

## 项目三 三相异步电动机降压启动控制线路设计、安装与调试

### 3.1 相关知识

#### 3.1.1 时间继电器

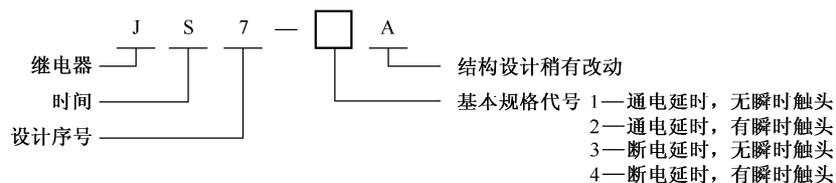
在生产中经常需要按一定的时间间隔对生产机械进行控制，例如电动机的降压启动需要一定的时间，然后才能加上额定电压；在一条自动线中的多台电动机，经常需要分批启动，在第一批启动后，需经过一定时间，才能启动第二批等。这类自动控制称为时间控制。时间控制通常是利用时间继电器来实现的。从得到动作信号起至触头动作或输出电路产生跳跃式改变有一定延时时间，该延时时间又符合其准确度要求的继电器称为时间继电器。它广泛用于需要按时间顺序进行控制的电气控制线路中。

常用的时间继电器主要有电磁式、电动式、空气阻尼式、晶体管式等。其中，电磁式时间继电器的结构简单、价格低廉，但体积和重量较大，延时较短（如 JT3 型只有 0.3~5.5s），且只能用于直流断电延时；电动式时间继电器的延时精度高，延时可调范围大（由几分钟到几小时），但结构复杂，价格贵。目前在电力拖动线路中应用较多的是空气阻尼式时间继电器。随着电子技术的发展，近年来晶体管式时间继电器的应用日益广泛。

##### 1. JS7-A 系列空气阻尼式时间继电器

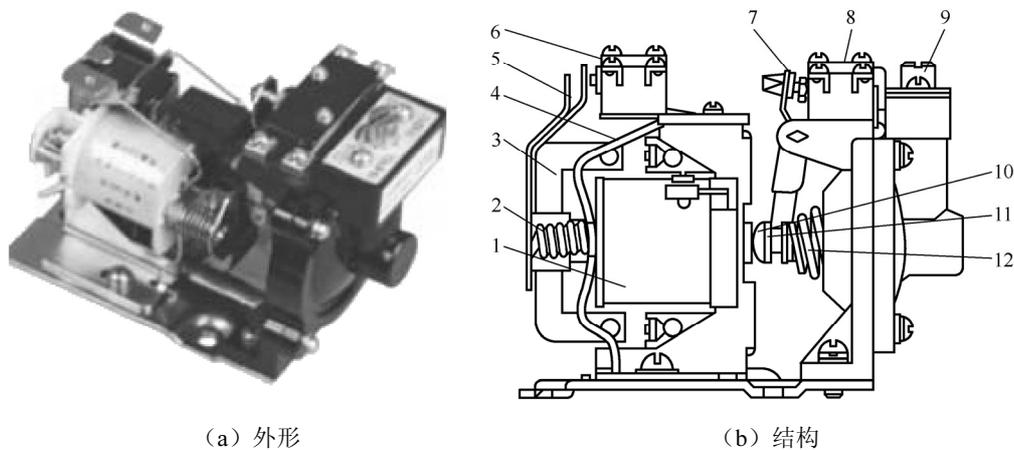
空气阻尼式时间继电器又称气囊式时间继电器，是利用气囊中的空气通过小孔节流的原理来获得延时动作的。根据触头延时的特点，可分为通电延时动作型和断电延时复位型两种。

##### (1) 型号及含义。



(2) 结构。JS7-A 系列空气阻尼式时间继电器的外形和结构如图 3-1 所示。它主要由以下几部分组成：

- 1) 电磁系统。由线圈、铁心和衔铁组成。
- 2) 触头系统。包括两对瞬时触头（一常开、一常闭）和两对延时触头（一常开、一常闭），瞬时触头和延时触头分别是两个微动开关的触头。
- 3) 空气室。空气室为一空腔，由橡皮膜、活塞等组成。橡皮膜可随空气的增减而移动，顶部的调节螺钉可调节延时时间。
- 4) 传动机构。由推杆、活塞杆、杠杆及各种类型的弹簧等组成。
- 5) 基座。用金属板制成，用以固定电磁机构和气室。

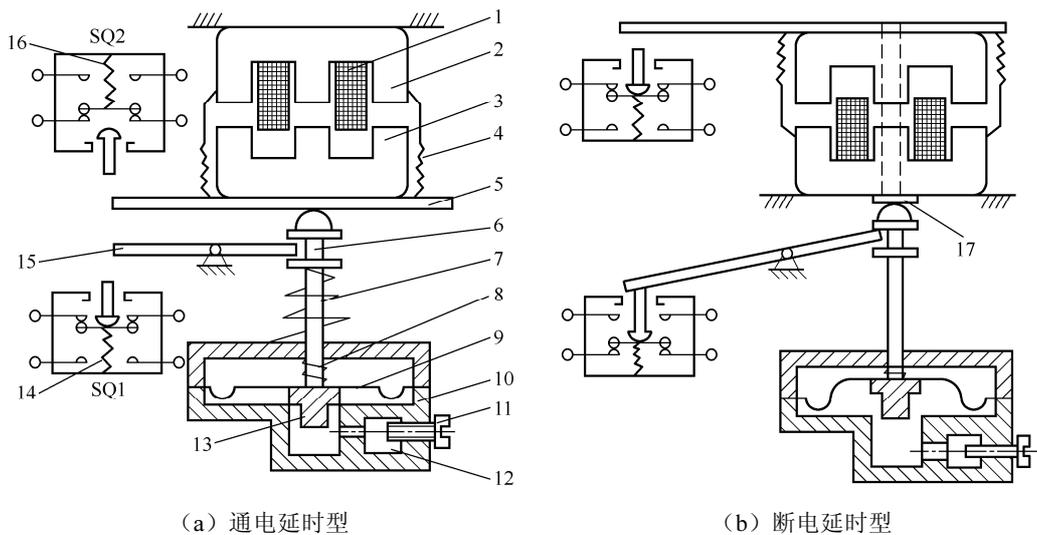


(a) 外形 (b) 结构

图 3-1 JS7-A 系列空气阻尼式时间继电器的外形和结构

- 1—线圈；2—反力弹簧；3—衔铁；4—铁心；5—弹簧片；6—瞬时触头；  
7—杠杆；8—延时触头；9—调节螺钉；10—推杆；11—活塞；12—宝塔形弹簧

(3) 工作原理。JS7-A 系列空气阻尼式时间继电器的工作原理示意图如图 3-2 所示。



(a) 通电延时型 (b) 断电延时型

图 3-2 JS7-A 系列空气阻尼式时间继电器结构原理图

- 1—线圈；2—铁心；3—衔铁；4—反力弹簧；5—推板；6—活塞杆；7—塔形弹簧；8—弱弹簧；9—橡皮膜；  
10—空气室壁；11—调节螺钉；12—进气孔；13—活塞；14、16—微动开关；15—杠杆；17—推杆

1) 通电延时型时间继电器的工作原理。当线圈 1 通电后，铁心 2 产生吸力，衔铁 3 克服反力弹簧 4 的阻力与铁心吸合，带动推板 5 立即动作，压合微动开关 SQ2，使其常闭触头瞬时断开，常开触头瞬时闭合。同时活塞杆 6 在宝塔形弹簧 7 的作用下向上移动，带动与活塞 13 相连的橡皮膜 9 向上运动，运动的速度受进气孔 12 进气速度的限制。这时橡皮膜下面形成空气较稀薄的空间，与橡皮膜上面的空气形成压力差，对活塞的移动产生阻尼作用。活塞杆带动杠杆 15 只能缓慢地移动。经过一定时间，活塞才能完成全部行程而压动微动开关

SQ1, 使其常闭触头断开, 常开触头闭合。由于从线圈通电到触头动作需要延时一段时间, 因此 SQ1 的两对触头分别称为延时闭合瞬时断开的常开触头和延时断开瞬时闭合的常闭触头。这种时间继电器延时时间的长短取决于进气的快慢, 旋动调节螺钉 11 可调节进气孔的大小, 即可达到调节延时时间长短的目的。JS7-A 系列时间继电器的延时范围有 0.4~60s 和 0.4~180s 两种。

当线圈 1 断电时, 衔铁 3 在反力弹簧 4 的作用下, 通过活塞杆 6 将活塞推向下端, 这时橡皮膜 9 下方腔内的空气通过橡皮膜 9、弱弹簧 8 和活塞 13 局部所形成的单向阀迅速从橡皮膜上方的气室缝隙中排掉, 使微动开关 SQ1、SQ2 的各对触头均瞬时复位。

2) 断电延时型时间继电器。JS7-A 系列断电延时型和通电延时型时间继电器的组成元件是通用的。如果将通电延时型时间继电器的电磁机构翻转 180° 安装即成为断电延时型时间继电器。其工作原理读者可自行分析。

空气阻尼式时间继电器的优点是: 延时范围较大 (0.4~180s), 且不受电压和频率波动的影响; 可以做成通电和断电两种延时形式; 结构简单、寿命长、价格低。其缺点是: 延时误差大, 难以精确地整定延时值, 且延时值易受周围环境温度、尘埃等的影响。因此, 对延时精度要求较高的场合不宜采用。

时间继电器在电路图中的符号如图 3-3 所示。

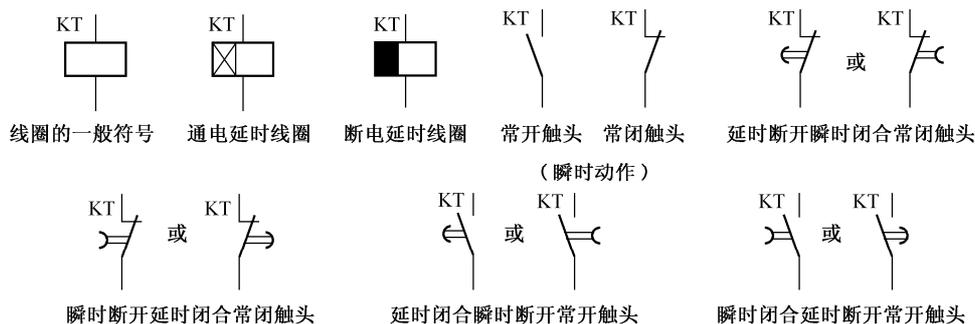


图 3-3 时间继电器的符号

#### (4) 选用。

1) 根据系统的延时范围和精度选择时间继电器的类型和系列。在延时精度要求不高的场合, 一般可选用价格较低的 JS7-A 系列空气阻尼式时间继电器, 反之, 对精度要求较高的场合, 可选用晶体管式时间继电器。

2) 根据控制线路的要求选择时间继电器的延时方式 (通电延时或断电延时)。同时, 还必须考虑线路对瞬时动作触头的要求。

3) 根据控制线路电压选择时间继电器吸引线圈的电压。

JS7-A 系列空气阻尼式时间继电器的技术数据见表 3-1。

#### (5) 安装和使用。

1) 时间继电器应按说明书规定的方向安装。无论是通电延时型还是断电延时型, 都必须使继电器在断电后, 释放时衔铁的运动方向垂直向下, 其倾斜度不得超过 5°。

2) 时间继电器的整定值, 应预先在不通电时整定好, 并在试车时校正。

3) 时间继电器金属底板上的接地螺钉必须与接地线可靠连接。

表 3-1 JS7-A 系列空气阻尼式时间继电器的技术数据

型号	瞬时动作触头对数		有延时的触头对数				触头额定电压 (V)	触头额定电流 (A)	线圈电压 (V)	延时范围 (s)	额定操作频率 (次/h)
	触头对数		通电延时		断电延时						
	常开	常闭	常开	常闭	常开	常闭					
JS7-1A	—	—	1	1	—	—	380	5	24、36、 110、127 220、380 420	0.4~60 及 0.4~180	600
JS7-2A	1	1	1	1	—	—					
JS7-3A	—	—	—	—	1	1					
JS7-4A	1	1	—	—	1	1					

4) 通电延时型和断电延时型可在整定时间内自行调换。

5) 使用时, 应经常清除灰尘及油污, 否则延时误差将更大。

(6) 常见故障及处理方法。JS7-A 系列空气阻尼式时间继电器的触头系统和电磁系统的故障及处理方法可参看接触器有关内容。其他常见故障及处理方法见表 3-2。

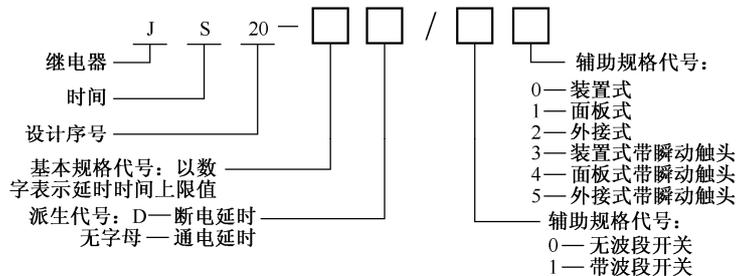
表 3-2 JS7-A 系列时间电器常见故障及处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
延时触头不动作	电磁线圈断线	更换线圈
	电源电压过低	调高电源电压
	传动机构卡住或损坏	排除卡住故障或更换部件
延时时间缩短	气室装配不严, 漏气	修理或更换气室
	橡皮膜损坏	更换橡皮膜
延时时间变长	气室内有灰尘, 使气道阻塞	清除气室内灰尘, 使气道畅通

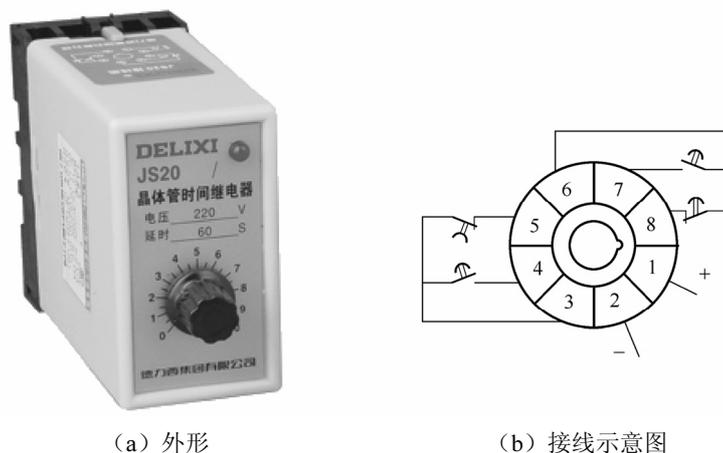
## 2. 晶体管时间继电器

晶体管时间继电器也称为半导体时间继电器或电子式时间继电器, 具有机械结构简单、延时范围广、精度高、消耗功率小、调整方便及寿命长等优点, 所以发展迅速, 其应用越来越广泛。晶体管时间继电器按结构分为阻容式和数字式两类; 按延时方式分为通电延时型、断电延时型及带瞬动触点的通电延时型。常用的 JS20 系列晶体管时间继电器是全国推广的统一设计产品, 适用于交流 50Hz、电压 380V 及以下或直流 110V 及以下的控制电路, 作为时间控制元件, 按预定的时间延时, 周期性地接通或分断电路。

(1) 型号及含义。



(2) 结构。JS20 系列时间继电器的外形如图 3-4 (a) 所示。继电器具有保护外壳，其内部结构采用印刷电路组件。安装和接线采用专用的插接座，并配有带插脚标记的下标牌作接线指示，上标盘上还带有发光二极管作为动作指示。结构形式有外接式、装置式和面板式三种。外接式的整定电位器可通过插座用导线接到所需的控制板上；装置式具有带接线端子的胶木底座；面板式采用通用八大脚插座，可直接安装在控制台的面板上，另外还带有延时刻度和延时旋钮供整定延时时间用。JS20 系列通电延时型时间继电器的接线示意图如图 3-4 (b) 所示。



(a) 外形 (b) 接线示意图

图 3-4 JS20 系列时间继电器的外形与接线

(3) 工作原理。JS20 系列通电延时型时间继电器的线路如图 3-5 所示。它由电源、电容充放电电路、电压鉴别电路、输出和指示电路五部分组成。电源接通后，经整流滤波和稳压后的直流电经过  $R_{P1}$  和  $R_2$  向电容  $C_2$  充电。当场效应管  $V_6$  的栅源电压  $U_{gs}$  低于夹断电压  $U_p$  时， $V_6$  截止，因而  $V_7$ 、 $V_8$  也处于截止状态。随着充电的不断进行，电容  $C_2$  的电位按指数规律上升，当满足  $U_{gs}$  高于  $U_p$  时， $V_6$  导通， $V_7$ 、 $V_8$  也导通，继电器 KA 吸合，输出延时信号。同时电容  $C_2$  通过  $R_8$  和 KA 的常开触头放电，为下次动作做好准备。当切断电源时，继电器 KA 释放，电路恢复原始状态，等待下次动作。调节  $R_{P1}$  和  $R_{P2}$  即可调整延时时间。

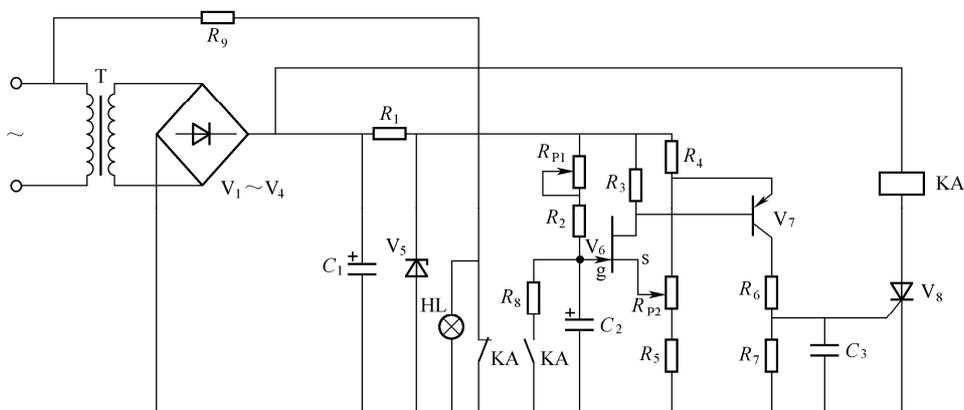


图 3-5 JS20 系列通电延时型时间继电器的电路图

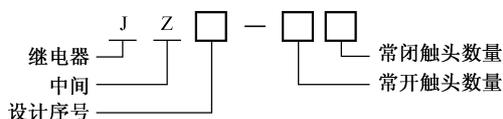
晶体管时间继电器适用于以下场合：

- (1) 当电磁式时间继电器不能满足要求时。
- (2) 当要求的延时精度较高时。
- (3) 控制回路相互协调需要无触点输出等。

### 3.1.2 中间继电器

中间继电器是用来增加控制电路中的信号数量或将信号放大的继电器。其输入信号是线圈的通电和断电，输出信号是触头的动作，由于触头的数量较多，所以可用来控制多个元件或回路。

#### 1. 中间继电器的型号及含义



#### 2. 中间继电器的结构及工作原理

中间继电器的结构及工作原理与接触器基本相同，因而中间继电器又称为接触器式继电器。但中间继电器的触头对数多，且没有主辅之分，各对触头允许通过的电流大小相同，多数为 5A。因此，对于工作电流小于 5A 的电气控制线路，可用中间继电器代替接触器实施控制。

常用的中间继电器中 JZ7、JZ14 等系列为交流中间继电器，其外形、结构及在电路中的符号如图 3-6 所示。

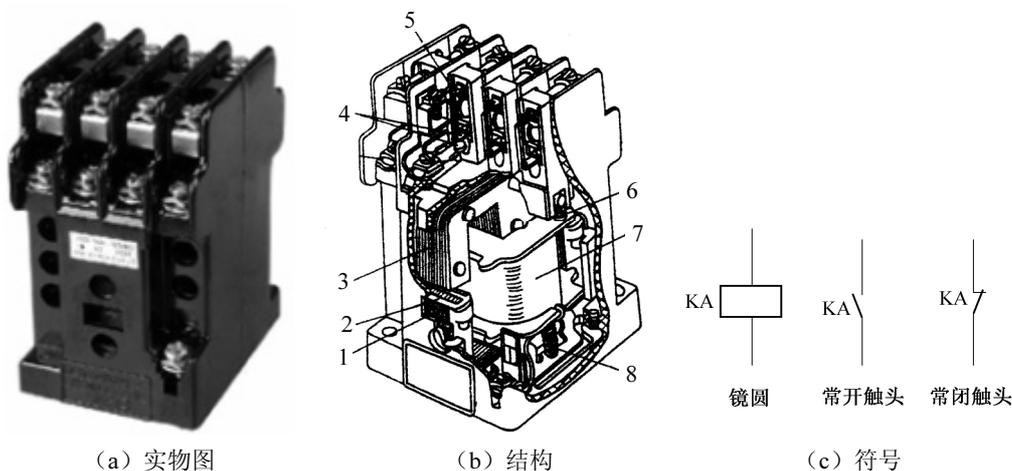


图 3-6 JZ7 等系列交流中间继电器

1—静铁心；2—短路环；3—衔铁；4—常开触头；5—常闭触头；6—反作用弹簧；7—线圈；8—缓冲弹簧

#### 3. 中间继电器的选用

中间继电器主要依据被控制电路的电压等级、所需触头的数量、种类、容量等要求来选择。常用中间继电器的技术数据见表 3-3。

表 3-3 中间继电器的技术数据

型号	线圈参数			触头参数			
	额定电压 (V)		消耗功率	触头数		最大断开容量	
	交流	直流		常开触头	常闭触头	阻性负载	感性负载
JZ7-22	12、24	12 24 110 220	12VA	2	2	交流 380V、5A	交流 380V、5A 500V、3.5A
JZ7-41	36、48、110			4	1		
JZ7-42	127			4	2		
JZ7-44	220			4	4	直流 220V、1A	直流 220V、0.5A
JZ7-53	380			5	3		
JZ7-62	420			6	2		
JZ7-80	440、500			5	0		

#### 4. 中间继电器的安装与使用及常见故障处理

中间继电器的安装、使用、常见故障处理方法与接触器相似，可参见接触器有关内容。

### 3.1.3 电流继电器

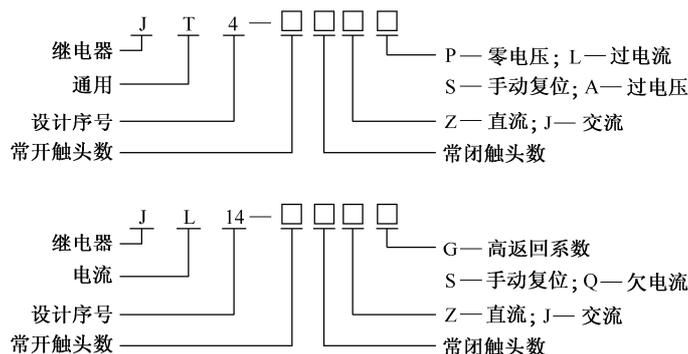
电流继电器是反映电流变化的控制电器。使用时，电流继电器的线圈串联在被测电路中，根据通过线圈电流值的大小而动作。为了使串入电流继电器线圈后不影响电路正常工作，电流继电器线圈的匝数要少，导线要粗，阻抗要小。

电流继电器分为过电流继电器和欠电流继电器两种。

#### 1. 过电流继电器

当继电器中的电流超过预定值时，引起开关电器有延时或无延时动作的继电器叫过电流继电器。它主要用于频繁启动和重载启动的场合，作为电动机和主电路的过载和短路保护。

(1) 型号及含义。常用的过电流继电器有 JT4 系列交流通用继电器和 JL14 系列交直流通用继电器，其型号及含义分别如下所示：



(2) 结构及工作原理。JT4 系列过电流继电器的外形结构及工作原理如图 3-7 所示。它主要由线圈、圆柱形静铁心、衔铁、触头系统和反作用弹簧等组成。JT4 系列交流电磁继电器适用于交流 50Hz、380V 及以下的自动控制电路中作为零序电压、电流，过电压和中间继电器之用。过电流继电器也适用于 60Hz 的控制电路中。

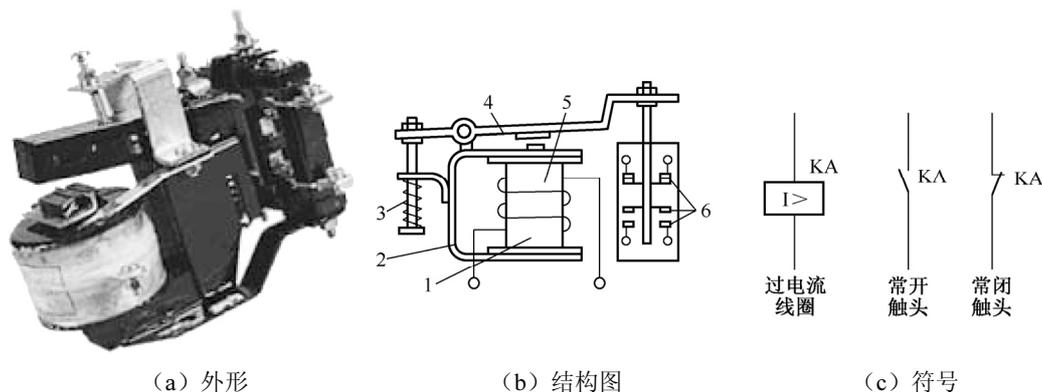


图 3-7 JT4 系列过电流继电器

1—铁心；2—磁轭；3—反作用弹簧；4—衔铁；5—线圈；6—触头

当线圈通过的电流为额定值时，它所产生的电磁吸力不足以克服反作用弹簧的反作用力，此时衔铁不动作。当线圈通过的电流超过整定值时，电磁吸力大于弹簧的反作用力，铁心吸引衔铁动作，带动常闭触头断开，常开触头闭合。调整反作用弹簧的作用力，可整定继电器的动作电流值。该系列中有的过电流继电器带有手动复位机构，这类继电器过电流动作后，当电流再减小甚至到零时，衔铁也不能自动复位，只有当操作人员检查并排除故障后，手动松掉锁扣机构，衔铁才能在复位弹簧作用下返回，从而避免重复过电流事故的发生。

JT4 系列为交流通用继电器，在这种继电器的电磁系统上装设不同的线圈，便可制成过电流、欠电流、过电压或欠电压等继电器。JT4 系列通用继电器的技术数据见表 3-4。

表 3-4 JT4 系列通用继电器的主要技术参数

型号	可调参数 调整范围	标称 误差	返回系数	接点数量	吸引线圈		复位 方式
					额定电压 (或电流)	消耗功率	
JT4 - □□/A 过电压继电器	吸合电压 105~ 120 $U_e$	±10%	0.1~0.3	一常开 一常闭	110, 220, 380 (V)	75 (VA)	自动
JT4 - □□/P 零电压 (或中 间) 继电器	吸合电压 60~ 85% $U_e$ 或释放电 压 10%~35% $U_e$		0.2~0.4	一常开 一常闭	110, 127, 220, 380 (V)		
JT4 - □□/L 过电流继电器	吸合电流 11%~35% $I_e$		0.1~0.3	或二常开 或二常闭	5, 10, 15, 20, 40, 80, 150, 300, 600 (A)	5 (W)	手动
JT4 - □□/S 手动 过电流继电器	吸合电流 11%~35% $I_e$		0.1~0.3				

常用的过电流继电器还有 JL14 等系列。JL14 系列是一种交直流通用的新系列电流继电器，可取代 JT4-L 和 JT4-S 系列。其结构与工作原理与 JT4 系列相似。主要结构部分交直流通用，区别仅在于：交流继电器的铁心上开有槽，以减少涡流损耗。JL14 系列过电流继电器的技术数据见表 3-5。

表 3-5 JL14 系列过电流继电器的技术数据

电流种类	型号	吸引线圈额定电流 $I_N$ (A)	吸引电流整定范围	触头组合形式		备注
				常开	常闭	
直流	JL4 - □□Z	1, 1.5, 2.5, 10, 15, 25, 40, 60, 100,	$(0.70 \sim 3.00) I_N$ $(0.30 \sim 0.65) I_N$ 或释放电流 在 $(0.10 \sim 0.20) I_N$ 范围调整	3	3	
	JL4 - □□ZS			2	1	手动复位
	JL4 - □□ZQ			1	2	欠电流
交流	JL4 - □□J	150, 300, 500, 1200, 1500	$(1.10 \sim 4.00) I_N$	1	1	
	JL4 - □□JS			2	2	手动复位
	JL4 - □□JG			1	1	返回系数大于 0.65

JT4 和 JL14 系列都是瞬动型过电流继电器,主要用于电动机的短路保护。生产中还用一种具有过载和启动延时、过流迅速动作保护特性的 JL12 系列过电流继电器,其外形结构如图 3-8 所示。它主要由螺管式电磁系统(包括线圈、磁轭、动铁心、封帽、封口塞等)、阻尼系统(包括导管、硅油阻尼剂和动铁心中的钢珠)和触头(微动开关)等组成,当通过继电器线圈的电流超过整定值时,导管中的动铁心受到电磁力作用开始上升,当铁心上升时,钢珠关闭油孔,使铁心的上升受到阻尼作用,铁心须经过一段时间的延迟后才能推动顶杆,使微动开关的常闭触头分断,切断控制回路,使电动机得到保护。触头延时动作的时间由继电器下端封帽内装有的调节螺钉调节。当故障消除后,动铁心因重力作用返回原来的位置。这种过电流继电器从线圈过电流到触头动作须延迟一段时间,从而防止了在电动机启动过程中继电器发生误动作。

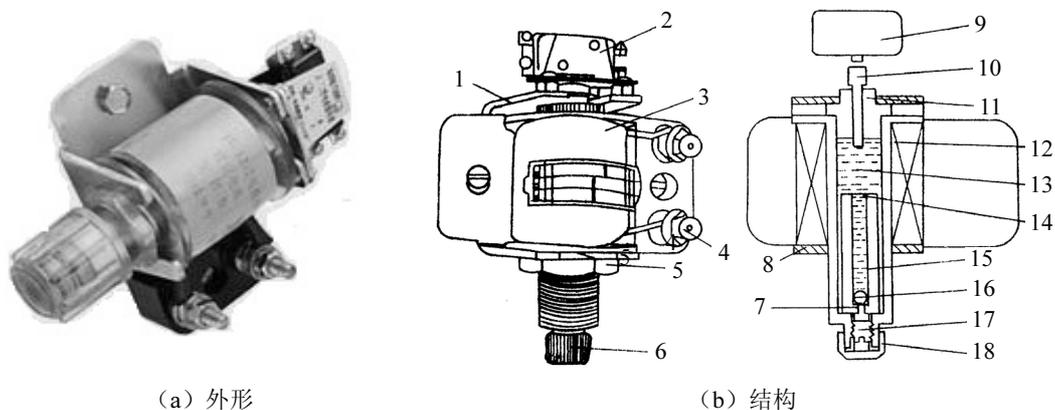


图 3-8 JL12 系列

1、8—磁轭；2、9—微动开关；3、12—线圈；4—接线柱；5—紧固螺母；6、18—封帽；7—油孔；10—顶杆；11—封口塞；13—硅油；14—导管（即油杯）；15—动铁心；16—钢珠；17—调节螺钉

过电流继电器在电路图中的符号如图 3-7 (c) 所示。

### (3) 选用。

1) 过电流继电器的额定电流一般可按电动机长期工作的额定电流来选择。对于频繁启动的电动机,考虑到启动电流在继电器中的热效应,额定电流可选大一个等级。

- 2) 过电流继电器的触头种类、数量、额定电流及复位方式应满足控制线路的要求。
- 3) 过电流继电器的整定值一般为电动机额定电流的 1.7~2 倍, 频繁启动场合可取 2.25~2.5 倍。

(4) 安装与使用。

1) 安装前应检查继电器的额定电流及整定值是否与实际使用要求相符。继电器的动作部分是否动作灵活、可靠, 外罩及壳体是否有损坏或缺件等情况。

2) 安装后应在触头不通电的情况下, 使吸引线圈通电操作几次, 看继电器动作是否可靠。

3) 定期检查继电器各零部件是否有松动及损坏现象, 并保持触头的清洁。

过电流继电器的常见故障及处理方法与接触器相似, 可参看接触器的有关内容。

## 2. 欠电流继电器

当通过继电器的电流减小到低于其整定值时动作的继电器称为欠电流继电器。在线圈电流正常时这种继电器的衔铁与铁心是吸合的。它常用于直流电动机励磁电路和电磁吸盘的弱磁保护。

常用的欠电流继电器有 JL14-Q 等系列产品, 其结构与工作原理和 JT4 系列继电器相似。这种继电器的动作电流为线圈额定电流的 30%~65%, 释放电流为线圈额定电流的 10%~20%。因此, 当通过欠电流继电器线圈的电流降低到额定电流的 10%~20%时, 继电器即释放复位, 其常开触头断开、常闭触头闭合, 给出控制信号, 使控制电路做出相应的反应。

欠电流继电器在电路图中的符号如图 3-9 所示。

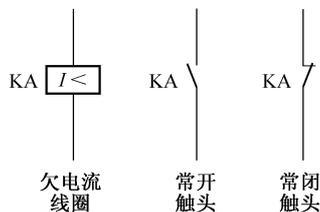


图 3-9 欠电流继电器的符号

## 3.1.4 电压继电器

反映输入量为电压的继电器叫电压继电器。使用时电压继电器的线圈并联在被测量的电路中, 根据线圈两端电压的大小而接通或断开电路。因此这种继电器线圈的导线细、匝数多、阻抗大。

根据实际应用的要求, 电压继电器分为过电压继电器、欠电压继电器和零电压继电器。过电压继电器是当电压大于其整定值时动作的电压继电器, 主要用于对电路或设备作过电压保护, 常用的过电压继电器为 JT4-A 系列, 其动作电压可在 105%~120%额定电压范围内调整。欠电压继电器是当电压降至某一规定范围时动作的电压继电器; 零电压继电器是欠电压继电器的一种特殊形式, 是当继电器的端电压降至零或接近消失时才动作的电压继电器。可见欠电压继电器和零电压继电器在线路正常工作时, 铁心与衔铁是吸合的, 当电压降至低于整定值时, 衔铁释放, 带动触头动作, 对电路实现欠电压或零电压保护。常用的欠电压和零电压继电器有 JT4-P 系列, 欠电压继电器的释放电压可在 40%~70%额定电压范围内整定, 零电压继电器

的释放电压可在 10%~35%额定电压范围内调节。

电压继电器的结构、工作原理及安装使用等知识与电流继电器类似，这里不再重复。

电压继电器主要依据继电器的线圈额定电压、触头的数目和种类进行选择。

电压继电器在电路图中的符号如图 3-10 所示。

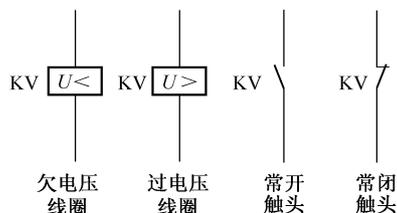


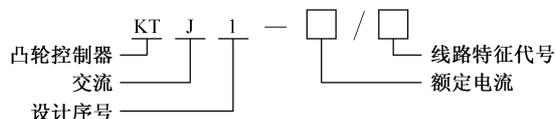
图 3-10 电压继电器的符号

### 3.1.5 凸轮控制器

凸轮控制器就是利用凸轮来操作动触头动作的控制器。主要用于容量不大于 30kW 的中小型绕线转子异步电动机线路中，借助其触头系统直接控制电动机的启动、停止、调速、反转和制动，具有线路简单、运行可靠、维护方便等优点，在桥式起重机等设备中得到广泛应用。

常用的凸轮控制器有 KTJ1、KTJ15、KT10、KT12 及 KT14 等系列，下面以 KTJ1 系列为例进行介绍。

#### 1. 凸轮控制器的型号及含义



#### 2. 凸轮控制器的结构及工作原理

KTJ1-50/1 型凸轮控制器外形与结构如图 3-11 所示。它主要由手柄（或手轮）、触头系统、转轴、凸轮和外壳等部分组成。其触头系统共有 12 对触头，9 常开、3 常闭。其中，4 对常开触头接在主电路中，用于控制电动机的正反转，配有石棉水泥制成的灭弧罩，其余 8 对触头用于控制电路中，不带灭弧罩。

凸轮控制器的工作原理：动触头与凸轮固定在转轴上，每个凸轮控制一个触头。当转动手柄时，凸轮随轴转动，当凸轮的凸起部分顶住滚轮时，动、静触头分开；当凸轮的凹处与滚轮相碰时，动触头受到触头弹簧的作用压在静触头上，动、静触头闭合，在方轴上叠装形状不同的凸轮片，可使各个触头按预定的顺序闭合或断开，从而实现不同的控制目的。

凸轮控制器的触头分合情况，通常用触头分合表来表示。KTJ1-50/1 型凸轮控制器的触头分合表如图 3-12 所示。图的上面第二行表示手轮的 11 个位置，左侧就是凸轮控制器的 12 对触头。各触头在手轮处于某一位置时的通、断状态用某些符号标记，符号“×”表示对应触头在手轮处于此位置时是闭合的，无此符号表示是分断的。例如：手轮在反转“3”位置时，触头 AC2、AC4、AC5、AC6 及 AC11 处有“×”标记，表示这些触头是闭合的，其余触头是断开的。两触头之间有短接线的（如 AC2~AC4 左边的短接线）表示它们一直是接通的。

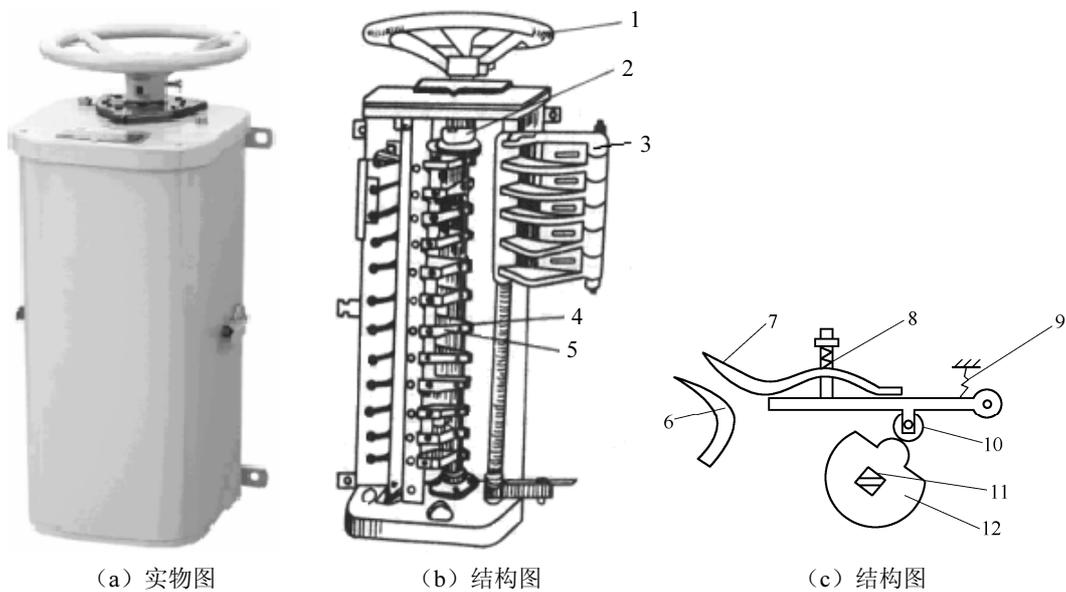


图 3-11 KTJ1 系列凸轮控制器

1—手轮；2、11—转轴；3—灭弧罩；4、7—动触头；  
5、6—静触头；8—触头弹簧；9—弹簧；10—滚轮；12—凸轮

	反转					零位	正转				
	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
AC1							*	*	*	*	*
AC2	*	*	*	*	*						
AC3							*	*	*	*	*
AC4	*	*	*	*	*						
AC5	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*
AC6	*	*	*	*					*	*	*
AC7	*	*							*	*	
AC8	*									*	
AC9	*										*
AC10							*	*	*	*	*
AC11	*	*	*	*	*						
AC12											

图 3-12 凸轮控制器触头分合表

### 3. 凸轮控制器的选用

凸轮控制器主要根据所控制电动机的容量、额定电压、额定电流、工作制和控制位置数目等来选择。

KTJ1 系列凸轮控制器的技术数据见表 3-6。

表 3-6 KTJ1 系列凸轮控制器的技术数据

型号	位置数		额定电流 (A)		额定控制功率 (kW)		每小时操作次数不高于	质量 (kg)
	向前 (上升)	向后 (下降)	长期工作制	通电持续率在 40% 以下的工作制	220V	380V		
KTJ1-50/1	5	5	50	75	16	16	600	28
KTJ1-50/2	5	5	50	75	*	*		26
KTJ1-50/3	1	1	50	75	11	11		28
KTJ1-50/4	5	5	50	75	11	11		23
KTJ1-50/5	5	5	50	75	2×11	2×11		28
KTJ1-50/6	5	5	50	75	11	11		32
KTJ1-50/1	6	6	80	120	22	30		38
KTJ1-80/3	6	6	80	120	22	30		38
KTJ1-150/1	7	7	150	225	60	100		—

注：“\*”无定子电路触头，其最大功率由定子电路中的接触器容量决定。

#### 4. 凸轮控制器的安装与使用

(1) 凸轮控制器在安装前应检查外壳及零件有无损坏，并清除内部灰尘。

(2) 安装前应操作控制器手柄不小于 5 次，检查有无卡轧现象。检查触头的分合顺序是否符合规定的分合表要求及每一对触头是否动作可靠。

(3) 凸轮控制器必须牢固可靠地安装在墙壁或支架上，其金属外壳上的接地螺钉必须与接地线可靠连接。

(4) 应接触头分合表或电路图要求接线，经反复检查，确认无误后才能通电。

(5) 凸轮控制器安装结束后，应进行空载试验。启动时若凸轮控制器转到 2 位置后电动机仍未转动，则应停止启动，检查线路。

(6) 启动操作时，手轮不能转动太快，应逐级启动，防止电动机的启动电流过大。

(7) 凸轮控制器停止使用时，应将手轮准确地停在零位。

#### 5. 凸轮控制器的常见故障及处理方法。

凸轮控制器的常见故障及处理方法见表 3-7。

表 3-7 凸轮控制器的常见故障及处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
主电路中常开主触头间短路	灭弧罩破裂	调换灭弧罩
	触头间绝缘损坏	调换凸轮控制器
	手轮转动过快	降低手轮转动速度
触头过热使触头支持件烧焦	触头接触不良	修整触头
	触头压力变小	调整或更换触头压力弹簧
	触头上连接螺钉松动	旋紧螺钉
	触头容量过小	调换控制器

续表

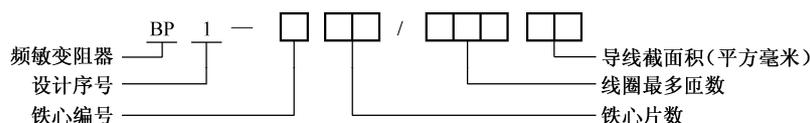
故障现象	可能原因	处理方法
触头熔焊	触头弹簧脱落或断裂	调换触头弹簧
	触头脱落或磨光	更换触头
操作时有卡轧现象及噪声	滚动轴承损坏	调换轴承
	异物嵌入凸轮鼓或触头	清除异物

### 3.1.6 频敏变阻器

频敏变阻器是利用铁磁材料的损耗随频率变化来自动改变等效阻抗值，以使电动机达到平滑启动的变阻器。它是一种静止的无触点电磁元件，实质上是一个铁心损耗非常大的三相电抗器。它适用于在绕线转子异步电动机的转子回路中作启动电阻用。在电动机启动时，将频敏变阻器串接在转子绕组中，由于频敏变阻器的等效阻抗随转子电流频率减小而减小，从而减小机械和电流的冲击，实现电动机的平稳无级启动。

常用的频敏变阻器有 BP1、BP2、BP3、BP4 和 BP6 等系列，可按系列分类，每一系列有其特定用途。下面对 BP1 系列做一简要介绍。

#### 1. 频敏变阻器的型号及含义



BP1 系列频敏变阻器分为偶尔启动用(BP1-200 型、BP1-300 型)和重复短时工作制(BP1-400 型、BP1-500 型)两类。

#### 2. 频敏变阻器的结构及工作原理

频敏变阻器的结构为开启式，类似于没有二次绕组的三相变压器。BP1 系列频敏变阻器的外形和结构如图 3-13 所示。它主要由铁心和绕组两部分组成。铁心由数片 E 形钢板叠成，上下铁心用四根螺栓固定。其工作原理如下：三相绕组通入电流后，由于铁心是用厚钢板制成，交流磁通在铁心中产生很大涡流，产生很大的铁心损耗。频率越高，涡流越大，铁损也越大。交变磁通在铁心中的损耗可等效地看作电流在电阻中的损耗，因此，频率变化时相当于等效电阻的阻值在变化。在电动机刚启动的瞬间，转子电流的频率最高（等于电源的频率），频敏变阻器的等效阻抗最大，限制了电动机的启动电流；随着转子转速的升高，转子电流的频率逐渐减小，频敏变阻器的等效阻抗也逐渐减小，从而使电动机转速平稳地上升到额定转速。

用频敏变阻器启动绕线转子异步电动机的优点是：启动性能好，无电流和机械冲击，结构简单，价格低廉，使用维护方便。但功率因数较低，启动转矩较小，不宜用于重载启动。

频敏变阻器在电路图中的符号如图 3-13 (c) 所示。

#### 3. 频敏变阻器的选用

- (1) 根据电动机所拖动的生产机械的启动负载特性和操作频繁程度，选择频敏变阻器。
- (2) 按电动机功率选择频敏变阻器的规格。在确定了所选择的频敏变阻器系列后，根据电动机的功率查有关技术手册，即可确定配用的频敏变阻器规格。

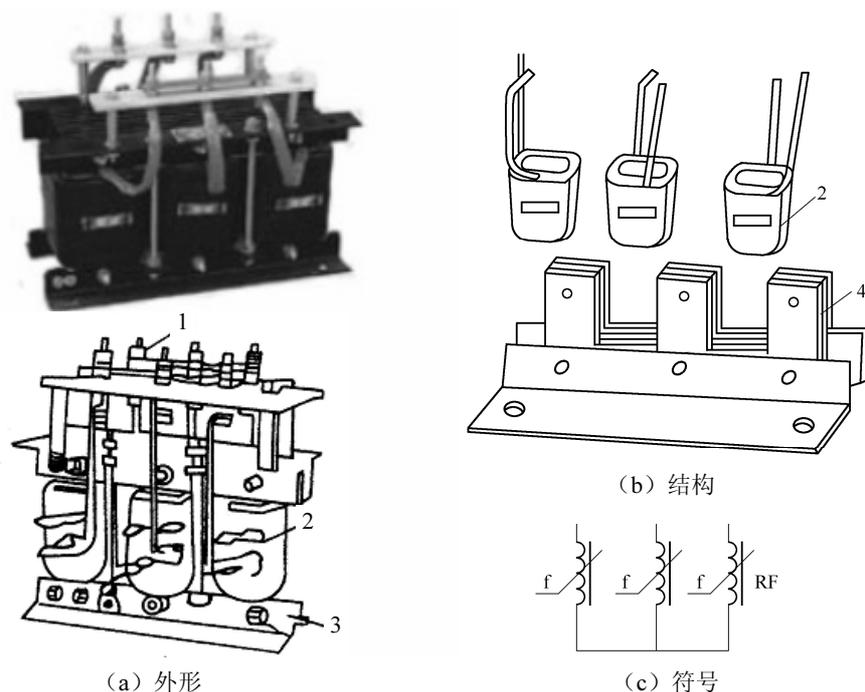


图 3-13 频敏变阻器

1—接线柱；2—线圈；3—底座；4—铁心

#### 4. 频敏变阻器的安装与使用

(1) 频敏变阻器应牢固地固定在基座上，当基座为铁磁物质时应在中间垫入 10mm 以上的非磁性垫片，以防影响频敏变阻器的特性，同时变阻器还应可靠地接地。

(2) 连接线应按电动机转子额定电流选用相应截面的电缆线。

(3) 试车前，应先测量对地绝缘电阻，如其值小于  $1M\Omega$ ，则必须先进行烘干处理后方可使用。

(4) 试车时，如发现启动转矩或启动电流过大或过小，应对频敏变阻器进行调整。

(5) 使用过程中应定期清除尘垢，并检查线圈的绝缘电阻。

#### 5. 频敏变阻器的常见故障处理方法

频敏变阻器的结构简单，常见的故障主要有线圈绝缘电阻降低或绝缘损坏、线圈断路或短路及线圈烧毁等情况，其处理方法可参看接触器的有关内容。

## 3.2 电气控制线路

前面介绍的各种控制线路在启动时，加在电动机定子绕组上的电压为电动机的额定电压，属于全压启动，也称直接启动。直接启动的优点是电气设备少，线路简单，维修量较小。但是全压启动电流很大，启动电流一般为额定电流的 4~7 倍。在电源变压器容量不够大而电动机功率较大的情况下，直接启动将导致电源变压器输出电压下降，不仅减小电动机本身的启动转矩，而且会影响同一供电线路中其他电气设备的正常工作。因此，较大容量的电动机需采用降压启动。

通常规定：电源容量在 180kVA 以上，电动机容量在 7kW 以下的三相异步电动机可采用直接启动。

判断一台电动机能否直接启动，还可以用下面的经验公式来确定：

$$\frac{I_{st}}{I_N} \leq \frac{3}{4} + \frac{S}{4P}$$

式中  $I_{st}$ ——电动机全压启动电流 (A)；

$I_N$ ——电动机额定电流 (A)；

$S$ ——电源变压器容量 (kVA)；

$P$ ——电动机功率 (kW)。

凡不满足直接启动条件的，均须采用降压启动。

降压启动是指利用启动设备将电压适当降低后加到电动机的定子绕组上进行启动，待电动机启动运转后，再使其电压恢复到额定值正常运转。由于电流随电压的降低而减小，所以降压启动达到了减小启动电流之目的。但是，由于电动机转矩与电压的平方成正比，所以降压启动也将导致电动机的启动转矩大为降低。因此，降压启动需要在空载或轻载下启动。

在实际生产中对要求启动转矩较大且能平滑调速的场合，常常采用三相绕线转子异步电动机。绕线转子异步电动机的优点是可以通过滑环在转子绕组中串接电阻来改善电动机的机械特性，从而达到减小启动电流、增大启动转矩以及平滑调速之目的。

启动时，在转子回路中接入作 Y 形连接、分级切换的三相启动电阻器，并把可变电阻放到最大位置，以减小启动电流，获得较大的启动转矩。随着电动机转速的升高，可变电阻逐级减小。启动完毕后，可变电阻减小到零，转子绕组被直接短接，电动机便在额定状态下运行。

如果电动机要调速，则将可变电阻调到相应的位置即可，这时可变电阻便成为调速电阻。

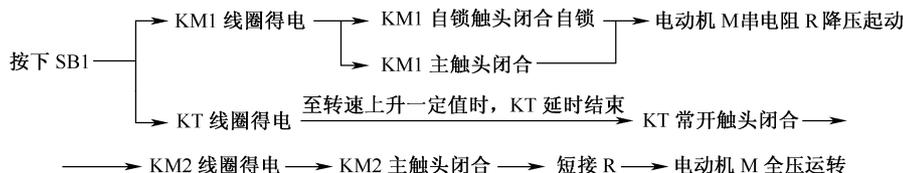
下面分别介绍四种三相鼠笼异步电动机降压启动方法和三种三相绕线转子异步电动机降压启动方法。

### 3.2.1 三相鼠笼异步电动机定子绕组串接电阻降压启动控制

定子绕组串接电阻降压启动是指在电动机启动时，把电阻串接在电动机定子绕组与电源之间，通过电阻的分压作用来降低定子绕组上的启动电压。待电动机启动后，再将电阻短接，使电动机在额定电压下正常运行。这种降压启动控制线路有手动控制、按钮及接触器控制、时间继电器自动控制和手动自动混合控制等四种形式。下面重点介绍时间继电器自动控制降压启动，其余的读者可自行分析、设计。

时间继电器自动控制电路图如图 3-14 (a) 所示。

线路的工作原理如下：合上电源开关 QS。



停止时，按下 SB2 即可实现。

由以上分析可见，当电动机 M 全压正常运转时，接触器 KM1 和 KM2、时间继电器 KT

的线圈均需长时间通电，从而使能耗增加，电器寿命缩短。为此，设计了如图 3-14 (b) 所示线路，该线路的主电路中，KM2 的三对主触头不是直接并接在启动电阻 R 两端，而是把接触器 KM1 的主触头也并接了进去，这样接触器 KM1 和时间继电器 KT 只作短时间的降压启动用，待电动机全压运转后就全部从线路中切除，从而延长了接触器 KM1 和时间继电器 KT 的使用寿命，节省了电能，提高了电路的可靠性。

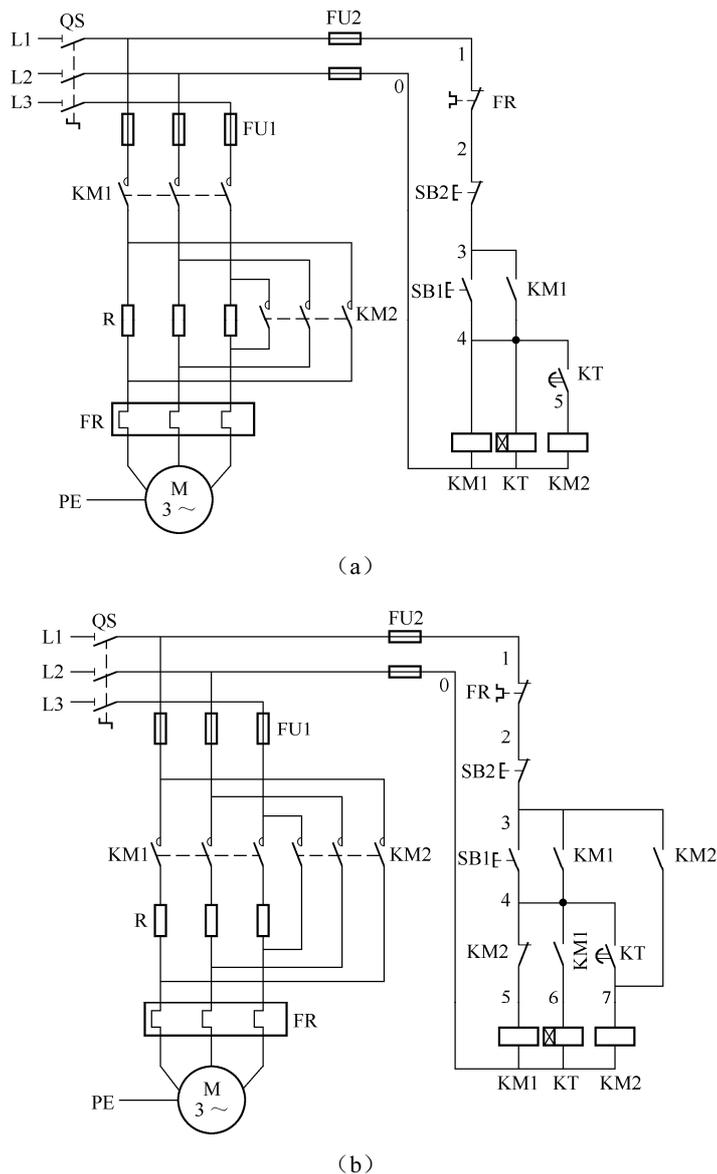


图 3-14 时间继电器自动控制降压启动电路图

串电阻降压启动的缺点是减小了电动机的启动转矩，同时启动时在电阻上功率消耗也较大。如果启动频繁，则电阻的温度很高，对于精密的机床会产生一定的影响，故目前这种降压启动的方法在生产实际中的应用正在逐步减少。

### 3.2.2 三相鼠笼异步电动机自耦变压器（补偿器）降压启动控制线路

自耦变压器降压启动是指电动机启动时利用自耦变压器来降低加在电动机定子绕组上的启动电压。待电动机启动后，再使电动机与自耦变压器脱离，从而在全压下正常运行。

自耦减压启动器又称补偿器，是利用自耦变压器进行降压的启动装置，其产品有手动式和自动式两种。

#### 1. 手动控制补偿器降压启动线路

常用的手动补偿器有 QJ3 系列油浸式和 QJ10 系列空气式两种。QJ3 属应淘汰产品，但仍有相当数量的补偿器在使用中。QJ3 系列手动控制补偿器的结构图如图 3-15 (a) 所示。它主要由箱体、自耦变压器、保护装置、触头系统和手柄操作机构五部分组成。

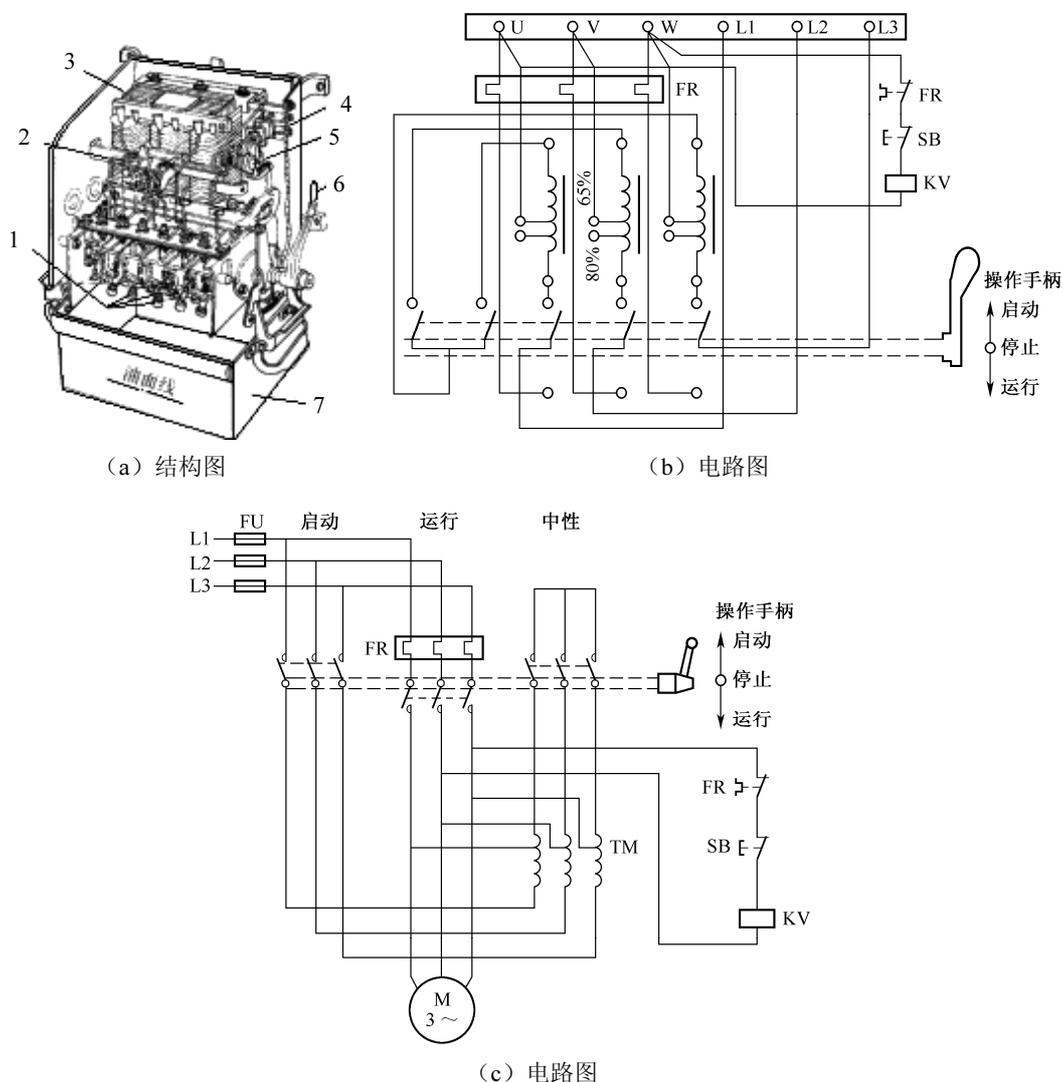


图 3-15 QJ3 系列手动控制补偿器

1—启动静触头；2—热继电器；3—自耦变压器；4—欠压保护装置；5—停止按钮；6—操作手柄；7—油箱

自耦变压器、保护装置和手柄操作机构装在箱架的上部。自耦变压器的抽头电压有两种,分别是电源电压的 65%和 80%(出厂时接在 65%),使用时可以根据电动机启动时负载的大小来选择不同的启动电压。线圈是按短时通电设计的,只允许连续启动两次。补偿器的电寿命为 5 000 次。

保护装置有欠压保护和过载保护两种。欠压保护采用欠压脱扣器,它由线圈、铁心和衔铁组成。其线圈 KV 跨接在 U、W 两相之间。在电源电压正常情况下,线圈得电能使铁心吸住衔铁。但当电源电压降低到额定电压的 85%以下时,线圈中的电流减小,使铁心吸力减弱而吸不住衔铁,故衔铁下落,并通过操作机构使补偿器掉闸,切断电动机电源,起到欠压保护作用。同理,在电源突然断电时(失压或零压),补偿器同样会掉闸,从而避免了电源恢复供电时电动机自行全压启动。过载保护采用可以手动复位的 JR0 型热继电器 FR,FR 的热元件串接在电动机与电源之间,其常闭触头与欠压脱扣器线圈 KV、停止按钮 SB 串接在一起。在室温 35℃环境下,当电流增加到额定电流的 1.2 倍时,热继电器 FR 动作,其常闭触头分断,KV 线圈失电使补偿器掉闸,切断电源停车。

手柄操作机构包括手柄、主轴和机械联锁装置等。

触头系统包括两排静触头 and 一排动触头,并全部装在补偿器的下部,浸没在绝缘油内。绝缘油的作用是:熄灭触头分断时产生的电弧。绝缘油必须保持清洁,防止水分和杂物掺入,以保证有良好的绝缘性能。上面一排静触头共有五个,叫启动静触头,其中右边三个在启动时与动触头接触,左边两个在启动时将自耦变压器的三相绕组接成 Y;下面一排静触头只有三个,叫运行静触头;中间一排是动触头,共有五个,装在主轴上,右边三个触头用软金属带连接接线板上的三相电源,左边两个触头是自行接通的。

QJ3 系列补偿器的电路图如图 3-15 (b) 所示,其动作原理如下:当手柄扳到“停止”位置时,装在主轴上的动触头与两排静触头都不接触,电动机处于断电停止状态。

当手柄向前推到“启动”位置时,动触头与上面的一排启动静触头接触,三相电源 L1、L2、L3 通过右边三个动、静触头接入自耦变压器,又经自耦变压器的三个 65%(或 80%)抽头接入电动机进行降压启动;左边两个动、静触头接触则把自耦变压器接成 Y 形。

当电动机的转速上升到一定值时,将手柄向后迅速扳到“运行”位置,使右边三个动触头与下面一排的三个运行静触头接触,这时,自耦变压器脱离,电动机与三相电源 L1、L2、L3 直接相接全压运行。

停止时,只要按下停止按钮 SB,欠压脱扣器线圈 KV 失电,衔铁下落释放,通过机械操作机构使补偿器掉闸,手柄便自动回到“停止”位置,电动机断电停转。

由图 3-15 (b) 可看出,热继电器 FR 的常闭触头、停止按钮 SB、欠压脱扣器线圈 KV,串接在两相电源上,所以当出现电源电压不足、突然停电、电动机过载和停车时,都能使补偿器掉闸,电动机断电停转。

QJ3 系列油浸式自耦减压启动器适用于交流 50Hz 或 60Hz、电压 440V 及以下、容量 75kW 及以下的三相笼型电动机的不频繁启动和停止用。

QJ10 系列空气式手动补偿器是已达 IEC 标准、国家标准以及部颁布标准的改进型产品,适用于交流 50Hz、电压 380V 及以下、容量 75kW 及以下的三相笼型异步电动机的不频繁启

动和停止用。在结构上，QJ10 系列与 QJ3 系列基本相同，也是由箱体、自耦变压器、保护装置、触头系统和手柄操作机构五部分组成。两者不同的是，QJ10 系列的自耦变压器装在箱体的下部，触头系统在补偿器的上部。QJ3 的触头是铜质指形转动式，而 QJ10 触头系统都是借用 CJ10 系列交流接触器的桥式双断点触头，并装有原配的陶土灭弧罩灭弧，且有一组启动触头、一组中性触头和一组运行触头。

QJ10 系列空气式手动补偿器的电路如图 3-15 (c) 所示，其动作原理如下：当手柄扳到“停止”位置时，所有的动、静触头均断开，电动机处于停止状态；当手柄向前推至“启动”位置时，启动触头和中性触头同时闭合，三相电源经启动触头接入自耦变压器 TM，再由自耦变压器的 65%（或 80%）抽头处接入电动机进行降压启动，中性触头则把自耦变压器接成 Y 形；当电动机转速升至一定值后把手柄迅速扳至“运行”位置，启动触头和中性触头先同时断开，运行触头随后闭合，电动机进入全压运行。停止时，按下 SB 即可。

## 2. 按钮、接触器、中间继电器控制的补偿器降压启动控制线路

按钮、接触器、中间继电器控制的补偿器降压启动电路如图 3-16 所示。

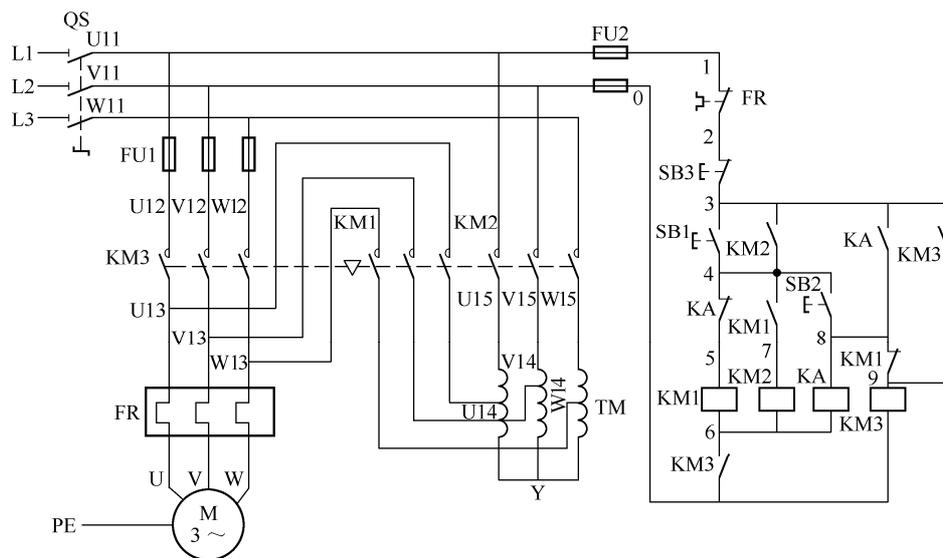


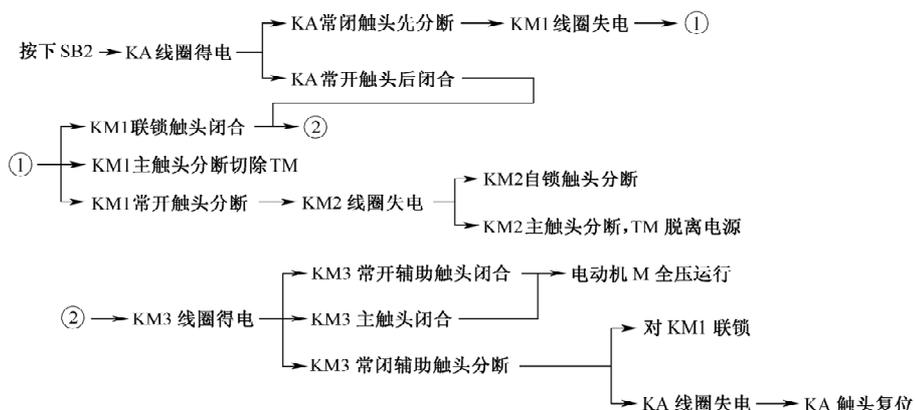
图 3-16 按钮、接触器、中间继电器控制的补偿器降压启动电路图

其线路的工作原理如下：合上电源开关 QS。

### (1) 降压启动。



### (2) 全压运转。当电动机转速上升到接近额定转速时：



停止时,按下 SB3 即可。

该控制线路有如下优点:①启动时若操作者误按 SB2,接触器 KM3 线圈也不会得电,避免电动机全压启动;②由于接触器 KM1 的常开触头与 KM2 线圈串联,所以当降压启动完毕后,接触器 KM1、KM2 均失电,即使接触器 KM3 出现故障使触头无法闭合时,也不会使电动机在低压下运行。该线路的缺点是从降压启动到全压运转,需两次按动按钮,操作不便,且间隔时间也不能准确掌握。

### 3. 时间继电器自动控制补偿器降压启动线路

我国生产的 XJ01 系列自动控制补偿器是广泛应用的自耦变压器降压启动自动控制设备,适用于交流为 50Hz、电压为 380V、功率为 14~300kW 的三相笼型异步电动机的降压启动。

XJ01 系列自动控制补偿器是由自耦变压器、交流接触器、中间继电器、热继电器、时间继电器和按钮等电器元件组成。对于 14~75kW 的产品,采用自动控制方式;对于 100~300kW 的产品,具有手动和自动两种控制方式,由转换开关进行切换。时间继电器可调,在 5~120s 内可以自由调节控制启动时间。自耦变压器备有额定电压 60%及 80%两挡抽头。补偿器具有过载和失压保护,最大启动时间为 2min(包括一次或连续数次启动时的总和),若启动时间超过 2min,则启动后的冷却时间应不少于 4h 才能再次启动。

XJ01 型自动控制补偿器降压启动的电路如图 3-17 所示。整个控制线路分为三部分:主电路、控制电路和指示灯电路。线路工作原理请读者自行分析。

自耦变压器降压启动的优点是:启动转矩和启动电流可以调节。缺点是设备庞大,成本较高。因此,这种方法适用于额定电压为 220/380V、接法为  $\Delta/Y$  形、容量较大的三相异步电动机的降压启动。

### 3.2.3 三相鼠笼异步电动机 Y- $\Delta$ 降压启动控制线路

Y- $\Delta$  降压启动是指电动机启动时,把定子绕组接成 Y 形,以降低启动电压,限制启动电流。待电动机启动后,再把定子绕组改接成  $\Delta$  形,使电动机全压运行。凡是在正常运行时定子绕组作  $\Delta$  形连接的异步电动机,均可采用这种降压启动方法。

电动机启动时接成 Y 形,加在每相定子绕组上的启动电压只有  $\Delta$  形接法的  $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 。启动电流为  $\Delta$  形接法的  $\frac{1}{3}$ ,启动转矩也只有  $\Delta$  形接法的  $\frac{1}{3}$ 。所以这种降压启动方法,只适用于轻载或空载下启动。

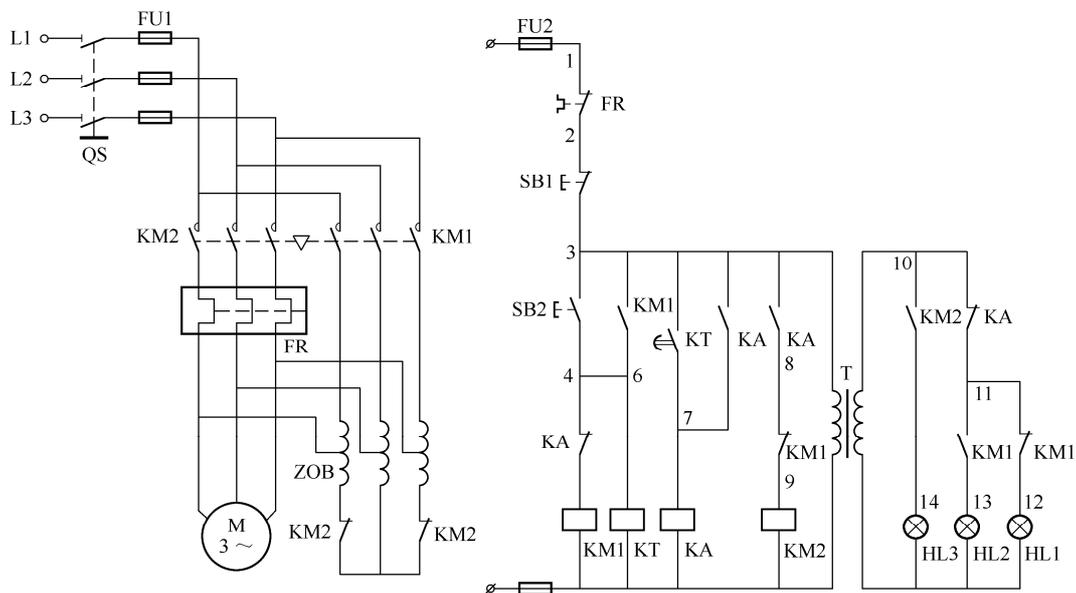


图 3-17 XJ01 型自动控制补偿器降压启动的电路图

### 1. 按钮、接触器控制 Y- $\Delta$ 降压启动线路

用按钮和接触器控制 Y- $\Delta$  降压启动电路如图 3-18 所示。该线路使用了三个接触器、一个热继电器和三个按钮。接触器 KM 作引入电源用，接触器 KMY 和 KM $\Delta$  分别作 Y 形启动用和  $\Delta$  形运行用，SB1 是启动按钮，SB2 是 Y- $\Delta$  换接按钮，SB3 是停止按钮，FU1 作为主电路的短路保护，FU2 作为控制电路的短路保护，FR 作为过载保护。

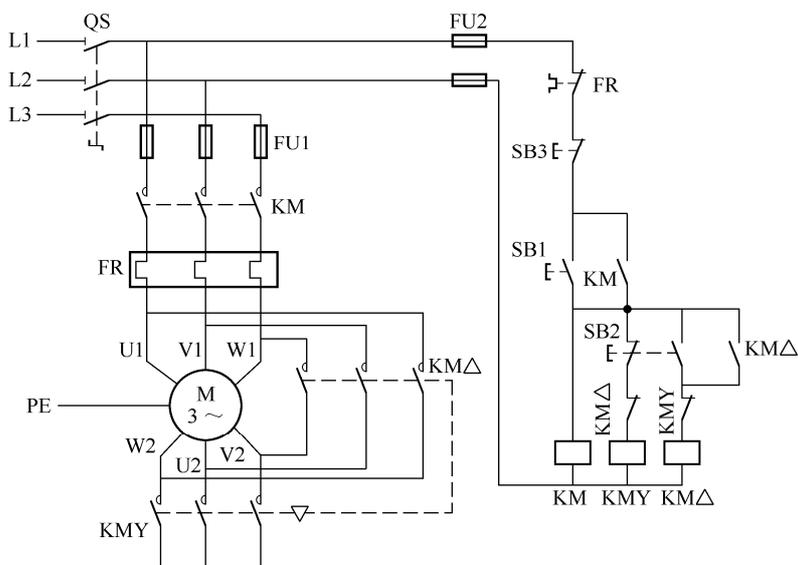


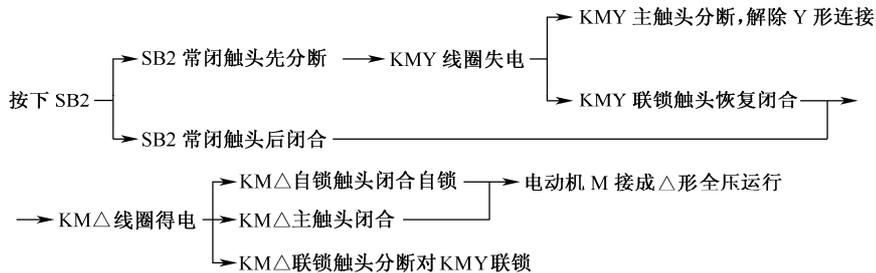
图 3-18 按钮、接触器控制 Y- $\Delta$  降压启动电路图

线路的工作原理如下：先合上电源开关 QS。

(1) 电动机 Y 形接法降压启动。



(2) 电动机  $\Delta$  形接法全压运行。当电动机转速上升并接近额定值时：



停止时按下 SB3 即可实现。

## 2. 时间继电器自动控制 Y- $\Delta$ 降压启动线路

时间继电器自动控制 Y- $\Delta$  降压启动电路如图 3-19 所示。该线路由三个接触器、一个热继电器、一个时间继电器和两个按钮组成。时间继电器 KT 用作控制 Y 形降压启动时间和完成 Y- $\Delta$  自动切换。

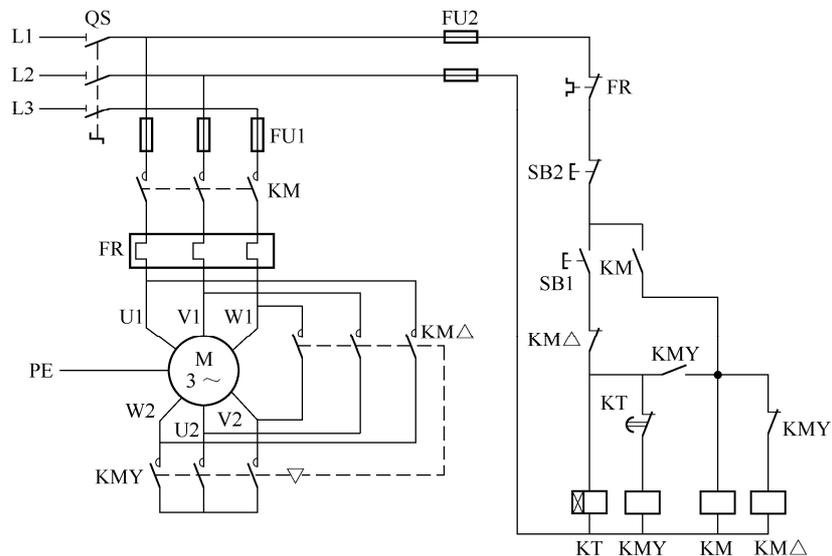
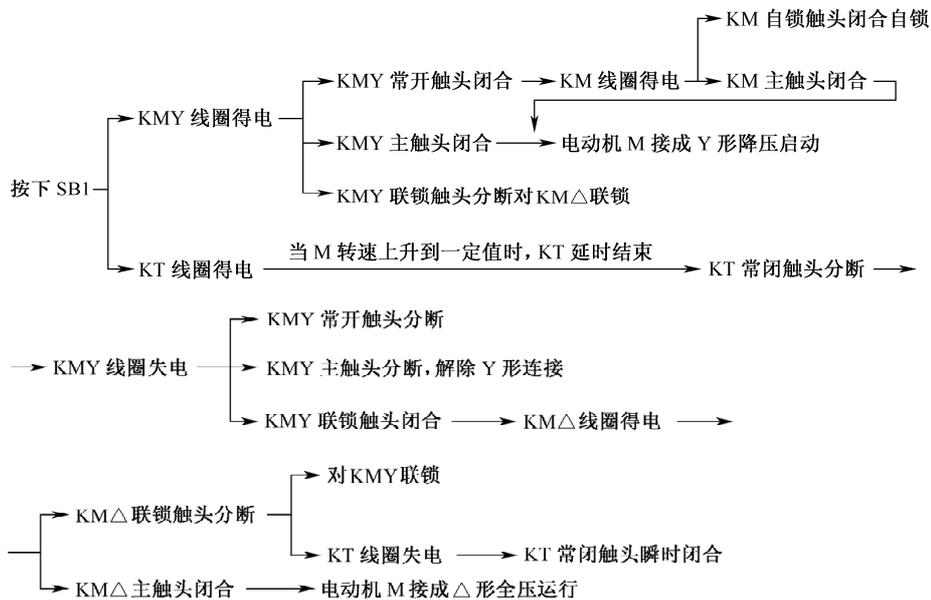


图 3-19 时间继电器自动控制 Y- $\Delta$  降压启动电路图

线路的工作原理如下：先合上电源开关 QS。



停止时按下 SB2 即可。

该线路中，接触器 KMY 得电以后，通过 KMY 的常开辅助触头使接触器 KM 得电动作，这样 KMY 的主触头是在无负载的条件下进行闭合的，故可延长接触器 KMY 主触头的使用寿命。

### 3. Y-Δ自动启动器

时间继电器自动控制 Y-Δ 降压启动线路的定型产品有 QX3、QX4 两个系列，称之为 Y-Δ 自动启动器。

QX4 系列 Y-Δ 自动启动器电路如图 3-20 所示。这种启动器主要由三个接触器 (KM1、KMY、KMΔ)、一个热继电器 FR、一个通电延时型时间继电器 KT 和按钮等组成，关于各电器的作用和线路的工作原理，读者可参照上述几个线路自行分析。

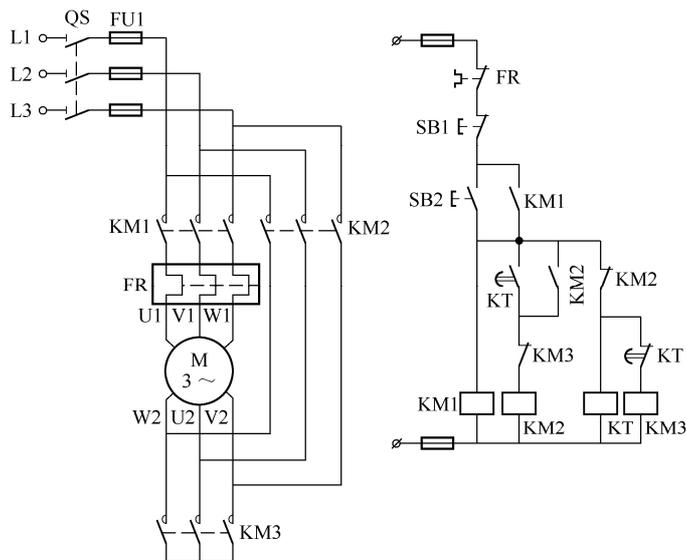


图 3-20 QX4 系列 Y-Δ 自动启动器电路图

### 3.2.4 延边 $\Delta$ 降压启动控制线路

延边 $\Delta$ 降压启动是指电动机启动时，把定子绕组的一部分接成“ $\Delta$ ”，另一部分接成“Y”，使整个绕组接成延边 $\Delta$ ，如图 3-21（a）所示。待电动机启动后，再把定子绕组改接成 $\Delta$ 全压运行，如图 3-21（b）所示。

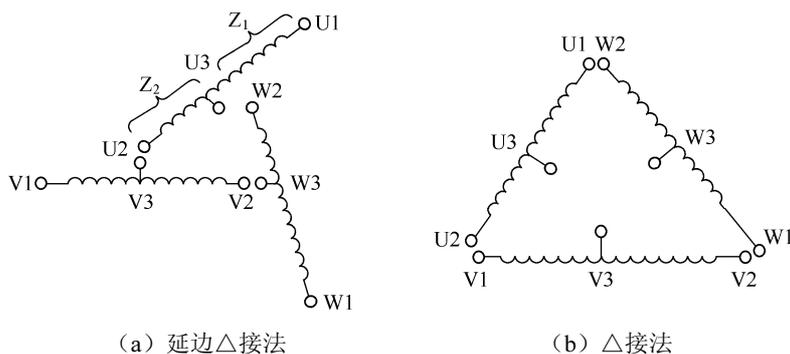


图 3-21 延边 $\Delta$ 降压启动电动机定子绕组的连接方式

延边 $\Delta$ 降压启动是在 Y- $\Delta$ 降压启动的基础上加以改进而形成的一种启动方式，它把 Y 形和 $\Delta$ 形两种接法结合起来，使电动机每相定子绕组承受的电压小于 $\Delta$ 接法时的相电压，而大于 Y 形接法时的相电压，并且每相绕组电压的大小可随电动机绕组抽头（U3、V3、W3）位置的改变而调节，从而克服了 Y- $\Delta$ 降压启动时启动电压偏低、启动转矩偏小的缺点。

电动机接成延边 $\Delta$ 时，每相绕组各种抽头比的启动特性见表 3-8。

表 3-8 延边 $\Delta$ 电动机定子绕组不同抽头比的启动特性

定子绕组抽头比 $K=Z_1:Z_2$	类似于自耦变压器的抽头百分比	启动电流为额定电流的倍数 $I_{st}/I_N$	延边 $\Delta$ 启动时每相绕组电压 (V)	启动转矩为全压启动时的百分比
1:1	71%	3~3.5	270	50%
1:2	78%	3.6~4.2	296	60%
2:1	66%	2.6~3.1	250	42%
当 $Z_2$ 绕组为 0 时即为 Y 形连接	58%	2~2.3	220	33.3%

由图 3-21（a）和表 3-8 可以看出，采用延边 $\Delta$ 启动的电动机需要有 9 个出线端，这样不用自耦变压器，通过调节定子绕组的抽头比  $K$ ，就可以得到不同数值的启动电流和启动转矩，从而满足了不同的使用要求。

延边 $\Delta$ 降压启动电路如图 3-22 所示。

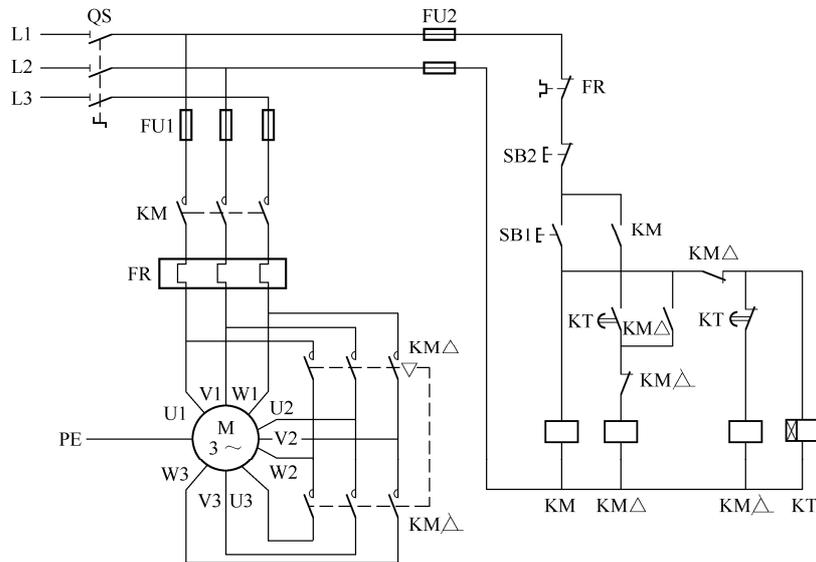
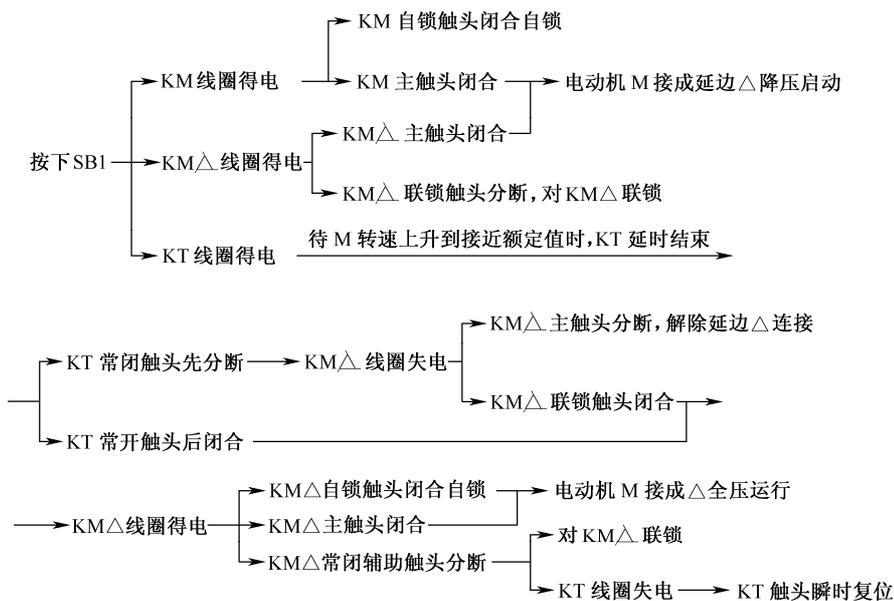


图 3-22 延边 $\Delta$ 降压启动电路图

其工作原理如下：合上电源开关 QS。



停止时按下 SB2 即可。

下面先介绍电路所需的电流继电器、电压继电器、频敏变阻器和凸轮控制器，然后分别介绍三种降压启动。

### 3.2.5 三相绕线转子异步电动机转子绕组串接电阻启动控制线路

电动机转子绕组中串接的外加电阻在每段切除前和切除后，三相电阻始终是对称的，称为三相对称电阻器，如图 3-23 (a) 所示。启动过程依次切除  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ ，最后全部电阻被切

除。与上述相反，启动时串入的全部三相电阻是不对称的，而每段切除后三相仍不对称，称为三相不对称电阻器，如图 3-23 (b) 所示。启动过程依次切除  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ ，最后全部电阻被切除。

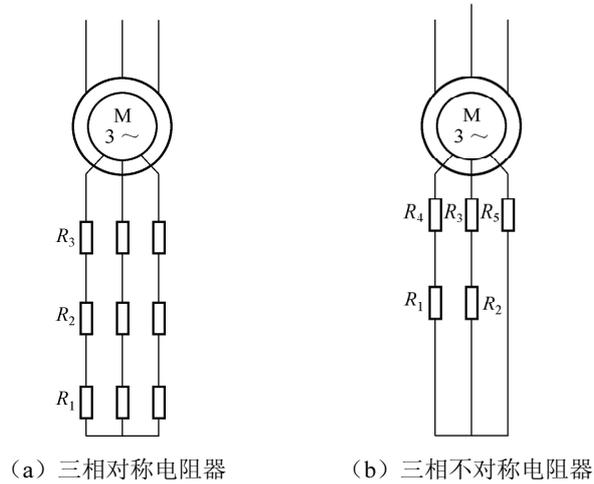


图 3-23 转子串接三相电阻

### 1. 按钮操作控制线路

按钮操作转子绕组串接电阻启动的电路如图 3-24 所示。

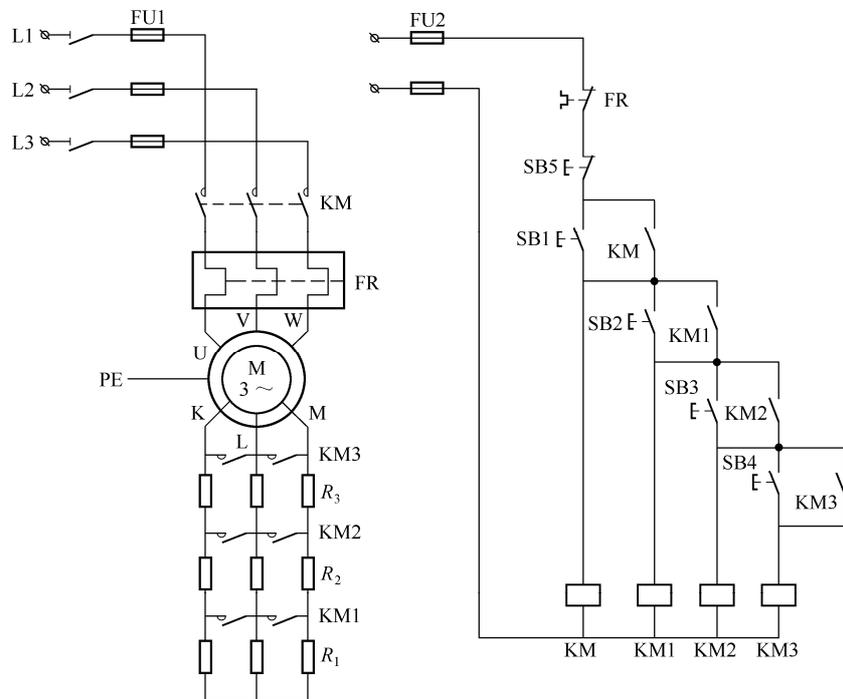
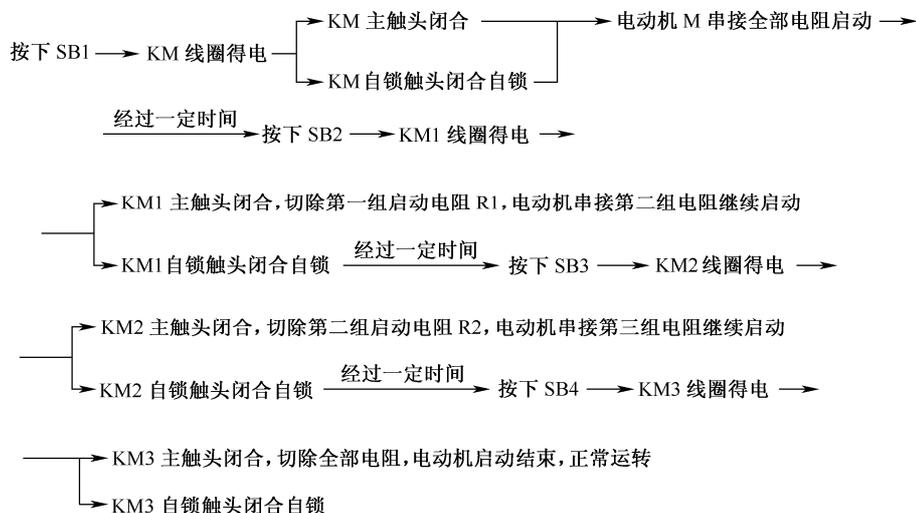


图 3-24 按钮操作转子绕组串接电阻启动的电路图

线路的工作原理如下：合上电源开关 QS。



停止时，按下 SB5 即可。

## 2. 时间继电器自动控制线路

按钮操作控制线路的缺点是操作不便，工作也不安全可靠，所以在实际生产中常采用时间继电器自动控制短接启动电阻的控制线路，如图 3-25 所示。该线路是用三个时间继电器 KT1、KT2、KT3 和三个接触器 KM2、KM3、KM4 的相互配合来依次自动切除转子绕组中的三级电阻的。

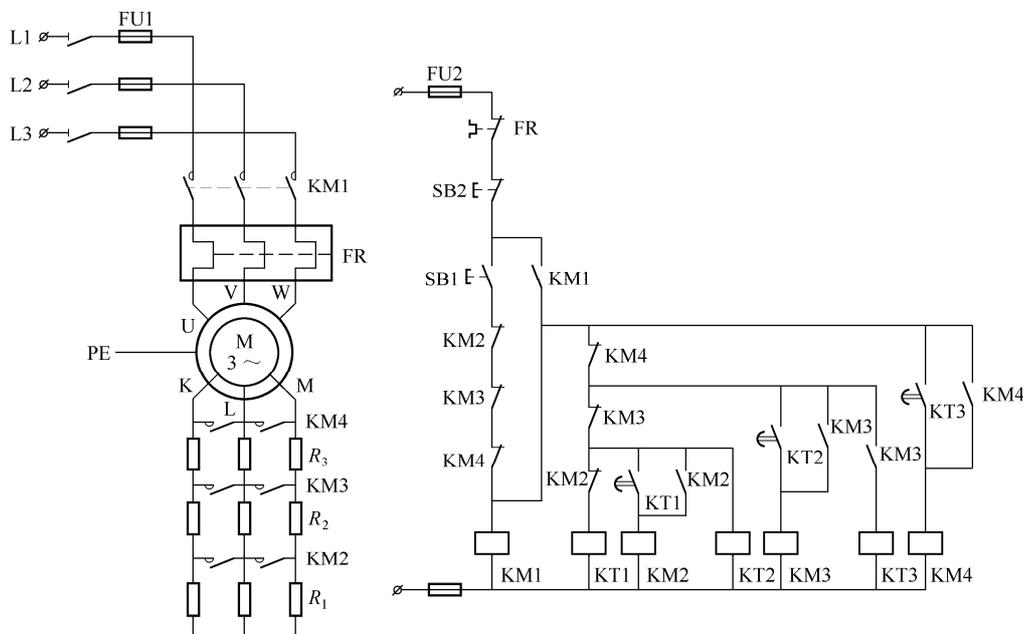
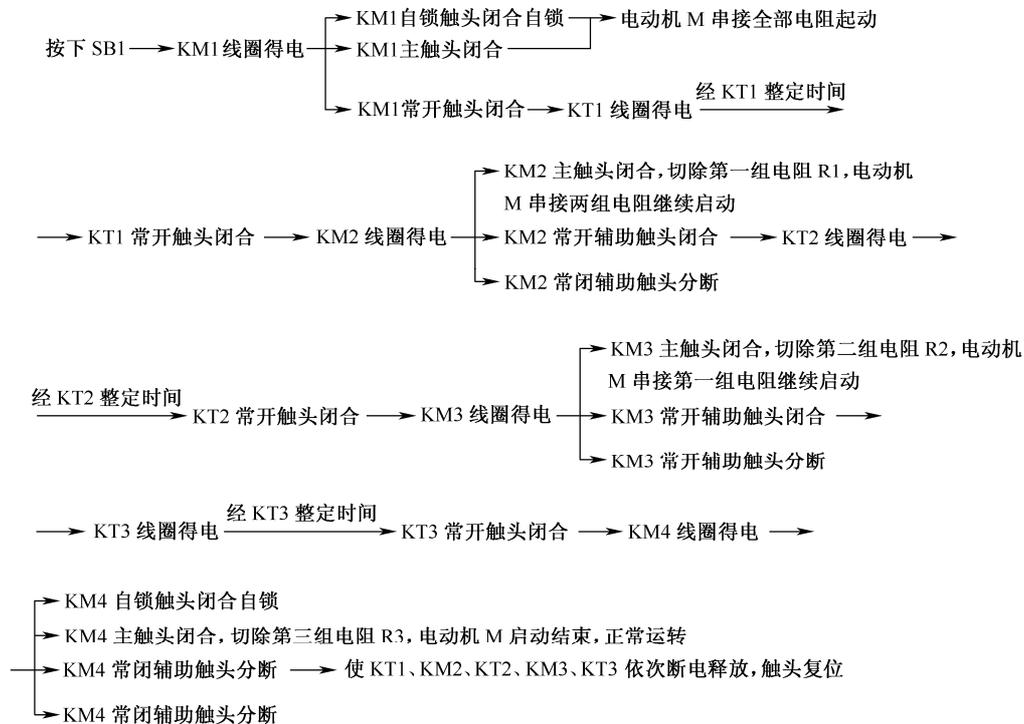


图 3-25 时间继电器自动控制电路图

其线路工作原理如下：合上电源开关 QS。



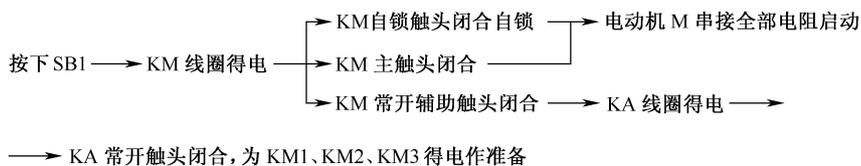
与启动按钮 SB1 串接的接触器 KM2、KM3 和 KM4 常闭辅助触头的作用是保证电动机在转子绕组中接入全部外加电阻的条件下才能启动。如果接触器 KM2、KM3 和 KM4 中任何一个触头因熔焊或机械故障而没有释放时，启动电阻就没有被全部接入转子绕组中，从而使启动电流超过规定值。若把 KM2、KM3 和 KM4 的常闭触头与 SB1 串接在一起，就可以避免这种现象的发生，因为三个接触器中只要有一个触头没有恢复闭合，电动机就不可能接通电源直接启动。

停止时，按下 SB2 即可。

### 3. 电流继电器自动控制线路

电流继电器自动控制电路如图 3-26 所示。该线路是用三个欠电流继电器 KA1、KA2 和 KA3 根据电动机转子电流变化，来控制接触器 KM1、KM2 和 KM3 依次得电动作，逐级切除外加电阻的。三个电流继电器 KA1、KA2、KA3 的线圈串接在转子回路中，它们的吸合电流都一样；但释放电流不同，KA1 的释放电流最大，KA2 次之，KA3 最小。

其线路的工作原理如下：先合上电源开关 QS。



由于电动机 M 刚启动时转子电流很大，三个电流继电器 KA1、KA2、KA3 都吸合，它们接在控制电路中的常闭触头都断开，使接触器 KM1、KM2、KM3 的线圈都不能得电，接在转

子电路中的常开触头都处于分断状态，全部电阻均被串接在转子绕组中。随着电动机转速的升高，转子电流逐渐减小，当减小至 KA1 的释放电流时，KA1 首先释放，使控制电路中 KA1 的常闭触头恢复闭合，接触器 KM1 线圈得电，其主触头闭合，短接切除第一组电阻  $R_1$ 。当  $R_1$  被切除后，转子电流重新增大，但随着电动机转速的继续升高，转子电流又会减小，当减小至 KA2 的释放电流时，KA2 释放，它的常闭触头 KA2 恢复闭合，接触器 KM2 线圈得电，主触头闭合，把第二组电阻  $R_2$  短接切除，如此继续下去，直到全部电阻被切除，电动机启动完毕，进入正常运转状态。

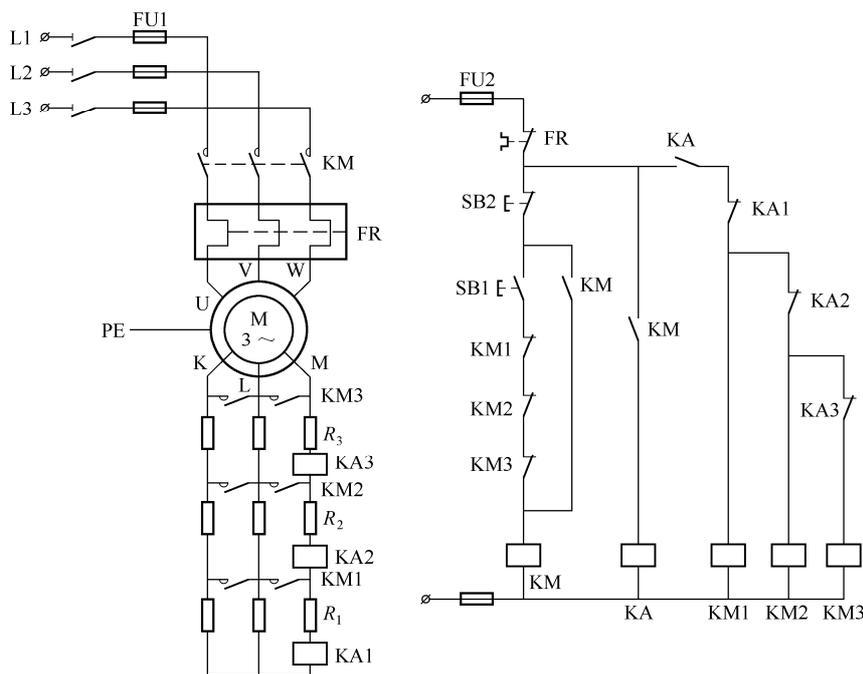


图 3-26 电流继电器自动控制电路图

中间继电器 KA 的作用是保证电动机在转子电路中接入全部电阻的情况下开始启动。因为电动机开始启动时，启动电流由零增大到最大值需一定的时间，这样就有可能出现 KA1、KA2、KA3 还未动作，KM1、KM2、KM3 就已吸合而把电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  短接，使电动机直接启动。采用 KA 后，无论 KA1、KA2、KA3 有无动作，开始启动时可由 KA 的常开触头切断 KM1、KM2、KM3 线圈的通电回路，保证了启动时串入全部电阻。

### 3.2.6 三相绕线转子异步电动机转子绕组串接频敏变阻器启动控制线路

绕线转子异步电动机采用转子绕组串接电阻的启动方法，要想获得良好的启动特性，一般需要较多的启动级数，所用电器较多，控制线路复杂，设备投资大，维修不便，同时由于逐级切除电阻，会产生一定的机械冲击力。因此，在工矿企业中对于不频繁启动设备，广泛采用频敏变阻器代替启动电阻来控制绕线转子异步电动机的启动。

频敏变阻器是一种阻抗值随频率明显变化（敏感于频率）、静止的无触点电磁元件。在电动机启动时，将频敏变阻器 RF 串接在转子绕组中，由于频敏变阻器的等效阻抗随转子电流频

率的减小而减小，从而达到自动变阻的目的。因此，只需用一级频敏变阻器就可以平稳地把电动机启动起来。启动完毕短接切除频敏变阻器。

转子绕组串接频敏变阻器启动的电路如图 3-27 所示。启动过程可以利用转换开关 SA 实现自动控制和手动控制。

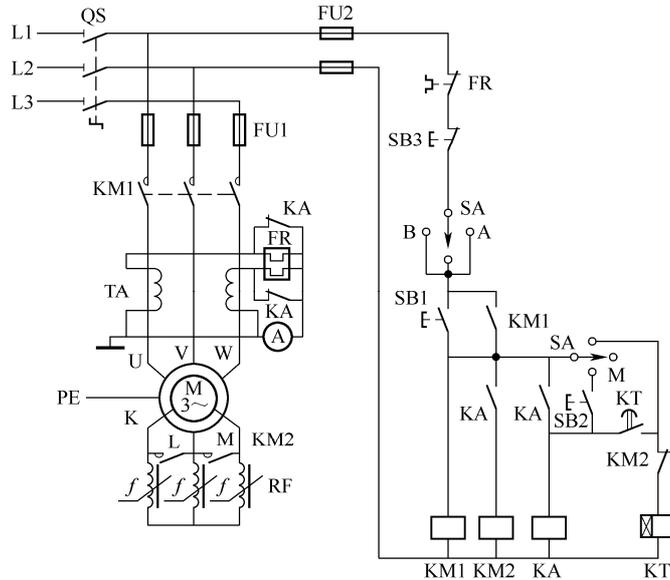
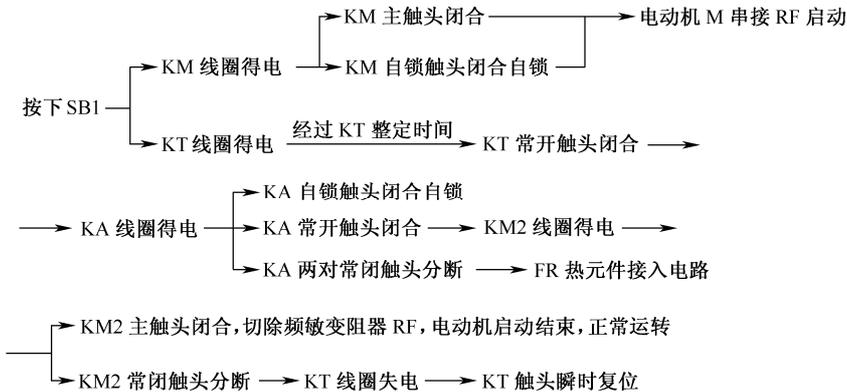


图 3-27 转子绕组串接频敏变阻器启动电路图

采用自动控制时，将转换开关 SA 扳到自动位置（即 A 位置），时间继电器 KT 将起作用。线路工作原理如下：先合上电源开关 QS。



停止时，按下 SB3 即可。

启动过程中，中间继电器 KA 未得电，KA 的两对常闭触头将热继电器 FR 的热元件短接，避免因启动过程较长，而使热继电器过热产生误动作。启动结束后，中间继电器 KA 才得电动作，其两对常闭触头分断，FR 的热元件便接入主电路工作。图中 TA 为电流互感器，其作用是将主电路中的大电流变成小电流，串入热继电器的热元件反映过载程度。

采用手动控制时，将转换开关 SA 扳到手动位置（即 B 位置），这样时间继电器 KT 不起

作用，用按钮 SB2 手动控制中间继电器 KA 和接触器 KM2 的得电动作，以完成短接频敏变阻器 RF 的工作，其工作原理读者可自行分析。

### 3.3 知识拓展

#### 3.3.1 三相鼠笼型电动机正反转 Y- $\Delta$ 降压启动控制线路

有些生产机械设备，要求加工时采用正反转 Y- $\Delta$ 降压启动方式的三相鼠笼型电动机来拖动。

如图 3-28 所示。该电路能实现正、反两个方向的 Y- $\Delta$ 降压启动过程。三相鼠笼型电动机的正反转分别由 KM1 和 KM2 两个接触器来控制，KM3 和 KM4 来完成 Y- $\Delta$ 转换。

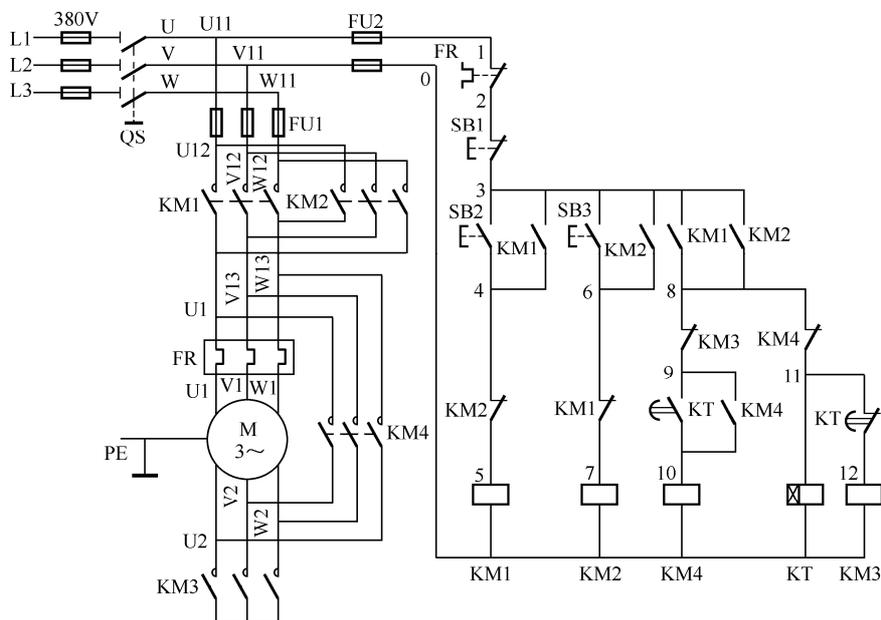


图 3-28 三相鼠笼型电动机正反转 Y- $\Delta$ 降压启动控制电路

#### 3.3.2 三相绕线转子异步电动机凸轮控制器控制线路

绕线转子异步电动机的启动、调速及正反转的控制，常常采用凸轮控制器来实现，尤其是容量不太大的绕线转子异步电动机用得更多，桥式起重机上大部分采用这种控制线路。

绕线转子异步电动机凸轮控制器控制电路如图 3-29 所示。图中转换开关 QS 作引入电源用；熔断器 FU1、FU2 分别作为主电路和控制电路的短路保护；接触器 KM 控制电动机电源的通断，同时起欠压、失压保护作用；位置开关 SQ1、SQ2 分别作为电动机正反转时工作机构运动的限位保护；过电流继电器 KA1、KA2 作为电动机的过载保护；R 是电阻器；AC 是凸轮控制器，它有 12 对触头，如图 3-12 所示。图 3-29 中 12 对触头的分合状态是凸轮控制器手轮处于“0”位时的情况。当手轮处于正转的“1”~“5”挡或反转的“1”~“5”挡时，触头的分合状态如图 3-12 所示，用“×”表示触头闭合，无此标记表示触头断开。AC 最上面的四对配有灭弧罩的常开触头 AC1~AC4 接在主电路中用以控制电动机正反转；中间五对常开

触头 AC5~AC9 与转子电阻相接，用来逐级切换电阻以控制电动机的启动和调速；最下面的三对常闭辅助触头 AC10~AC12 都用作零位保护。

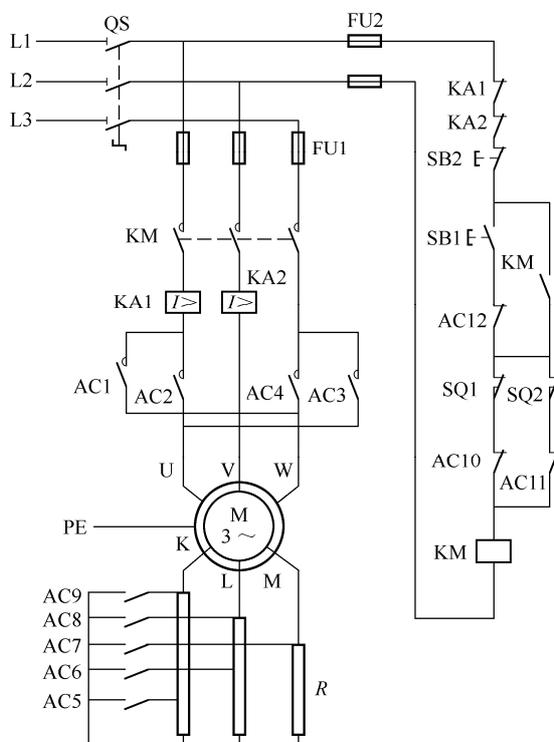


图 3-29 绕线转子异步电动凸轮控制器控制电路

线路的工作原理如下：先合上电源开关 QS，然后将 AC 手轮放在“0”位，这时最下面三对触头 AC10~AC12 闭合，为控制电路的接通做准备。按下 SB1，接触器 KM 线圈得电，KM 主触头闭合，接通电源，为电动机启动做准备，KM 自锁触头闭合自锁。将 AC 手轮从“0”位转到正转“1”位置，这时触头 AC10 仍闭合，保持控制电路接通，触头 AC1、AC3 闭合，电动机 M 接通三相电源正转启动，此时由于 AC 触头 AC5~AC9 均断开，转子绕组串接全部电阻 R，所以启动电流较小，启动转矩也较小。如果电动机负载较重，则不能启动，但可起消除传动齿轮间隙和拉紧钢丝绳的作用。当 AC 手轮从正转“1”位转到“2”位时，触头 AC10、AC1、AC3 仍闭合，AC5 闭合，把电阻器 R 上的一级电阻短接切除，使电动机 M 正转加速。同理，当 AC 手轮扳转到正转“3”和“4”位置时，触头 AC10、AC1、AC3、AC5 仍保持闭合，AC6 和 AC7 先后闭合，把电阻器 R 的两级电阻相继短接，电动机 M 继续正转加速。当手轮转到“5”位置时，AC5~AC9 五对触头全部闭合，电阻器 R 全部电阻被切除，电动机启动完毕后全速运转。

当把手轮转到反转的“1”~“5”位置时，触头 AC2 和 AC4 闭合，接入电动机的三相电源相序改变，电动机反转。触头 AC11 闭合使控制电路仍保持接通，接触器 KM 继续得电工作。凸轮控制器反向启动依次切除电阻的程序及工作原理与正转类同，读者可自行分析。

由凸轮控制器触头分合表（如图 3-12 所示）可以看出，凸轮控制器最下面的三对辅助触

头 AC10~AC12, 只有当手轮置于“0”位时才全部闭合, 而在其余各档位置都只有一对触头闭合 (AC10 或 AC11), 而其余两对断开。这三对触头在控制电路中如此安排, 就保证了手轮必须置于“0”位时, 按下启动按钮 SB1 才能使接触器 KM 线圈得电动作, 然后通过凸轮控制器 AC 使电动机进行逐级启动, 从而避免了电动机的直接启动, 同时也防止了由于误按 SB1 而使电动机突然快速运转产生的意外事故。

## 3.4 技能训练

### 3.4.1 时间继电器自动控制 Y- $\Delta$ 降压启动控制线路的安装与检修

#### 1. 目的要求

掌握时间继电器自动控制 Y- $\Delta$ 降压启动控制线路的安装与检修。

#### 2. 工具、仪表及器材

(1) 工具: 测电笔、螺钉旋具、尖嘴钳、斜口钳、剥线钳、电工刀等。

(2) 仪表: 兆欧表、钳形电流表、万用表。

(3) 器材: 控制板一块, 导线、走线槽若干; 各种规格的紧固体、针形及叉形轧头、金属软管、编码套管等, 其数量按需要而定。电器元件见表 3-9。

表 3-9 元件明细表

代号	名称	型号	规格	数量
M	三相异步电动机	Y112-4	7.5kW、380V、15.4A、 $\Delta$ 接法、1440r/min	1
QS	组合开关	HZ10-25/3	三极、25A	1
FU1	熔断器	RL1-60/25	500V、60A、配熔体 35A	3
FU2	熔断器	RL1-15/2	500V、15A、配熔体 2A	2
KM1~KM2	交流接触器	CJ10-20	20A、线圈电压 380V	1
FR	热继电器	JR16-20/3	三极、20A、整定电流 8.8A	4
KT	时间继电器	JS7-2A	线圈电压 380V	1
SB1~SB2	按钮	LA-10-3H	保护式、380V、5A 按钮数 3	1
XT	端子板	JX-1020	380V、10A、20 节	若干
	主电路导线	BVR-1.0	1.5mm <sup>2</sup> (7 $\times$ 0.52mm)	若干
	控制电路导线	BVR-0.75	1mm <sup>2</sup> (7 $\times$ 0.43 mm)	若干
	按钮线	BVR-1.5	0.75mm <sup>2</sup>	若干
	走线槽		18mm $\times$ 25mm	若干
	控制板		500mm $\times$ 400mm $\times$ 20mm	1

#### 3. 安装训练

(1) 安装步骤及工艺要求。安装工艺要求可参见第 2 章技能训练的工艺要求进行。其安装步骤如下:

1) 按表 3-9 配齐所用电器元件, 并检验元件质量。

- 2) 画电器元件布置图(可参看图 3-19 绘制)。
- 3) 在控制板上按布置图安装电器元件和走线槽,并贴上醒目的文字符号。
- 4) 在控制板上按如图 3-19 所示电路图进行板前线槽布线,并在线头上套上编码套管和冷压接线头。

- 5) 安装电动机。
- 6) 可靠连接电动机和电器元件金属外壳的保护接地线。
- 7) 连接控制板外部的导线。
- 8) 自检。
- 9) 检查无误后通电试车。

#### (2) 注意事项。

1) 用 Y- $\Delta$  降压启动控制的电动机,必须有 6 个出线端子且定子绕组在  $\Delta$  接法时的额定电压等于三相电源线电压。

2) 接线时要保证电动机  $\Delta$  形接法的正确性,即接触器 KM $\Delta$  主触头闭合时,应保证定子绕组的 U1 与 W2、V1 与 U2、W1 与 V2 相连接。

3) 接触器 KMY 的进线必须从三相定子绕组的末端引入,若误将其首端引入,则在 KMY 吸合时,会产生三相电源短路事故。

4) 控制板外部配线,必须按要求一律装在导线通道内,使导线有适当的机械保护,以防止液体、铁屑和灰尘的侵入。在训练时可适当降低要求,但必须以能确保安全为条件,如采用多芯橡皮线或塑料护套软线。

5) 通电校验前要再检查一下熔体规格及时间继电器、热继电器的各整定值是否符合要求。

6) 通电校验必须有指导教师在现场监护,学生应根据电路图的控制要求独立进行校验,若出现故障也应自行排除。

7) 安装训练应在规定定额时间内完成,同时要做到安全操作和文明生产。

#### 4. 检修训练

(1) 故障设置。在控制电路或主电路中人为设置电气故障两处。

(2) 故障检修。其检修步骤及要求如下:

1) 用通电试验法观察故障现象。观察电动机、各电器元件及线路的工作是否正常,若发现异常现象,应立即断电检查。

2) 用逻辑分析法缩小故障范围,并在电路图(如图 3-19 所示)上用虚线标出故障部位的最小范围。

3) 用测量法正确、迅速地找出故障点。

4) 根据故障点的不同情况,采取正确的方法迅速排除故障。

(3) 注意事项。

1) 检修前要先掌握电路图中各个控制环节的作用和原理,并熟悉电动机的接线方法。

2) 在检修过程中严禁扩大和产生新的故障,否则,要立即停止检修。

3) 检修思路和方法要正确。

4) 带电检修故障时,必须有指导教师在现场监护,并要确保用电安全。

5) 检修必须在定额时间内完成。

### 3.4.2 绕线转子异步电动机转子绕组串接频敏变阻器启动控制线路的安装和调试

#### 1. 目的要求

掌握绕线转子异步电动机转子绕组串接频敏变阻器启动控制线路的安装和调试方法。

#### 2. 工具、仪表及器材

(1) 工具：测电笔、螺钉旋具、尖嘴钳、斜口钳、剥线钳、电工刀等。

(2) 仪表：兆欧表、钳形电流表、万用表。

(3) 器材：控制板一块，导线、走线槽若干；各种规格的紧固体、针形及叉形轧头、金属软管、编码套管等。电器元件见表 3-10。

表 3-10 元件明细表

代号	名称	型号	规格	数量
M	绕线转子异步电动机	YZR-132MA-6	2.2KW、380V、6A/11.2A、△接法、1440r/min	1
QS	组合开关	HZ10-25/3	三极、25A	1
FU1	熔断器	RL1-60/25	500V、60A、配熔体 25A	3
FU2	熔断器	RL1-15/2	500V、15A、配熔体 2A	2
KM1~KM2	交流接触器	CJ10-20	20A、线圈电压 380V	1
FR	热继电器	JR16-20/3	三极、20A、整定电流 6A	4
KT	时间继电器	JS7-2A	线圈电压 380V	1
SB1~SB2	按钮	LA-10-3H	保护式、380V、5A 按钮数 3	1
XT	端子板	JX-1020	380V、10A、20 节	若干
RF	频敏变阻器	BP1-004/10003		
	主电路导线	BVR-1.0	1.5mm <sup>2</sup> (7×0.52mm)	若干
	控制电路导线	BVR-0.75	1mm <sup>2</sup> (7×0.43mm)	若干
	按钮线	BVR-1.5	0.75mm <sup>2</sup>	若干
	走线槽		18mm×25mm	若干
	控制板		500mm×400mm×20mm	1

#### 3. 安装步骤及工艺要求

(1) 按表 3-10 配齐所用电器元件，并进行质量检验。要求其外观完好无损，型号规格标注齐全、完整，各项技术指标符合规定要求。

(2) 根据图 3-30 所示电路图，画出布置图。

(3) 在控制板上按布置图安装除电动机、频敏变阻器以外的电器元件，并贴上醒目的文字符号。安装要做到元件布置整齐、匀称、合理、紧固，不损坏电器元件。

(4) 根据电路图在控制板上进行板前线槽布线、套编码套管和冷压接线头。布线要做到横平竖直、整齐、分布均匀、紧贴安装面及走线合理，套编码套管要正确，严禁损伤线芯和导线绝缘，各接点要牢靠不松动，并符合工艺要求。

(5) 安装电动机、频敏变阻器。

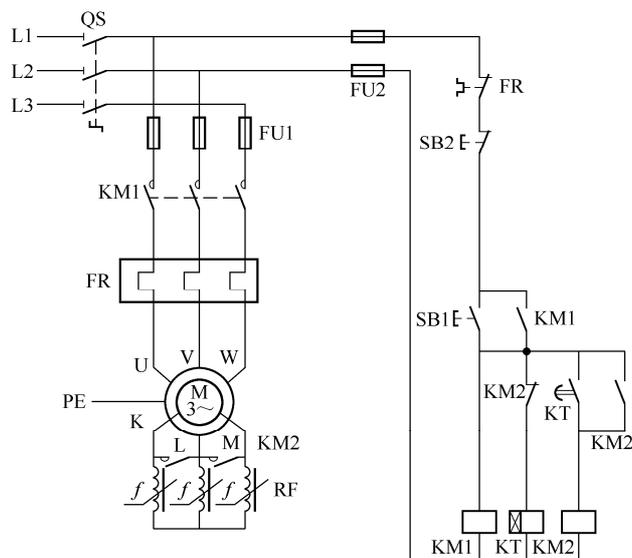


图 3-30 串接频敏变阻器自动启动控制电路图

(6) 可靠连接电动机、频敏变阻器及各电器元件金属外壳的保护接地线。接地线必须接在它们指定的专用接地螺钉上。

(7) 连接电源、电动机、频敏变阻器等控制板外部的导线。

(8) 自检。

(9) 检查无误后通电试车。

#### 4. 注意事项

(1) 时间继电器和热继电器的整定值应由学生在通电前自行整定。

(2) 出现故障后，学生独立进行检修。但通电试车和带电检修时，必须有指导教师在现场监护。

(3) 频敏变阻器要安装在箱体内部。若置于箱外时，必须采取遮护或隔离措施，以防止发生触电事故。

(4) 调整频敏变阻器的匝数和气隙时，必须先切断电源，并按以下方法进行调整。

1) 启动电流过大、启动太快时，应换接触头，使匝数增加，可使用全部匝数。匝数增加将使启动电流减小，启动转矩也同时减小。

2) 启动电流过小、启动转矩太小、启动太慢时，应换接触头，使匝数减少。可使用 80% 或更少的匝数。匝数减少将使启动电流增大，启动转矩也同时增大。

3) 如果刚启动时，启动转矩偏大，机械有冲击现象，而启动完毕后，稳定转速又偏低，这时可在上下铁心间增加气隙。可拧开变阻器两面上的四个拉紧螺栓的螺母，在上、下铁心之间增加非磁性垫片。增加气隙将使启动电流略微增加，启动转矩稍有减小，但启动完毕时转矩稍有增大，使稳定转速得以提高。

## 知识梳理与总结

本项目介绍了三相异步电动机降压启动控制线路中所用时间继电器、中间继电器、凸轮

控制器、频敏变阻器、电流继电器，着重介绍了它们的结构、工作原理、型号、部分技术参数、选择、使用与故障维修，以及图形符号与文字符号，为进一步正确选择、使用和维修低压电器打下良好的基础。

本项目着重介绍了电气控制线路基本控制环节中的三相异步电动机降压启动控制线路。三相鼠笼异步电动机降压启动控制线路包括定子绕组串接电阻降压启动控制线路、自耦变压器降压启动控制线路、Y— $\Delta$ 降压启动控制线路、延边 $\Delta$ 降压启动控制线路；三相绕线转子异步电动机降压启动控制线路包括转子绕组串接电阻降压启动控制线路、转子绕组串接频敏变阻器降压启动控制线路、凸轮控制器控制线路。在介绍的过程中非常详细地分析了各控制电路的特点、工作原理、设计指导思想，以及各种保护环节。

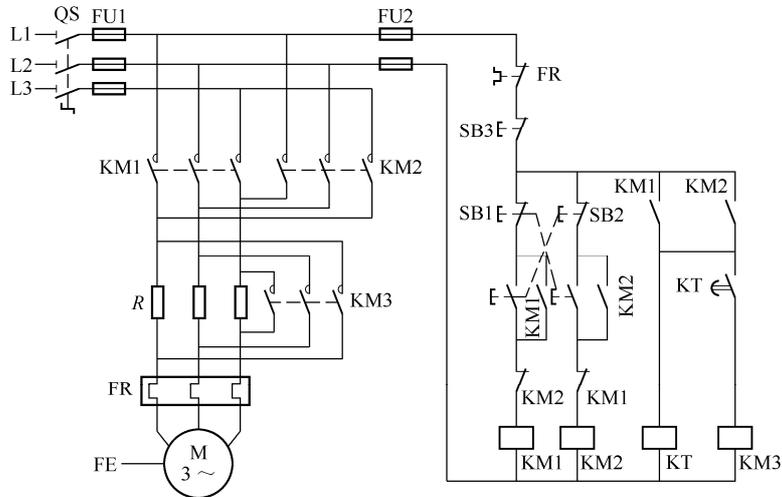
对三相鼠笼异步电动机来说，通常采用定子绕组串接电阻降压启动控制、Y— $\Delta$ 降压启动控制等启动方法；对容量较大的电动机可以采用自耦变压器降压启动控制方法，这种控制线路有手动和自动两种控制方法，利用通电延时继电器来完成自动控制。而对三相绕线转子异步电动机来说，通常采用转子绕组串接电阻降压启动控制的方法，但是这种方法是逐级切除启动电阻，使启动电流和启动转矩瞬间增大，导致机械冲击。绕线转子异步电动机可以采用转子绕组串接频敏变阻器降压启动控制方法来启动，使能耗减少，并且随着启动过程自动平滑地减少电阻，以获得较理想的机械特性，同时简化了控制电路，也提高了工作的可靠性。

为了巩固所学知识，本章最后配备有一定量的技能训练，并详细地介绍了制作、安装、调试及维修过程。另外，在训练的过程中，有些训练留有接线图、元器件布置图的练习环节，以达到真正掌握接线图、元器件布置图的画法。

熟悉掌握这些基本知识，学会分析其工作原理，进一步为后续学习打下良好的基础。

## 思考与练习

1. 中间继电器与交流接触器有什么区别？什么情况下可用中间继电器代替交流接触器使用？
2. 简述空气阻尼式时间继电器的结构。
3. 晶体管时间继电器适用于什么场合？
4. 如果 JS7—A 系列时间继电器的延时时间变短，可能的原因有哪些？如何处理？
5. 什么是电流继电器？与电压继电器相比，其线圈有何特点？
6. 什么是凸轮控制器？其主要作用是什么？如何选择凸轮控制器？
7. 简述频敏变阻器的工作原理。
8. 频敏变阻器有什么优点？如何选用频敏变阻器？
9. 画出下列电器元件的图形符号，并标出对应的文字符号。  
(1) 熔断器；(2) 复合按钮；(3) 复合位置开关；(4) 通电延时型时间继电器；(5) 断电延时型时间继电器；(6) 交流接触器；(7) 接近开关；(8) 中间继电器；(9) 欠电流继电器。
10. 什么叫降压启动？三相鼠笼异步电动机常见的降压启动方法有哪四种？
11. 题图 3-1 所示为正反转串电阻降压启动控制电路图，试分析叙述其工作原理。
12. 试述 QJ3 手动控制补偿器保护装置的欠压和过载保护原理。



题图 3-1

13. 试设计一小车运行电路，要求：

- (1) 小车由原位开始前进，到终点后自动停止；
- (2) 小车在终点停留 2 分钟后自动返回到原位置停止；
- (3) 要求在前进或后退中任一位置均可停止或启动。

## 技能检测

### 一、任务

某一生产机械的工作台用一台三相异步鼠笼式电动机拖动，实现自动往返行程，但当工作台到达两端终点时，都需要停留 5 秒钟再返回进行自动往返；通过操作按钮可以实现电动机正转启动、反转启动、自动往返行程控制以及停车控制。按要求完成电气控制系统的设计、安装与调试。

### 二、要求

1. 设计系统电气原理图（手工绘制，标出端子号）
2. 绘制电气接线图（手工绘制，标出端子号）
3. 根据电机参数和原理图列出元器件清单
4. 系统的安装、接线

根据考场提供的正确的原理图和器件、设备完成元件布置并安装、接线。要求元器件布置整齐、匀称、合理，安装牢固；导线进线槽、美观；接线端接编码套管；接点牢固、接点处裸露导线长度合适、无毛刺；电动机和按钮接线进端子排。

### 5. 系统调试和功能演示

- (1) 器件整定（如有需要）；
- (2) 写出系统调试步骤并完成调试；
- (3) 通电试车完成系统功能演示。

### 三、完成时间：180分钟