

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

电器与控制

电器与控制

DIANQI YU KONGZHI

陈本孝 编著

华中理工大学出版社

比

5
6

版
上



0V90/30-18

内 容 提 要

本书共分七章,第一至第六章为有触点电器及其控制线路,结合典型电器的分析,论述电器的基本理论——触头与灭弧系统、电磁系统以及磁路计算的基本方法(包括计算程序),介绍常用低压电器的工作原理、技术参数、使用条件、结构性能,分析有关配电线路、典型生产机械的继电器接触器式控制线路及线路中电器元件的选用方法。第七章为电子电器,通过几种与有触点电器功能相对应的典型产品,分析电子电器的特点、组成、工作原理及抗干扰措施。

本书可作为高等工业院校本科及专科电气类、电子类各专业的教材,也可供有关电气及电子工程技术人员自学与参考。

目 录

绪论	(1)
第一章 电器的基本理论与接触器	(6)
§ 1-1 接触器的工作原理与特性	(6)
§ 1-2 接触器结构型式分析	(12)
§ 1-3 接触器的触头系统和灭弧系统	(14)
§ 1-4 接触器的电磁系统	(35)
§ 1-5 接触器的主要技术参数及选用	(69)
§ 1-6 直流接触器和交流接触器的直流操作	(73)
§ 1-7 真空接触器	(75)
§ 1-8 接触器的应用实例	(76)
第二章 继电器	(90)
§ 2-1 电磁式继电器的工作原理与特性	(90)
§ 2-2 电磁式继电器的主要技术参数及动作值的整定	(94)
§ 2-3 时间继电器	(96)
§ 2-4 热继电器	(101)
§ 2-5 信号继电器	(110)
§ 2-6 继电器的应用实例	(115)
第三章 其它控制电器	(127)
§ 3-1 控制按钮与行程开关	(127)
§ 3-2 刀开关与转换开关	(128)
§ 3-3 凸轮控制器和主令控制器	(131)
§ 3-4 频敏变阻器	(134)
§ 3-5 电磁制动器	(135)
§ 3-6 应用实例	(137)
第四章 起动电器	(144)
§ 4-1 磁力起动器	(144)
§ 4-2 Y- Δ 起动器	(145)
§ 4-3 自耦减压起动器	(147)
§ 4-4 延边 Δ 起动器	(148)
§ 4-5 起动器的比较及启动方式的选择	(150)
第五章 自动开关	(153)
§ 5-1 典型配电线路及配电保护电器	(153)
§ 5-2 自动开关的工作原理及主要技术参数	(156)
§ 5-3 自动开关典型产品分析	(157)
§ 5-4 自动开关操作机构的控制	(171)

§ 5-5 自动开关的选用	(173)
第六章 熔断器	(177)
§ 6-1 熔断器的特点与分类	(177)
§ 6-2 熔断器的工作原理与主要技术参数	(177)
§ 6-3 熔断器典型产品分析	(182)
§ 6-4 熔断器的选用	(188)
第七章 电子电器	(192)
§ 7-1 电子电器的特点及主要技术参数	(192)
§ 7-2 晶体管时间继电器	(198)
§ 7-3 固态保护继电器	(204)
§ 7-4 晶闸管开关	(211)
§ 7-5 无触点行程开关	(223)
参考文献	(228)

绪 论

一、电器的定义与分类

电器是用来控制电能的生产、输配、转换和使用的电气设备,因此电器的范围十分广阔,其中有高达数米的巨型高压电器,例如矗立在葛洲坝大江变电站中的 500kV SF₆ 高压断路器、高压隔离开关等,也有小如指头、可直接与微机接口相连的微型固态继电器等。其用途广泛,品种规格繁多,结构工作原理各异,功能也各不相同。分类方法有多种。

按电压的高低可分:

(1) 高压电器 额定电压为 3kV 及以上的电器,例如高压断路器、隔离开关、负荷开关、高压熔断器、电流互感器、电压互感器、避雷器和电抗器等。

(2) 低压电器 额定电压在 1140V 及以下的电器,例如自动开关、低压熔断器、刀开关、转换开关、接触器、控制继电器、起动器、控制器、电阻器、变阻器和主令电器等。

按电器的用途可分:

(1) 电力网系统用电器 例如高压断路器、电抗器、避雷器、自动开关和低压熔断器等。除电抗器和避雷器外,对这类电器的主要技术要求是通断能力强、限流效果好、电动稳定性和热稳定性高、操作过电压低和保护性能完善等。

(2) 电力拖动自动控制系统用电器 例如接触器、起动器、控制器和控制继电器等。对这类电器的主要技术要求是具有一定的通断能力、操作频率高、电气和机械寿命长等。

(3) 自动化通讯用弱电电器 例如微型继电器、舌簧管、磁性或晶体管逻辑元件等。对这类电器的主要技术要求是动作时间短、灵敏度高、抗干扰能力强、特性误差小、寿命长和工作可靠等。

按电器使用场合和工作条件可分:

(1) 一般工业企业用电器 用于冶金、发电厂、变电所和机械制造等工业作为配电系统和电力拖动系统以及机床、通用机械电气控制设备中的电器元件。

(2) 船用电器 具有一定耐潮湿、耐腐蚀、耐倾斜、耐摇摆和抗冲击振动性能,适用于船舶和舰艇上的电器。

(3) 化工电器 具有一定耐潮、耐腐蚀和防爆性能,适用于化学工业的电器。

(4) 矿用电器 要求防爆、密封、耐潮、抗冲击振动且整体非常坚固,适用于矿山井下作业的电器,目前已发展到控制电压 660V、1140V 煤矿专用电器。

(5) 牵引电器 用于汽车、拖拉机、起重机械和电力机车等交通运输工具的耐振、耐颠和耐摇摆的电器。

(6) 航空电器 飞机和宇航设备等特殊要求的电器。

(7) 热带电器和高原电器 适用于热带、亚热带地区以及高原山区的温度、盐雾、湿度和霉菌等不同环境的电器。

对于有触点电器来说,上述电器的执行元件是触头,即依靠触头的关合或断开来接通和切断电路,故有“有触点电器”之称。这种有触点电器在开断电路时,触头间隙将产生电弧。电弧一方面使电路仍旧保持导通状态,延迟了电路的开断,同时会烧坏触头甚至引起电器的爆炸和

火灾,因此灭弧问题甚为重要。在有触点电器中,电弧问题的研究吸引了古今中外众多的学者,在电器领域中形成了一个重要的分支。近年来随着半导体电子器件、特别是大功率半导体器件的发展,出现了无触点电器,又称电子电器。这种无触点电器接通与断开电路的任务不再是触头来执行,而是控制开关元件输出信号的高低电平来实现,因而免去了灭弧的困扰,实现了电路的无电弧通断操作。属于这类无触点电器的有晶体管时间继电器、固态保护继电器和晶闸管开关等。

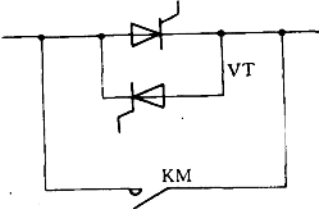


图 0-1 混合式电器

顺便指出,无触点电器的出现,是现代电子技术应用于电器领域,使电器不断充实和发展的必然结果,绝不意味着有触点电器的衰落。事实证明,无触点电器是不可能完全代替有触点电器的,它们不应是相互排斥、相互取代,而应是相互结合与相辅相成。例如,用晶闸管与电磁式接触器组成的无电弧接触器,又称混合式电器,如图 0-1 所示。在电磁式接触器 KM 的每个主触头上并联一电子开关 VT(普通晶闸管或双向晶闸管)。正常运行时,晶闸管中没有电流流过,电流只经过接触器的触头,因此压降小、功耗小,解决了晶闸管电路因长期通电所产生的压降大和温升高问题。利用接触器主触头接通线路,以提高线路的接通能力。而在分断时,则依靠晶闸管无触点触发和阻断特性,实现电路无电弧通断,这是一种新型的电器。试验结果证明,这种二结合的新型无电弧接触器,电气寿命在重负荷任务下可高达几百万次(一般有触点电器为 100 多万次)。目前作为电器学科的主要部分,有触点与无触点都在不断发展中。

二、电器的特点

从结构上看,电器一般都具有执行元件和传感元件两个基本组成部分。以电磁式继电器为例,它的传感元件是电磁铁,执行元件是触头。图 0-2 示出了它的结构原理。图中的铁心柱 1、铁轭 2、衔铁 3 和线圈 6 组成了电磁系统,弹簧 5 作衔铁断电释放之用,也直接影响继电器的动作值。图中 7 是继电器的触头, K_0K_2 为常闭触头,当继电器未通电时处于闭合状态, K_0K_1 是常开触头,继电器

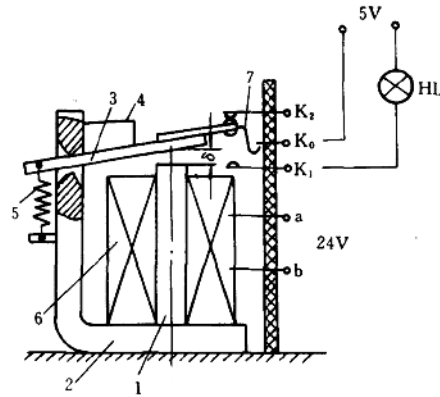


图 0-2 电磁式继电器

未通电时处于打开

状态。当线圈 ab 通电,在电磁系统中产生电磁吸力,如果吸力足以克服弹簧反力,衔铁吸合,并带动触头执行任务,图中指示灯 HL 亮。如果线圈断电,衔铁释放,指示灯便熄灭。

电器由传感元件(电磁系统)及执行元件(触头系统)组合成一个整体,但在用上却根据需要接入不同的电路中,如上图继电器线圈接入控制电路(24V),直接感测该电路中信号的大小;而其常开触头却接入显示电路(5V),控制指示灯的亮和灭。为了表明线圈及触头是同一继电器的不同元件,在控制电路及显示电路中,均使用同一文字符号 K 来表示(图 0-3)。

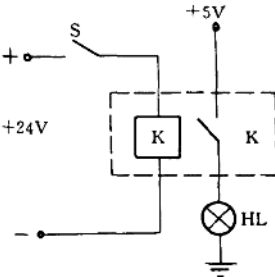


图 0-3 显示灯的继电器控制

三、电器在自动化技术中的作用

下面以一条电镀生产线微机控制系统中有关强电控制原理图为例来分析电器在自动化技术中的作用。在电镀生产线上,各种镀槽成一字形排列,工件挂在料棒上,料棒挂在行车的钩子上(图0-4),这样依靠行车的前进、后退,前钩与后钩的上升、下降,便可将工件依次放入镀槽中进行电镀处理。一条控制功能较为完善的电镀生产线,应包括工艺流程(即行车的运行)控制和电镀槽中镀液温度、电镀电流等多种参数的控制两部分。对工艺流程而言,计算机控制的对象主要是行车。而行车的运行是通过安装在行车上的三台电动机 M_1 、 M_2 、 M_3 来实现的,其中 M_1 控制行车的前进与后退, M_2 和 M_3 分别控制前钩的上下与后钩的上下。在电镀生产线微机

控制系统中,强电控制原理图如图0-5所示,三相交流电源经自动开关QA、熔断器FU₁、热继电器FR₁、接触器KM₁接到电动机M₁。接触器KM₁的主触头串接于电动机M₁定子绕组主回路中,正转继电器K₁的常开触头与接触器KM₁的线圈串联,组成强电控制线路中的二次回路。当继电器K₁通电,常开触头闭合,接触器KM₁线圈通电,三对主触头闭合,接通电动机M₁的定子绕组,电动机M₁正转,于是带动行车前进。当K₁断电,KM₁的三对主触头断开,电动机M₁停转,行车停止前进。当反转继电器K₂闭

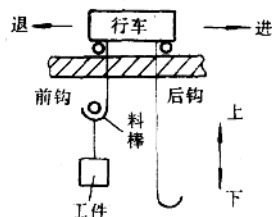


图0-4 行车示意图

合,接触器KM₂线圈通电,使KM₂的三对主触头接通,改变了电动机定子绕组的相序,M₁反转,于是带动行车后退。在KM₁通电、M₁正转、行车前进时,KM₁的常闭辅助触头断开。由于它串联于KM₂线圈中,保证了KM₂线圈断电,M₁不会反转。即行车前进时,反转接触器KM₂不工作,这就是二次回路的互锁作用。同理,为保证行车在后退的过程中正转接触器KM₁不工作,将接触器KM₂的常闭辅助触头串接于接触器KM₁线圈中,辅助触头的互锁作用,保证正、反两个接触器不会同时工作,因而防止了电源通过主触头短路事故。

在运行中,当电动机发生短路故障时,短路电流通过熔断器FU₁,使熔体熔断以切断短路电流,对电动机实现了短路保护。热继电器FR₁用作电动机的过载保护,当电动机发生过载时,串联在主回路中的热元件发热到一定的温度,致使其双金属片弯曲,串接在二次回路中的常闭触头断开,于是接触器线圈断电,主触头断开,切断了电动机的电源,行车停止工作。此外,在二次回路中,将继电器K₁及K₂的常开触头两端并联了备用手动按钮SB₁、SB₂,安装在微机控制装置以外,以便在微机不工作(如检修或调试)期间,“手动”控制行车工作。运行中若遇到紧急情况,按下急停按钮SB,便可切断电源,实现紧急停车。前钩与后钩的控制电路与此类似。

由以上分析可知,强电控制电路是通过串接于二次回路中的继电器常开触头控制接触器线圈以达到最终控制行车上电动机的正反转,实现行车前进或后退的目的。而继电器的动作则是由微机来控制。因此,在电镀生产线微机控制系统中,微机通过继电器、接触器实现了对电动机的控制,从而控制了行车的运行。为此现场工位信号必须输入微机进行检测与处理,其控制框图如图0-6所示。广泛地说,任何一个控制系统,作为配电装置、保护元件、控制元件到执行机构都离不开电器。随着国民经济的发展,工业自动化程度不断提高,电器的应用范围日益扩大,例如,一个年产30万吨合成氨的工厂,所使用的低压电器就有数百个品种、数千件产品,一套1700mm的连轧机,就使用了上万件低压电器。电器工业,作为国民经济建设中重要的一环,高科技领域中的一片沃土,必将以飞快的速度发展、向前!

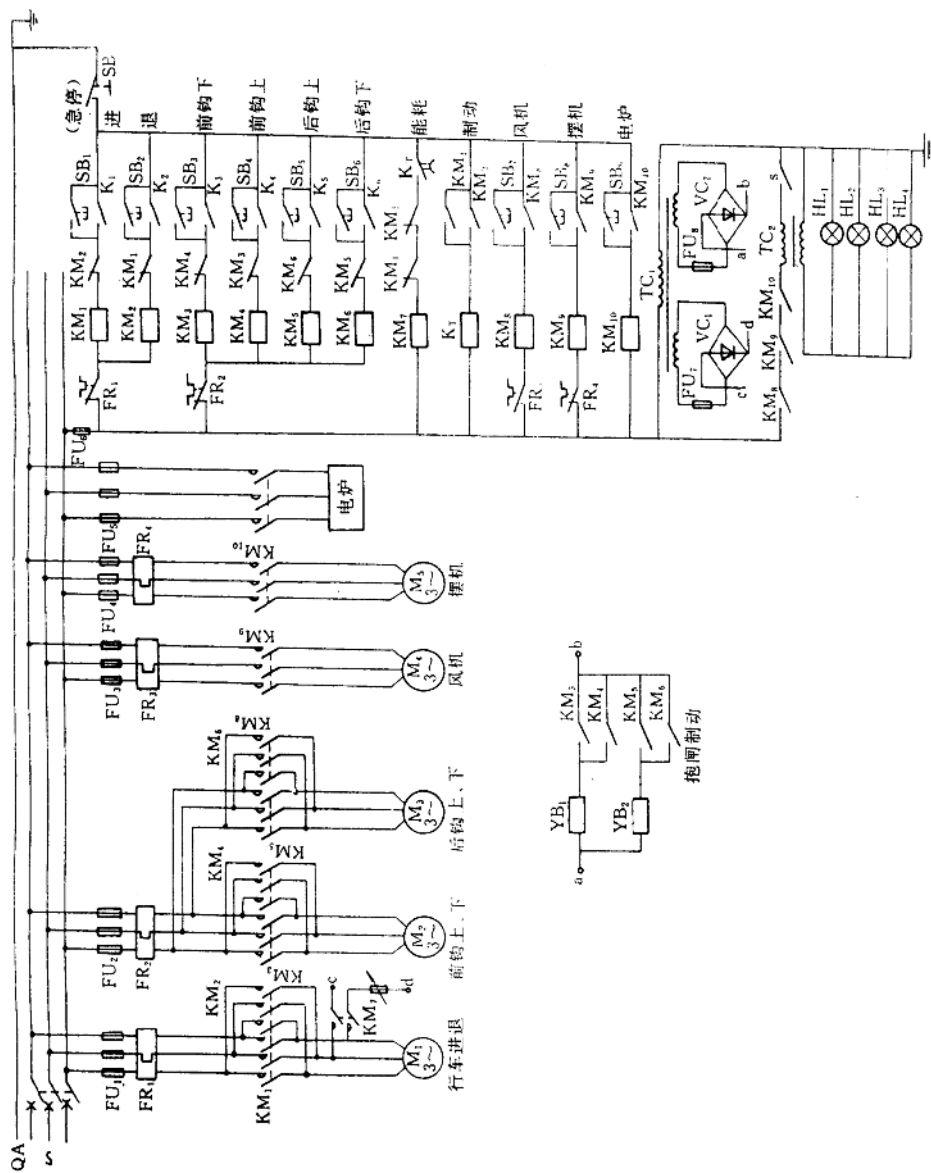


图 0-5 电镀生产线强电控制原理图

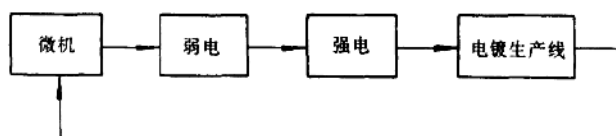


图 0-6 电镀生产线控制系统框图

四、本课程的任务

《电器与控制》是应用电子技术专业的主要专业课之一。本课程以有触点电器为主体,通过讲授、实验及习题等教学环节,结合典型电器产品的分析,了解有关电器的基本理论——触头和灭弧系统、电磁系统以及磁路计算的基本方法(包括计算程序),学习常用低压电器的工作原理、技术参数、工作条件、结构性能和特点,学习几种与有触点电器功能相对应的电子电器的工作原理,分析与选择有关配电线路和控制线路,掌握线路中电器元件的选用方法。

第一章 电器的基本理论与接触器

§ 1-1 接触器的工作原理与特性

一、概述

接触器是一种用来频繁地接通和切断主电路或大容量控制电路的电器。由于依靠电磁系统来操作主触头,主触头串接于主电路中,电流大,电磁系统的线圈接于控制电路中,电流小,这样便可以用控制线圈电路对主电路设备进行远距离的自动控制。

接触器广泛地用于控制电动机和其它电力负载,如电焊机、电热器、照明灯和电容器组等。由于在自动控制系统中要求接触器的操作频率很高,如每小时 300 次、600 次,甚至高达 3000 次,为了保证一定的使用期限,接触器必须具有足够长的机械寿命和电气寿命,一般要求机械寿命为数百万次以至一千万次以上,电气寿命按不同的使用类别和不同的机械寿命级别有一定的百分比,一般达 100 万次以上。例如在某控制系统中,接触器的操作频率为每小时 600 次,8 小时工作制,则每天操作 4800 次,对电气寿命高达 100 万次的接触器也只能工作 200 多天。除了要求它工作可靠、寿命长外,还要求接触器向着体积小的发展方向,因此迫使电器工作者对接触器的结构、工艺性能不断地加以改进和更新。

接触器的种类很多,按工作原理可分为电磁式、气动式和液压式。这里主要研究电磁式接触器,按控制主回路的电源种类可分为交流接触器和直流接触器两种:激磁线圈为直流,主触头用来接通与开断直流电路的为直流接触器;激磁线圈为交流,主触头用来接通与开断交流电路的称为交流接触器。此外还有激磁线圈为直流,主触头用来控制交流电路的交直流接触器。按激磁线圈的接法不同,可分并激式和串激式两种。并激式接触器的激磁线圈与电网并联;串激式接触器的激磁线圈在电网中与负载串联,一般前者应用最广。

接触器有主触头和辅助触头。主触头用来开闭大电流的主电路,辅助触头用于开闭小电流的控制电路。主触头的路数称为极数。根据极数的不同可分为单极接触器和多极接触器。直流接触器一般分为单极和双极的;交流接触器大多数是三极的;四极、五极接触器用于多速电动机控制或者自耦减压起动器的自动控制。此外还有几种特殊用途的接触器,如中频接触器、高频接触器等。

二、接触器的基本工作原理与结构

现以小容量直动式交流接触器为例来分析接触器的基本工作原理和结构。它的结构示意图如图 1-1 所示。其主要组成部分包括:

(1) 主触头和灭弧系统,由静触头 5、动触头 6、触头弹簧 7 及灭弧罩 14 等组成,用于接通、切断三相交流主电路,有三对主触头。

(2) 辅助触头,如图 1-1 右角所示,实际上布置在三对主触头的两边,由常开辅助触头 8、9 及常闭辅助触头 10、11 组成。其中 8 与 10 为静触头,9 与 11 为动触头,用于控制电路,通过电流较小,一般不带灭弧装置。

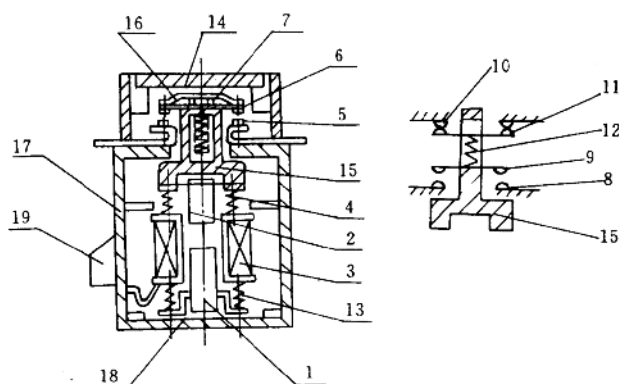


图 1-1 直动式交流接触器的结构示意图

(3) 电磁系统,由静铁心 1、动铁心(衔铁)2 及激磁线圈 3 等组成,用于产生电磁吸力使接触器吸合。

(4) 反作用系统,主要由反力弹簧 4、触头弹簧 7、辅助触头弹簧 12 及可动部分重力与摩擦力等组成,产生机械反力,当激磁线圈断电时,使接触器打开而复位。

(5) 缓冲弹簧,如图 1-1 中 13(或硅橡胶)所示,可以减少关合过程中动静铁心之间的碰撞、触头振动,提高寿命。

接触器的工作原理是:当电磁系统的线圈 3 通电而激磁时,动铁心 2 受到吸力,它克服机械反力被吸向静铁心 1,并通过动支架使动触头 6 与静触头 5 闭合,同时也带动两侧的辅助触头动作,使常开辅助触头 8、9 闭合,常闭辅助触头 10、11 打开,此时反力弹簧 4 和触头弹簧 7 均被压缩,将电磁能量储存起来,为开断作准备。线圈 3 断电后,在反作用系统 4、7 的作用下,动铁心 2 被释放而复位,触头 5 与 6 断开,触头在分断时产生的电弧被引入灭弧罩 14 内熄灭。为了提高接触器的寿命,减少关合过程中的碰撞、振动,电磁系统需要加装缓冲装置,以吸收多余的动能。如图 1-1 所示,静铁心 1 并没有固死,而是由缓冲弹簧 13 支持在底板上。在线圈通电衔铁被吸合的过程中,当电磁吸力大于或等于缓冲弹簧的反力时,静铁心不再静止,而是克服缓冲弹簧的反力被“拉出”迎接动铁心的到来——这便是“迎击式”缓冲装置名称的由来。直到衔铁与静铁心闭合,电磁吸力被视为内力将动静铁心吸合成一体,此时,由于缓冲弹簧力大于电磁系统的反力,于是,在缓冲弹簧的作用下,一起被拉回原位。

根据上述原理,进一步来分析在衔铁运动过程中,主触头的闭合过程。以上述双断点直动式结构为例,电磁系统与触头系统通过动支架连在一起作直线运动,主触头为常开桥式触头,辅助触头为常开和常闭桥式触头各几对。图 1-2 表示主触头在关合过程中的三个位置:(a)触头在开断位置;(b)动、静触头开始接触位置;(c)触头最终接触位置,箭头表示衔铁通过动支架 15 带动动触头运动的方向向下。

当接触器未动作时,在触头弹簧 7 的作用下,动支架 15 与动触桥紧紧被压住,其间没有间隙,此时,动、静触头的位置如图 1-2(a)所示,动、静触头之间的距离 δ_1 称为触头的开距。动、静触头刚接触时,触头的压力称为初压力。当线圈通电后,在电磁吸力作用下,衔铁首先克服反力弹簧的反力,借动支架带动动触头向下运动。在衔铁尚未到达最终位置(衔铁与静铁心接触位置)之前,动、静触头开始接触,如图 1-2(b)所示,这时动触桥与动支架仍被触头弹簧 7 压紧。由于静触头固定,阻止动触头及触桥使之不能继续向下运动,此时衔铁尚未到达静铁心处,需

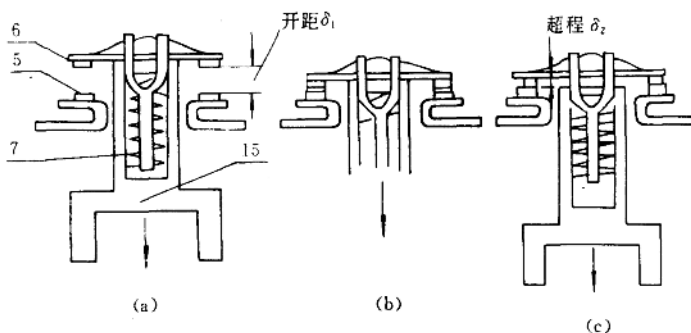


图 1-2 桥式触头的关合过程

要进一步克服触头弹簧的反力才能继续前进。当衔铁带动支架继续向下运动时,主触头弹簧 7 进一步被压缩,直到衔铁与静铁心完全闭合为止,触头最终接触位置如图 1-2(c)所示。此时,在动触桥与动支架之间便显露出一个间隙 δ_2 ,这个间隙称为触头的超程。触头最终接触位置的触头压力称为终压力。

通过上述关合过程的分析,可以找出触头的四个主要参数:

触头开距 δ_1 是衔铁未动作时动静触头间的距离,用以保证触头断开后必要的安全绝缘间隙。

触头超程 δ_2 是从动、静触头开始接触,至衔铁完全闭合为止衔铁所走的距离,或者说是触头弹簧被进一步压缩的距离,常用动触桥与动支架之间显露的间隙来表示。它是用以保证触头电侵蚀以后仍能可靠地接触,即保证触头压力的最小值。

触头初压力 F_1 是动、静触头开始接触时触头间的压力。初压力用以降低触头闭合过程中的弹跳。

触头终压力 F_2 是衔铁完全闭合后,动、静触头之间的压力。由于触头从起始接触位置到最终位置,触头弹簧不断受到压缩,终压力恒大于初压力。终压力应使触头在闭合状态时的接触电阻小且稳定。

双断点桥式触头上弹簧的压力为每个断点触头压力的两倍。

三、接触器的基本特性

根据接触器的工作原理,可以获得两个重要特性:吸力特性 $F=f(\delta)$ 和反力特性 $F_r=f(\delta)$,如图 1-3 所示。

1. 接触器的反力特性

在反力系统中,接触器的反力主要由反力弹簧和触头弹簧及辅助触头弹簧形成。弹簧对反力有着直接的影响。弹簧变形的大小 X 与弹簧力 F 成正比。它们的比例系数,称为弹簧的刚度 C 。弹簧力的大小,与变形成正比,即

$$F = CX \quad (1-1)$$

触头弹簧变形的大小与触头开距、超程、初压

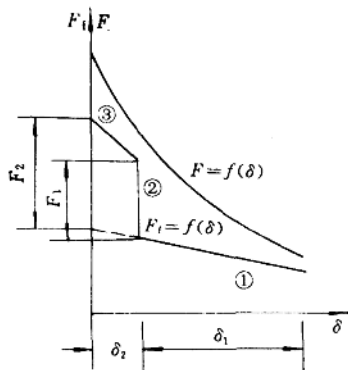


图 1-3 接触器的吸力特性与反力特性(简化)

力和终压力有关。这四个触头参数对接触器和其它有触点电器的性能至关重要。因此,在电器制造过程中必须保证触头的开距和超程,才能保证触头的初压力和终压力符合设计要求。

触头初压力 F_1 与终压力 F_2 的关系可用下式表示

$$F_2 = F_1 + CX_2 \quad (1-2)$$

对于直动式双断点触头弹簧,变形 X_2 便是触头的超程 δ_2 。

在接触器线圈通电,衔铁被吸合的过程中,一切阻止衔铁运动的力均称为接触器的反力。反力特性是衔铁在运动过程中系统的反力 F_t 与磁系统工作气隙 δ 的关系曲线 $F_t=f(\delta)$ 。当忽略辅助触头弹簧及运动系统重量等其它因素的影响时,利用触头四个主要参数及反力弹簧的参数,便可得出简化的反力特性,如图 1-3 所示。图中反力特性的横坐标用磁系统气隙 δ 表示, δ_1 为触头的开距, δ_2 为触头的超程, F_1 为触头的初压力, F_2 为触头的终压力。对双断点直动式接触器,磁系统工作气隙 δ 等于触头开距 δ_1 与超程 δ_2 之和。反力特性的纵坐标表示系统总的反力 F_t , 线段①为反力弹簧特性,在打开位置,反力 F'_1 较小,随着衔铁的运动,气隙减少,反力弹簧进一步被压缩,反力按直线规律增加, $\delta=0$ 时增至 F'_2 , 系统总反力为反力弹簧与触头弹簧二者反力特性的叠加(之和)。线段②表示触头的初压力 F_1 , 当衔铁走完了开距 δ_1 , 便进入超程范围,当 $\delta=\delta_2$, 动、静触头开始接触,总的反力特性由于触头弹簧初压力 F_1 的加入而跳变。线段③表示触头弹簧在超程范围内进一步被压缩,直至衔铁闭合, $\delta=0$, 运动停止,触头的初压力 F_1 增至终压力 F_2 , 此时总反力 $F_t=F_2+F'_2$ 。由于接触器常具有三对主触头,故在系统反力特性中, F_2 应为三对主触头终压力之和, F_1 为三对主触头初压力之和。

双断点直动式接触器的电磁系统,通过动支架带动桥式主触头作直线运动的同时,也带动桥式辅助触头一起作直线运动。辅助触头分为常开和常闭两种,共几对,实际安装在三对主触头的两边。现取常开和常闭辅助触头各一对进行分析。衔铁在关合过程中,辅助触头的四个位置如图 1-4 所示。

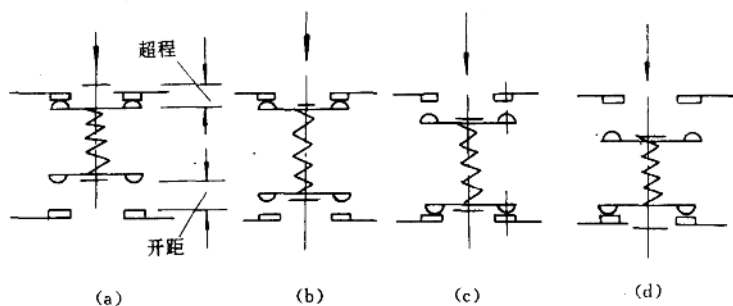


图 1-4 辅助触头的关合过程

当接触器未动作时,常闭辅助触头(上面)处于闭合状态,其动、静触头间的力为辅助触头弹簧产生的终压力,常开触头(下面)是开断的,如图 1-4(a)所示。线圈通电以后,在电磁吸力的作用下,衔铁通过动支架带动辅助触头向下运动,于是触头弹簧得以伸张,经过一定的时间,常闭辅助触头的动触头将要离开静触头(还未离开),此时触头间承受着弹簧产生的初压力,如图 1-4(b)所示。再经过一定时间,常开辅助触头的动、静触头刚刚开始接触,常开触头间的压力为初压力,如图 1-4(c)所示。当动支架继续向下运动时,辅助触头弹簧被压缩直到衔铁与静铁心完全关合为止。此时,常开触头完全闭合,触头弹簧被压缩的长度等于超程,常开触头间的压力为终压力。从图 1-4(a)所示的位置可以量出常开辅助触头的开距,以及常闭辅助触

头的终压力和超程。从图 1-4(d) 所示位置可量出常闭辅助触头的开距以及常开辅助触头的终压力和超程。图 1-4(b) 与 (c) 则可分别量出常闭辅助触头及常开辅助触头的初压力。

在简化反力特性的基础上,进一步考虑辅助触头的作用之后,便可得出接触器较为详细的反力特性,如图 1-5 所示。实际上,根据上述过程可以将接触器的动作过程划分为五个位置进行分析,如图 1-5 所示。

(1) 当电磁系统的气隙 $\delta = \delta_1$ 时,接触器未动作,主触头断开,常闭辅助触头闭合。

(2) $\delta = \delta_2$ 时,接触器已动作,衔铁只走了 $\delta_1 - \delta_2$ 的距离,主触头仍分断,常闭辅助触头的动、静触头刚刚分离。

(3) $\delta = \delta_3$ 时,主触头间隙已减小,常闭辅助触头已分开,而常开辅助触头开始接触。

(4) $\delta = \delta_4$ 时,主触头开始接通,常开辅助触头保持闭合,且辅助触头弹簧进一步受到压缩,使辅助触头之间的压力增大,常闭辅助触头继续增大其分开距离。

(5) $\delta = 0$ 时,衔铁被吸到铁心端面处,运动停止,触头闭合过程完成,主触头闭合,常开辅助触头闭合,常闭辅助触头打开。

综合上述分析,在忽略运动部分的重量和运动过程中的摩擦力等因素的影响时,便可找出影响反力特性的主要因素:(1) 反力弹簧产生的反力;(2) 主触头的压力;(3) 常闭辅助触头的压力;(4) 常开辅助触头的压力。将以上四种反力代数相加,便得出总的反力特性 $F_t = f(\delta)$,如图 1-5 中粗的折线所示。

单断点转动式接触器的触头主要由下列零部件组成:静触头支架 1、静触头 2、动触头 3、触头弹簧 4 和动触头支架(与转轴直接相联)5。为了接通电流,在动触头与接线端之间采用软连接。图 1-6 示出了单断点转动式触头在关合过程中的三个位置:(a) 触头在开断位置;(b) 动、静触头开始接触的位置;(c) 触头最终接触的位置。

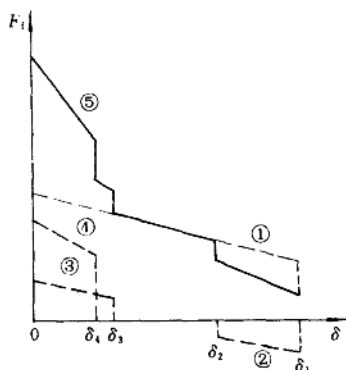


图 1-5 接触器的反力特性

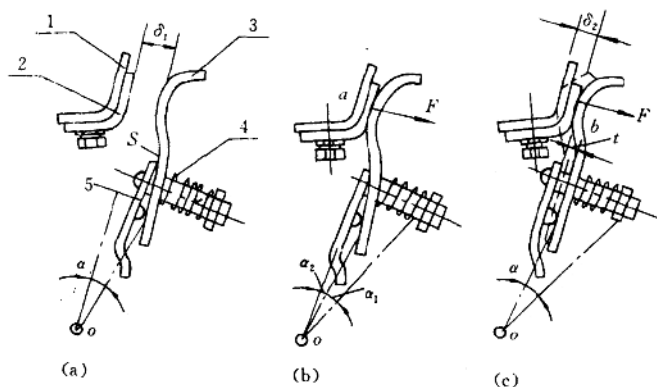


图 1-6 转动式触头在关合过程三个位置

当接触器未通电时,在触头弹簧 4 的作用下,动触头支架 5 与动触头 3 被压紧在一起,在 S 处没有间隙,如图 1-6(a) 所示,动、静触头之间的距离 δ_1 称为触头的开距。当接触器线圈通

电, 衔铁便克服反力带动触头动支架 5 围绕转轴 o 逆时针方向转动, 使动触头与静触头开始在 a 点接触, 如图 1-6(b) 所示, 此时动触头与动触头支架仍被触头弹簧 4 所压紧, S 处无间隙。当衔铁带动动触头支架 5 继续转动, 向静铁心靠拢时, 动触头却被静触头阻止不能继续向前, 而衔铁需进一步克服触头弹簧 4 的压力才能前进。当衔铁继续向前时, 触头弹簧 4 进一步被压缩, 直到衔铁与铁心完全闭合为止, 此时在动支架 5 与动触头 3 之间的 S 处便出现了间隙 t , 相当于触头接触后, 如果取去静触头, 则动触头再向前走的距离 δ_2 , 即为触头的超程, 如图 1-6(c) 所示。

动、静触头开始在 a 点接触, 由于动触头被静触头阻止, 而动支架则继续前进, 于是动触头便在静触头上产生滚动与滑动, 从最初接触点 a 滚滑到最后接触点 b (由于动、静触头前后接触点之间的长度不完全相同, 在动、静触头间除滚动外还有滑动产生)。触头在闭合及分断时的滚动和滑动, 可以使分断时产生的电弧不致损坏正常接触点 (b 点), 而滑动还可除去触头表面氧化膜及脏物。

单断点转动式接触器, 其电磁系统也为转动式。对于转动式电磁系统的反力特性, 应用转矩 M 和转角 θ 的关系来表示:

$$M_t = f(\theta)$$

式中, M_t ——反力的力矩;

θ ——衔铁打开的角度。

在衔铁运动过程中, 除了反力弹簧及触头弹簧产生企图阻止衔铁关合的反力外, 还有运动部分的重量及摩擦力等因素, 由于一般情况影响较小, 可不考虑。

反力特性代表接触器的机械负载。随着接触器容量的增加, 触头压力等参数数值增加, 反力特性必然上升, 电磁系统的任务是带动负载作机械功, 因而电磁系统的负担加重。反力特性是电磁系统设计的主要依据。

2. 吸力特性

接触器的吸力特性是电磁吸力 F 与电磁系统工作气隙 δ 的关系曲线 $F=f(\delta)$ 。对一已知结构尺寸的电磁系统而言, 其吸力特性可由磁路计算求得, 也可由实验的方法求得。用磁路的基本概念分析, 在打开位置, 由于气隙大, 工作气隙磁阻大, 磁导小, 产生的工作磁通小, 吸力小。随着衔铁的运动, 气隙减小, 磁阻减小, 磁通增加, 产生的吸力也增加, 其特性如图 1-7 中⑤所示。不同结构的电磁系统, 具有不同形状的吸力特性, 同时电磁系统的负载越重, 它的功率越大, 其尺寸也随之增大。

对于常用并联激磁线圈的接触器, 其吸力特性还随电网电压的波动而变化, 电压高, 电磁系统的磁通大, 产生的吸力大, 反之电压低, 吸力小。图中示出了电压为 $100\%U_c$ (额定值) 时的吸力特性⑤及电压为 $85\%U_c$ 时的吸力特性④, 显然特性⑤高于④。为了保证接触器可靠动作, 吸力特性 $F=f(\delta)$ 必须在反力特性 $F_t=f(\delta)$ 的上面。考虑到电网电压的波动, 国家标准特规定接触器线圈的控制电压 (与电网并联) 为 $85\%U_c$ 时能可靠地关合。实际上是要求吸力特性④也在反力特性之上。由电器学理论得知, 吸力特性与反力特性之间的面积代表衔铁的动能, 如果吸力特性过高, 将在关合过程中使铁心

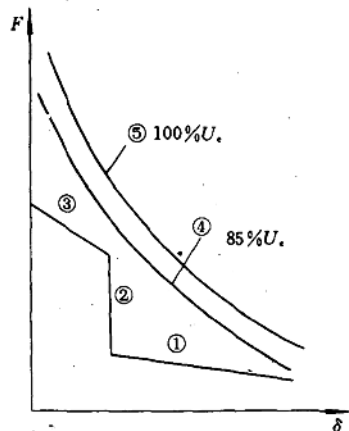


图 1-7 吸力特性与反力特性配合

间和触头间产生很大的撞击,以致降低接触器的机械寿命和电气寿命;吸力特性过低时又使接触器吸合不上。因此要求吸力特性与反力特性很好地配合,既要可靠地关合又不能撞击太大,以期最终提高接触器的寿命,这便是电器设计者的任务。

值得指出:开关电器一般都有反力特性(机械特性)和吸力特性(操作特性)。

§ 1-2 接触器结构型式的分析

接触器的触头、灭弧、电磁系统结构、传动方式以及它的总体布置,对其性能和参数均有很大的影响。接触器的结构型式大体可分为三大类:(1) 单断点转动式;(2) 双断点直动式;(3) 双断点杠杆传动式。

一、单断点转动式

如图 1-8 所示,这是一种条架式结构,接触器的基本元件组装在条架上,电磁系统布置在

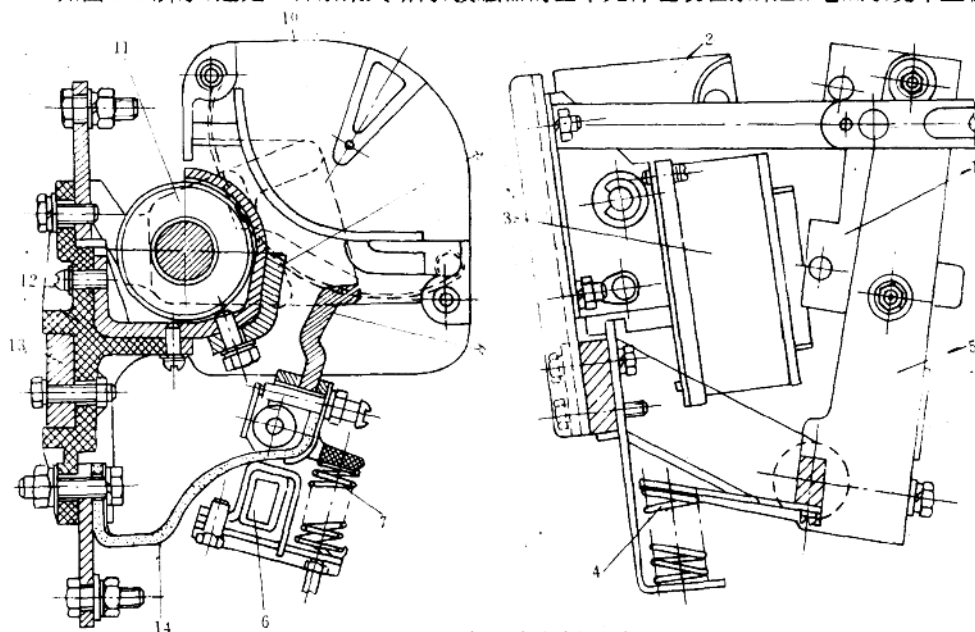


图 1-8 CJ12-250 型杠杆传动单断点交流接触器

- 1—衔铁; 2—铁心; 3—线圈; 4—反作用弹簧; 5—支架; 6—绝缘转轴; 7—触头弹簧;
8—动触头; 9—静触头; 10—多纵缝灭弧室; 11—串联磁吹线圈; 12—绝缘座;
13—安装条板; 14—软连接

主触头系统的右边,衔铁与动触头系统固定在同一转轴上,触头为单断点,电磁系统为转动式,国产 CJ12 系列交流接触器便是这样的结构。这种单断点转动式结构型式接触器具有下列特点:

(1) 单断点触头在接通和开断过程中伴随有滚动和滑动的运动,由于滑动可以自动擦去触头上的脏物和氧化膜,滚动可使正常接触点与触头开始分开点不在同一位置,使工作点免受电弧灼伤。因而转动式触头可以用铜或铜的合金制造,不必用贵重的银。由于只有一个断口,触头开距比双断点的大。

(2) 可利用杠杆比来改善吸力和反力特性的配合,在这种系统中,触头系统的力臂 l_k 和电磁系统力臂 l_e 可以自由调整,一般使电磁系统的力臂 l_e 大于触头系统的力臂 l_k ,即杠杆比 $K=l_e/l_k>1$,使触头关合速度降低,触头压力提高,因而减小触头的振动。如果触头压力一定,触头力臂减小,反力矩减小,可以减小电磁系统的负担,获得经济的反力矩特性。

(3) 单断点触头压力大,极数变化方便,便于安装灭弧装置,一般采用串联磁吹线圈,并配合多纵缝灭弧室,有强烈的灭弧作用,适合做大容量、重任务的交流接触器。

(4) 这种结构是平面布置,体积较大,由于动触头的电流用软连接引出,软连接及转动的轴承均影响接触器的寿命。

二、双断点直动式

如图 1-1 所示,触头系统安装在电磁系统的上部,整个结构按立体方向发展,十分紧凑,触头为双断点桥式触头,衔铁通过动支架直接带动触头作直线运动,这种结构的特点如下:

(1) 由于作直线运动免除了软连接、轴和轴承,有利于提高寿命。

(2) 触头为双断点,灭弧效果好,在一定条件下简化了灭弧装置的结构。

(3) 在关合过程中,触头无滚动与滑动,磨损减少,但表面的氧化膜不能自动排除,并使工作点有被灼伤的危险,因此要用接触电阻不受氧化膜影响的贵重金属制造触头,如银或银基合金等。

(4) 由于是直动式,触头的合闸速度大(等于衔铁的合闸速度),增大了触头的振动与电侵蚀,失去了杠杆比可调的优点。这种结构型式原适合于 40A 以下的小容量接触器;近年来,由于电磁系统的不断改进,这种结构型式已扩展到用于中、大型交流接触器,如 CJ20 系列、3TB 系列等。

三、双断点杠杆传动式

双断点杠杆传动式是一种平面布置式结构,电磁系统居左,触头系统居右,采用双断点桥式触头,电磁系统通过杠杆臂带动触头系统,故称双断点杠杆传动式,如图 1-9 所示。这种结构的优缺点是:

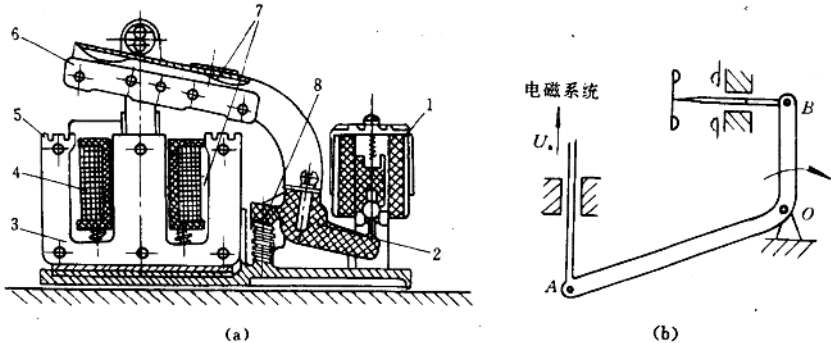


图 1-9 杠杆传动式交流接触器结构简图

1—辅助触头组; 2—转轴; 3—铁心; 4—线圈; 5—短路环; 6—衔铁; 7—缓冲弹簧; 8—释放弹簧

(1) 利用杠杆比减轻电磁系统的负担,改善吸力特性与反力特性的配合,保持转动式的优点;