

高等专科学校试用教材

工厂电气控制设备

赵明主编

机械工业出版社

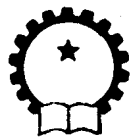
93

GAOZHUANJIAOCAI

高等专科学校试用教材

工厂电气控制设备

赵明 主编



机械工业出版社

工厂电气控制设备

赵明 主编

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

民族印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本787×1092 1/16·印张20³/₄·字数583千字

1985年12月北京第一版·1985年12月北京第一次印刷

印数 00,001—13,200·定价 4.90元

*

统一书号, 15033 6197

前 言

本书是高等专科学校工业企业电气化专业试用教材，是根据机械工业部教育局初步审定的招收高中毕业生，学制为三年的教学大纲组织编写的。

本书也适用于职工大学、业余大学。中等专业学校也可选用，并可供有关工程技术人员参考。

本书以一般工厂常用典型电气设备及其基础知识为重点，阐述并分析了控制电器、继电器接触式控制线路基本环节、机床及桥式起重机电气设备、电机放大机自动调速系统的基本环节、A系列龙门刨床电气设备、磁放大器及其控制设备等。本书并适当加强了继电器接触式控制系统的设计以提高学生对继电器接触式控制系统的设计能力。同时也介绍了一般工厂推广应用的顺序控制器及其控制设备以及电子检测装置等。由于本课程系工业企业电气化专业的一门重要专业课，所以在有关章节中注意到培养学生的设计能力及分析问题能力，同时列举了一些应用实例以期达到理论联系实际。但是还需通过实验教学、课程设计、生产实习等环节，来提高学生的基本技能与解决实际问题的能力。

本书一~六章由许廖同志编写，七~十章由赵明同志编写。

本书由合肥工业大学李仁副教授担任主审，并于1983年10月主持会审初稿，出席审稿会议的代表共十九人，编者根据审稿意见作了修改和补充。合肥工业大学、安徽工学院、湘潭机电专科学校、郑州机械专科学校、北京机械工业管理专科学校、上海机械专科学校、哈尔滨机电专科学校、吉林机电专科学校、上海电机制造学校、成都无线电机机械学校、福建机电学校、沈阳市机电工业学校、青岛轻工业学校、重庆机器制造学校等单位在本书编写过程中给予了大力支持和热情帮助，编者在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，本书难免存在缺点和错误，恳望读者提出批评和指教。

编 者

一九八四年十二月

目 录

第一章	控制电器	1
§ 1-1	电器的基本知识	1
§ 1-2	刀开关、熔断器与自动开关	10
§ 1-3	主令电器	19
§ 1-4	接触器	23
§ 1-5	继电器	26
第二章	继电器接触式控制线路基本环节	49
§ 2-1	生产机械电气控制系统图	49
§ 2-2	三相笼型异步电动机全压起动控制线路	55
§ 2-3	三相笼型异步电动机降压起动控制线路	59
§ 2-4	三相绕线式异步电动机起动控制线路	64
§ 2-5	三相异步电动机的调速控制线路	68
§ 2-6	三相异步电动机的制动控制线路	72
附录2-1	电工系统图图形符号 (GB 312-64)	84
附录2-2	电气控制系统图文字符号 (GB 315-64)	90
附录2-3	电力系统图上的回路标号 (GB 316-64)	93
第三章	机床电气控制设备	97
§ 3-1	普通车床的电气控制	97
§ 3-2	磨床的电气控制	98
§ 3-3	摇臂钻床的电气控制	104
§ 3-4	铣床的电气控制	109
§ 3-5	镗床的电气控制	115
§ 3-6	组合机床的电气控制	121
第四章	桥式起重机的电气设备	145
§ 4-1	概述	145
§ 4-2	凸轮控制器及其控制线路	150
§ 4-3	主令控制器及PQR控制线路	156
§ 4-4	PQY、PQS控制线路	161
§ 4-5	电气保护设备	171
§ 4-6	制动器与制动电磁铁	176
§ 4-7	桥式起重机整机控制线路分析	179
第五章	继电器接触式控制系统的设计	185
§ 5-1	生产机械电气设备设计的基本原则和基本内容	185
§ 5-2	电力拖动方案确定原则和电动机的选择	185
§ 5-3	继电器接触式控制系统设计的一般要求	192
§ 5-4	电气控制线路的分析设计	197
§ 5-5	电气控制线路的逻辑设计	200

	§ 5-6 常用控制电器的选择	211
	§ 5-7 生产机械电气设备施工设计	218
第六章	顺序控制器及其控制设备	224
	§ 6-1 基本逻辑型顺序控制器	224
	§ 6-2 基本逻辑型顺序控制器的应用	234
	§ 6-3 条件步进型顺序控制器	238
	§ 6-4 条件步进型顺序控制器的应用	253
第七章	电机放大机自动调速系统的基本环节	259
	§ 7-1 发电机励磁过渡过程	259
	§ 7-2 电动机过渡过程	264
	§ 7-3 电机放大机	270
	§ 7-4 转速负反馈自动调速系统	275
	§ 7-5 电压负反馈和电流正反馈自动调速系统	283
	§ 7-6 电势负反馈自动调速系统	287
	§ 7-7 稳定环节	289
	§ 7-8 具有电流截止负反馈环节的自动调速系统	292
第八章	A系列龙门刨床电气设备	303
	§ 8-1 概 述	303
	§ 8-2 主拖动系统静态分析	304
	§ 8-3 交流控制电路	313
	§ 8-4 主拖动系统运行分析	323
第九章	磁放大器及其控制设备	339
	§ 9-1 可控饱和电抗器	339
	§ 9-2 磁放大器的接线与结构	340
	§ 9-3 磁放大器控制特性	343
	§ 9-4 外反馈及自饱和磁放大器	345
	§ 9-5 磁放大器特性曲线的位移及双拍式磁放大器	347
	§ 9-6 磁放大器在自动调速系统中的应用	349
第十章	常用电子检测装置	355
	§ 10-1 电磁配铁秤	355
	§ 10-2 温度检测与控制设备	359
	§ 10-3 感应同步器与数显装置	364
	参考书目	373

第一章 控制电器

电器是根据外界特定的信号和要求，自动或手动接通和断开电路，断续或连续地改变电路参数，实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节用的电气设备。

电器的种类繁多，构造各异。按其工作电压可分为高压电器和低压电器；按其用途可分为配电器与控制电器；按其动作方式可分为自动切换电器和非自动切换电器。本章主要介绍用于电力拖动及自动控制系统中的，工作在交直流电压 1200V 以下电路的常用低压控制电器。

从结构上来看，电器一般都具有两个基本组成部分，即感受部分与执行部分。感受部分接受外界输入的信号，并通过转换、放大、判断，作出有规律的反应，使执行部分动作，输出相应的指令，实现控制的目的。对于有触头的电磁式电器，感受部分大都是电磁机构，而执行部分则是触头。对于非电磁式的自动电器，感受部分因其工作原理不同而各有差异，但执行部分仍是触头。对于自动开关类的低压电器，还具有中间部分，它是把感受和执行部分联系起来，使它们协同一致，按一定的规律动作。

随着低压电网容量的增大、电力传动技术的发展以及自动化程度的提高，对低压电器提出了愈来愈高的要求。在电力传动控制系统中，目前在继续发展有触点电器的同时，电子技术和无触点控制有较快发展。最近的趋势是较多地采用两者组合的混合控制系统，即输入、运算环节相应采用无触点元件，而控制大功率执行元件等输出环节，可有效地采用有触点电器。

控制电器是一门很实际的课程，学习时，必须注意联系实际，并与实验和专业劳动相结合；抓住其共性，区别于个性；学会查阅和使用产品目录与手册等参考资料，正确选择电器。只有这样，才能较好地掌握控制电器的原理、构造、类型、规格、工作特点、应用范围与使用条件等有关知识，具备正确选择和维护使用控制电器的能力。

§ 1-1 电器的基本知识

一、电磁机构

电磁机构是各种自动化电磁式电器的重要组成部分，即感受部分，因此，研究电磁机构是分析自动化电磁式电器的基础。

(一) 电磁机构的结构形式

电磁机构由线圈、铁心（亦称静铁心或磁轭）和衔铁（亦称动铁心）三部分组成，其结构形式大致有如下几种：

1. E形电磁铁 如图 1-1a 所示，有单E形（仅铁心为E形）和双E形（铁心和衔铁均为E形）之分。对于柱形电磁铁，可看作E形电磁铁的一个特例。这种结构形式的电磁铁多用作交流接触器、交流继电器以及其他交流电磁机构的电磁系统。

2. 螺管式电磁铁 如图 1-1b 所示，多用作牵引电磁铁和自动开关的操作电磁铁，但也

有少数过电流继电器采用这种形式的电磁铁。

3. 拍合式电磁铁 如图 1-1c 所示, 广泛用于直流继电器和直流接触器, 有时也用于交流继电器。

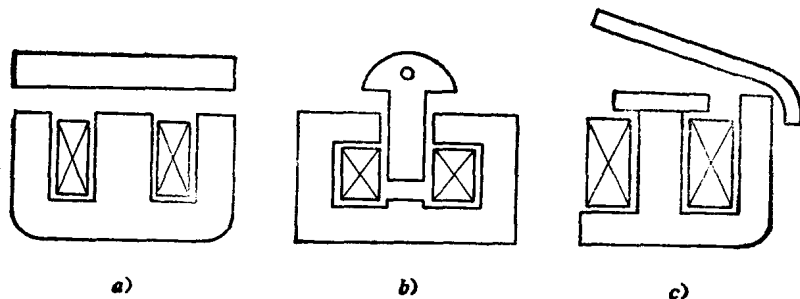


图1-1 电磁机构的几种结构形式

a) E形电磁铁 b) 螺管式电磁铁 c) 拍合式电磁铁

(二) 直流电磁铁

凡线圈通以直流电的电磁铁都称之为直流电磁铁。通常, 直流电磁铁的衔铁和铁心均由软钢或工程纯铁制成。当电磁铁的线圈接上电源时, 线圈中就有了激磁电流, 使磁路中产生密集的磁通。该磁通作用于衔铁, 在电磁吸力作用下使衔铁吸合并作功。所以, 电磁铁实质上是一种机电能量转换装置, 将电能转换为磁能再转换成机械功。

直流电磁铁电磁吸力为

$$F_x = 4 \times 10^5 B^2 S \quad (1-1)$$

式中 B ——气隙磁感应强度, 单位为T;

S ——决定电磁吸力的衔铁端面面积, 单位为 m^2 ;

F_x ——电磁吸力, 单位为N。

电磁吸力与气隙的关系曲线称作电磁铁的吸力特性。图1-2为直流电磁铁的吸力特性。它是在电磁铁的安匝数不变情况下作出的。其特点是, 电磁吸力与气隙大小的平方成反比, 气隙越大, 电磁吸力越小; 反之, 气隙越小, 电磁吸力越大。显然, 电磁铁的激磁安匝越大, 其在行程中任一位置上的电磁吸力也越大。图1-2画出了激磁安匝为 IN_1 与 IN_2 时的吸力特性1与2。

由电磁铁的吸力特性可知, 电磁线圈激磁电压的升高和降低、衔铁行程的调大和调小, 都将影响电磁铁的吸力特性, 从而影响电磁铁的工作性能。

(三) 交流电磁铁

交流电磁铁就是激磁电流为交流电磁铁。它与直流电磁铁的区别在于:

1) 以并激线圈而论, 在电压已定的情况下, 激磁电流不仅决定于线圈的电阻, 更主要的是决定于线圈的电抗, 且它是随着气

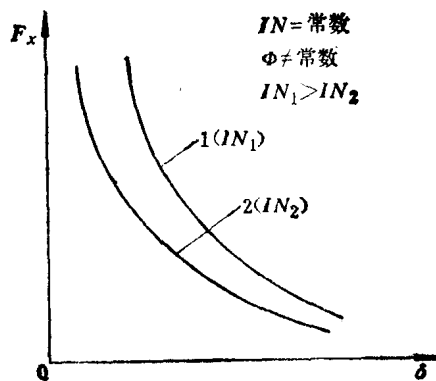


图1-2 直流电磁铁的吸力特性

隙的大小（即衔铁的行程）而变化的。

2) 由于激磁电压是按正弦规律变化的，所以磁通和电磁吸力也按正弦规律变化。即当电流过零时，电磁吸力也为零。这将使电磁铁发生振动，故应采取措加以消除。不然，电磁铁将不能正常工作。

交流电磁铁是变安匝、恒磁链的系统。由于磁链 Ψ 大体上为恒值，因而交流电磁铁的吸力特性一般比较平坦，如图1-3所示。

交流电磁铁的电磁吸力为

$$F_x = \frac{1}{2} F_m - \frac{1}{2} F_m \cos 2\omega t \quad (1-2)$$

式中 F_m ——电磁吸力最大值， $F_m = 4 \times 10^5 Bm^2 S$

若令电磁吸力 $F_0 = \frac{1}{2} F_m$ ，则得

$$F_x = F_0 (1 - \cos 2\omega t) \quad (1-3)$$

由此可知，交流电磁铁的电磁吸力是一个二倍电源频率的周期性变量。它有两个分量：一个是恒定分量 F_0 ，其值为最大吸力值 F_m 的一半；另一个是交变分量 $F_{\sim} = F_0 \cos 2\omega t$ ，其幅值亦为最大吸力值之半，但以二倍电源频率变化。总的电磁吸力 F_x ，则在从0到 F_m 的范围内变化，这就是交流电磁铁产生脉动和噪音的原因。

电磁铁在实际工作过程中，其衔铁始终受到释放弹簧及其它阻力之和 F_z 的作用。尽管交流电磁铁的平均吸力 F_0 大于 F_z ，但在某些时候，电磁铁的电磁吸力 F_x ，仍将小于 F_z （见图1-4中画有阴影线的部分）。显然，只有使电磁铁的电磁吸力 F_x 在任何时刻都大于阻力 F_z ，

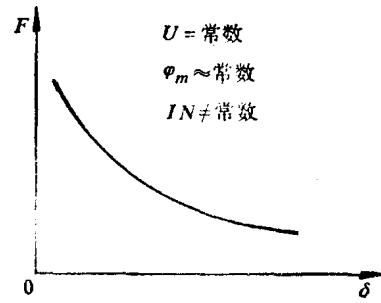


图1-3 交流电磁铁的吸力特性

才有可能消除交流电磁铁的脉动和噪音。

为此，设法将气隙磁通分为两部分，使它们在时间相位上彼此错开一个角度 ψ ，而且当一个磁通为零时，另一个磁通恰好为最大或接近于最大。这样，不论在什么时候，两磁通产生的电磁吸力都不会同时经过零，而且它们的合力也有可能一直大于阻力，从而消除电磁铁的脉动和噪音。具体的办法是在铁心端部开一个槽，槽内嵌以称为短路环的铜环，如图1-5所示。交变磁通 ϕ_2 穿过短路环，在环内产生感应电流，该感应电流产生一个磁通 ϕ_1 ，由图1-5中a、b可见，原来统一于 ϕ_0 的 ϕ_1 和 ϕ_2 ，在短路环的作用下变成了 ϕ_{1x} 和 ϕ_{2x} ，它们不仅不同相，而且连幅值也不一样。

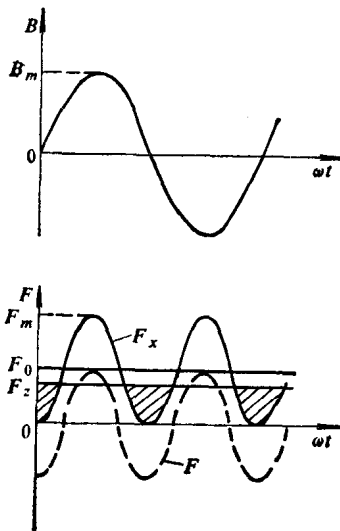


图1-4 实际交流电磁铁的电磁吸力曲线

衔铁端面的磁通既已分相，故由它产生的电磁吸力 F_{1k} 和 F_{2k} 就不再同时过零。如果短路环设计得比较理想，即 $\phi \approx 90^\circ$ （如图1-5b所示）并且 F_{1k} 和 F_{2k} 近乎相等，那么，合成吸力 $F_x(\omega t)$ 就相当平坦，如图1-5c所示。此时，端面上的最小吸力为

$$F_{min} = F_{x0} - F \sim m \quad (1-4)$$

只要最小吸力 F_{min} 大于阻力 F_z ，衔铁就会被铁心牢牢吸住，而不产生任何脉动和振动。

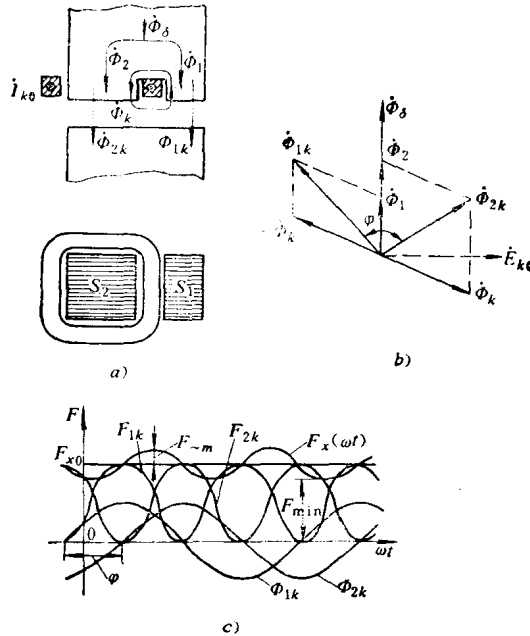


图1-5 交流电磁铁的工作原理
a) 结构示意图 b) 各磁通间的相位关系 c) 吸力特性

(四) 电磁铁的线圈

线圈是电磁铁的心脏，是产生磁通的源泉。根据激磁的需要，线圈可分串联和并联两种，前者称为电流线圈，后者称为电压线圈。电流线圈串接在主电路中，电流较大，所以常用扁铜条带或粗铜线绕制，匝数少；电压线圈并接在电源上，匝数多，阻抗大，电流小，常用绝缘较好的电磁线绕制。

从结构上看，线圈大抵可分为有骨架和无骨架两种。交流电磁铁的线圈多为有骨架式，且线圈形状做成矮胖型，这是因为考虑到铁心中有磁滞损耗和涡流损耗，为便于散热之故。直流电磁铁的线圈则多是无骨架式，且线圈形状做成瘦高型。

(五) 吸力特性与反力特性的配合

电磁铁中的衔铁除受到电磁吸力的作用外，还受到反作用力系统阻力的作用。阻力包括使衔铁返回到原位的恢复弹簧（即释放弹簧）的反力、触头弹簧的反力以及可动部分的重量等。反作用力与气隙的关系 $F_r = f(\delta)$ 称为反力特性。如图1-6所示，横轴下方有斜线的部分表示常闭触头的弹簧压力与气隙的关系。在起始位置 δ_0 处，弹簧压力最大，以后随气隙值的减小，压力也逐渐变小，直至气隙值为 δ_1 时，动触头和静触头脱离接触，这对可动部分来说，相当于压力骤减为零。由于常闭触头的触头弹簧压力对衔铁的运动起推动作用，是一种“负”阻力，所以用横轴下方的斜线表示。释放弹簧的反作用力与气隙的关系，在图中是

以斜线 a_0f_0 来表示（包括可动部分的重量在内）。常开的动、静触头是在气隙为 δ_2 时开始接触的，此时弹簧的反作用力（即所谓触头压力）突然加到衔铁上，并随气隙的减小而增大，直到气隙为 δ_0 （即衔铁同铁心已闭合）时，达到其最大值为止，如图1-6中有方格线的部分所示。总的反力特性在图中是以折线 $abcdef$ 来表示。为了使电磁铁能正常工作，衔铁吸合时，其吸力特性必须始终大于反力特性，即始终处于反力特性的上方，在图1-6中，实线1表示的吸力特性是极限状态下的特性，若低于此曲线，衔铁就不可能吸合；反之，衔铁释放时，吸力特性（大部为剩磁所产生）必须位于反力特性的下方，如点划线1所示。

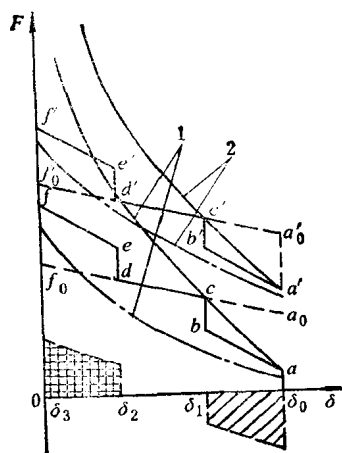


图1-6 吸力特性与反力特性的配合

有时，出于控制的需要，可以借调整反作用弹簧来改变反力特性。如图1-6所示，使反力特性变为 $a'b'c'd'e'f''$ 所示的折线，则衔铁吸合及释放时的吸力特性都要发生相应的变化，见图中实线和点划线2。

由图1-6可见，在吸力特性与反力特性之间有一块面积，有些地方吸力比反力大得不多，但有些地方，尤其在气隙小的地方，吸力比反作用力大很多。这块面积代表了衔铁在运动过程中积聚的能量。通常，上述面积越大，即衔铁所积聚的能量越大，其动作速度也越大。然而，这时动静触头接触时，以及衔铁与铁心接触时的冲击力也越大。由于冲击力的影响，触头和衔铁都有可能发生弹跳，由此导致触头的熔焊或烧损。因此，吸力特性和反力特性必须配合得非常合适，以利于改善电器的性能。

另外，当吸力特性与反力特性配合得很合适时，电器的返回系数值比较大，这一点在某些特定场合尤为重要。

（六）返回系数

返回系数是反映电磁机构吸力特性与反力特性配合紧密程度的一个参数。电磁铁动作后，当电压或电流到一定值时就要返回。为此以电磁机构返回电压（电流） $U_{r,t}$ （ $I_{r,t}$ ）与动作电压（电流） $U_{x,h}$ （ $I_{x,h}$ ）的比值称为电磁机构返回系数，记作 β_v （ β_I ）。过量电磁机构返回系数小于1，而欠量电磁机构返回系数大于1。提高电磁机构返回系数的具体办法有如下几种：

1) 增加衔铁吸合后的气隙 $\delta_{m,h}$ ，如图1-7a所示。在反力特性不变的情况下，将衔铁吸合后的气隙由 $\delta_{m,h}$ 增加为 $\delta'_{m,h}$ ，则释放的吸力特性 $F_{r,t}$ 改为 $F'_{r,t}$ 就行了。曲线 $F'_{r,t}$ 对应的返回电流 $I_{r,t2}$ 大于气隙未增加时的返回电流 $I_{r,t1}$ ，所以，返回系数 β 提高了。

2) 减小衔铁释放时的气隙 $\delta_{m,r}$ 如图1-7b所示。将 $\delta_{m,r}$ 减小为 $\delta'_{m,r}$ 。由于释放气隙的减小，吸合的特性由 $F_{x,h}$ 降为 $F'_{x,h}$ 就行了，显然，由于吸上电流下降，返回系数将提高。

3) 减小吸力特性的斜率，使吸力特性变得平坦些，如图1-7c所示。曲线 $F_{x,h}$ 与

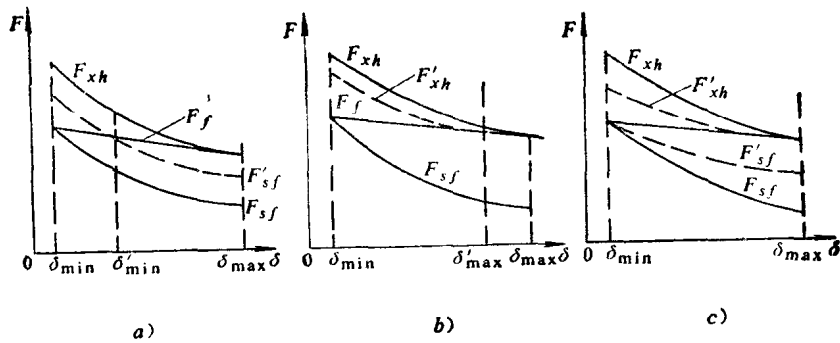


图1-7 电磁机构返回系数增大的措施
 a) 增加 δ_{\min} b) 减小 δ_{\max} c) 减小吸力特性的斜率

F_{sf} 分别为原来的吸合时吸力特性与释放时的吸力特性，而曲线 F'_{xh} 与 F'_{sf} 为改变后的吸合时与释放时的吸力特性。为使吸力特性平坦，需把磁路中的衔铁设计得窄而薄，使磁路易于饱和，这样，电磁吸力在吸合前后变化不大，使 F'_{xh} 与 F'_{sf} 相距不大，从而使吸力特性曲线变得平坦，并能提高返回系数。

4) 增大反作用弹簧的刚度，使反力特性变陡，也能使返回系数提高。

实际使用时，常采用上述几种办法的结合来使电磁机构返回系数增大。除上述机械办法外，在衔铁吸合后，增加电压线圈的电阻或使电流线圈分流，也能提高返回系数。

二、电接触及触头工作原理

各种电器的导电回路是由若干导电元件组成的，而用两个导电零件之间的相互接触来实现导电的现象称为电接触现象。电接触方式有如下三大类：

- 1) 固定接触，用紧固件如螺钉、铆钉等压紧的电接触方式为固定接触。
- 2) 可分接触，在工作过程中可以分开的电接触，触头就为可分接触。
- 3) 滑动及滚动接触，在工作过程中，接触面间可以互相滑动或滚动，是不能分开的电接触。

触头是电器的执行部分，利用触头来关合或开断电路，触头工作的好坏直接影响到整个电器工作性能的优劣。为此，我们仅研究第二种电接触。

触头的工作状态有三种：闭合状态、分断过程与接通过程。

(一) 触头在闭合状态下工作

触头在闭合状态时，动触头与静触头完全接触，并有电流通过，这时主要的是触头的接触电阻和触头的发热问题。

触头闭合后，由于动、静触头表面的凹凸不平，只有少数的点才真正接触上，这就使得触头接触处的电阻特别大。另外，金属在空气中被氧化或硫化，在其表面生成一层很薄的氧化膜或硫化膜，它们的电阻率比金属本体的电阻率大得多，这也使得触头接触处的电阻增大。接触电阻的增大使触头损耗加大，温度升高，而温度升高反过来又使触头表面氧化加剧，以致形成恶性循环。在使用中应注意检查触头温度，以免超过规定值造成事故。

触头接触电阻与接触压力、触头材料、接触形式和接触表面状况有关。

触头接触形式有三种：点接触、面接触与线接触。后一种接触形式在闭合过程中将产生滚滑接触，能将氧化膜去掉。

有些电器，如继电器和小容量的电器，其触头通常都是银质的。这不仅在于其导电和导热性能均优于铜质触头，更主要的是其氧化膜的电阻率比纯银大得不是太多，而且要在较高的温度下才会形成，且易粉化。因此，银质触头具有较低和较稳定的接触电阻。对于大、中容量低压电器的触头，如果在闭合过程中有一段滚动接触，也可采用铜质触头。

(二) 触头在分断过程中工作

闭合状态下的动、静触头于通电状态脱离接触，在分断的过程中势必最终要出现只有一个点在接触的现象。这时，该点的电流密度高达 $10^3 \sim 10^8 \text{ A/cm}^2$ ，致使触头金属熔化，同时随着触头的相互分离形成熔化的高温金属液桥。一旦触头完全分开，金属液桥被拉断，在断口处立即产生电弧。

电弧的产生，一方面要烧蚀触头，减低寿命，降低电器工作的可靠性；另一方面还延迟了电路的切断时间，为此应使电弧迅速熄灭。要熄灭电弧，首先要了解电弧的形成过程，了解电弧的特性，掌握灭弧的方法。

(三) 触头在接通过程中工作

触头在接通过程中，由完全脱离状态变为互相接触，并最终达到紧密接触，这时会出现触头间的机械振动即弹跳现象。这样会使触头表面产生电气磨损，严重时甚至使触头发生熔焊现象。这些将缩短电器使用寿命与电器工作不可靠。为此要减小和消除触头的振动，可以采用增大触头弹簧的初压力、减小触头的质量、降低触头的接通速度以及选择较硬的触头材料等办法。对于指式触头，在闭合瞬间，先由动触头的端部与静触头接触，经过一段滚动后，再转变为动触头的根部与静触头接触。而在分断时也经过一段滚动，使最后在动触头端部与静触头相断开。这种指形触头滚动接触与断开的过程，既消耗了撞击能量，对触头的抗振性能有帮助，同时也减轻了触头的电气磨损，并在动作过程中擦除触头表面的氧化膜，对触头的闭合状态下的工作也极为有利。

三、电弧及其灭弧装置

(一) 电弧的形成

电弧的形成过程是这样的：先是在高热和强电场（当触头间刚出现断口时，由于两触头间的距离很小，故产生很大的电场强度）作用下，金属内部的自由电子从阴极表面逸出，奔向阳极；同时，这些自由电子在电场中高速运动时要撞击中性气体分子，使之激励和游离，产生正负离子和电子，而后者在强电场作用下继续向阳极移动，并撞击其他中性分子。这样，在触头间隙中产生了大量的带电粒子、正负离子和电子，从而使气体导电形成了炽热的电子流即电弧。

电弧一经产生，便在弧隙中产生大量热能，使气体产生热游离，并占主导地位，特别是当触头表面的金属蒸气进入弧隙后，气体热游离的作用更为显著。

(二) 电弧的熄灭

弧隙中，在气体游离的同时，还存在着去游离的因素，这主要是复合与扩散的作用。因为已游离的正负离子和电子在空间相遇时要复合，重新形成中性的气体分子，而高度密集的高温离子和电子，也要向其周围密度小、温度低的介质方面扩散。结果，弧隙内离子和自由电子的浓度降低，电弧电阻增大，电弧电流减小，热游离大为削弱。所以，电弧是游离与去游离的统一体。

要熄灭电弧，原则上说就是抑制游离因素和加强去游离因素。只要使去游离转化为电弧的主导方面，就能将电弧熄灭。

电弧有直流电弧和交流电弧，它们各有特点。直流电弧的性质决定了其熄灭主要是依靠拉长电弧和冷却电弧。交流电流有自然过零点，因而在同样的电参数下，交流电弧要比直流电弧容易熄灭。在绝大多数情况下，交流电弧的熄灭发生在电流过零或靠近零点之时。

(三) 电器的一般灭弧方法

在电器中常用的弧灭方法有以下几种：

(1) 迅速增大电弧长度 电弧长度的增大使电场强度减小，碰撞游离作用减小；同时，由于电弧长度增大，电弧表面积增加，从而增加了离子的扩散和电弧的冷却，于是增加了消游离作用。拉长电弧的具体措施有：

- 1) 用机械方法拉长电弧，即使触头急速断开一段距离来拉长电弧。
- 2) 磁吹拉长电弧，用永久磁铁或电磁铁产生的磁场对电流的作用力来拉长电弧。图

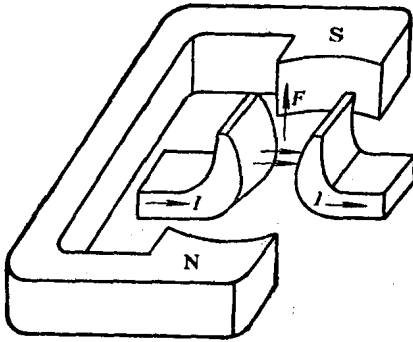


图1-8 磁吹法拉长电弧

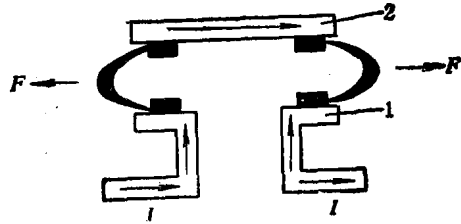


图1-9 电动力拉长电弧

1—静触头 2—动触头

1 - 8 为磁吹法拉长电弧，此时磁场方向与电弧电流方向应垂直。

3) 电动力拉长电弧，图 1 - 9 为电动力拉长电弧的方法。当动触头 2 向上运动与静触头分离时，在左右两个弧隙中产生两个彼此串联的电弧。它们一方面被拉长，另一方面受导电路磁场产生的电动力作用，向两侧方向运动，使电弧受到拉长并受到冷却。

4) 气吹法拉长电弧，如图 1 - 10 所示，利用气流使电弧拉长和冷却。

(2) 使电弧与流动介质或固体介质相接触

电弧与流动介质接触可以带走电弧的热量，减少热发射和热游离。常用的流体介质有绝缘油和气体。电弧与耐热的固体介质接触，一方面可以传散一部分热量，减少热游离；另一方面在介质表面还能进行复合，增加了消游离作用。若电弧与有机玻璃接触，有机玻璃还可以发出大量气体，使周围压力增高，电子、离子的自由行程减小，动能减小，碰撞游离将大大减弱，从而使电弧熄灭。

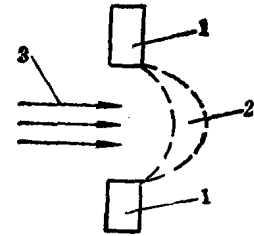


图1-10 气吹灭弧

1—触头 2—弧柱 3—气流

(3) 将电弧分成数段短弧，如图 1 - 11 所示，在垂直于弧柱的上方加入金属栅片。它一方面能将电弧吸引向上，从而把电弧分成数段串联的短弧；另一方面由于电弧分成数段短弧，使阴极压降增加数倍，当阴极压降总和大于外加电压时，电弧便熄灭。

一般开关电器常用几种灭弧方法组成一种灭弧装置，以达到迅速熄灭电弧之目的。

(四) 低压控制电器中常用的灭弧装置

低压控制电器常用的灭弧装置有磁吹式与灭弧栅式两种。

1. 磁吹式灭弧装置 如图 1-12 所示，由磁吹线圈，引弧角和导弧磁夹板等组成。由图可见，磁吹线圈产生的磁场其磁通比较集中，它经铁心和导磁夹板进入电弧空间。于是，电弧在磁场的作用下，在灭弧罩内部迅速向上运动（由 a-a 经 b-b 到 c-c 位置），并在引弧角处被拉到最长。在运动过程中，电弧一方面被拉长，另一方面又被冷却，所以电弧容易熄

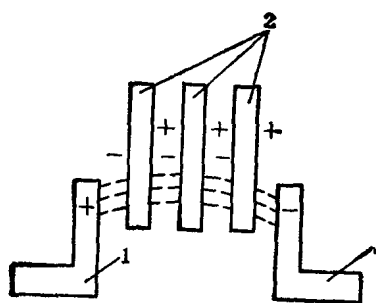


图1-11 金属栅片灭弧
1—触头 2—铁片栅

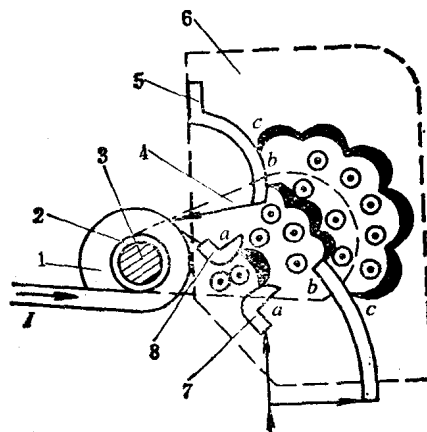


图1-12 磁吹灭弧装置示意图
1—磁吹线圈 2—绝缘套 3—铁心 4—导磁夹板
5—引弧角 6—灭弧罩 7—动触头 8—静触头

灭。引弧角除有引导电弧运动的作用外，还能把电弧从触头处引开，从而起到保护触头的作用。

这种灭弧方法称为串联磁吹灭弧。由于磁吹线圈是同主电路相串联，所以作用于电弧的磁场力随电弧电流的大小而改变，电弧电流越大，灭弧能力越强。而且磁吹力的方向与电流方向无关。

除串联磁吹方式外，还有并联磁吹方式。这种方式的优点是弱电流时的磁吹效果比串联方式为好，缺点是当触头上电流方向反向时，必须同时改变线圈的极性。不然，磁吹就会反向，使电弧不容易熄灭，甚至可能损坏电器。

由上分析可知，磁吹灭弧装置可以适用于交、直流控制电器中。但对于一些继电器，由于其触头容量较小，所以一般都不加设专门的灭弧装置来灭弧。

2. 栅片灭弧装置 图 1-13 是栅片灭弧装置示意图。当电器触头分开时，所产生的电弧在吹弧电动力的作用下被推向一组静止的金属片。这些金属片称为栅片，它们彼此间是互相绝缘的。电弧进入栅片后，被分割成一段段串联的短弧，而栅片就是这些短弧的电极。栅片的作用还在于：能导出电弧的热量，以提高电弧的弧柱压降；由于电弧被分割成为许多段，而每一栅片又相当于一个电极，那么，也就要有许多个阳极压降和阴极压降。对交流电弧来说，近阴极处在电弧过零时会出现一个 150~250V 的介质强度，使外加电压无法维持电弧而熄灭。由于栅片的灭弧效应在交流时要比直流时强得多，所以交流电器宜采用栅片灭弧。

下面讨论常用的各种控制电器的结构、工作原理及主要技术参数。这些控制电器的型号见附录 1-1。

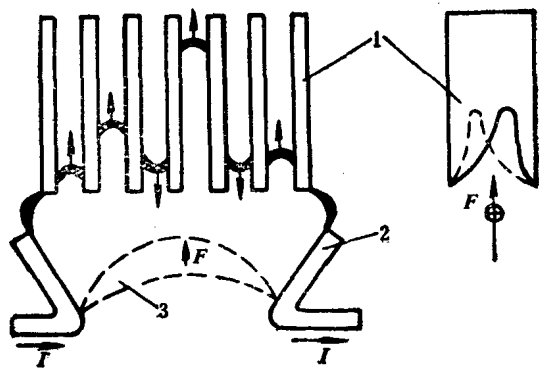


图1-13 栅片灭弧装置示意图
1—灭弧栅片 2—引弧角 3—电弧

§ 1-2 刀开关、熔断器与自动开关

一、刀开关

刀开关又称闸刀，它是手动电器中结构最简单的一种，广泛应用于各种配电设备和供电线路中，用来非频繁地接通和分断容量不太大的低压供电线路，也可作为电源隔离开关，并可对小容量电动机作不频繁的直接起动。

根据不同的工作原理、使用条件和结构形式，刀开关及其与熔断器组合的产品可以分为以下五类：刀开关和刀形转换开关；开启式负荷开关；封闭式负荷开关；熔断器式刀开关；组合开关。各种类型的刀开关还可按其额定电流、刀的极数（单极、双极或三极）、有无灭弧罩以及操作方式来区分。通常，除特殊的大电流刀开关采用电动机操作外，一般都是采用手动操作方式。

图1-14是刀开关的结构简图。由图可知，刀开关是由手柄、触刀、静插座、铰链支座和绝缘底板组成。操作手柄时，使触刀绕铰链支座转动，就可将触刀插入插座内或触刀脱离插座，从而完成接通与断开操作。

为了保证触刀和插座在合闸位置上接触良好，它们之间必须具有一定的接触压力。为此，额定电流较小的刀开关，插座多用硬紫铜制成，利用材料的弹性来产生所需的接触压力；额定电流大的刀开关，还要通过在插座两侧加弹簧片来进一步增加接触压力。

刀开关在分断有负载的电路时，其触刀与插座之间立即产生电弧。电网电压越高、电路电流越大，电弧燃炽得越厉害。为此采用速断刀刀的结构，使触刀迅速拉开，加快分断迅速，保护主触刀不被电弧所灼伤。对于大电流刀开关，为防止各极之间发生电弧闪络，并导致电源相间短路，刀开关各极间有的设绝缘隔板，有的设灭弧罩。刀开关的灭弧罩通常为栅片灭弧。为保护操作人员，也为了方便操作，大电流刀开关除有中央手柄直接操作外，还有杠杆操作。

(一) 主要技术参数

刀开关的主要技术参数有：

1. 额定电压 刀开关在长期工作中能承受的最大电压称为额定电压。目前生产的刀开关的额定电压,一般为交流500V以下,直流440V以下。

2. 额定电流 刀开关在合闸位置允许长期通过的最大工作电流称为额定电流。小电流刀开关的额定电流有10、15、20、30、60A等五级。大电流刀开关的额定电流一般分100、200、400、600、1000及1500A等六级。

3. 分断能力 刀开关在额定电压下能可靠地分断的最大电流称为分断能力。对于小的刀开关,如闸刀开关和铁壳开关,其分断电流为额定电流的二、三十倍,但这并不是触头所能分断的电流,而是指与刀开关配用的熔丝或熔断器的分断能力,它只能分断额定值以下的电流。

4. 操作次数 刀开关的使用寿命。分机械寿命和电寿命。

(1) 机械寿命 在不带电的情况下所能达到的操作次数。

(2) 电寿命 刀开关在额定电压下能可靠地分断一定百分数额定电流的总次数,称为刀开关的电寿命。

5. 电动稳定性电流 刀开关在一定短路电流峰值所产生电动力作用下不产生刀开关变形、破坏或触刀自动弹出的现象时,其短路电流峰值就是刀开关的电动稳定性电流。通常,刀开关的电动稳定性电流为其额定电流的数十倍。

6. 热稳定性电流 发生短路事故时,如果刀开关能在一定时间(通常为1s)内通以某一最大短路电流,并不会因温度急剧升高而发生熔焊现象,则这一短路电流就称为刀开关的热稳定性电流。通常,刀开关的1s热稳定性电流为其额定电流的数十倍。

(二) 开启式负荷开关

开启式负荷开关又称胶盖闸刀开关,主要用作电气照明线路、电热回路的控制开关,也可作为分支电路的配电开关。在降低容量的情况下,三极闸刀开关还可用作小容量异步电动机的非频繁起动控制开关。它具有价格便宜、使用维修方便的优点。

与刀开关比较,闸刀开关多了熔丝和防护外壳胶盖这两部分,闸刀开关的全部导电零件都固定在一块瓷底板上,上面由胶盖盖住。这样,一方面使开关分断电路所产生的电弧不致飞出胶盖外面,灼伤操作人员;另一方面,胶盖还能起到防止因金属零件掉落闸刀上面形成极间短路,同时因胶盖将各极隔开,从而又防止了极间飞弧导致电源的短路。

闸刀开关其内部装设了熔丝,当它所控制的电路发生短路故障时,可借熔丝的熔断迅速切断故障电路,从而保证电路中其他电气设备。

闸刀开关分两极和三极两种,两极式额定电压为220V、三极式额定电压为380V。闸刀开关的电流一般有10、15、30和60A四级。

常用的闸刀开关有HK 1(统一设计产品)和HK 2系列。表1-1为HK 1系列开启式负

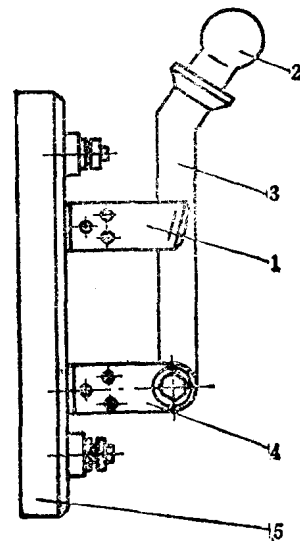


图1-14 刀开关结构

1—静插座 2—手柄 3—触刀 4—铰链支座
5—绝缘底板