

交流接触器

无声节电运行

节电技术丛书



572.2

江西科学技术出版社

内 容 提 要

本书从交流接触器的基本理论和物理概念出发,分析了交、直流接触器不同运行状态时的特点,阐述了直流运行的节电工作原理和有效途径。在此基础上,着重提供了直流运行的各种典型线路、元件参数、实用计算和维修经验。最后,就众所关心的无声运行可靠性问题进行了专门论述。书末的附录,详尽地列出了无声运行改装时所需的技术数据和参考资料。本书叙述深入浅出,内容简明实用,是交流接触器无声节电方面较好的参考资料,可供厂矿企业从事节电工作的技术人员和具有高中以上文化程度度的工人使用。

节 电 技 术 丛 书

交流接触器无声节电运行

杨应群 陈晓华 主编

江西科学技术出版社出版

(南昌市湖南路交通银行东邻)

江西省书店发行 江西印刷公司印刷

开本787×1092 1/32 印张4.375 字数19万

1986年2月第1版 1986年3月第1次印刷

印数1—6,000

统一书号:15425-5 定价:0.76元

前 言

电力是重要的能源，节电是节能的一项重要内容。随着工农业生产的飞跃发展，人们生活水平的迅速提高，电力负荷将与日俱增，电力供需矛盾将会异常突出。这就迫使广大厂矿企业的节电技术改造势在必行。为适应这种形势，推动节电工作，我们编写了这套节电技术丛书，以满足广大电力工作者的需要。

这套丛书现有《功率因素补偿节电技术》、《电动机节电运行》、《交流接触器无声节电运行》、《电焊机节电技术》四册，有关其他方面的节电技术，以后将根据需要陆续出版。

本丛书的作者，多数是工作在节电第一线的工程技术人员，在长期的实践中，对节电技术的理论、计算和应用，节电装置的设计、运行和维修，进行了摸索和探讨，并试图总结出一套既有理论又有实践，适合我国厂矿企业应用的节电技术资料。但是，由于条件和水平的限制，本丛书要达到这个目的，仍有很大距离，至于错误之处，更是难以避免。为此，恳请广大读者批评指正，以期不断提高和完善。

本丛书由杨应群、陈晓华主编。参与编写工作的有刘立于、艾起贵、龚秋声、曾军文、王令老、尚宣文、胡刚、吴永福、肖昌极、张秉政、赵凌云、李建。负责审校的是雷良钦、王雨苍、钱梓弘、胡师铨、季国瑜、周世和、曾宪炳等同志。

在丛书的编写过程中，承蒙江西省科学技术委员会、江西

省科学技术情报研究所、江西省经委三电办公室和南昌市三电办公室等单位，以及袁居仁、宗瑞云、邓仁和、何青邦、潘刚、王宪章等同志大力支持和热情帮助，在此一并致以谢意。

编 者

1984年12月

目 录

第一章 概论	(1)
§1—1 接触器的工作原理	(2)
§1—2 接触器主要技术参数	(3)
第二章 交流电磁系统的特点	(9)
§2—1 交流接触器的结构特点	(9)
§2—2 交流电磁系统能量转换特点	(11)
§2—3 交流电磁系统的噪音分析	(15)
§2—4 交流电磁系统的耗能分析	(18)
§2—5 交、直流电磁系统吸力的比较	(23)
第三章 交流接触器直流运行的基本电路	(28)
§3—1 吸合电路的分析	(28)
§3—2 直流运行基本电路的分析	(37)
§3—3 无声运行节电计算举例	(46)
第四章 交流接触器无声运行实用电路	(50)
§4—1 带电容和续流二极管的无声运行电路	(50)
一、交流吸合直流保持电路	(51)
(一) 快速释放电路	(51)
(二) 延时释放电路	(53)
(三) 一次合闸电路	(54)
(四) 380伏吸合220伏保持电路	(56)
(五) 无声运行元件参数选择与计算	(57)
二、直流吸合直流保持电路	(69)
(一) 典型电路	(69)

(二) 单只二极管的改进电路	(71)
(三) 两用电路	(72)
(四) 电容储能吸合电路	(73)
(五) 桥式运行电路	(75)
§4-2 不带电容(或续流二极管)的无声运行电路	(80)
一、直流吸合直流保持线路(直流电源)	(81)
(一) 串入电阻法	(81)
(二) 双绕组法	(82)
二、直流吸合变压器降压直流保持线路	(82)
(一) 直流吸合变压器降压直流保持电路之一	(84)
(二) 直流吸合变压器降压直流保持电路之二	(90)
第五章 无声节电运行可靠性的分析	(92)
§5-1 影响无声节电运行可靠性的因素	(93)
§5-2 提高无声节电运行可靠性的改进电路	(102)
§5-3 无声运行过电压的产生及抑制	(106)
第六章 交流接触器机械闭锁无声运行	(113)
§6-1 接触器机械闭锁无声运行工作原理	(113)
§6-2 防止电动机自起动的机械闭锁运行线路	(115)
§6-3 具有失(欠)压保护的机械闭锁运行线路	(116)
附录	
附录1 交流电磁式低压电器改装无声运行元件参数选择参考表	(118)
附录2 常用交流接触器线圈数据 ($U_n=380$ 伏)	(123)
附录3 常用交流接触器起动及工作参数表	(125)
附录4 交流电磁线圈改绕计算	(127)
附录5 交流接触器无声运行线圈吸合过渡过程的计算	(129)
附录6 交流接触器的选用	(131)

主要参考文献

第一章 概 论

接触器是一种可供频繁操作的远控低压电器，它在电气传动中应用十分广泛。在目前常见的大量的继电器—接触器控制系统中，接触器始终居于重要地位。几乎所有继电器动作的结果，最后都必须通过接触器，才能实现主电路的通断，而其中，交流接触器的使用尤为普遍。因此，虽然接触器每台耗电量较小，似乎节电潜力不大，但因量大面广，可以积少成多，总的节电效果却是非常可观的。仅据粗略估计，如平均每台交流接触器减少功耗20瓦，全国运行数量以2000万台计算（这是最保守的统计），则可节约40万千瓦的电力。

不仅是交流接触器，差不多所有的交流电磁式低压电器，它们在节电方面都是大有潜力可挖的。

交流接触器无声节电运行，是近年来应运而生的节电新技术。它具有减少电能消耗、提供无功功率、消除噪音和降低温升等一系列优点，现正在全国各地普及和推广，并已收到显著成效。

本书主要从交流接触器的基本知识出发，进而阐述无声节电运行原理，同时对各种实用线路、元件参数选择及应用场合进行较为详细的介绍，最后分析无声节电运行的可靠性。在此基础上，向读者推荐运行可靠性得到提高的改进电路，以抛砖引玉，期望有更完善的无声节电运行线路早日问世。

§1—1 接触器的工作原理

接触器按照操作原理的不同，可分为电磁式、气动式和液压式等；而按照激磁线圈的不同，电磁式接触器又分为并激式和串激式两种。一般使用得最多的是并激式电磁接触器，本书即以它为对象进行讨论。

按照通断主电路的电流种类，电磁式接触器分交流接触器和直流接触器两大类。无论交流接触器还是直流接触器，其工作原理都可用图1—1来说明。

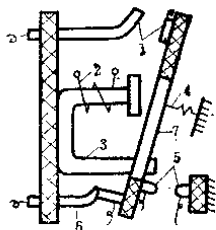


图1—1 接触器工作原理图

根据外界输入讯号，接触器应能自动地完成接通和断开被控制的电路。接通（合闸）过程是这样的：吸引线圈2通电后，便在铁芯3和衔铁7中产生磁通和电磁吸力。当此吸力大于释放弹簧4的反作用力时，铁芯吸引衔铁运动，最后使两者完全闭合，则主触头1相应闭合，辅助常开（动合）触头5闭合，常闭（动断）触头6断开。断开（分闸）过程则正好相反：线圈2断电，电磁系统（铁芯和衔铁）失去激磁后，仅有的剩磁力

小于释放弹簧 4 的机械力，则衔铁 7 在弹簧 4 的拉力作用下，快速分断主触头 1 和辅助触头 5，恢复到原始位置，动断辅助触头 6 亦恢复到闭合状态。

按生产机械工艺过程的要求，用继电控制或机械控制等方式自动地使吸引线圈 2 通电或断电，则接触器的主触头 1 就相应地闭合或断开，从而接通或分断被控制的电路。其中辅助触头 5 和 6 起讯号和连锁作用。图 1—1 所示仅为单极接触器的工作原理，实际上有双极、三极、四极、五极和多极的接触器，其中以三极交流接触器应用最为广泛。

§1—2 接触器主要技术参数

控制系统对接触器有一定的技术要求，这主要是工作可靠、寿命长、操作频率高和尺寸小等四个方面。体现这些要求的技术参数，有以下几项：

（一）最低吸合电压：

按照 1977 年国家标准《《低压电器基本标准》报批稿——下同》规定，接触器依靠电磁系统的吸持以保证工作的电压线圈，其热态的吸合电压不应超过 85% 额定工作电压。从提高控制系统可靠性出发，接触器应具有较低的吸合电压的特性（详见后面“交流接触器无声节电运行可靠性的分析”）。

（二）最高释放电压：

按照上述国家标准，保证接触器可靠释放的冷态释放电压应大于 5 % 额定工作电压。

（三）返回（恢复）系数：

释放电压与吸合电压之比（亦即释放安匝与吸合安匝之比）称为接触器的返回（恢复）系数。它是接触器的一个重要参数，

表征吸力与反力特性的配合情况。此系数越大，表明吸力特性与反力特性越接近，接触器的工作（衔铁的吸合或释放）对电源电压的波动越敏感（利用这一点可兼作欠压保护）；此系数越小，则表明接触器动作后，其线圈上的电压要降低到很小数值时，衔铁才得以释放。在实际工作中，根据控制装置的具体要求，返回系数可大可小，一般在 $0.1\sim 0.5$ 范围内。

（四）吸力特性、反力特性及其配合：

所谓吸力特性，就是当接触器的衔铁处在不同的位置时，作用在衔铁上的电磁吸力与工作气隙大小的关系；反力特性则是接触器上所有阻止衔铁运动的力的综合特性。这些阻力，一般由主触头弹簧力、辅助触头弹簧力、运动部分重力、反作用弹簧力及摩擦力等所组成。

由于吸力特性与反力特性在一定程度上决定了接触器的触头压力、灭弧特性、电磁功率、机械和电寿命等各项性能，所以两者的配合是否良好，对接触器动作的可靠性和技术经济指标的优劣有着很大的关系。这就是吸力—反力特性，它不仅为设计者所重视，也为广大操作运行人员所关心。

图1—2即可说明吸力—反力特性及其配合的情况。图中1为反力特性曲线，接触器的结构一旦决定了，此曲线也就确定了。2、3、4和5则为不同条件下的吸力特性曲线。它们除了与电磁系统的结构尺寸有关外，还取决于线圈的激磁情况（诸如电源电压高低、激磁方式和供电线路等），故吸力特性曲线的变化范围比较大。如何确定一条新的吸力特性曲线，使之与反力特性曲线1配合良好，是我们从事交流接触器无声节电运行研究的一大任务。例如，选用曲线2，由于它在任何时候都大于反力特性曲线1，则接触器动作迅速可靠。然而大量多余的能量，将导致衔铁与铁芯、动触头与静触头在运动终了时发生

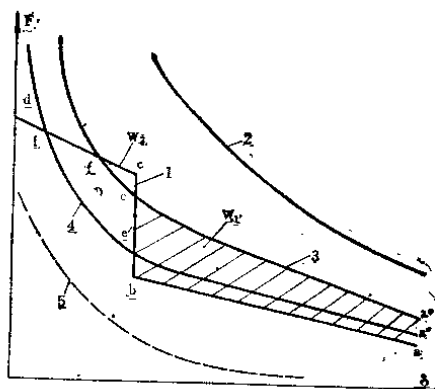


图1—2 吸力—反力特性及其配合情况

严重的撞击。这不仅要加大电磁功率和电磁系统尺寸，而且会大大降低机械和电寿命。所以这种配合不能说是理想的。如果选用曲线4，由于其电磁系统产生运动和加速的能量 W_1 （曲线abc'a'包围的面积）小于反力系统阻止运动的能量 W_2 （曲线e'f'c包围的面积），衔铁无法吸合到底，而将滞留在e'点，从而发生抖动，并可能产生熔焊或烧毁触头。因此，曲线4虽可减少电磁功率和尺寸，但由于工作不可靠而不足取。

曲线5为释放时的吸力特性，它与反力特性的配合决定了接触器返回系数。

从以上曲线2、4与曲线1配合的利弊分析，可得出吸力—反力特性良好配合的具体要求是：（1）即使在电源电压下限值（一般不应低于最低吸合电压）时，衔铁也能够可靠吸合；（2）吸合时的碰撞能量尽可能地小。那么，吸力特性曲线

3基本上可满足这两点。从图1—2可见，曲线3除了ef段外，都高于曲线1，但两者相差又不甚多，即使有少量相交（如ef段），但总的来说，足可保证 $W_1 > W_2$ ，因而依靠惯性，衔铁完全可克服cf段反力而不停留地吸合到底。这样，在保证工作可靠的前提下，可以尽量减少碰撞，达到节约能量，延长寿命的目的。

（五）操作频率：

接触器每小时动作（接通或分断）的次数叫操作频率。各种不同的生产机械和工艺流程，对操作频率有不同的要求。我国接触器用作机床开关时，操作频率一般在600次/小时以下的占多数。但随着生产技术的迅速发展，开关的操作频率亦日趋频繁。根据新的国家标准，反复短时工作制的额定操作频率分级是：3、12、30、60、120、300、600、1200、2000、3000（单位：次/小时）。

需要指出的是，接触器线圈的温升与操作频率关系很密切，操作频率越高，温升也越高。如操作频率超过额定数值，将使线圈温升超过允许值，因此，运行时极需注意。

（六）机械寿命和电寿命：

机械寿命系指接触器在不需修理或更换机械零件的情况下，所能承受的无载操作极限次数。它主要是保证电器在使用时，有一定的使用期限。

电寿命系指接触器主触头在额定条件下，不需修理或更换零件而能承受的负载操作极限次数。

接触器理想的使用情况是其机械寿命与被控制的受电设备的寿命相同，而其电寿命则与机械寿命相同。实际上，由于触头电弧烧损，受电设备起动电流的冲击以及使用类别或场合的不同，使得接触器电寿命远低于机械寿命。通常，接触器的电

寿命为机械寿命的 $1/5 \sim 1/20$ 。按照新的国家标准,接触器的机械寿命分100、150、300、600(单位:万次)四类。但是,由于设计和制造质量的问题和使用的不当,国内接触器的机械寿命往往达不到国家标准中的最低规定。因此,延长机械寿命是从事交流接触器无声节电运行研究的另一重要任务。

(七) 动作时间和释放时间:

从接触器线圈接上电源开始到衔铁运动终止所需的全部时间,称为接触器的动作时间,它可用下列关系式表示:

$$t_d = t_1 + t_2$$

式中: t_d ——接触器动作时间;

t_1 ——触动时间,即从接通电源开始至电流产生的电磁吸力能使衔铁开始运动的时间;

t_2 ——衔铁运动时间,即从衔铁开始运动至运动终止的时间。

接触器吸合后,从切断线圈电源起,磁通从稳定值开始衰减,至衔铁返回原来释放位置止的全部时间,称为接触器的释放时间。它可用下列关系式来表示:

$$t_r = t_3 + t_4$$

式中: t_r ——接触器释放时间;

t_3 ——磁通衰减时间,即磁通从稳定值衰减至衔铁开始释放所需的时间;

t_4 ——衔铁返回运动时间,即从衔铁开始释放至返回到原来释放位置所需的时间。

接触器动作时间和释放时间的快慢,决定了接触器的时间特性。实际应用时,有的需要动作时间短以实现快速吸合;有的需要释放时间较长而达到延时释放目的,这些都要根据具体情况确定。

毫无疑问，交流接触器在实现无声节电运行以后，对以上各项技术参数，必然会带来程度不同的影响。所有这些，正是研究和采用这项新技术时所关心和解决的问题。

第二章 交流电磁系统的特点

在工程技术中，交流电路是数量最大的，故相应的交流接触器的应用也最为广泛。由于交流激磁电源的取得最为便当，所以交流接触器吸引线圈采用交流并联激磁方式的也最多。因此，除特殊说明外，以下我们所讨论的，都是指吸引线圈为交流并联激磁的交流接触器。

交流接触器的电磁系统，在结构和原理上，有一定的特殊性。弄清这些特殊性，并采取相应措施，这既是无声节电运行的理论根据，也是实现节电的有效途径。

§2—1 交流接触器的结构特点

前已述及，交流电磁系统的线圈是由交流电源供电的，因而线圈电流、磁路磁通及磁感应强度、磁场强度等，都随时间而不断变化。所以电磁吸力也必然随时间而变化。当交变电流送入铁芯线圈时；除了线圈的电阻功率损耗外（简称铜损），还要在铁芯中产生涡流和磁滞损耗（简称铁损）。为了减少这类铁损，交流磁系统的动、静铁芯都用硅钢片迭装而成；此外，为了减少衔铁在闭合状态下的振动，在铁芯端面上加装了短路环（分磁环）。尽管如此，交流接触器比起直流接触器来，仍然存在着噪音大、耗能高（详述见后）等缺点。

交流接触器的磁系统有直动式和转动式两种。动、静铁芯

对的主要有直动双 Π 型、直动单 Π 型、直动双 Π 型、转动双 Π 型、转动双 Π 型和螺管型等六种（见图2—1）。它们的吸

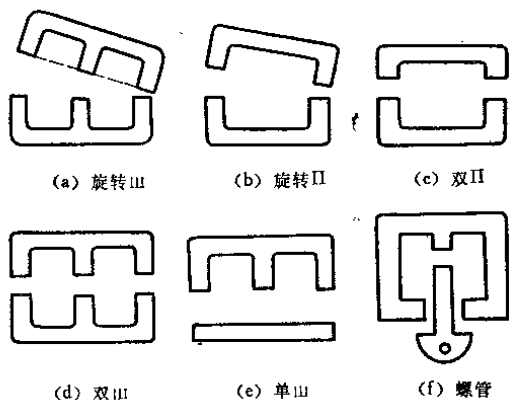


图2—1 交流接触器动静铁芯对称型

力特性曲线见图2—2。图中可见，螺管型在大气隙时的吸力仍然很大，适用于行程较大的电磁铁；双 Π 型、双 Π 型的衔铁，在运动一开始时便伸入线圈内腔，与螺管型相似，其吸力特性比较平坦，气隙较大时也具有较大的电磁吸力。至于单 Π 和单 Π 型，因其衔铁不能深入线圈内腔，没有螺管附加吸力，故它们总的电磁吸力就小些。

交流电磁线圈在结构上也有以下特点：

（一）线圈匝数少；

因为交流线圈激磁电流不仅与线圈电阻有关，而且主要是决定于线圈电抗，所以在同样功率和电压下，交流线圈匝数比直流线圈少得多。

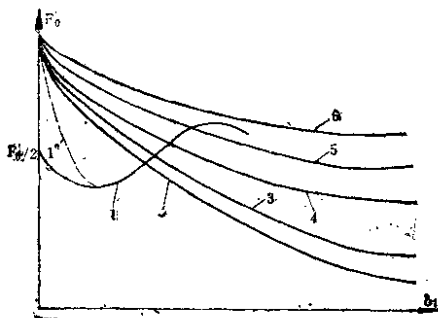


图2—2 各种铁芯对吸力特性示意图

1.螺管 2.单III式 3.单II式

4.旋转III式 5.双III式 6.双II式

(二) 线圈直径大，外形短而粗；

因涡流和磁滞损耗促使铁芯发热，不仅妨碍线圈内表面散热，而且铁芯的热量还会传给线圈。所以，交流线圈常绕在框架上，制成直径大、短而粗的形状，使其有利于铁芯和线圈热量的散逸。

§2—2 交流电磁系统能量转换特点

接触器的电磁系统是实现能量转换的装置。其转换过程是：电能——磁能——机械能。即线圈通过一定的电流（电能），便在铁芯、衔铁和气隙中产生相应量的磁通（磁能），而在磁通作用下，产生一定大小的电磁吸力（机械能），将衔铁吸向铁芯，从而完成接触器的接通过程。