

电 器 及 其 控 制

鞍山钢铁学院 李桂和 主编

重庆大学出版社

前 言

《电器及其控制》是根据冶金工业部制订的“冶金·有色”教材八五规划要求编写的。书中着重介绍常用的各种电器的基本工作原理与选择及调整方法，各种控制线路的原理分析及设计方法，着眼于培养学生的分析问题能力，处理问题能力，理论联系实际的设计能力。

本书编进了国内外近期新技术成果，可编程序控制器（PC）及其控制系统。编者认为，低档 PC 机作为电器的一种类型，编入本书中是比较合适的。书中打“·”的章节，可根据各院校具体情况，决定其取舍。

本书采用的图形符号及文字符号，均为新发布的国家标准。图形符号采用国家标准局 1985—11—01 发布的 GB7428—84《电气图用图形符号》；文字符号采用国家标准局 1987—01—06 发布的 GB7159—87《电气技术中的文字符号制订通则》。为了便于与现行的图纸资料及原有教材中的旧国标图形符号 GB312—64、文字符号 GB315—64 相对照，本书给出了常用电器的新旧符号对照表。

本书可作为工矿企业电气自动化专业本科生和专科生的教材，也可供有关工程技术人员参考。

本书由鞍山钢铁学院李桂和副教授，北京科技大学周文凯高级工程师编写。其中第一、二章由周文凯执笔；第三、四、五、六章由李桂和执笔。鞍山钢铁学院黄晓丽同志参加了文、图符号新旧国标的更换整理编写工作。

本书审稿组由东北工学院周瀛副教授任组长，成员有鞍山钢铁学院李则民教授，昆明工学院万太福副教授，包头钢铁学院李含善高级工程师，华东冶金学院张叔勤高级实验师，西安冶金建筑学院王福庆等。他们对本书作了严谨认真、逐章逐节的审阅，提出了许多宝贵意见，编者按审稿组的意见，作了修改和补充。在此，对他们表示衷心的感谢。

限于编者的水平，书中难免存在错误与不足，恳请读者给以批评指正。

编 者

1992年2月

目 录

第一章 常用电磁式低压电器	1
§ 1-1 低压电器的作用和分类	1
§ 1-2 电磁式低压电器基础知识	1
§ 1-3 电磁式接触器	10
§ 1-4 电磁式继电器	19
复习思考题	31
第二章 常用其它低压电器	32
§ 2-1 热继电器	32
§ 2-2 温度继电器	39
§ 2-3 熔断器	41
§ 2-4 感应式速度继电器	48
§ 2-5 主令电器	49
§ 2-6 低压断路器	54
复习思考题	58
第三章 继电接触式控制系统	59
§ 3-1 控制线路的绘图规则及常用符号	59
§ 3-2 组成电器控制线路的基本规律	62
§ 3-3 电器控制线路的一般设计方法	72
§ 3-4 电器控制线路的逻辑设计方法	79
§ 3-5 继电接触式控制线路, 两种设计方法举例	83
* § 3-6 典型电器控制线路分析	88
复习思考题	95
第四章 典型生产机械的电器控制	98
§ 4-1 桥式起重机的电器控制	98
§ 4-2 辊道的电器控制	108
§ 4-3 钻床的电器控制	111
复习思考题	114
第五章 可编程序控制器	116
§ 5-1 概述	116
§ 5-2 GE- I 系列PC的组成及各部分的作用	120
§ 5-3 梯形图的设计与编程方法	132
§ 5-4 PC的应用	152
* § 5-5 操作	158
复习思考题	165
第六章 交磁放大机及其控制系统	168

§ 6-1	交磁放大机	168
§ 6-2	自动调速系统的主要技术指标	176
§ 6-3	转速负反馈调速系统的静态分析	178
§ 6-4	转速负反馈调速系统的动态分析	182
§ 6-5	电压负反馈、电流正反馈在调速系统中的应用	186
§ 6-6	交磁放大机快速系统的基本概念	188
§ 6-7	截流系统	191
§ 6-8	截压系统	194
* § 6-9	相互截止系统	196
* § 6-10	交磁放大机的调整	199
* § 6-11	交磁放大机的应用实例——A 系列龙门刨床工作台的控制系统	202
	复习思考题	213
	参考文献	214

第一章 常用电磁式低压电器

§ 1-1 低压电器的作用和分类

在工业、农业、交通、国防乃至人们生活等一切用电部门中，大多数采用的是低压供电。低压供电的输送、分配和保护是依靠刀开关、自动开关以及熔断器等低压电器来实现的，电器元件的好坏将直接影响低压供电系统的可靠性。而低压电力的使用，则是将电能转换为机械能或热能用于生产中。例如，用电动机拖动轧钢机进行轧钢生产，用电动机拖动提升机实现重物的输送等，均是将电能转换为机械能去拖动机械负载。用电弧炉炼钢就是将电能转换为热能进行熔炼金属。在电能转换为机械能或热能的过程中，它们的控制、调节和保护是依靠各类接触器和继电器等低压电器来完成的。也即无论是低压供电系统还是控制生产过程的电力拖动控制系统，都是由用途不同的各种类型的低压电器所组成。

所谓低压电器，就是根据外界施加的信号和要求，能自动或手动分合额定电压1200V及其以下的电路，断续或连续地改变电路参数，以实现对电路或非电对象的切换、控制、检测、保护、变换和调节用的电工器械。采用电磁现象完成上述作用的低压电器，则称为电磁式低压电器。

由于低压电器的职能、品种和规格的多样化，工作原理也各异，因而有不同的分类方法。按其与使用系统间的关系，习惯上分以下两类：

1. 低压配电电器 主要用于低压供电系统。这类低压电器有刀开关、自动开关、转换开关以及熔断器等。对这类电器的主要技术要求是分断能力强，限流效果好，动稳定及热稳定性能要好。

2. 低压控制电器 主要用于电力拖动控制系统。这类低压电器有接触器、继电器、控制器及主令电器等。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力，操作频率要高，电气和机械寿命要长。

低压电器还可以按操作方式分为自动电器和手动电器。此外，还可按使用场合分为一般工业用电器、特殊工矿用电器、农用电器、船用电器、航空用电器以及牵引电器等。

§ 1-2 电磁式低压电器基础知识

一、电磁式低压电器的基本组成

电磁式低压电器的结构组成示意图及其在电路中的作用如图1-1所示。当线圈1通电时，在铁芯2和衔铁3及气隙 δ 组成的回路中产生磁通 ϕ ，从而产生电磁吸力。衔铁3在电磁吸力作用下向铁芯2产生吸合动作，于是动触点5在衔铁的带动下向静触点4产生闭合动作，使直流电动机M电枢电路接通电源，电动机运行。线圈断电时，电磁吸力消失。衔铁在释放弹簧6的反力作用下被拉开到原来的开启位置，使动、静触点重新分开，电动机电枢电路断电，电动

机停止运行。由于触点用于分合较大电流的电动机主电路（电枢电路），所以图 1-1 也是低压电磁式接触器的结构示意图。至于低压电磁式继电器，尽管在结构及应用场合上与电磁式接触器不尽相同，但工作原理上还是一样的。从图 1-1 中不难看出，电磁式低压电器在结构上一般都具有两个基本组成部分，即

1. 电磁机构 由图 1-1 中看到，由线圈 1、铁芯 2 和衔铁 3 组成的磁路系统，叫做电磁机构，俗称电磁铁。它是电磁式电器的感测部分，即当给电磁机构输入一定的电信号（电压或电流）时，在电磁吸力作用下，使可动的衔铁产生吸合动作，实现了将电能转换为机械能的目的。

2. 触点 由动、静触点组成，它是电磁式电器的执行部分。触点的作用就是用于分合电路，实现控制的目的。

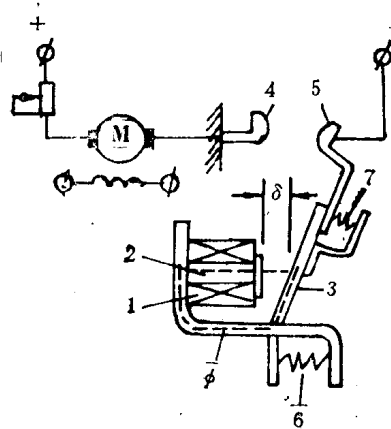


图 1-1 电磁式低压电器结构及作用示意图

1—线圈； 2—铁芯； 3—衔铁； 4—静触点；
5—动触点； 6—衔铁释放弹簧； 7—触点弹簧

二、电磁机构

电磁机构是电磁式电器的重要组成部分，它的工作好坏将直接影响电器的工作可靠性和使用寿命，因此，对电磁机构的形式和特性应有一定的了解。

（一）电磁机构的分类

电磁机构中的线圈、铁芯是静止不动的，只有衔铁是可动的。根据由铁芯和衔铁构成的磁路形状及衔铁运动方式的不同，以及线圈接入电路的方式不同，电磁机构可分成多种形式和类型。不同形式和类型的电磁机构可构成多种类型的电磁式电器。下面介绍几种常用的电磁机构的形式和类型。

1. 按磁路形状和衔铁运动方式分

（1）U形拍合式 铁芯制成 U 字形，而衔铁的一端绕棱角或转轴做拍合运动。图 1-2a 表示铁芯和衔铁均由工程软铁制成而衔铁绕棱角运动，此种形式的电磁机构广泛用于直流电磁式电器（如直流接触器和直流继电器）中。图 1-2b 表示铁芯和衔铁均由电工钢片迭成而衔铁绕转轴运动，此种形式的电磁机构广泛用于交流电磁式电器中。

（2）E形拍合式和E形直动式 铁芯和衔铁均制成 E 字形，且均由电工钢片迭成，线圈套装在中间铁芯柱上。这两种形式的电磁机构均用于交流电磁式电器中。E 形拍合式如图 1-2c 所示，这种电磁机构广泛用于 60A 及其以上的交流接触器中。E 形直动式如图 1-2d 所示，该种形式的电磁机构广泛用于 40A 以下的交流接触器和交流电压、中间及时间继电器中。

（3）空心螺管式 这种电磁机构只有线圈和圆柱形衔铁而无铁芯，衔铁在空心线圈内做直线运动，如图 1-2e 所示。这种电磁机构主要用于交流电流继电器和供电系统用的时间继电器中。

（4）装甲螺管式 在空心线圈的外面罩以用导磁材料制成的外壳，而圆柱形衔铁在空心线圈内做直线运动，如图 1-2f 所示。这种电磁机构用于交流电流继电器中。

（5）回转式 铁芯制成 C 字形，且用电工钢片迭成，两个可串或可并接的线圈分别绕

在铁芯开口侧的铁芯柱上，而衔铁则是Z形转子，如图1-2g所示。这种电磁机构应用于供电系统的电流继电器中。

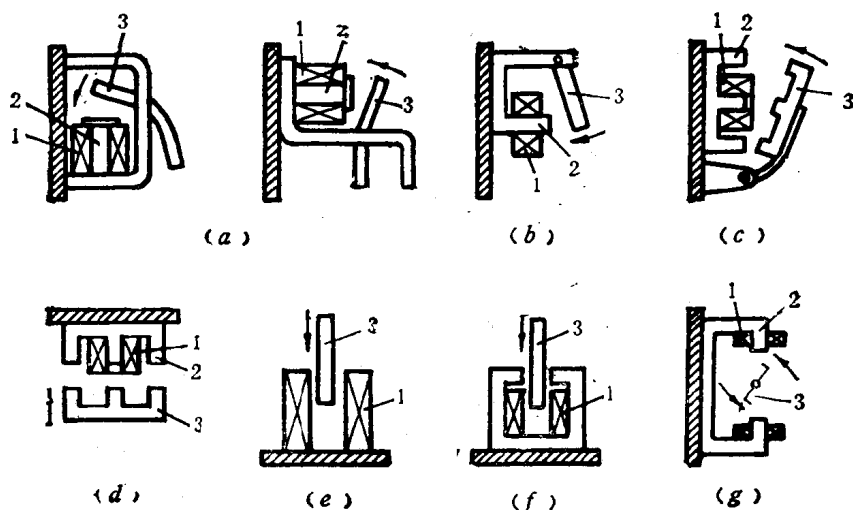


图1-2 常用电磁机构的形式

1—线圈； 2—衔铁； 3—铁芯

2. 按线圈接入电路方式分

(1) 串联电磁机构 电磁机构的线圈串接于电路中，如图1-3a所示。按电路的电流种类又分为直流串联电磁机构和交流串联电磁机构。不难看出，串联电磁机构的衔铁动作与否取决于线圈中电流的大小，而衔铁的动作不会引起线圈中电流的变化。这种接入方式的线圈又称为电流线圈，具有这种电磁机构的电器都属于电流型电器。为了不影响电路中负载的端电压和电流，要求线圈的内阻要很小，因此，串联电磁机构的线圈导线截面较粗，且线圈匝数也很少。

(2) 并联电磁机构 电磁机构的线圈并接于电路中，如图1-3b所示。按电路的电流种类分有直流并联电磁机构和交流并联电磁机构。并联电磁机构的衔铁动作与否是取决于线圈两端的电压大小。这种接入方式的线圈又称为电压线圈，具有这种电磁机构的电器，都属于电压型电器。直流并联电磁机构的衔铁动作不会引起线圈中电流的变化，但对于交流并联电磁机构，其衔铁的动作会引起线圈阻抗的变化，从而会引起线圈中电流的变化。由实验得知，对于U形电磁机构，衔铁打开时线圈中电流值为衔铁闭合后的6~7倍，E形电磁机构可达10~15倍。而线圈的允许电流值是按衔铁闭合后的电流值设计的，所以，一旦线圈有电而衔铁由于某种原因闭合不上或频繁操作时，则线圈易过热乃至烧坏，这也是交流电压型电器比直流电压型电器易损坏的原因之一。

(二) 电磁机构的特性

电磁机构的特性通常是指吸力特性和反力特性，二者间的配合关系将直接影响电磁式电器的工作可靠性。

1. 电磁机构的吸力和吸力特性 线圈通电后在磁路中产生磁势，由于磁势作用在铁芯、衔铁和气隙的路径中产生磁通，在磁通作用下

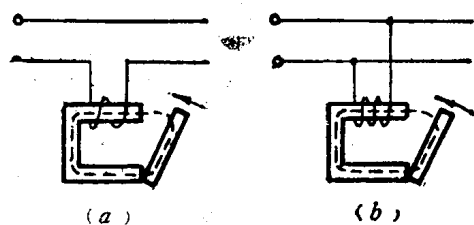


图1-3 电磁机构中线圈接入电路的方式

a—串联电磁机构； b—并联电磁机构

产生吸力,从而使衔铁产生吸合动作,实现电能转换为机械能的目的。电磁机构的吸力可近似地由下式求出

$$F_x = \frac{1}{2\mu_0 S} \phi^2 \quad \text{N} \quad (1-1)$$

式中 ϕ ——气隙磁通, Wb; S ——气隙截面积, m^2 ;

$\mu_0 = 0.4\pi \times 10^{-6} \text{H/m}$ ——空气导磁系数。

由吸力公式(1-1)不难推出吸力与衔铁气隙 δ 间的关系为

$$F_x = \left[\frac{1}{2} (Iw)^2 \mu_0 S \right] \frac{1}{\delta^2} \quad \text{N} \quad (1-2)$$

式中 I ——线圈电流, A; w ——线圈匝数。

由式(1-2)确定的吸力与气隙之间的关系曲线称为吸力特性。对于直流串、并联电磁机构,如果外加电压或电流不变时,吸力只与气隙 δ^2 成反比,故吸力特性为二次曲线形状,如图1-4中曲线1所示。图中 δ_m 为衔铁打开后的气隙,而 δ_K 为衔铁闭合后的气隙。由曲线1可知,衔铁打开后的吸力比闭合后的吸力要小得多。交流串联电磁机构的吸力特性也有近似于上述的结论。

由式(1-2)还可看出,从理论上讲,当气隙为零时,吸力为无穷大,但实际情况下,衔铁在闭合状态时,绝对做不到使气隙为零;再者,衔铁闭合后铁芯和衔铁的磁阻就会占磁路磁阻的主要部分而不能忽略。二者综合结果,使衔铁闭合后的吸力不会出现无穷大,而是有一最大吸力值 $F_{x\max}$ 。但从另一方面来看,衔铁闭合后由于磁路磁阻较小,在线圈断电后由于导磁体(对于直流电磁机构)中剩磁所产生的吸力足以克服释放弹簧的反力,会使衔铁打不开。为了避免这种“衔铁粘住”现象,通常在吸力较小的直流电压型电器(如直流电压、中间和时间继电器)的衔铁上装一非磁性垫片(厚度为0.1mm的磷铜片);而对于吸力较大的直流电压型电器(如直流接触器),则在铁芯柱的端面上加装极靴。上述两项措施的目的在于增加衔铁闭合后的气隙。

对于交流并联电磁机构,其吸力特性与直流并联电磁机构有所不同。虽然线圈的外加电压不变,但线圈的阻抗随着气隙的改变而改变,故线圈中的电流也改变。气隙大时线圈电流也大,反之则小。由式(1-2)看出,这时吸力与气隙和电流两个因素有关,综合考虑结果,在理论上吸力与气隙大小无关,但实际中考虑到漏磁的作用,吸力随气隙的减小而略有增加,如图1-4中曲线2所示。由于交流电磁机构的吸力特性比较平坦,且导磁体不存在有剩磁,所以交流电压型电器在线圈断电时不会产生“衔铁粘住”现象。

对吸力特性做进一步探讨得知,在同一个电磁机构中作用不同的电压或电流时,都可以改变吸力特性曲线的位置。当线圈外加电压或电流增大时,吸力特性曲线上移,反之则下移,如图1-5所示。但在改变电压或电流时,吸力特性曲线并非上下平移。因为当气隙较大时磁路一般不饱和,改变电压或电流时吸力可以按比例地改变,但当气隙较小时,磁路比较饱和,故吸力不按比例改变。由此看出,增大电压或电流后的吸力特性较之稍平坦些。

2. 电磁机构的反力和反力特性 为了使衔铁在线圈断电后能恢复到原来打开位置,在电磁式电器中都装有释放弹簧。释放弹簧、触点弹簧以及运动部件的重力对衔铁的作用力方向与吸力方向相反,故称为电磁机构的反力。在忽略运动部件重力的情况下,电磁机构的反力主要是由释放弹簧和触点弹簧的反力构成,以 F_r 表示。反力 F_r 与气隙 δ 之间的关系称为电

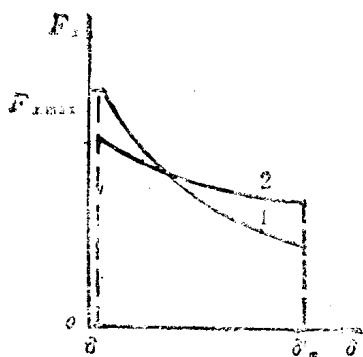


图1-4 电磁机构的吸力特性
1—直流电磁机构的吸力特性；2—交流并联电磁机构吸力特性

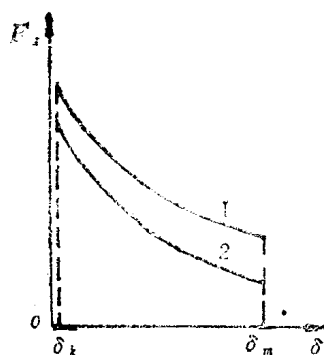


图1-5 改变电压或电流时的吸力特性
1—增加电压或电流时的吸力特性；2—减小电压或电流时的吸力特性

磁机构的反力特性。由于弹簧的作用力与其长度呈线性关系，所以反力特性曲线都是直线段，如图1-6中曲线1所示。在衔钢闭合过程中，当气隙由 δ_m 减小时，反力逐渐增大，如曲线1中的 ad 段所示，这一段为释放弹簧的反力变化。到达气隙 δ_n 位置时，动、静触点刚刚接触，这时触点弹簧的初压力作用到衔钢上，反力突增，曲线也突变，如曲线1中 bc 段所示，这一段为触点弹簧的初压力。当气隙由 δ_n 再减小时，释放弹簧与触点弹簧同时起作用，使反力变化增大，如曲线1中 cd 段所示，这一段为释放弹簧与触点弹簧的合成反力变化。

改变释放弹簧的松紧，可以改变反力特性曲线的位置，若将释放弹簧拧紧，则反力特性曲线平行上移，如图1-6中曲线2所示。若将释放弹簧放松，则反力特性曲线平行下移，如图1-6中曲线3所示。

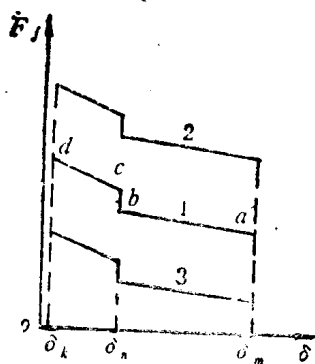


图1-6 电磁机构的反力特性
1—释放弹簧不变时的反力特性；2—拧紧释放弹簧时的反力特性；3—放松释放弹簧时的反力特性

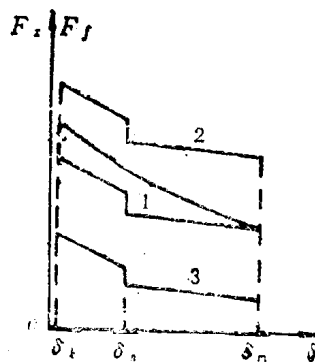


图1-7 吸力特性与反力特性的配合

3. 电磁机构的吸力特性与反力特性的配合 吸力特性与反力特性适当配合的宗旨是在保证衔铁产生可靠吸合动作的前提下，尽量减少衔铁和铁芯柱端面间的机械磨损和触点的电磨损。为此，反力特性曲线应在吸力特性曲线的下方且彼此靠近，如图1-7中曲线1所示。如果反力过大，则意味着反力特性曲线在吸力特性曲线的上方，如图1-7中曲线2所示。这时衔铁无法产生闭合动作。尤其是对于交流并联电磁机构，由于衔铁无法闭合而导致线圈严重过热乃至烧坏。如果反力过小，则反力特性曲线远离吸力特性曲线的下方，如图1-7中曲线3所示。这时衔铁虽然能产生闭合动作，但由吸力过大，使衔铁闭合时的运动速度也过大，因

而会产生很大的冲击力，使衔铁与铁芯柱端面造成严重的机械磨损。此外，过大的冲击力有可能使触点产生弹跳现象，从而导致触点的熔焊或烧损，也即会引起严重的电磨损，降低触点的使用寿命。为此，可通过改变释放弹簧的松紧来实现吸力特性与反力特性的适当配合。

(三) 单相交流电磁机构的吸力

交流电磁机构按所接入电路的类型分单相和三相两种，在电力拖动控制系统中所用的交流电磁式电器都采用单相交流电磁机构。在单相交流电磁机构中，由于磁通是交变的，磁通过零时吸力也为零，吸合后的衔铁在反力作用下将被拉开；磁通过零后吸力又增大，当吸力大于反力时，衔铁又被吸合。由于交流电源频率的变化，衔铁的吸力随之每个周波有两次过零，且吸力呈脉动变化，如图1-8所示。这样一来，提衔铁在一秒钟内产生100次强烈的机构振动，带来严重的机械噪声，乃至使铁芯损坏。

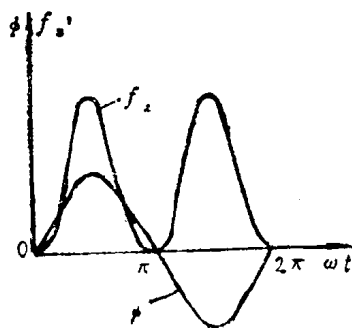
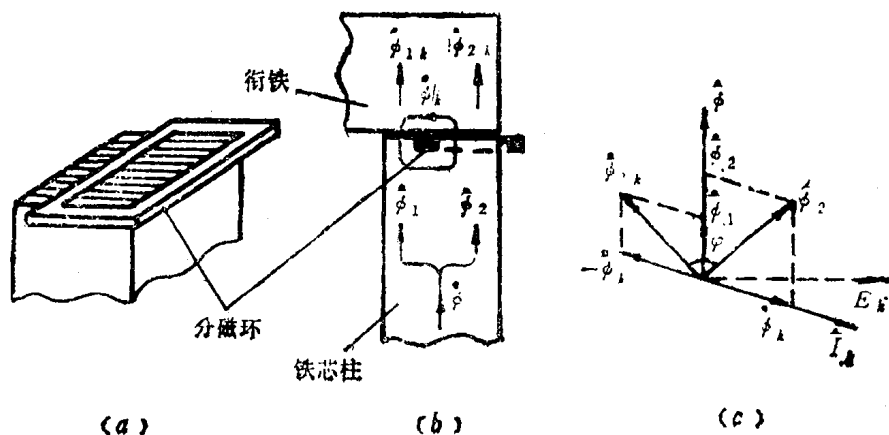


图1-8 单相交流电磁机构的吸力

因此，有必要在单相交流电磁机构的铁芯柱端面上开一个槽，在槽内嵌以由铜材料制成的分磁环（又称为短路环），如图1-9a所示，这样就可以消除上述不良现象。



(a)

(b)

(c)

图1-9 分磁环的作用原理

(a)一结构示意图；(b)一磁通分布图；(c)一磁通相位图

铁芯柱端面上嵌上分磁环后，衔铁闭合时铁芯中的磁通 $\dot{\phi}$ 经过其端面被分成两部分，即不穿过分磁环的部分磁通 $\dot{\phi}_1$ 和穿过分磁环的部分磁通 $\dot{\phi}_2$ ，且 $\dot{\phi}_1$ 与 $\dot{\phi}_2$ 同相位。 $\dot{\phi}_2$ 穿过分磁环后在其中产生感应电势 $\dot{E}_K$ ，且 $\dot{E}_K$ 滞后 $\dot{\phi}_2$ 90° 相位。 $\dot{E}_K$ 在分磁环中产生一个环流 $\dot{I}_K$ ， $\dot{I}_K$ 在闭合处附近又产生磁通 $\dot{\phi}_K$ ，而 $\dot{\phi}_K$ 与 $\dot{I}_K$ 是同相位但滞后于 $\dot{E}_K$ 一个很小相角。衔铁闭合后各磁通分布如图1-9b所示。有了 $\dot{\phi}_K$ 后，穿过分磁环部分的总磁通为

$$\dot{\phi}_{2K} = \dot{\phi}_2 + \dot{\phi}_K$$

而未穿过分磁环部分的总磁通为

$$\dot{\phi}_{1K} = \dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_K$$

可见， $\dot{\phi}_{1K}$ 与 $\dot{\phi}_{2K}$ 之间有相角差 φ 存在，如图1-9c所示。也就是说，原来统一于 $\dot{\phi}$ 的 $\dot{\phi}_1$ 和

ϕ_2 ，在分磁环的作用下变成为 ϕ_{1k} 和 ϕ_{2k} ，且它们不是同相位。在 ϕ_{1k} 和 ϕ_{2k} 作用下，它们分别产生的吸力为 f_{x1} 和 f_{x2} 。由此可见，在任何瞬间都不会出现吸力过零，如图1-10所示。而 f_{x1} 与 f_{x2} 合成的结果，总吸力 f_x 虽然仍是脉动的，但其最小吸力 $F_{x\min}$ 不再过零了。如果分磁环设计得比较理想，即 φ 角近乎 90° ，且 f_{x1} 和 f_{x2} 也近乎相等，则总吸力 f_x 也就比较平坦。所以，只要衔铁的反力比 $F_{x\min}$ 小，衔铁就不会产生机械振动现象。

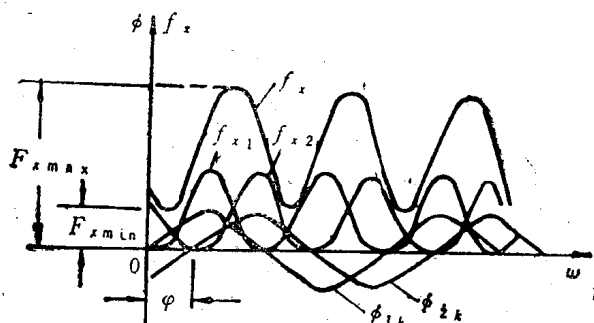


图1-10 加分磁环后的吸力

三、电接触

触点是电磁式电器的执行部件，电器就是通过触点的动作来分合被控制的电路。触点在闭合状态下动、静触点完全接触，并有工作电流通过时，称为电接触。电接触情况的好坏将影响触点的工作可靠性和使用寿命。影响电接触工作情况的主要因素是触点的接触电阻，因为接触电阻大时，易使触点发热而温度升高，从而使触点易产生熔焊现象，这样既影响工作可靠性又降低了触点的使用寿命。触点的接触电阻不仅与触点的接触形式有关，而且还与接触压力、触点材料及触点表面状况有关。

(一) 触点的接触形式

触点的接触形式有点接触、线接触和面接触三种，如图1-11所示。

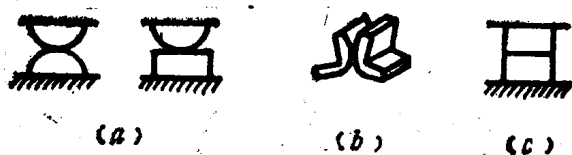


图1-11 触点的接触形式

(a)一点接触；(b)一线接触；(c)面接触

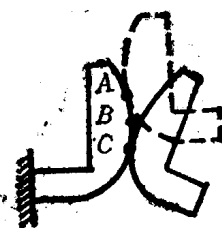


图1-12 指形触点的接触过程

点接触是由两个半球面或一个半球面与一个平面形触点构成。由于接触区域是一个点或面积很小的面，允许通过的电流很小，所以它常用于电流较小的电器中，如继电器的触点和接触器的辅助触点就采用这种接触形式。线接触是由两个圆柱面形的触点构成，又称为指形触点。它的接触区域是一条直线或一条窄面，允许通过的电流较大，常用于中等容量的接触器，做主触点用。由于这种接触形式在通断过程中是滑动接触(其滑动过程如图1-12所示)，这样可以自动清除触点表面的氧化膜，更好地保证了触点的良好接触。面接触是两个平面形触点相接触，由于接触区域是一个面积，可以通过很大电流，常用于大容量的接触器中，做

主触点用。

(二) 接触电阻

当动、静触点闭合后，不可能是全部密合地接触着，从微观上看，只是在一些突出的凸起点存在着有效接触，如图1-13所示。这样，就造成了从一个导体到另一个导体的过渡区域。在过渡区域里，电流只通过一些相接触的凸起点，形成收缩状的电流线，因而使这个区域的电流密度大为增加。另外，由于只是一些凸起点相接触，使有效导电面积减少，因而也就使这个区域里的电阻增加且远大于金属导体的电阻。这种由于动、静触点闭合时在过渡区域所形成的电阻，称为接触电阻。由于接触电阻的存在，不仅会造成一定的电压损失，还会使铜耗增加，使触点产生不允许的温升。这样，触点在较高的温度下很容易产生熔焊现象而使触点工作不可靠，因此，实际中应采取相应措施减小接触电阻。

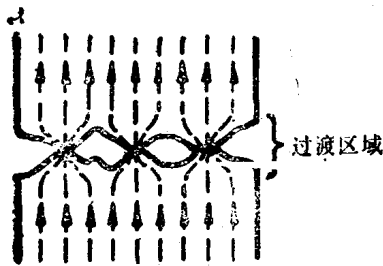


图1-13 接触区域的有效接触

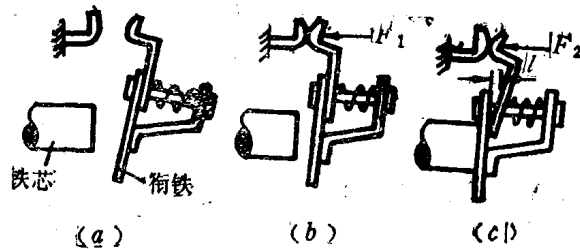


图1-14 指形触点位置示意图
(a)一打开位置；(b)一刚接触位置；(c)一闭合后位置

(三) 影响接触电阻的因素及其减小方法

1. 接触压力 增加接触压力，可使相接触的凸起点发生变形而增加接触面积，因而会减小接触电阻。为此，在动触点安装一个触点弹簧，如图1-14和图1-15所示。该弹簧预先被压缩了一段，因而产生一个初压力 F_1 ，如图1-14b和图1-15b所示。触点闭合后由于弹簧在超行程内继续压缩而产生终压力 F_2 ，如图1-14c和图1-15c所示。弹簧压缩的距离 l 称为触点的超行程，即从静、动触点刚开始接触到触点压紧而动触点向前压紧的距离。有了超行程，触点有磨损的情况下，仍具有一定的压力，故可使触点的接触电阻减小。当触点磨损严重时，可以更换触点。

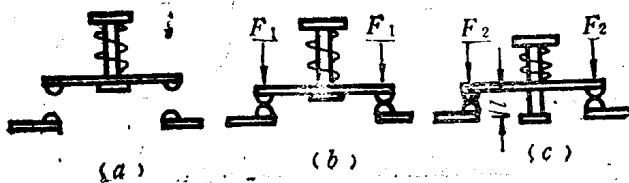


图1-15 双断点触点位置示意图
(a)一打开位置；(b)一刚接触位置；(c)一闭合后位置

2. 触点材料 材料的电阻系数越小，接触电阻也越小。在金属中银的电阻系数最小，但银比铜价贵，实际中常在铜基触点上镀银或嵌银，以减小接触电阻。

3. 触点表面状况 在空气中触点表面会生成氧化物而形成氧化膜。当触点温度升高后将会加速氧化的进行。由于一般金属氧化物的电阻系数均比本身金属大得多，所以一旦接触

表面生成氧化物之后,会使接触电阻增大,严重的氧化将使触点间形成绝缘而导致电路不通。但银的氧化物电阻系数比纯银大得不是太多,因此,在小容量电器中可采用银或镀银触点。在大容量电器中,可采用具有滑动作用的指形触点,这样,在每次闭合过程中都可以磨去氧化膜,从而让清洁的金属接触面互相接触,以增强触点的导电性。此外,触点上的尘垢也会影响其导电性,因此,当触点上聚集了尘垢以后,须用无水乙醇或四氯化碳揩拭干净,如果触点表面被电弧烧灼而出现烟熏状,也需要这样处理。

四、触点分断时电弧的产生和常用灭弧方法

电器的触点在分断电路时,希望立即分断。但实际上当触点间电压不小于 $10\sim 20\text{V}$ 和电流不小于 $80\sim 100\text{mA}$ 时,在触点分断的短时间内,触点间隙就会产生电弧。电弧的存在不仅延迟了电路的分断时间,而且还易烧损电器中的其它部件甚至引起火灾和爆炸等事故。因此,实际中应尽量设法减小电弧和及早熄灭电弧,这样,才能保证触点分断电路时的工作可靠性。

1. 电弧的产生和熄灭 触点分断瞬间,由于间隙很小,电路电压几乎全部加在触点之间,在触点间形成很强的电场,阴极中的自由电子会逸出到间隙中并向阳极加速运动,这就是强电场发射。前进中的自由电子中途碰撞中性粒子(气体分子或原子),使其分裂为电子和正离子;电子在向阳极运动过程中又碰撞其它粒子,这就是碰撞电离。经碰撞电离后产生的正离子向阴极运动,撞击阴极表面并使其温度逐渐升高;当温度达到一定时,部分电子将从阴极表面逸出并再参与碰撞电离,这就是由于高温作用使阴极产生的热电子发射。此时,间隙内产生弧光并使温度继续升高;当弧温达到 $8000\sim 10000\text{K}$ 以后,触点间隙的中性粒子以很高的速度作不规则的运动并相互剧烈碰撞,结果中性粒子也产生电离,这就是由于高温作用使中性粒子碰撞产生的热电离。上述几种电离的结果,在触点间出现大量的离子流,这就是电弧。电弧形成之后,热电离占主导地位。

应当指出,电弧形成的同时,电弧中正、负带电粒子又存在复合作用。无疑,复合作用的结果是使弧隙中的正、负带电粒子的数目减少。另外,弧隙中离子浓度及温度比周围介质要高得多,故也会引起弧隙内的离子及温度向周围介质扩散,使弧隙中的离子数目减少和温度降低。因此,复合作用和扩散作用削弱了电离过程,也即是消电离过程。不难看出,电弧形成之后,这两个过程便同时存在。电离过程是电弧产生和增大的过程,而消电离过程则是电弧减小和熄灭的过程。从离子平衡的观点来看,不难得出:电离过程大于消电离过程时,则电弧增大;电离过程等于消电离过程时,则电弧稳定存在;电离过程小于消电离过程时,则电弧趋于熄灭。

还应当指出,交流电路中,在电流过零的瞬间,在阴极表面的空间形成的近阴极效应,将产生 $150\sim 250\text{V}$ 的介质恢复强度,使重新燃弧更加困难,所以交流电弧比直流电弧更易熄灭。

在实际工作中,欲使电弧熄灭,常采用不同的熄弧方法和装置。

2. 常用的触点熄弧方法和装置

(1) 双断点熄弧 双断点也就是桥式结构的触点,当触点分断时,在左右两个弧隙中产生两个彼此串联的电弧。由于两个电弧彼此靠近且电流方向相反,所以两个电弧在回路磁场产生电动力 F 的作用下,向两侧方向运动,使电弧受到拉长并受到冷却,如图1-16所示。电弧拉长后

离子易扩散，又降低弧温，增强了消电离过程，故电弧很易熄灭。另外，当用于分断交流电路时，会出现 $2 \times (150 \sim 250) \text{ V}$ 的介质恢复强度，所以更有利于熄弧。

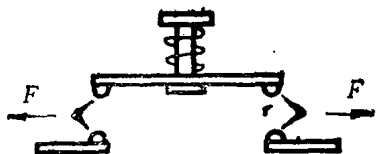


图1-16 双断点熄弧

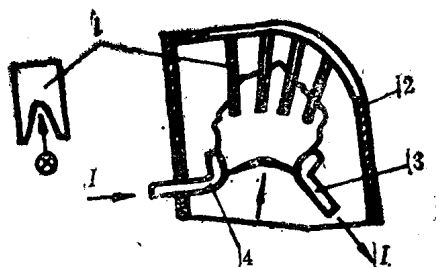


图1-17 熄弧栅片熄弧

1—金属栅片；2—熄弧罩；3—动触点；4—静触点

(2) 熄弧栅片熄弧 熄弧栅片是由镀铜的钢片制成，置于熄弧罩内的触点上方，片间距离为 $2 \sim 3 \text{ mm}$ 。一旦产生电弧，电弧周围产生磁场，导磁的钢片将电弧吸入栅片内，电弧被栅片分割成许多段串联的短电弧，如图1-17所示。当触点分断交流电路时，由于电流过零时的近阴极效应，对具有 n 个栅片的熄弧装置将会产生 $(n+1)$ 倍的 $150 \sim 250 \text{ V}$ 介质恢复强度，因此使电弧自然熄灭后很难重燃。另外，熄弧栅片又可以起散热作用，降低弧温，更有利于熄弧，所以交流接触器的主触点常采用这种熄弧装置。

(3) 熄弧罩熄弧 熄弧罩是用陶土材料制成。电弧进入熄弧罩后，可以降低弧温和增强复合作用，同时还起隔弧作用。在直流接触器的主触点上广泛采用这种熄弧装置。

(4) 磁吹装置熄弧 借用电弧与弧隙磁场相互作用而产生的电磁力实现熄灭电弧的装置，称为磁吹装置，如图1-18所示。在触点电路中串入一个具有铁芯的磁吹线圈，它产生的磁通经过导磁片引向触点周围，在弧隙区产生的磁场方向如图中“ $\otimes$ ”符号所示。产生的电弧可看成是一个载流导体，电流方向由静触点流向动触点。这时，根据左手定则可确定出电弧在磁场中所受电磁力 F 的方向是向上的。由于电弧向上运动，将热量传递给熄弧罩，故促使电弧熄灭。

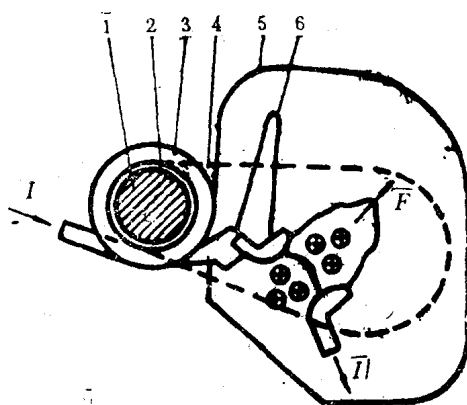


图1-18 磁吹装置熄弧

1—铁芯；2—绝缘管；3—磁吹线圈；4—导磁片；5—熄弧罩；6—熄弧角

不难看出，磁吹力 F 的大小与弧电流方向及其大小均无关。正因为如此，在交、直流接触器的主触点上均可采用这种磁吹熄弧装置。

§1-3 电磁式接触器

一、接触器的作用和分类

电磁式接触器是利用电磁吸力的作用使主触点闭合或分断电动机电路或其它负载电路的控制电器。用它可以实现频繁地远距离操作，它具有比工作电流大数倍乃至十几倍的接通和

分断能力，但不能分断短路电流。由于它体积小，价格便宜和维护方便，因而用途十分广泛。接触器最主要的用途还是控制电动机的起动、反转、制动和调速等，因此，它是电力拖动控制系统中最重要也是最常用的控制电器。

另外，对于电磁式接触器，如果线圈与被控主电路共用一个电源，那么接触器对主电路还具有当电源电压消失或降低到某一定值以下时自动分断主电路的失压保护功能。

接触器按其主触点控制的电路中电流种类分，有直流接触器和交流接触器。它们的线圈电流种类也与各自主触点相同；但也有不同的，如对于重要场合使用的交流接触器，为了工作可靠，其线圈可采用直流励磁方式。另外，在交流接触器中又有工频（50Hz）和中频（400Hz）两种。

接触器按其主触点的极数（即主触点的个数）来分，则直流接触器有单极和双极两种，交流接触器有三极、四极和五极三种。其中用于单相双回路控制时可采用四极，对于多速电动机的控制或自耦降压起动控制可采用五极的交流接触器。

二、接触器的结构及工作原理

电磁式接触器的结构包括以下几部分：

1. 电磁机构 由线圈、铁芯和衔铁组成。

2. 主触点及熄弧系统 根据主触点的容量大小，有桥式触点和指形触点之分，且直流接触器和电流20A以上的交流接触器均装有熄弧罩，有的还带有栅片或磁吹的熄弧装置。

3. 辅助触点 有常开和常闭辅助触点之分，在结构上它们皆为桥式双断点，且触点的容量较小。接触器装设辅助触点的目的是使其在控制电路中起联锁作用。辅助触点不装设熄弧装置，因此，它不能用来分合主电路。

4. 反力装置 由释放弹簧和触点弹簧组成，且它们均不能进行弹簧松紧的调节。

5. 支架和底座 用于接触器的固定和安装。

线圈通电后，在铁芯中产生磁通。于是在衔铁气隙处产生吸力，使衔铁产生闭合动作，主触点在衔铁的带动下也闭合，于是接通了主电路。与此同时，衔铁还带动辅助触点动作，使原先打开的辅助触点闭合，而使原先闭合的辅助触点打开。当线圈断电或电压显著降低时，吸力消失或减弱，衔铁在释放弹簧作用下打开，主、辅触点又恢复到原来状态。这就是接触器的简单工作原理。

由于电器控制线路是由各种电器元件所组成的，为便于分析各种电器元件在控制线路中的作用，各种电器元件可用规定的图形符号表示。接触器在电路图中的图形符号如图1-19所示。

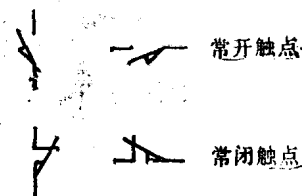


图1-19 接触器在电路图中的图形符号

三、接触器的主要技术数据

1. 额定电压 接触器铭牌上标注的额定电压是指主触点的额定电压。通常用的额定电压等级为：

直流接触器：220、440及660V；

交流接触器：220、380及660V。

2. 额定电流 接触器铭牌上标注的额定电流是指主触点的额定电流。通常用的额定电流等级为

直流接触器：40、60、100、150、250、400及600A；

交流接触器：5、10、20、40、60、100、150、250、400及600A。

上述电流值是指接触器安装在敞开式控制屏上，触点工作不超过额定温升，负载为间断一长期工作制时的电流值。所谓间断一长期工作制是指触点连续通电时间不超过8h。若超过8h，必须空载开闭3次以上，以消除表面氧化膜。若上述条件改变，就要相应修正其电流值，即

当接触器安装于箱柜内时，由于冷却条件差，则电流要降低10~20%使用；

在接触器工作于长期工作制且通电持续率不超过40%的情况下，敞开安装时，电流允许提高10~25%，箱柜内安装时，允许提高5~10%；

介于上述情况之间者，可酌情增减。

3. 线圈的额定电压 通常用的额定电压等级为

直流线圈：24、48、110、220及440V；

交流线圈：36、127、220及380V。

选用时一般交流负载用交流接触器，直流负载用直流接触器，但交流负载频繁动作时可采用直流线圈的交流接触器。

4. 接通和分断能力 指主触点在规定条件下能可靠地接通和分断的电流值。在此电流值下，接通时，主触点不应发生熔焊，分断时，主触点不应发生长时间燃弧。若超出此电流值，其分断则是熔断器、自动开关等保护电器的任务了。

根据接触器的使用类别不同对主触点的接通和分断能力的要求也不一样，而不同使用类别的接触器是根据其不同控制对象（负载）的控制方式所规定的。根据我国低压电器基本标准中规定的使用类别，其分类比较多。但在电力拖动控制系统中，常见的接触器使用类别及其典型用途如表1-1所示。

表1-1 常见的接触器使用类别和典型用途

电流种类	使用类别代号	典型用途
AC (交流)	AC1	无感或微感负载、电阻炉
	AC2	绕线式电动机的起动和中断
	AC3	笼型电动机的起动和运转中分断
	AC4	笼型电动机的起动、反接制动、反向和点动
DC (直流)	DC1	无感或微感负载、电阻炉
	DC3	并励电动机的起动、反接制动、反向和点动
	DC5	串励电动机的起动、反接制动、反向和点动

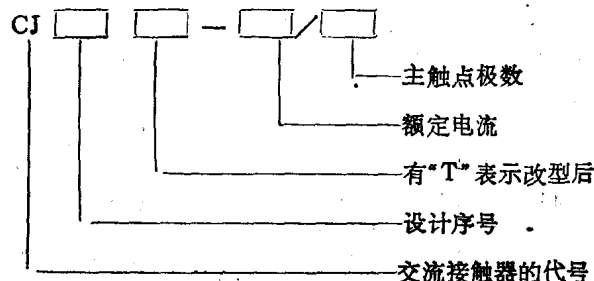
接触器的使用类别代号通常标注在产品的铭牌上或产品手册中。表1-1中要求接触器主触点达到的接通和分断能力是这样的：AC1和DC1类允许接通和分断额定电流；AC2、DC3和DC5类允许接通和分断4倍的额定电流；AC3类允许接通5倍的额定电流和分断额定电流；AC4类允许接通和分断6倍的额定电流。

5. 额定操作频率 指每小时的操作次数。交流接触器最高为600次/h, 而直流接触器最高可达1200次/h。操作频率直接影响到接触器的电寿命和灭弧罩的工作条件, 对于交流接触器还影响到线圈的温升。

四、接触器的典型产品简介

(一) 交流接触器

交流接触器的型号及代表意义



交流接触器是用于远距离控制电压至380V, 电流至600A的交流电路, 以及频繁地起动和控制交流电动机的控制电器。由于交流电路的使用场合比直流广泛, 交流电动机在工厂中使用的比重也很大, 所以交流接触器的品种和规格更为繁多, 常用的有CJ0、CJ10、CJ12和CJ20等系列的交流接触器。

CJ0系列是专为机床配套的产品, 全系列分为10、20、40及75A四个等级。

CJ10系列是应用最广泛的一个系列, 它用于交流500V及其以下电压等级。全系列有5、10、20、40、60、100及150A七个等级。其中40A及其以下各等级的电磁机构是采用E形直动式; 为了提高机械和电气寿命, 还采用了迎击式的结构方式。主、辅触点均采用桥式触点, 且由衔铁直接带动作直线运动。这种结构型的交流接触器如图1-20所示。由图可见, 这种结构属于立体布置方式。它的结构特征是, 上部是主触点和灭弧系统以及辅助触点组件, 下部是电磁机构。主触点的灭弧装置因电流等级而异, 10A及其以下的采用半封闭式灭弧罩或相间隔弧板, 与20A和40A的则采用半封闭式窄缝陶土灭弧罩。

当主触点的额定电流为60A及其以上时, 电磁机构采用E形拍合式, 主、辅触点也为桥式触点。这是一种平面布置式的结构, 电磁机构居右, 主触点及灭弧系统居左。衔铁经转轴借助杠杆与主触点相联。当衔铁作拍合动作时, 经过杠杆的传动使主触点实现直线运动, 与此同时, 也带动辅助触点动作。与前述直动式相仿, 也采用了迎击式结构方式, 主触点的灭弧装置仍采用陶土材料制成的半封闭式灭弧罩。

CJ10系列交流接触器的主触点均做成三极的, 辅助触点则做成二常开二常闭方式。这种系列的交流接触器为一般性负荷的接触器, 它主要用于控制笼型电动机的起动和运转中断

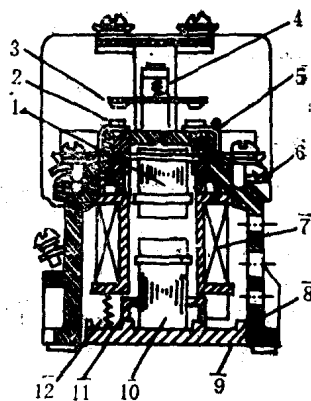


图1-20 CJ10—40型交流接触器

1—衔铁; 2—静触点; 3—动触点; 4—触点弹簧; 5—动触点支架; 6—灭弧罩; 7—线圈; 8—外壳; 9—底板; 10—铁芯; 11—悬架; 12—缓冲弹簧