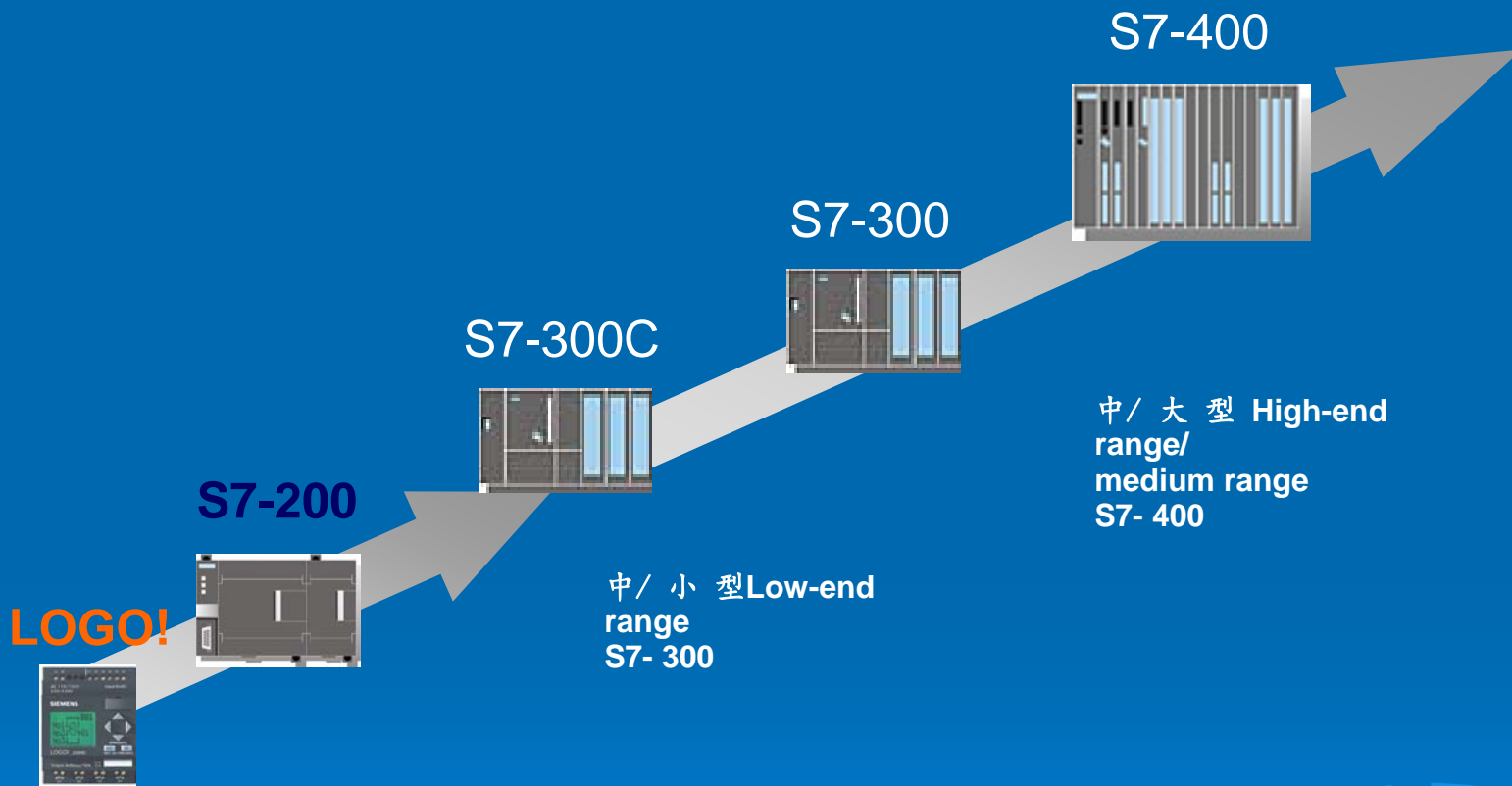
本章学习目的

- 本章以西门子公司生产的**S7-200**系列小型可编程序控制器为例，介绍具体型号的**PLC**，内容包括：
 - ● S系列PLC发展概述
 - ● S7-200 PLC的系统的的基本构成
 - ● S7-200 PLC的扩展模块
 - ● S7-200 PLC的系统配置

6.1 S系列PLC发展概述

- 德国的西门子（**SIEMENS**）公司是欧洲最大的电子和电气设备制造商，生产的**SIMATIC**可编程序控制器在欧洲处于领先地位。其**第一代可编程序**控制器是**1975**年投放市场的**SIMATIC S3**系列的控制系统。
- 在**1979**年，微处理器技术被应用到可编程序控制器中，产生了**SIMATIC S5**系列，取代了**S3**系列，之后在**20世纪末**又推出了**S7**系列产品。
- 最新的**SIMATIC**产品为**SIMATIC S7、M7和C7**等几大系列。

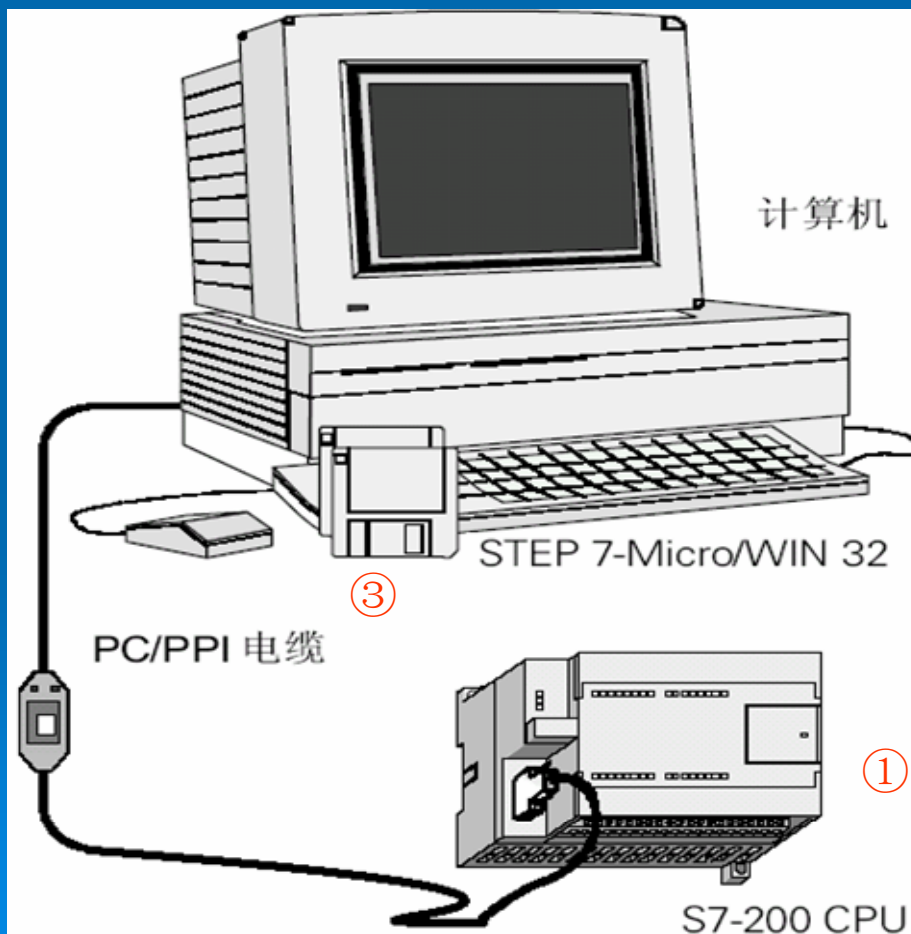
SIMATIC - S7家族



通用逻辑
模块

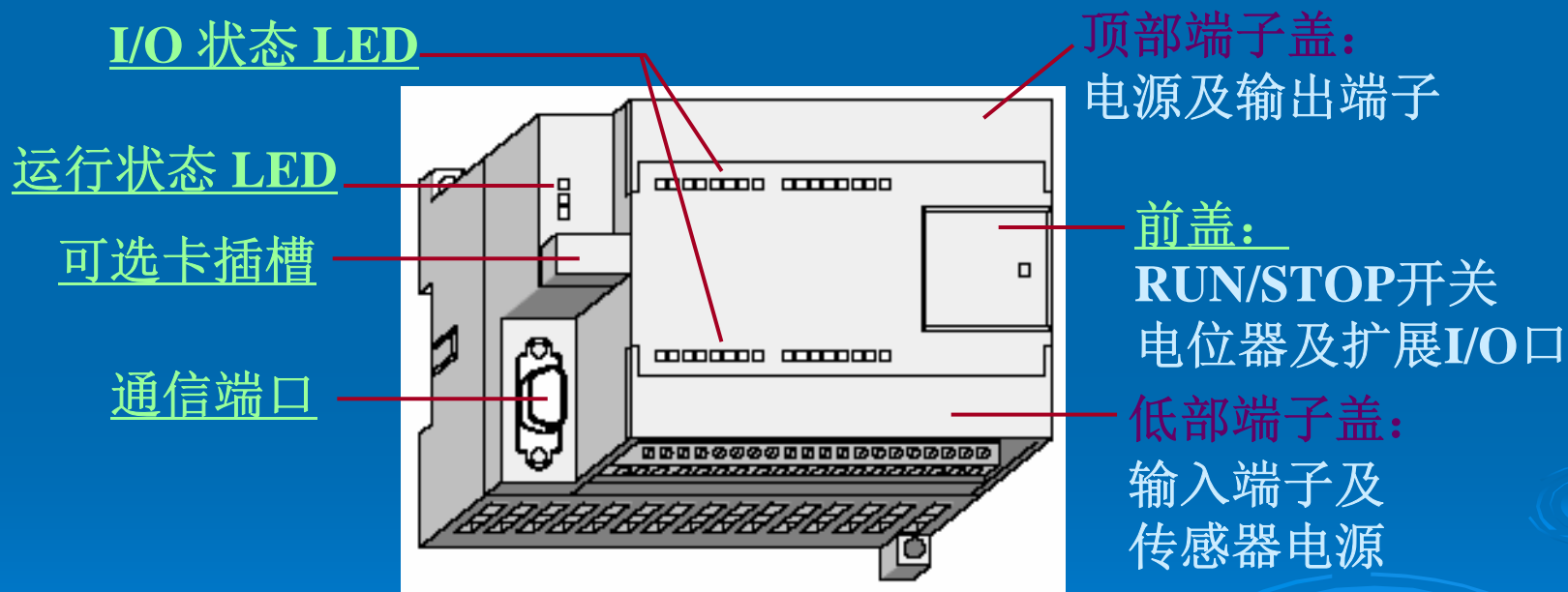
6.2 S7-200 PLC系统的基本构成

➤ 一、S7-200 PLC系统的基本构成



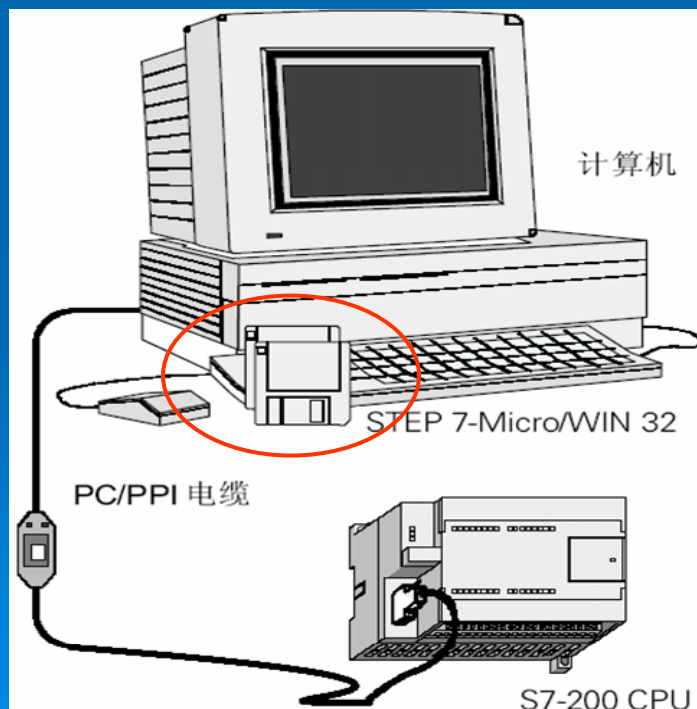
1.基本单元 (S7-200 CPU模块)

- 基本单元（主机）为整体式结构：
中央处理单元 + **数字量 I/O 点** + 存储器 + 电源



2. 个人计算机（PC）或编程器

个人计算机（PC）或编程器需装上 **STEP7-Micro/WIN32** 编程软件后，才可供用户进行程序的编制、编辑、调试和监视...



3. STEP7-Micro/WIN32编程软件

基本功能：

- * 创建
- * 编辑
- * 调试用户程序
- * 组态系统
- ⋮

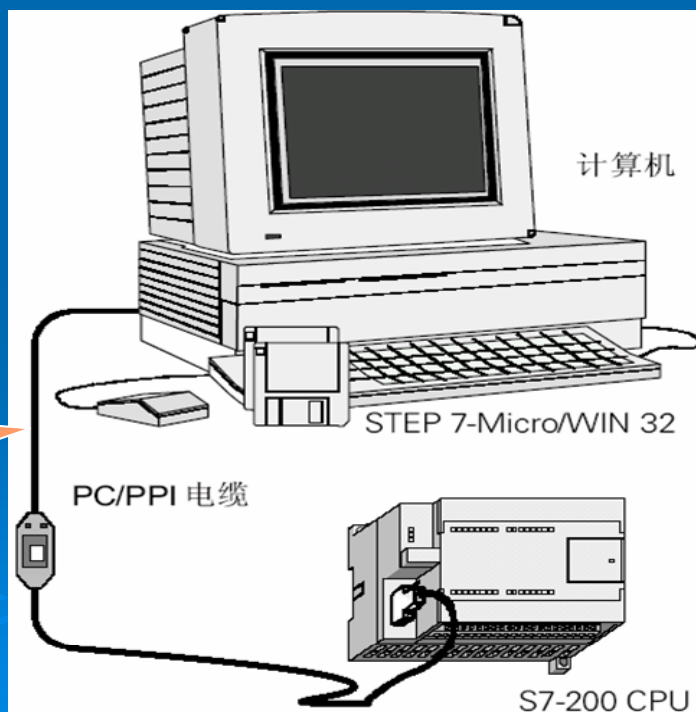
4. 通讯电缆

实现PLC与个人计算机（PC）通讯

* PC/PPI电缆（RS232—RS485）

* MPI电缆

电缆



5. 人机界面(HMI)

实现操作人员与**PLC**控制系统之间的对话

◆ 专用操作员界面

- * 操作员面板 (OP27, OP37)
- * 触摸屏 (TP27, TP37)
- * 文本显示器 (TD200)

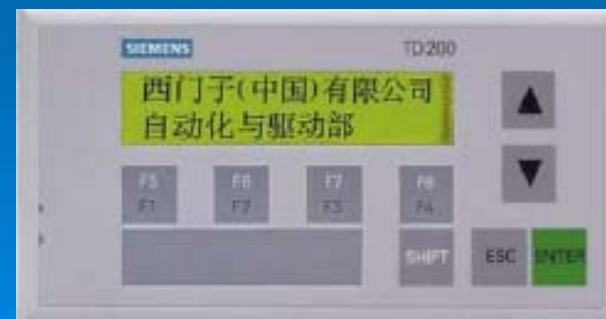
◆ 通过通信接口与**PLC**连接



OP27



TP27



TD200

二、S7-200PLC主机简介

- 从CPU模块的功能来看，SIMATIC S7-200系列小型PLC发展至今，大致经历了两代：
- **第一代产品其CPU模块为CPU 21X**，主机都可进行扩展，有四种不同结构配置的CPU单元：

CPU 212，CPU 214，CPU 215和CPU 216

- **第二代产品其CPU模块为CPU 22X**，是在21世纪初投放市场的，速度快，具有较强的通信能力。它具有四种不同结构配置的CPU单元：

CPU 221，CPU 222，CPU 224和CPU 226

除CPU 221之外，其他都可加扩展模块。

CPU 22X的型号及主要技术指标

- 型号：CPU 221、CPU 222、CPU 224
CPU 226、CPU 226 XM
- 供电电压：DC 24 V、AC 85 ~ 264 V
- 种类：DC/DC/DC、AC/DC/Relay



CPU22X主要技术指标

型号	CPU221	CPU222	CPU224	CPU226
外型尺寸/mm	90×80×62	90×80×62	120.5×80×62	190×80×62

存储器

用户程序 /字	2048	2048	4096	4096
用户数据 /字	1024	1024	2560	2560
用户存储器 类型	EEPROM	EEPROM	EEPROM	EEPROM
数据后备 (超级电容) 典型值h	50	50	190	190

输入输出

型号	CPU221	CPU222	CPU224	CPU226
本机I/O点数	6入/4出	8入/6出	14入/10出	24入/16出
扩展模块数量	无	2个	7个	7个
数字量I/O映像区大小/bit	256 (128入/128出)	256 (128入/128出)	256 (128入/128出)	256 (128入/128出)
模拟量I/O映像区大小/bit	无	16入/16出	32入/32出	32入/32出

指令

型号	CPU221	CPU222	CPU224	CPU226
33MHz下布尔指令执行速度	0.37 μ s/指令	0.37 μ s/指令	0.37 μ s/指令	0.37 μ s/指令
FOR/NEXT 循环	有	有	有	有
增数运算	有	有	有	有
实数运算	有	有	有	有

主要内部继电器

型号	CPU221	CPU222	CPU224	CPU226
内部通用继电器/bit	256	256	256	256
计数器/个	256	256	256	256
定时器/个	256	256	256	256
顺序控制继电器/bit	256	256	256	256

附加功能

型号	CPU221	CPU222	CPU224	CPU226
内部高速计数器/个	4 (30kHz)	4 (30kHz)	6 (30kHz)	6 (30kHz)
模拟量调节电位器/个	1	1	2	2
脉冲输出/个	2(20kHz)	2(20kHz)	2(20kHz)	2(20kHz)
通信中断/个	1发送器 2接收器	1发送器 2接收器	1发送器 2接收器	1发送器 2接收器
定时中断/个	2(1~255ms)	2(1~255ms)	2(1~255ms)	2(1~255ms)
硬件输入中断/个	4	4	4	4
实时时钟	有(时钟卡)	有(时钟卡)	有(内置)	有(内置)
口令保护	有	有	有	有

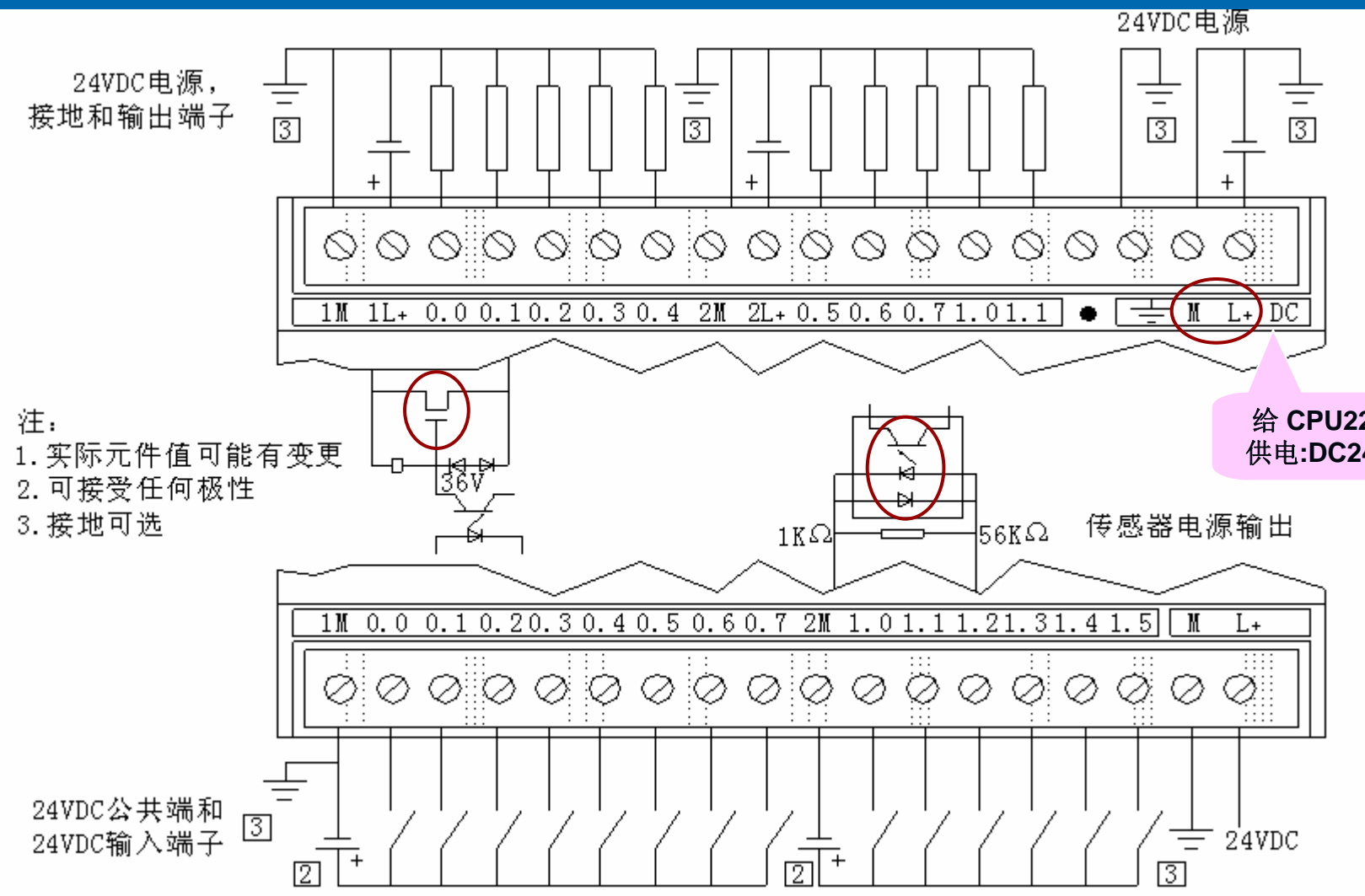
通信

型号	CPU221	CPU222	CPU224	CPU226
通信口数量 (个)	1 (RS485)	1 (RS485)	1 (RS485)	2 (RS485)

CPU224模块

- 数字量I/O总数为24点（14入/10出）
- 可带7个扩展模块
- 用户存储器容量为(4K+2.5K)字
- 内置6个高速计数器HSC0~5（I0.0~I0.5，30KHz）
- 有2个高速脉冲输出端（Q0.0~Q0.1，20KHz）
- 具有PID控制的功能
- 1个RS-485通讯口
- 具有PPI、MPI和自由口通讯协议的通讯能力

CPU224 DC/DC/DC 输入、输出单元的接线图



6.3 S7-200 PLC的扩展模块

数字量模块

模拟量模块

智能模块

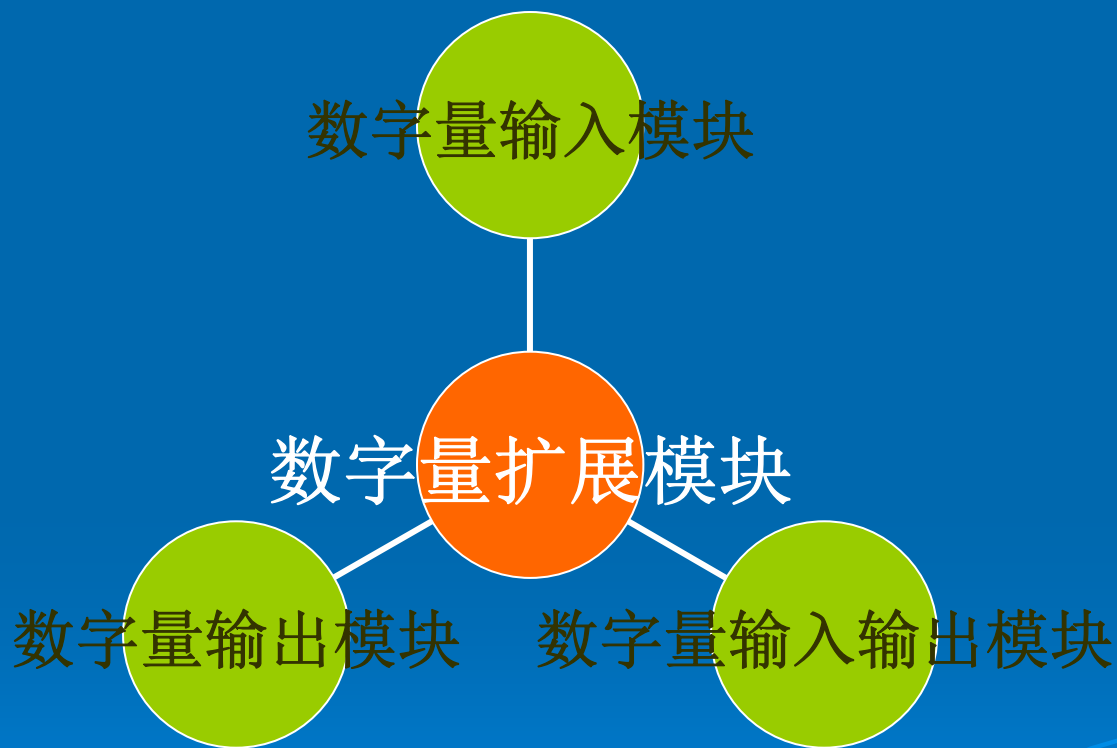


扩展规模



扩展功能

一、数字量模块



常用数字量模块

型号	EM 221	EM 222	EM 223
描述	数字量输入扩展模块	数字量输出扩展模块	数字量输入/输出扩展模块
类型	8点 24V DC 输入	8点 24V DC 输出	DI4 / DO4 × DC24V
	8点 AC120/230V 输入	8点 继电器输出	DI4 / DO4 × DC24V/继电器
	16点 24V DC 输入	8点 AC120/230V 输出	DI8 / DO8 × DC24V
		4点 24VDC 输出, 5A/点	DI8 / DO8 × DC24V/继电器
		4点 继电器输出, 10A/点	DI16 / DO16 × DC24V
			DI16 / DO16 × DC24V/继电器

(一) 数字量输入模块 EM221

数字量输入模块 { 直流输入模块
交流输入模块

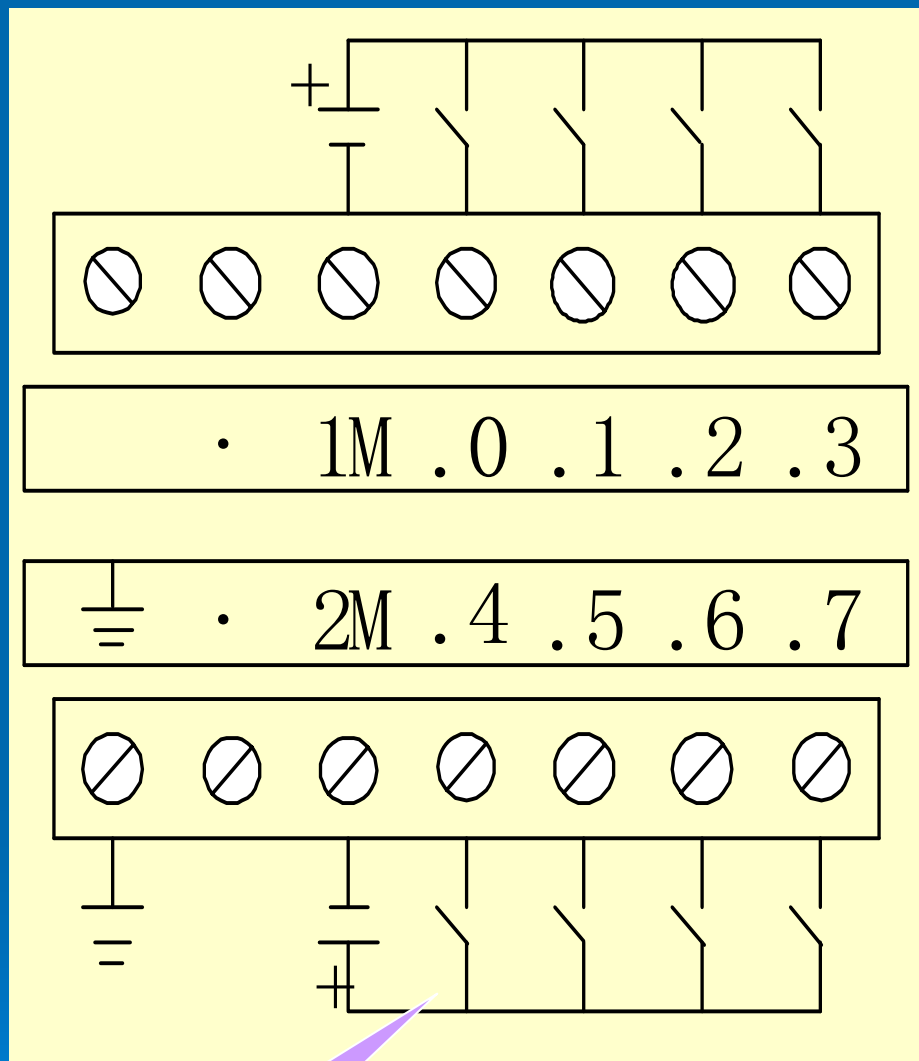


- * 每个输入点与一个且仅与一个输入电路相连
- * 作用：把现场开关信号变成CPU能接收的标准TTL信号

1.直流输入模块

外部接线图:

直流输入模块
(EM221 8×24VDC)
8个数字量输入端子
需提供—个24VDC电源



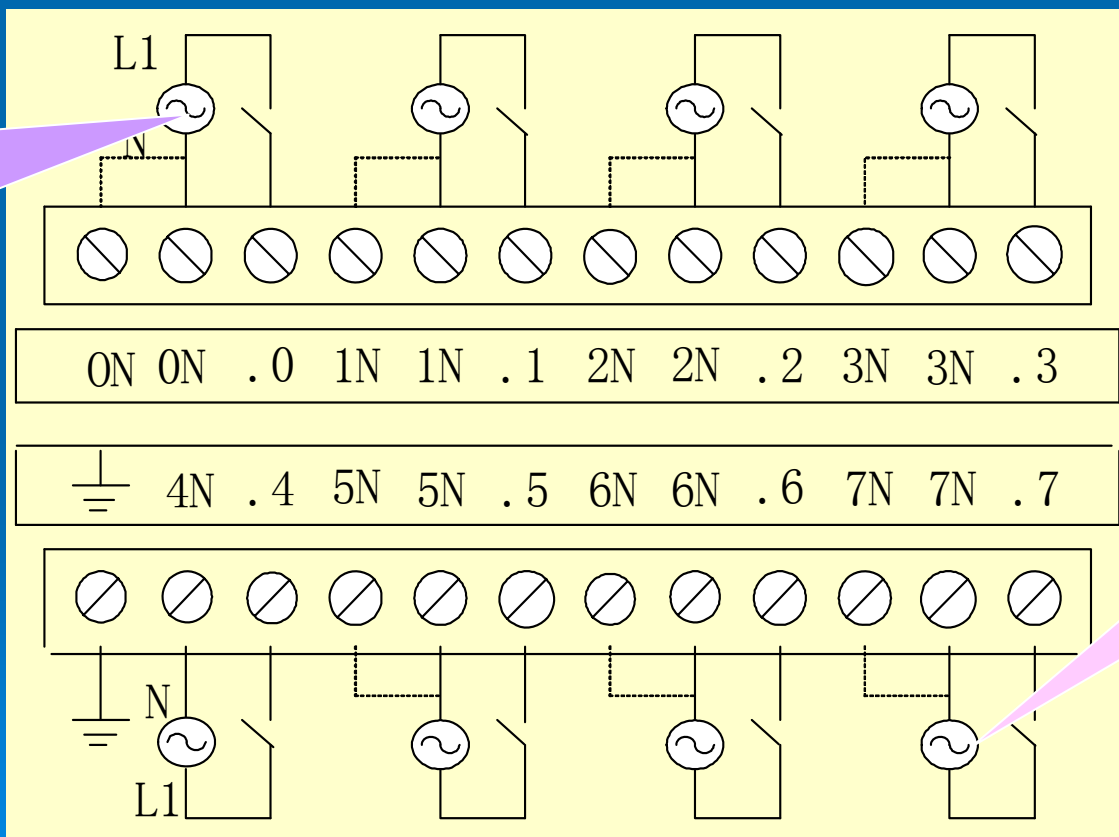
分组式

2. 交流输入模块

外部接线图:

EM221 8 × 120V/230VAC

隔离式



独立电源

(二) 数字量输出模块 EM222

数字量输出模块

直流输出模块（晶体管输出）

交流输出模块（晶闸管输出）

交直流输出模块（继电器输出）

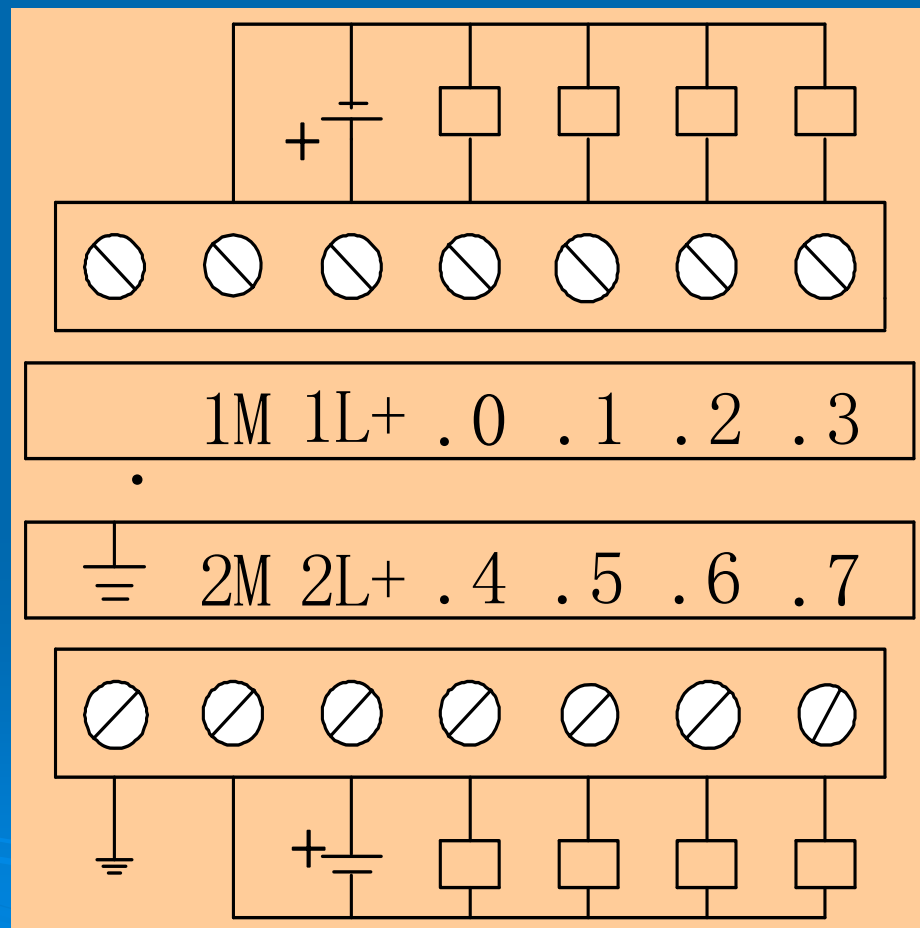
- * 每一个输出点与一个且仅与一个输出电路相连
- * 作用：将**CPU**发出的控制信号转换成能够驱动现场执行机构的大功率开关信号

1. 直流输出模块

外部接线图:

(EM222 8×24VDC)

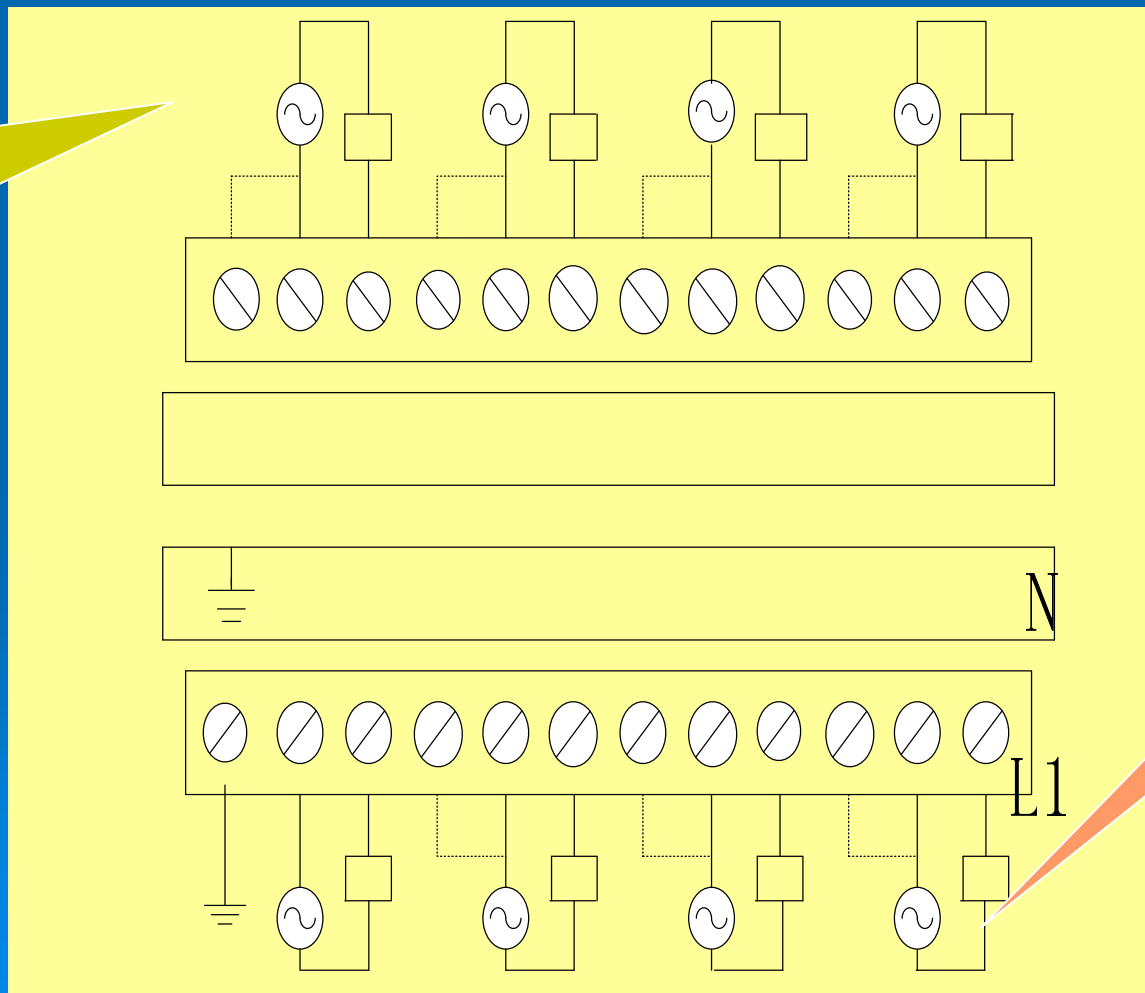
每组需提供一DC24V的
电流



2. 交流输出模块

外部接线图: EM222 8 × 120V/230VAC

隔离式



独立电源

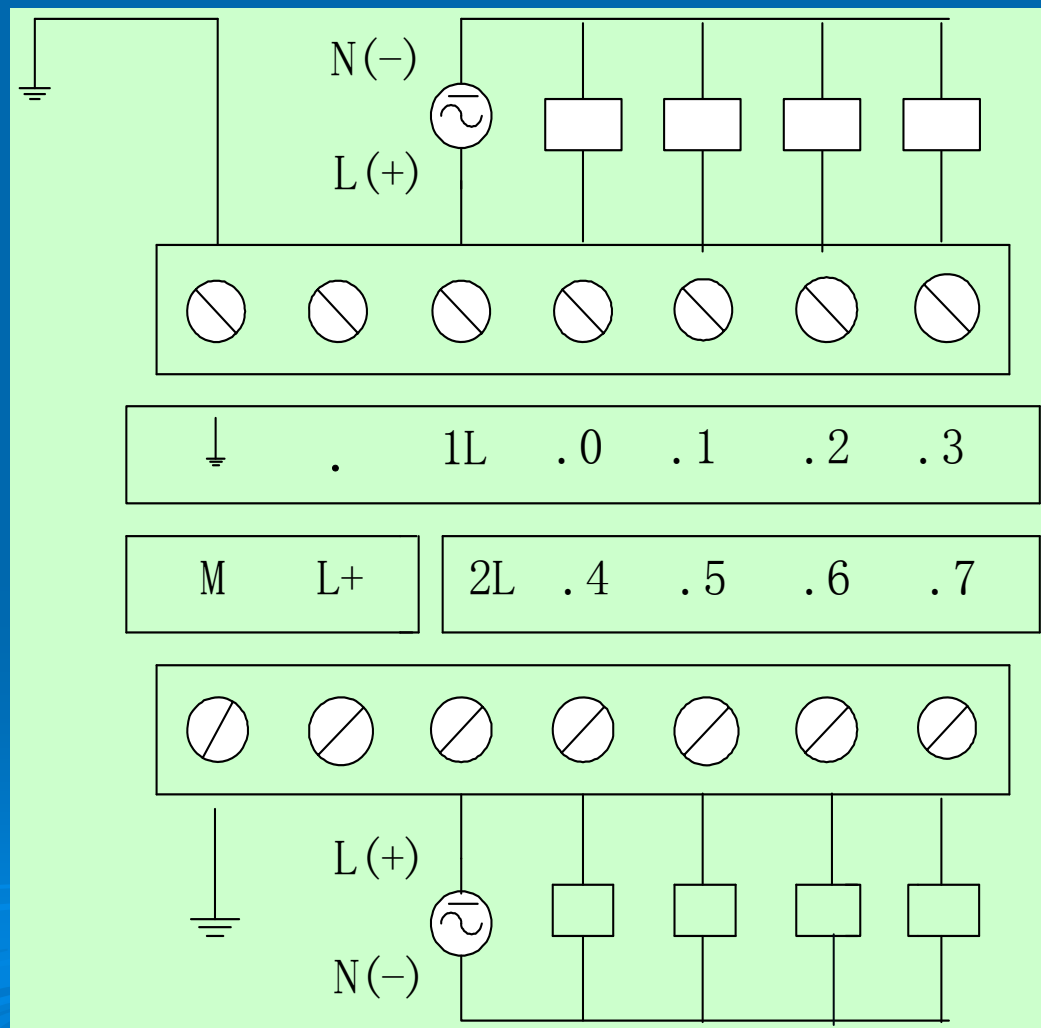
3. 交、直流输出模块

外部接线图：

交直流输出模块

(EM222 8×继电器)

每组需用户提供一个外部电源（直流或交流电源）



(三) 数字量输入输出模块 EM223

- 在一块模块上既有数字量输入点又有数字量输出点
- 使系统配置更加灵活
- 类型的组合

例如:

现有CPU 224: 主机I/O 14/10

欲扩展至17/13

缺 3/3

配 I/O 4/4

二、模拟量模块

模拟量模块

模拟量输入模块

模拟量输出模块

模拟量输入输出模块

常用模拟量模块

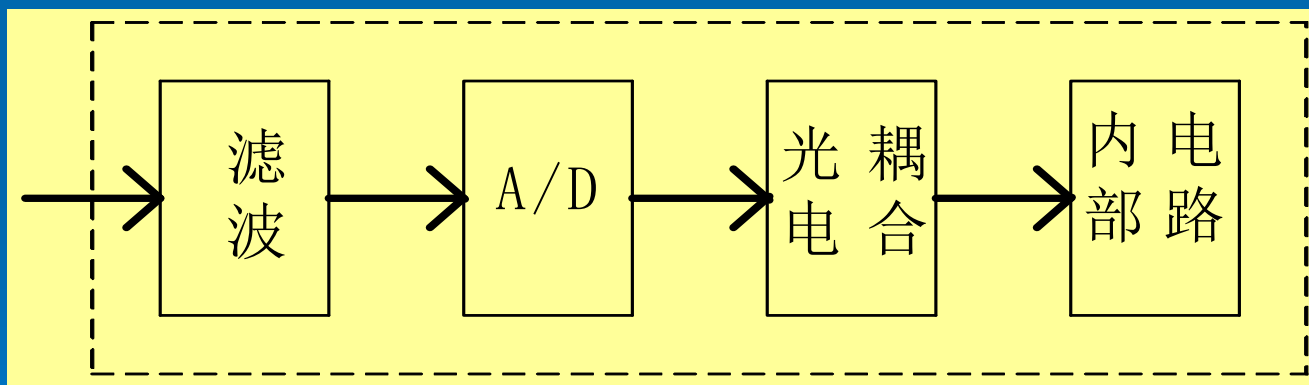
型号和描述	规格	功耗 /W	电源要求 / mA	
			+ 5V DC	+ 24V DC
EM 231 模拟量输入扩展模块	4 输入通道	2	2	60
EM 232 模拟量输出扩展模块	2 输出通道	2	20	70
EM 235 模拟量混合模块	4 输入 / 1 输出	2	30	60

(一) 模拟量输入模块 (A/D)

作用:

进行模/数 (A/D) 转换, 将输入端的模拟信号转换成若干位 (如12位) 数字量。

1. 组成



- 光电耦合器防止电磁干扰
- 对多通道的模拟量输入单元, 通常设置多路转换开关进行通道的切换

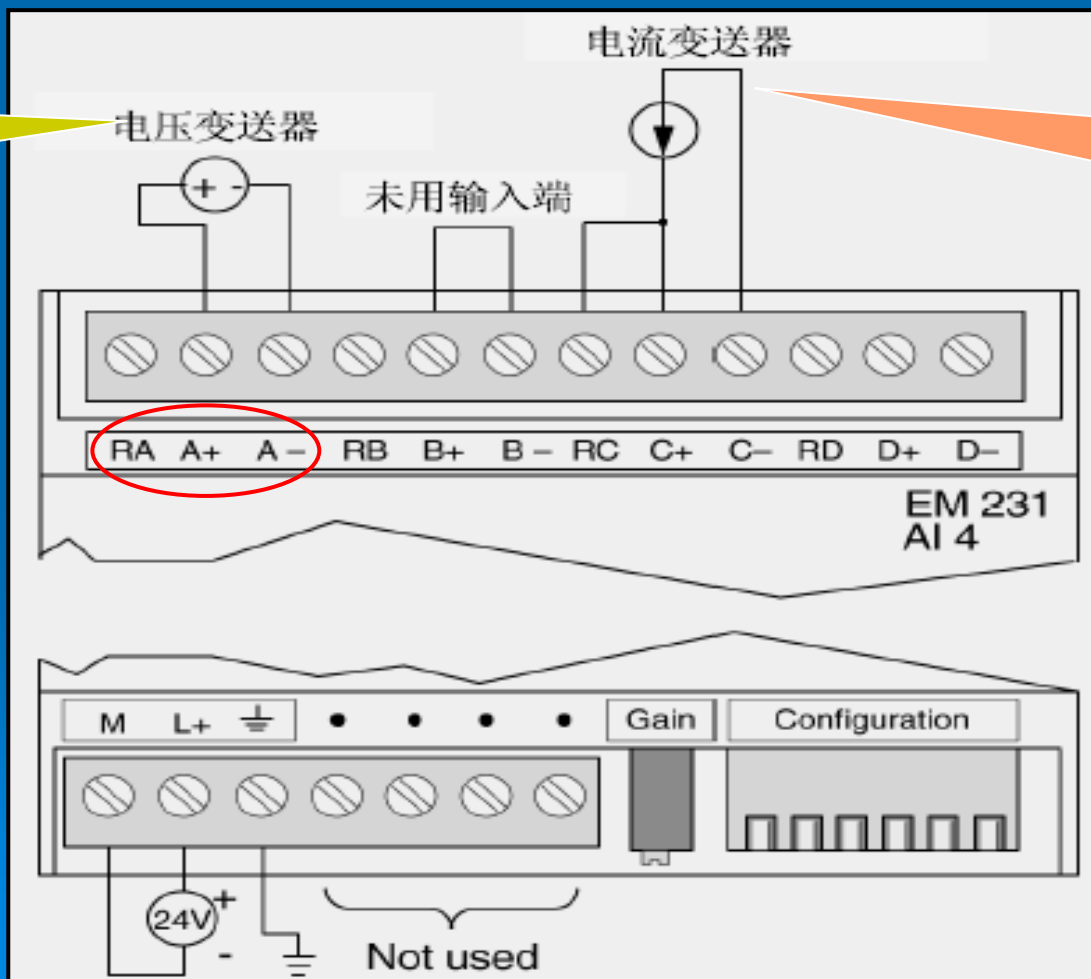
2. 使用及特性

➤ EM231

➤ 4个模拟量输入通道

1) 外部接线图:

电压
信号
输入



电流
信号
输入

2) 模拟量输入模块的特性

EM231:

■ 电压输入范围:

➤ 单极性0~10V, 0~5V;

➤ 双极性±5V, ±2.5V

■ 电流输入范围:

➤ 0~20mA

■ 模拟量到数字量的最大转换时间: 250 μ s

- ※ 输入信号经模数（A/D）转换后的数字量数据值是12位二进制数
- ※ 每个通道占用存储器AI区域2个字节
- ※ 该模块模拟量的输入值为只读数据
- ※ CPU中存放格式：

符号位：
0正

MSB					LSB	
15		14		2	1	0
0	数据值 12 位			0	0	0

单极性数据

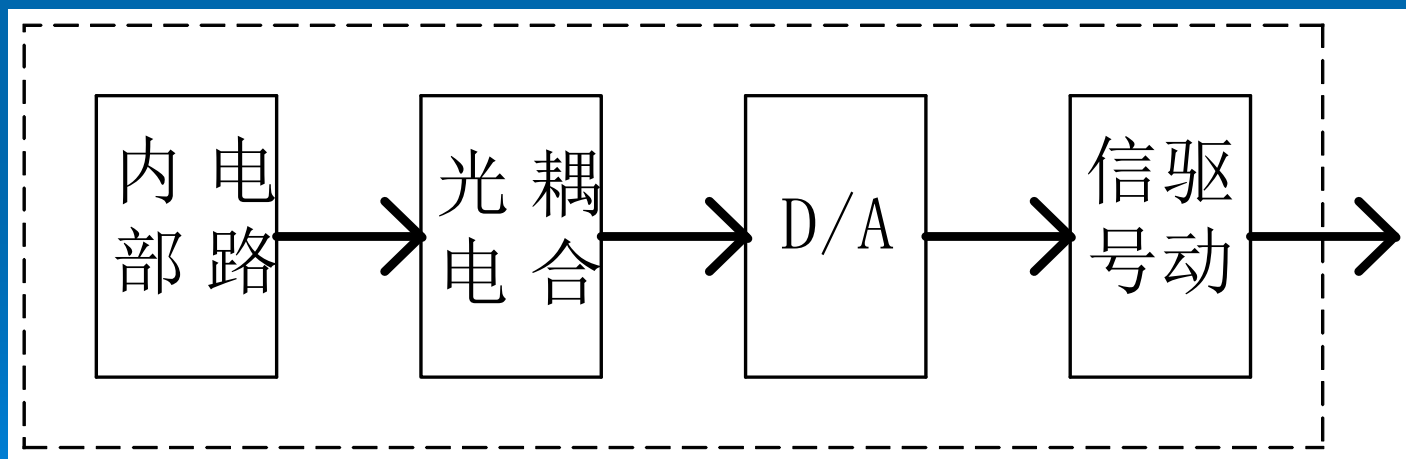
MSB						LSB
15			3	2	1	0
数据值 12 位			0	0	0	0

双极性数据

(二) 模拟量输出模块 (D/A)

作用:

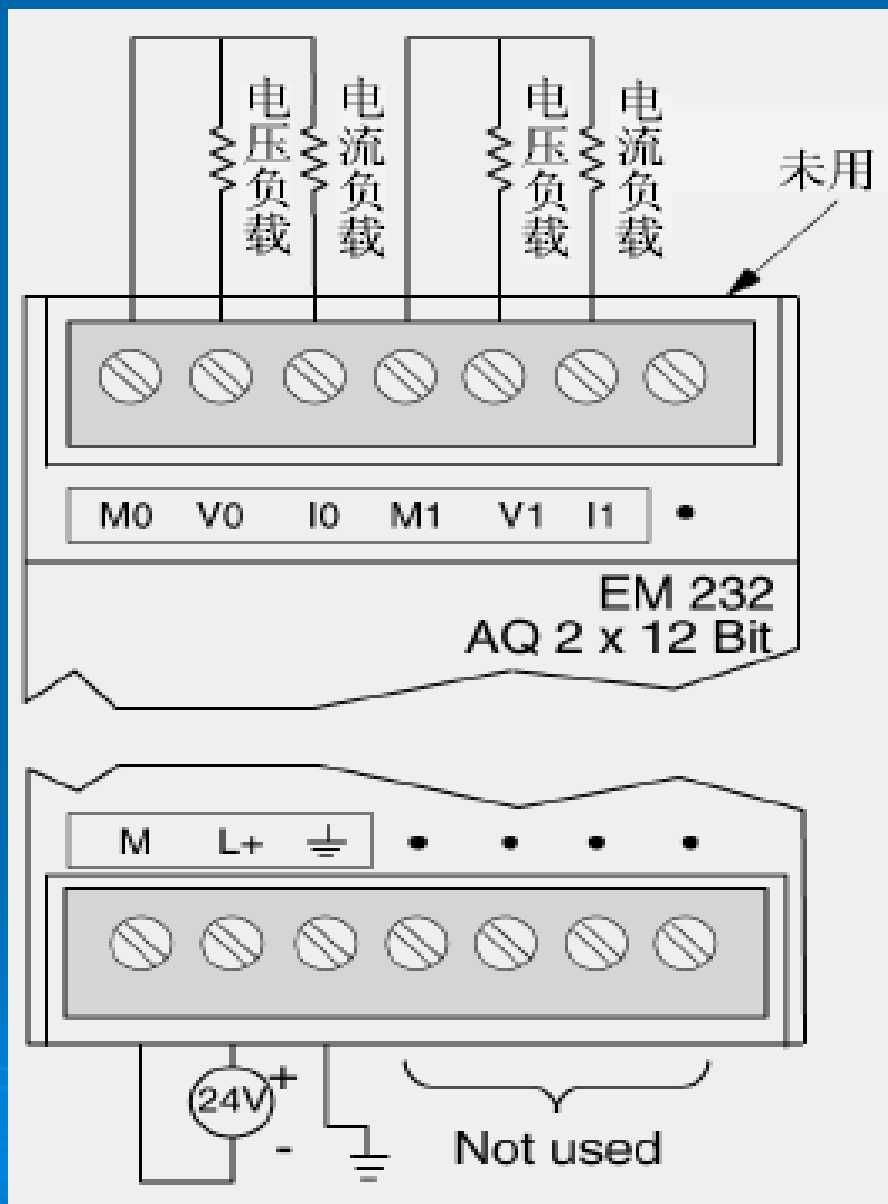
将CPU发出的数字量控制信号转换成相应的模拟量信号，以驱动执行器作相应的动作



1) 外部接线图:

EM232

需要直流24V供电



2) 模拟量输出模块的特性

EM232:

- 输出信号的范围:
电压输出为 **$\pm 10V$**
电流输出为 **$0-20mA$**
- 电压输出的设置时间为 **$100 \mu s$**
- 电流输出的设置时间为 **$2ms$**

- * 每个输出通道占用存储器AQ区域2个字节
- * PLC运算处理后的12位数字量信号在CPU中存放格式:

D / A转换前

MSB				LSB			
15	14			3	2	1	0
0	数据值 12 位			0	0	0	0

电流输出数据格式

MSB				LSB			
15	4			3	0		
数据值 12 位				0	0	0	0

电压输出的数据格式

(三) 模拟量输入输出模块EM235

- 4个模拟量输入通道
- 1个模拟量输出通道
- 模拟量输入功能同EM231模拟量输入模块
- 模拟量输出功能同EM232模拟量输出模块

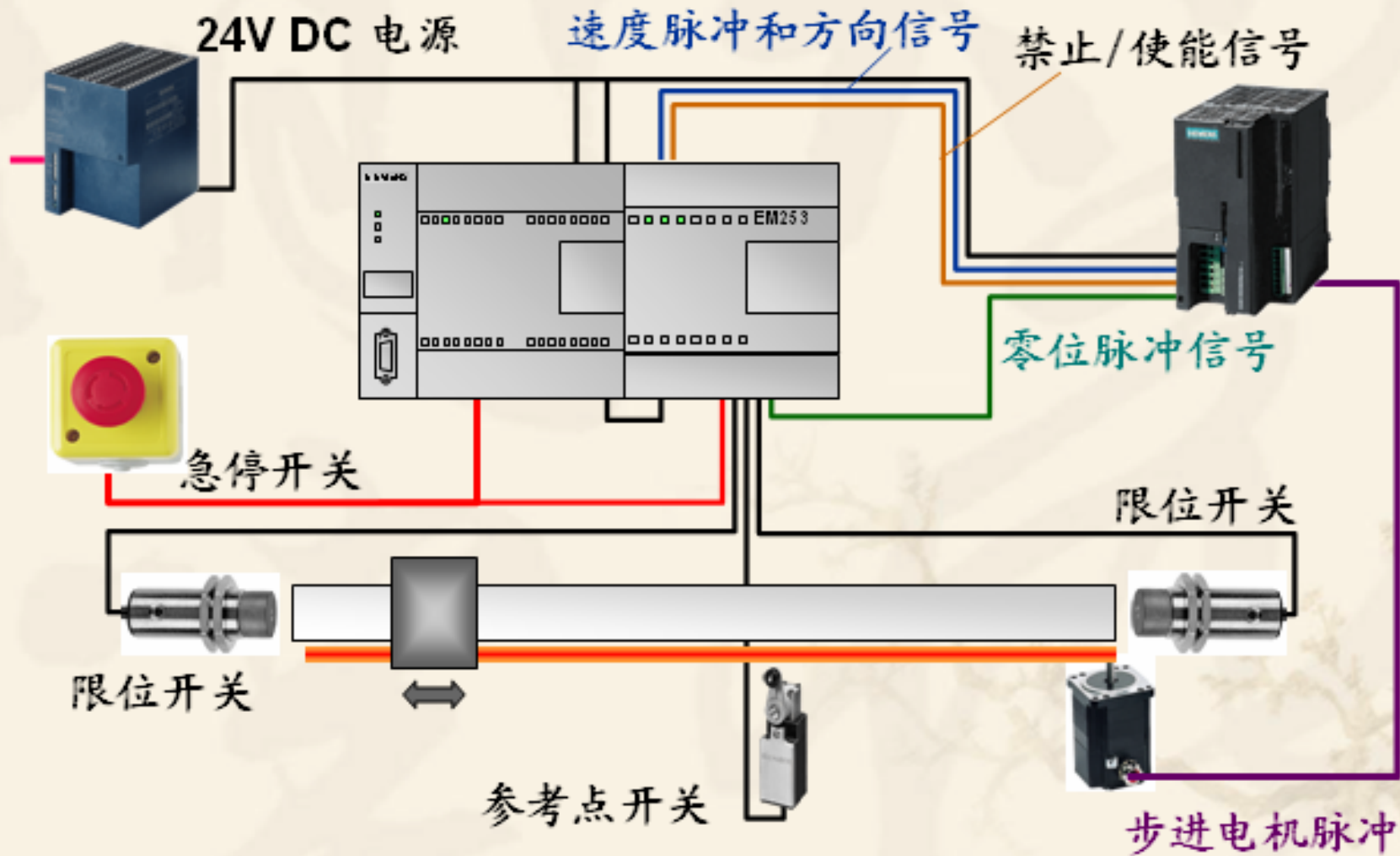
三、智能模块

- PID调节模块
- 高速计数器模块
- 温度传感器模块
- 高速脉冲输出模块
- 位置控制模块
- 阀门控制模块
- 通讯模块
- ⋮

常用智能模块

型号和描述	规格
EM231 TC 温度测量模块 (热电偶输入)	4 输入通道
EM231 RTD 温度测量模块 (热电阻输入)	2 输入通道
EM253 定位控制模块	输出 4 路 200kHz 脉冲
通讯模块	EM227 Profibus DP: 从站模块, 支持 MPI 从站通信 EM241: 调制解调器模块 CP243-1: 工业以太网模块 CP243-1 IT: 具有 Web/Email 等 IT 功能的工业以太网模块 CP243-2: AS-i 主站模块, 可连接 62 个 AS-i 从站

应用 EM 253 举例



6.4 S7-200 PLC的系统配置

◎基本配置:

- 主机上的集成I/O点具有固定的I/O地址

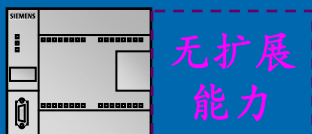
◎扩展配置:

数字量模块 } 扩展控制规模
模拟量模块 }
智能模块 → 扩展控制功能

扩展配置时应考虑的因素

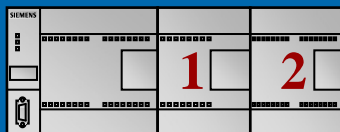
一、主机允许带扩展模块的数量

CPU221



CPU221: 6入/4出=数字量 10点

CPU222



CPU222: 10入/8出=78数字量

只能扩展两个智能模块

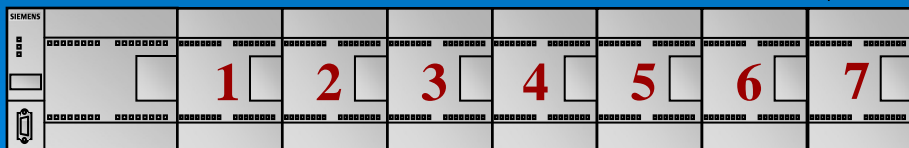
CPU224



CPU224: 14入/12出=102数字量

CPU224: 94入/74出=168 数字量
模拟量 28入或14出或 28入/7出

CPU226



CPU226: 128入/120出=248数字量
模拟量 28入或14出或 28入/7出

二、CPU输入/输出映象区的大小

1. 数字量I/O映象区的大小

➤ 数字量I/O映象区区域为

* 128个输入映象寄存器 (I0.0~I15.7)

* 128个输出映象寄存器 (Q0.0~Q15.7)

➤ 系统配置时，对各模块的输入/出点进行I/O编址

CPU模块上集成的数字量I/O点是有固定的I/O地址的。可以在右侧连接几个I/O扩展模块来增加I/O点，形成I/O链。扩展模块上I/O点的地址由扩展模块类型及模块在I/O链中的位置决定。编址时，按同类型的模块对各输入点（或输出点）顺序编址。

- 数字量I/O映象区的逻辑空间是以8位（1个字节）为递增的（X.0-X.7）

未用的物理点地址不能分配给I/O链中的后续数字量模块

- 与未用物理点相对应的I/O映象区的空间丢失

对于输出模块，丢失的空间可作内部标志位存储器；

对于输入模块，丢失的空间不可用，因为每次输入更新时，CPU都会对这些空间清零。

2. 模拟量I/O映象区的大小

◇ 模拟量I/O映象区区域为

CPU221:	无
CPU222:	16输入通道/16输出通道
CPU224	} 32输入通道/32输出通道
CPU226	
CPU226XM	

◇ 模拟量扩展模块的输入/出点地址总是以2个通道（1个通道占2个字节）递增来分配空间

如果一个模块没有占用完输入或输出通道，则未用的通道地址不能分配给I/O链中的后续模拟量模块

DI/DO
:
26/22

I/O地址分配举例 (CPU224)

AI/AO
:
8/2

CPU224	4 DI/4 DO	8 DI	4 AI/1 AO	8 DO	4 AI/1 AO
I0.0 Q0.0	I2.0 Q2.0	I3.0	AIW0 AQW0	Q3.0	AIW8 AQW4
I0.1 Q0.1	I2.1 Q2.1	I3.1	AIW2 AQW2	Q3.1	AIW10 AQW6
I0.2 Q0.2	I2.2 Q2.2	I3.2	AIW4	Q3.2	AIW12
I0.3 Q0.3	I2.3 Q2.3	I3.3	AIW6	Q3.3	AIW14
I0.4 Q0.4	I2.4 Q2.4	I3.4		Q3.4	
I0.5 Q0.5	I2.5 Q2.5	I3.5		Q3.5	
I0.6 Q0.6	I2.6 Q2.6	I3.6		Q3.6	
I0.7 Q0.7	I2.7 Q2.7	I3.7		Q3.7	
I1.0 Q1.0	Expansion I/O				
I1.1 Q1.1	模块0	模块1	模块2	模块3	模块4
I1.2 Q1.2	数字量扩展模块 是以8位递增来 分配空间	每个通道模拟量 占用I/O映像寄 存器2个字节	模拟量扩展模块 是以2个通道递 增来分配空间		
I1.3 Q1.3					
I1.4 Q1.4					
I1.5 Q1.5					
I1.6 Q1.6					
I1.7 Q1.7					
Local I/O					

三 . PLC内部电源的负载能力

最大I/O配置的预算

- (1) 映像寄存器数量
- (2) 5V DC电源的电流负载能力
- (3) 24V DC电源的电流负载能力
- (4) 电流预算规则

三 . PLC内部电源的负载能力

➤ 1. PLC内部5VDC电源的电流负载能力

CPU22x 为扩展 I/O 提供的+5VDC 电流 (mA)		扩展模块 +5VDC 电流消耗 (mA)	
CPU 222	340	* EM221 D18×DC24V	30
* CPU 224	660	EM222 D08×DC24V	50
CPU 226	1000	EM222 D08×继电器	40
		EM223 DI4/DO4×DC24V	40
		* EM223 DI4/DO4×DC24V/继电器	40
		EM223 DI8/DO8×DC24V	80
		EM223 DI8/DO8×DC24V/继电器	80
		EM223 DI16/DO16×DC24V	160
		EM223 DI16/DO16×DC24V/继电器	150
		EM231 AI4×12 位	20
		EM231 AI4×热电偶	60
		EM231 AI4×RTD	60
		EM232 AQ2×12 位	20
		* EM235 AI4/AQ1×12 位	30
		EM277 PROFIBUS-DP	150

校验举例：

- 系统配置后，必须对主机内部的5VDC电源的负载能力进行校验
- 校验原则：各扩展模块消耗5VDC电源的电流总和不得超过主机所提供的电流值

➤ CPU224提供的最大电流为660mA

➤ 各扩展模块的电流消耗：

EM221 DI8×DC24V $30 \times 1 = 30\text{mA}$

EM223 DI4/DO4×DC24V/继电器 $40 \times 1 = 40\text{mA}$

EM235 AI4/AQ1×12位 $30 \text{ mA} \times 2 = 60 \text{ mA}$

➤ 共计 $30+40+60=130 \text{ mA} < 660\text{mA}$

2. PLC内部24VDC电源的负载能力

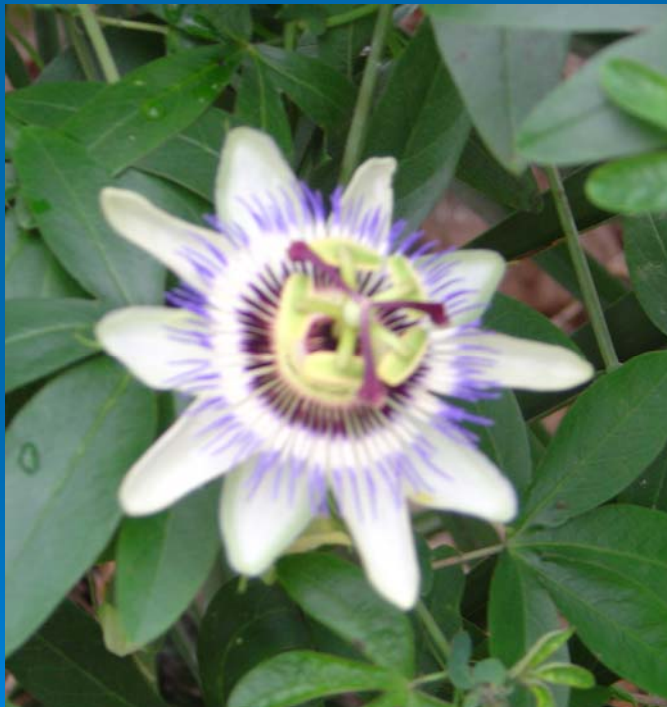
- * 也称为传感器电源，用于检测输入点状态的24VDC电源

- * 注意电源的负载能力：

主机及各扩展模块所消耗电流的总和不超过电源所提供的最大电流（400MA）

作业

- 某PLC控制系统，经估算需要数字量输入29点，数字量输出24点；模拟量输入6个通道，模拟量输出2个通道。请选择S7-200PLC的机型及其扩展模块。按空间分布位置对主机及各模块的输入、输出点进行编址。
- 并对主机内部5VDC电源的负载能力进行校验。



红莓

