

## 第 10 章 常用机械电气控制线路

各种机械的控制线路虽然不同，有的较复杂，但它们都是由一些单元线路所组成。这些单元线路称为“环节”。

“环节”是根据需要将若干电器元件用导线连接起来，以达到动作的要求。机械控制线路是采用框图方式，图中各种电器的各个单独元件可以放在不同的地方。如果是属于同 1 个电器，就用相同的字母和数字来表示。线路图中所有电器的触点都处于静止位置，即电器没有任何动作的位置。例如，对于接触器或继电器来说，线圈没有电流时触点所处位置；按钮是没有受到压力时的静态位置。

本章先介绍一些常用环节，然后介绍目前用得较多的常用机械控制线路。

### 10-1 电气控制线路中常用环节

#### 一、单向点动控制线路

图 10-1 是单向点动（步进或步退）控制线路原理图。将按钮 SB 按下，使 1 与 3 之间触点 SB 闭合，1、3 两点接通，接触器 KM 线圈即有电流流过，吸引衔铁吸合（以下简称接触器吸合），KM 常开触点闭合，使电动机接通电源，按照规定方向运转；当松开按钮 SB，1、3 两点断开，KM 线圈失电，吸引衔铁释放（以下简称释放），KM 常开触点即断开，使电动机停止运转。这种线路常用于快速行程及地面操作的行车等场合。

#### 二、单向起动控制线路

单向起动控制线路（图 10-2）是最简单、最常用的一种控制电动机单方向运转的线路，与点动线路基本相同，仅在按钮 SB<sub>1</sub> 上并联了一对 KM 接触器的常开触点和多了 1 只作停止用的按钮 SB<sub>2</sub>。当按下起动按钮 SB<sub>1</sub>，接触器线圈 KM 就有电流流过而吸合，使接触器主回路常开触点（主触点）闭合，电动机运转，同时又使其与 SB<sub>1</sub> 并联的 3 与 5 之间的常开触点 KM 闭合。当松开 SB<sub>1</sub> 时，3、5 两点间由于 KM 的常开触

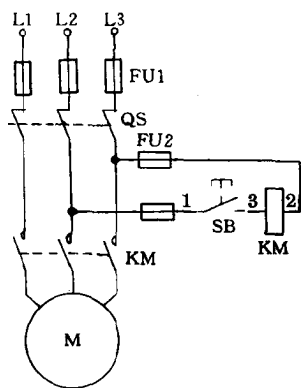


图 10-1 单向点动控制线路

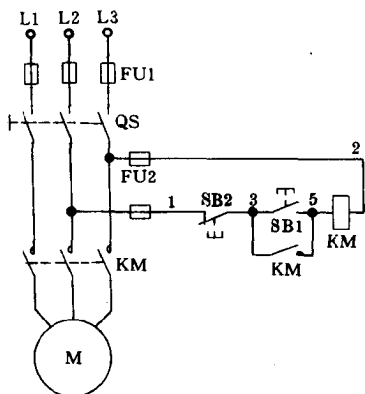


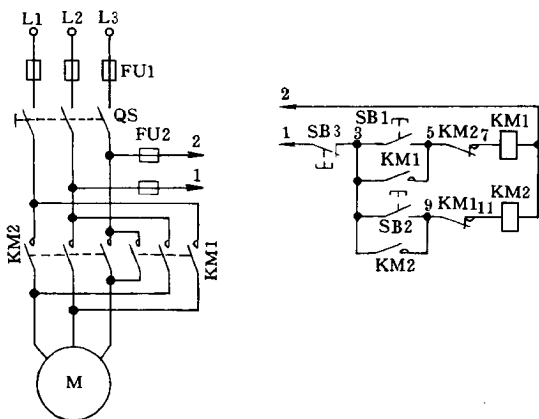
图 10-2 单向起动控制线路

点仍然闭合，使回路保持通路，线圈 KM 继续闭合。凡是接触器（或继电器）利用它自己的副触点来保持线圈吸合的，我们称它为“自锁”，这个触点叫做自锁触点。如要使电动机 M 停止运转，只须将按钮 SB2 按下，使 1、3 之间触点 SB2 断开，回路即断路，KM 失电接触器释放，其常开主触点即打开，电动机 M 停止运转。同时与 SB1 并联的常开触点 KM 也断开，所以放松按钮 SB2 到原来位置，虽则使 1、3 之间两触点 SB2 又接通，但 KM 因自锁触点断开而不能动作，这就为再次起动准备了条件。

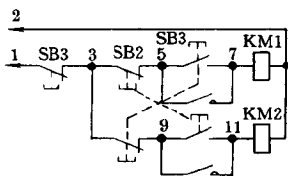
### 三、可逆起动控制线路

图 10-3(a) 是用辅助触点作联锁保护的可逆起动控制线路，KM1 与 KM2 两对常闭触点为联锁触点。当 KM1 动作后，其常闭触点打开，将 9 与 11 之间触点 KM1 断开，保证了这时如果按下 SB2，KM2 不能吸合；同理如 KM2 动作，KM1 也不会吸合，所以它能避免主电路相间短路。必须特别注意，如果控制电路中不采用联锁保护，那么当 KM1 动作后，不先按停止按钮 SB3 而按下按钮 SB2，于是 KM2 也就吸合，这时主电路中由于 KM1 与 KM2 的常开触点全部闭合，将造成相间短路事故。图 10-3(b) 是利用按钮作联锁的。当 KM1 起动后，如再按 SB2 那么 SB2 必须先将 3 与 5

之间触点 SB2 断开,使 KM1 释放,这时 9 与 11 之间触点 SB2 闭合,KM2 吸合,电动机即向反方向运转。若将以上两种方法同时采用效果更好,工作更可靠。



(a) 辅助触点作联锁



(b) 按钮作联锁

图 10-3 可逆起动控制线路

#### 四、可逆点动、起动的混合控制线路

图 10-4 是可逆点动、起动的混合控制线路,这个线路是图 10-1 与 10-3 的综合 它具有可逆点动及可逆运转 并具有按钮及触点联锁 操作方便 适用于工作较为复杂的场所。SB4 与 SB5 是正反向点动按钮。

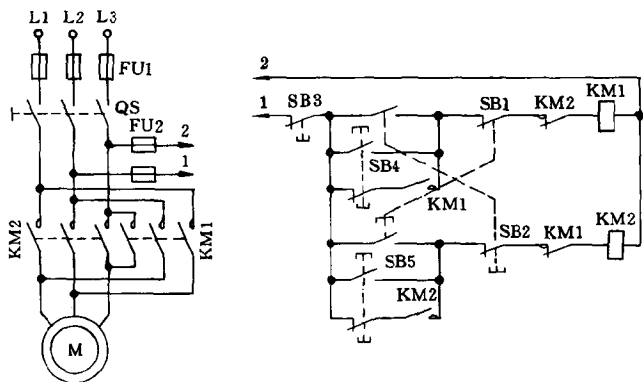


图 10-4 可逆点动、起动的混合控制线路

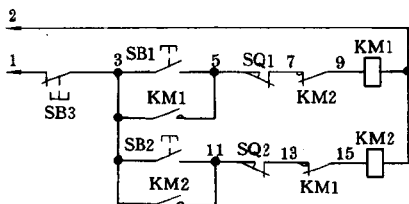
#### 五、以行程开关作自动停止的可逆起动控制线路

图 10-5(a) 是带有半自动的线路，特点是能使设备每次起动后自动停止在规定的地方 达到定点停车的目的。当 KM1 或 KM2 吸合 电动机即作正向或反向运转 带动撞块 挡铁 分别作进或退、升或降、向左或向右的移动。当行至规定点时，撞块拨动限位开关 SQ1 或 SQ2 使 5 与 7 或 11 与 13 之间常闭触点 SQ1 或 SQ2 断开 相应地 KM1 或 KM2 释放 电动机即停止运转。

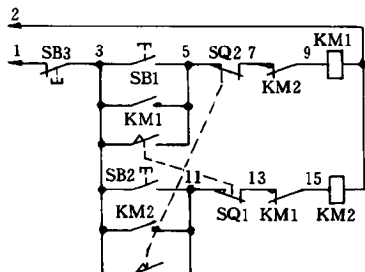
撞块的回程是依靠按反向按钮 SB2 来达到的，这时撞块脱离了行程开关、即 SQ1 5 与 7 之间触点又闭合，为下一次工作行程作好准备。如料斗提升，它到达预定位置后，还需要有一段作业时再卸料等等。

#### 六、自动往返的控制线路

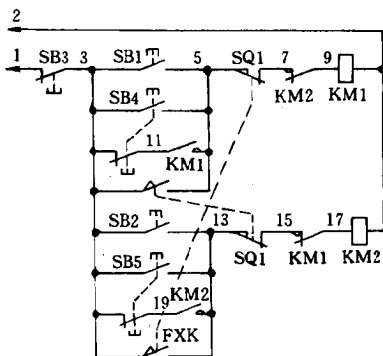
图 10-5(b) 是自动往返的控制线路，是由图 (a) 电路变化而来的。它的工作过程如下：假如按下 SB1 接触器线圈 KM1 即吸合 使电动机向规定的方向运转，撞块即按照规定的方向移动。直至到达预定点时，SQ2 在撞块带动下断开 KM1 释放 而 3 与 11 之间触点 SQ2 被接通 所以当 KM1 释放，KM2 立即吸合 并自锁 使电动机向相反方向运转 这时撞块跟着机械传动部分往相反方向移动使撞块离开限位开关 SQ2 于是 5 与 7 之间触点 SQ2



(a) 以行程开关作自动停止的可逆起动控制线路



(b) 自动往返的控制线路



(c) 带有点动的自动往返控制线路

图 10-5 自动往返控制线路

闭合接通 为下次 KM1 吸合作好准备。当另一撞块带动 SQ1 时,11 与 13 之间触点 SQ1 被断开,3 与 5 之间触点 SQ1 闭合 KM1 吸合,电动机又反向

运转。这样就循环不止地自动往返行动。如果需要使电动机停止运转 只需按下 SB3 即可。这个电路适合于控制小容量电动机，且往返次数不能太频繁 否则电动机要发热。

#### 七、带有点动的自动往返控制线路

图 10-5(c) 是图 (b) 加入了图 10-4 的点动部分，其工作原理与图 10-5 (b) 相同，点动部分仅供微调整用。

#### 八、Y- $\Delta$ 起动控制线路

前面所讨论的线路都属于控制小容量电动机直接起动，对于较大容量的电动机，就不可以直接起动。较大容量的电动机起动时需要采用降压起动方法，Y- $\Delta$  起动就是降压起动方法之一。

Y- $\Delta$  起动用于电动机电压为 380/220V，其绕组接法相应为  $\Delta$ /Y 的较大容量电动机。起动时绕组为 Y 连接，待转速增加到一定程度时再改为  $\Delta$  连接。这种起动方法可使每相定子绕组所受的电压在起动时降低到电路电压的  $1/\sqrt{3}$  (即 57.7%)，其电流为直接起动时的 1/3。由于起动电流的减小，起动转矩也同时减小到直接起动的 1/3，所以这种起动方法只能工作在空载或轻载起动的场合 (如鼓风机、水泵等)。

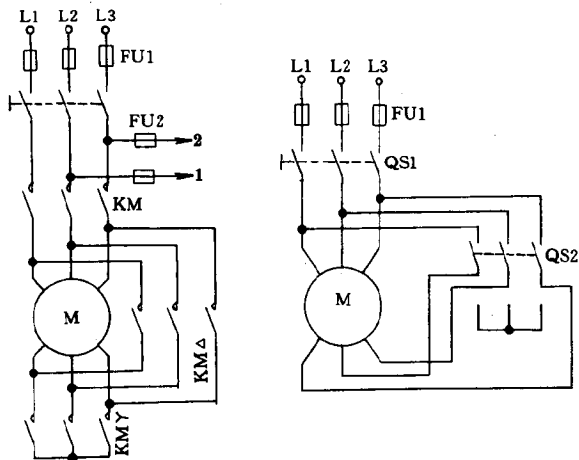
Y- $\Delta$  起动有手柄操作的 Y- $\Delta$  起动开关 [图 10-6(a)]。此外也可用接触器、继电器等组成的起动装置用按钮操作来达到同一目的 [图 10-6(b)、(c)]。

在图 10-6(b) 中 当按下 SB2 时 KM 与 KM<sub>Y</sub> 吸合 它们在主电路中的常开触点闭合，电动机接成 Y 起动。待转速增加到一定程度再按下 SB1，KM<sub>Y</sub> 释放，KM $\Delta$  吸合，电动机绕组即由 Y 改接成  $\Delta$ ，使电动机投入正常运转。

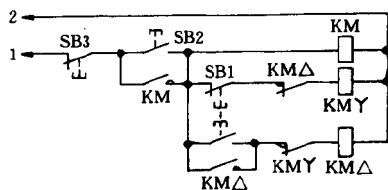
图 10-6(c) 只是以延时继电器 KT 的触点代替了 SB1 按钮 使绕组由 Y 自动改接成  $\Delta$  延时继电器 KT 的动作时间根据需要的起动时间来整定，它与电动机容量及起动时的负载情况有关。

#### 九、串联电阻或电抗器起动控制线路

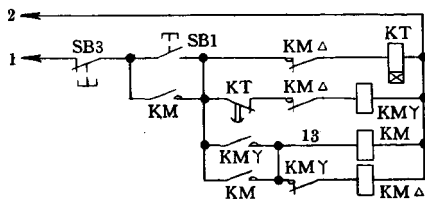
当电动机额定电压为 220/380V ( $\Delta$ /Y 时) 是不能用 Y- $\Delta$  方法作降压起动的。这种电动机可以用串联电阻或电抗器起动。串联电抗器的起动通常应用于高压电动机。



(a) 手柄操作



(b) 按钮操作



(c) 时间继电器操作

图 10-6 Y- $\Delta$  起动控制线路

在图 10-7(a)中当 KM1 动作时电动机串联电阻 R 接到电源上因 R 上有电压降,所以加到电动机上的电压应减去 R 上的压降。这时电动机起动电流减小了待 KM2 动作时,其触点将电阻 R 短路,这样使电源电压直接加到电动机上,于是电动机转为正常运行。图 10-7(b)是以延时继电器 KT 代替按钮 SB1。

用电阻作降压起动的缺点是减小了起动转矩,同时在电阻上功率损耗也较大。如果起动频繁,则电阻的温升很高,对于精密的生产机械如精密机床就有一定的影响。

绕线式电动机转子串联电阻起动,即在转子绕组中串联一级或若干级电阻,以达到减小起动电流的目的。在起动后逐级切除电阻,使电动机正常运转提高了起动转矩改善了机械特性。具体线路可参看 15/3T 交流桥式起重机。

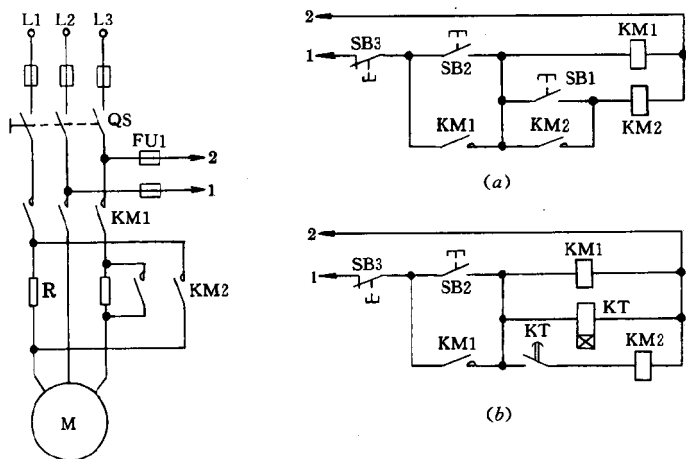


图 10-7 串联电阻的起动控制线路

#### 十、自耦变压器起动控制线路

对 220/380V( $\Delta/\text{Y}$ )较大容量的笼型电动机不能用 Y- $\Delta$ 方法起动 如果采用串联电阻起动体积庞大,又不经济,且市场上又没有这样成套的产品供应,在这样的情况下可以采用自耦变压器(补偿起动器)来起动。自耦变压

器起动实质上也是一种降压起动方法，其工作原理与串联电阻起动相似。采用这种方法起动时转矩也要减小，并且还具有一体积较大等缺点

这种起动器一般均用手柄操作，也可用接触器及继电器用按钮作远距离控制如图 10-8 所示。

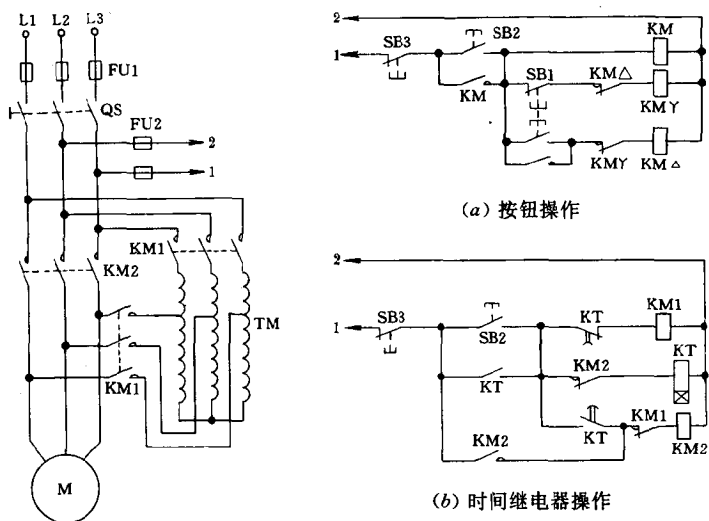


图 10-8 自耦变压器起动控制线路

### 十一、延边三角形起动控制线路

延边三角形起动一般可采用 XJI 系列低压起动控制箱，如果无法得到该控制箱时也可采用交流接触器自行制造图 10-9 是它的起动控制线路。

当按下 SB2 时，交流接触器 KM1 动作使 U<sub>1</sub>、V<sub>1</sub>、W<sub>1</sub> 与电源 L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub>、L<sub>3</sub> 接通常开触点 KM1 自锁；3、5 触点接通，KM2 也跟着动作于是 U<sub>2</sub>、V<sub>2</sub>、W<sub>2</sub> 分别与 V<sub>3</sub>、W<sub>3</sub>、U<sub>3</sub> 接通，此时电动机即成延边三角形起动，待起动完毕需进入正常运转时，只须按下按钮 SB1，于是 5 与 7 之间触点 SB1 断开，5 与 11 之间触点 SB1 接通 KM3 动作这时 U<sub>2</sub>、V<sub>2</sub>、W<sub>2</sub> 与 V<sub>3</sub>、W<sub>3</sub>、U<sub>3</sub> 已切断，而 U<sub>2</sub>、V<sub>2</sub>、W<sub>2</sub> 与电源接通，形成 U<sub>1</sub>、U<sub>3</sub> 与 L<sub>1</sub> 相接；V<sub>2</sub>、U<sub>2</sub> 与 L<sub>2</sub> 相接；W<sub>1</sub>、V<sub>2</sub> 与 L<sub>3</sub> 相接。电动机呈  $\Delta$  连接进入正常运转。

SB3 为停止按钮。

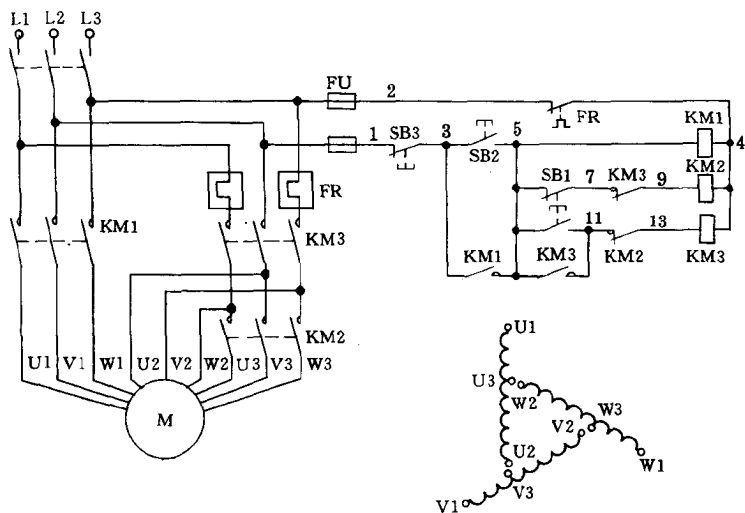


图 10-9 延边三角形  $\Delta$  起动控制线路

由于电动机在正常运转时接触器 KM3 的触点只通过相电流，所以在选择接触器容量时可等于或略小于电动机额定电流。KM2 接触器可选得更小些，约为电动机额定电流的  $1/3 \sim 1/2$  即可。

延边三角形与自耦变压器起动性能的比较如表 10-1 所示。

表 10-1 延边三角形与自耦变压器起动比较

型 号	起 动 方 法	项 目			
		$I_q$ (A)	$I_q/I_{mq}$ (%)	$M_q$ (N·m)	$M_q/M_{mq}$ (%)
JO2-52-2 10kW	满压起动	122		62	
	自耦变压器 60%	40.5	33.1	15	24.2
	自耦变压器 80%	75.8	62.1	35	56.5
	$\Delta 1:3$	82	67.2	40	64.5

(续表)

型 号	起 动 方 法	项 目			
		$I_q$ (A)	$I_q/I_{mq}$ (%)	$M_q$ (N·m)	$M_q/M_{mq}$ (%)
JO2-62-4 17kW	满压起动	271		255	
	自耦变压器 60%	85	31.4	63	24.7
	自耦变压器 80%	164	60.4	123	48.2
	$\Delta 1:1$	132	48.7	111	43.5
JO1-62-6 13kW	满压起动	178		280	
	自耦变压器 60%	58.7	33	72	25.7
	自耦变压器 80%	113	63.5	165	59
	$\Delta 1:2$	105	59	1485	53
JO2-62-8 10kW	满压起动	120		270	
	自耦变压器 60%	41.3	34.4	72	26.7
	自耦变压器 80%	75.5	55.8	150	55.6
	$\Delta 3:5$	67	49.1	129	48

注：1.  $I_q$ —起动电流； $I_{mq}$ —满压起动时起动电流； $M_q$ —起动转矩； $M_{mq}$ —满压起动时起动转矩。

2. 自耦变压器 60%抽头时起动转矩，相当于星形接法时的起动转矩，因此本表略去  $\gamma$ - $\Delta$  起动性能。

## 十二、频敏变阻器起动

频敏变阻器是一种无触点电磁元件，相当于 1 个等值阻抗。在电动机起动过程中，由于等值阻抗随转子起动电流中高频成分的减小而下降以达到自动变阻，所以只需用一级频敏变阻器就可以把电动机平稳地起动起来。这种变阻器有偶尔起动与重复短时工作制的起动之分。在水泵、空气压缩机、轧钢机、矿用传送带等容量自 22~2240kW 用偶尔起动而桥式吊车、升降台、扎钢机等容量自 2.2~125kW 则用重复短时工作制起动。

频敏变阻器实质上是 1 个铁心损耗非常大的三相电抗器。由数片 E 形钢板叠成的铁心和线圈两主要部分，并制成开启式，采用星形接法。为了使单台频敏变阻器的体积、重量不要过大，因此当电动机容量大到一定程度时，就由多组频敏变阻器连接使用，连接种类有单组、二组串联、二组并联、

二串联二并联等 如图 10-10 所示。

频敏变阻器在起动完毕后应短接切除，如电动机本身有短路装置者可直接利用。如没有短路装置时 可用外装刀开关短路 [图 10-10(e)]。若需遥控可将刀开关改换成相应的控制接触器。

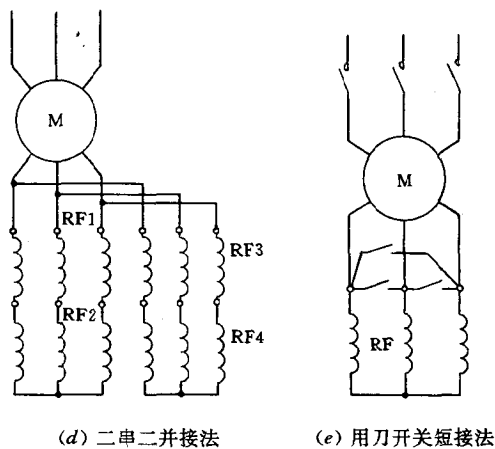
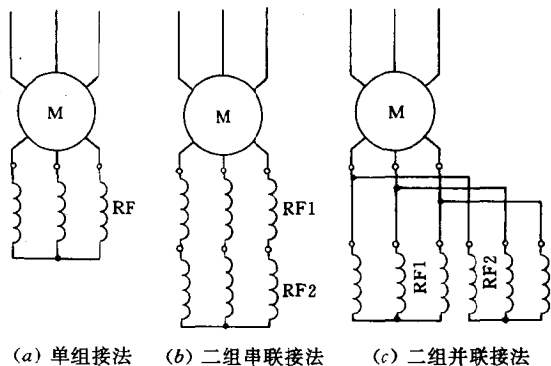


图 10-10 频敏变阻器起动线路接法

在使用时若发生下列情况，应调整频敏变阻器的匝数和气隙。

- (1) 起动电流过大，起动太快，应增加匝数，可换接抽头，使用 100% 匝

数。由于匝数增加起动电流减少，起动转矩也减少。

(2) 起动电流过小 起动转矩不够 起动太慢 应减少匝数 使用 80% 或更少的匝数。由于匝数减少使起动电流增大，起动转矩也增大。

(3) 在刚起动时，起动转矩过大，机械有冲击，但起动完毕后稳定转速又太低 偶尔起动用变阻器起动完毕短接时 冲击电流较大)可增加铁心气隙。由于增加气隙使起动电流略增，起动转矩略减，但起动完毕时转矩增大，这样提高了稳定转速。

### 十三、直流电动机起动控制线路

直流电动机除了小功率的偶尔采用直接起动以外，一般都在电枢电路中串接适当电位器逐渐升压起动，其线路图如图 10-11 所示。这是由于电动机在静止状态下起动时，电枢反电动势尚未建立；如果在额定电压下起动，它的起动电流可达额定电流的 10~50 倍，使电枢绕组及换向器表面都将受到破坏。

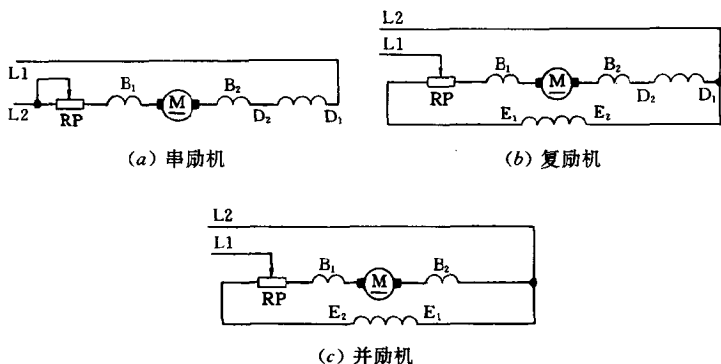


图 10-11 直流电动机起动控制线路

### 十四、异步电动机的反接制动控制线路

电动机从切断电源时起到完全停止转动，由于惯性的关系总要经过一段时间(时间长短要看负载而定)这对某些生产机械就不能适应。所以要采用制动的方法来使电动机的惯性旋转时间缩短，以适应机械的要求。异步电动机的反接制动是电气制动方法之一。

对于异步电动机，若改变它的电源的相序，就可以进行反接制动（如图 10-12）。当电源相序改变后，电动机定子的旋转磁场反向，则电动机所产生的转矩和原来的转矩相反，因而产生制动作用。

图 10-12(a) 是没有中间继电器的制动控制线路。当按下按钮 SB1 接触器 KM1 吸合，使电动机带动速度继电器 SR 一起旋转。当转速达到  $120r/min$  以上时（此数据一般在产品出厂时就调整好）常开触点 SR 闭合，由于常闭触点 KM1 断开，KM2 接触器仍旧不会吸合，仅为反接制动准备条件。如果将停止按钮 SB3 按下，接触器 KM1 释放，电动机电源被切断，常闭触点 KM1 闭合，此刻常开触点 SR 由于在电动机的惯性作用下仍然闭合，所以接触器 KM2 吸合，电动机定子旋转磁场因电源的相序改变而反方向旋转。这时电动机的转速从额定值迅速下降，在降至  $120r/min$  以下时，速度继电器的常开触点 SR 由于惯性减弱而断开，使 KM2 释放，即由于电动机从额定转速急剧下降到  $120r/min$  以下，但是还来不及反转的一刹那电源就被切断了，因而停止旋转。这一个反接制动的过程，时间约为  $1\sim 3s$ 。

容量较大（ $4.5kW$  以上）的电动机采用反接制动时，须在主回路中串联限流电阻，其实用线路如图 10-29 所示。

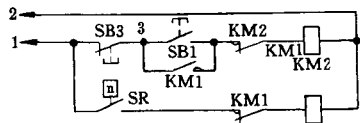
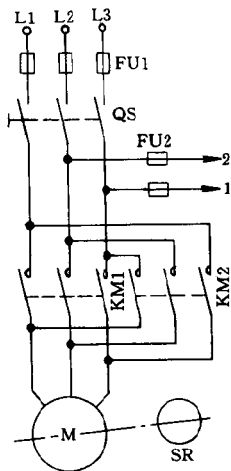
图 10-12(a) 线路的缺点是，如果操作人员因工作需要用手转动工件或主轴时，电动机也要跟着旋转，带动速度继电器转动。当转速达到  $120r/min$  以上时，速度继电器的常开触点即闭合，接触器 KM2 吸合。电动机向反方向冲动，很可能造成工伤事故，所以图 10-12(a) 这种线路是不常采用的。

图 10-12(b) 是具有中间继电器的制动控制电路，即增加了 1 只中间继电器 KA 弥补了图 10-12(a) 的不足。

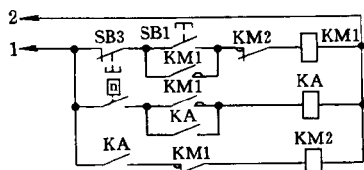
图 10-12(c) 是可逆制动控制电路。当电动机正转时，图中速度继电器 1 个（下面的）常开触点 SR 闭合，同样当电动机反转时，速度继电器另 1 个（上面的）常开触点 SR 闭合。如果中间继电器 KA 不用的话，同样会出现图 10-12(a) 电路的缺点。

异步电动机反接制动比较简单可靠，适用于电动机容量在  $2\sim 3kW$  时，起动与制动次数不大频繁的场所。但是，由于反接制动时，振动和冲击力较大，影响机床的精度，所以使用时受到一定限制。 $10kW$  以上的电动机就不大采用反接制动法。

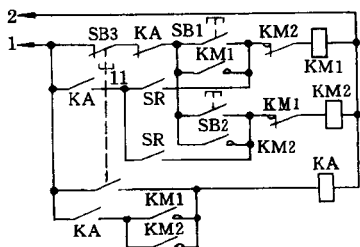
〔速度继电器的使用及调整〕速度继电器（速度控制继电器）主要用在三相笼型电动机的反接制动电路中，也可用在异步电动机能耗制动电路中，



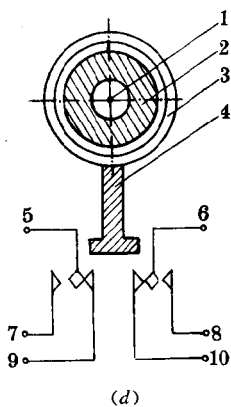
(a) 没有中间继电器的制动控制线路



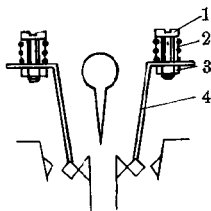
(b) 具有中间继电器的制动控制线路



(c) 可逆制动控制线路



(d)



(e)

图 10-12 异步电动机的反接制动与速度继电器控制线路的原理及其调整

作电动机停转后自动切断直流电源之用。它的工作原理与笼型转子跟着旋转磁场旋转的原理相似，如图 10-12(d)所示。5~10触点的通断靠拨杆 4 来推动 拨杆 4 与 3 相连 它由旋转磁场 2 感应而旋转。

速度继电器在连续工作制中，可靠地工作在 3000r/min 以下 在反复短时工作制 频繁启动、制动 中每分钟应不超过 30 次，速度继电器在出厂时一般调节在 120r/min 左右即能动作（指继电器轴的转速）。100r/min 以下触点即恢复正常位置。

速度继电器是根据实际需要转速来调整的。在图 10-12(e)中 将螺钉 1 向下捻使弹性触点 4 的强度增加 要求有更大的力 速度 才能推动 反之将 1 向上捻松 则弹簧压力减少 有较小的力 速度 就能使弹性触点动作。为了防止螺钉松动，在螺钉的下部另有一只螺母 3 在调节时须先将该螺母松开，调节好以后必须重新将螺母拧紧。

## 十五、异步电动机的能耗制动控制线路

能耗制动可以弥补反接制动的不足，在一些功率较大、制动次数频繁的机械上较多地采用这种方法。能耗制动控制线路如图 10-13 所示。在电动机

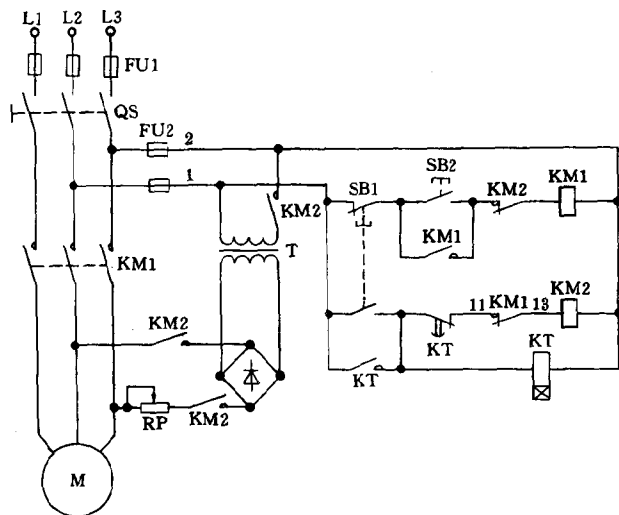


图 10-13 异步电动机能耗制动控制线路

定子绕组与交流电源断开之后，立即使其二相定子绕组接上一直流电源，于是在定子绕组中产生一个静止磁场，转子在这个磁场中旋转产生感应电动势，转子电流与固定磁场所产生的转矩阻碍了转子的继续转动，因而产生制动作用，使电动机迅速停止。

直流电源由单相桥式整流器供给。电位器 RP 是用来调节电流的大小从而调节制动的强度，或者在变压器 T 的二次侧上适当地抽头也可以达到这个目的。

异步电动机能耗制动的直流电源的经验估算方法是：首先测量出电动机三根进线中任意两根之间的电阻  $R$ ，还要测量出电动机的进线电流  $I_{线}$ （电动机仅带有传动装置运转时的电流 该电流值接近空载电流）然后根据测得的数据分别代入以下两式，便可求出直流电源的电流与电压。

$$I_D = KI_{线}$$

$$V_D = I_D R$$

式中  $I_D$ ——能耗制动所需的直流电流；

$V_D$ ——能耗制动所需的直流电压；

$K$ ——系数 取  $3.5 \sim 4$ ，考虑到电动机绕组的发热情况，并使电动机有比较满意的制动效果，系数  $K$  即为所取的励磁电流倍数；传动装置转速高而惯量大的系数  $K$  可用上限。

在设计或选用整流电源变压器时，可选用在 10% 处有抽头的变压器。根据以上估算，如果电动机的负载惯量不大，制动时间一般不超过 2s。

## 十六、异步电动机的机械制动控制线路

机械制动是当电动机切断电源后，依靠外加制动闸轮作用于电动机轴上使电动机迅速停转的设备（一般采用抱闸式）。制动时间越短冲击振动越大，制动强度可通过调整机械结构来改变。在电动机的轴伸端安装这样的制动机械，对某些空间位置比较紧凑的生产机械来说，安排上是有些困难的。

图 10-14(a) 是在切断电源的情况下才起制动作用的控制线路。在电动机运转时 制动电磁铁 YB 同时被通电而吸合 而把抱闸打开。机械制动的制动力矩在一定范围内可以克服任何外加力矩，例如在提升重物时，由于抱闸的作用力可以使重物停留在需要高度 这是电气制动所不能达到的。此外 机械制动安全可靠，不受中途断电或电气故障的影响而造成事故，因此这种制动方法普遍