

中等专业学校教材

电力拖动断续控制

河北机电学校 许蓼 编



机械工业出版社

电力拖动断续控制

河北机电学校 许蓼 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)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $15 \frac{1}{2}$ · 字数 379 千字

1979年9月北京第一版

1985年6月北京第二版·1985年6月北京第七次印刷

印数 153,001—165,000 · 定价2.20元

*

统一书号: 15033·4810

前 言

本书是根据机械工业部一九八一年十月制定的中等专业学校工业企业电气化专业教学计划与《电力拖动断续控制》课程教学大纲，在由湘潭电机制造学校主编（参加编写的有湘潭电机制造学校张永丰、山东机械工业学校赵明、河北机电学校许蓼和于宝田）的中等专业学校试用教材《电力拖动自动控制》上册的基础上修订编写的。

本书对常用控制电器的工作原理、结构型式、选择、使用和维修等基本知识作了较为全面的介绍；对继电器-接触器控制线路的基本环节作了比较详细的讨论；对常用生产机械控制电路的工作原理作了较详细的分析；并介绍了控制电路的设计、安装、调试、使用和维修的基本知识。

全书共六章。内容包括：控制电器，继电器-接触器控制线路的基本环节，常用机床的电气控制，组合机床的电气控制，桥式起重机的电力拖动自动控制，继电器-接触器电气控制线路的设计等。

本书为中等专业学校工业企业电气化专业的教材，也可供有关专业师生、从事现场工作的工程技术人员参考。

本书由河北机电学校许蓼同志编写。

本书由安徽工学院李仁副教授主审，参加审稿的有杨瑞山、张永丰、赵明、魏国俊、王炳勋、连赛英、李海青、申鸿光、罗智英等同志，以上同志对全书提出许多宝贵意见并提供资料，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，疏漏及错误之处在所难免，热忱希望读者批评指正。

编者

一九八三年八月

目 录

绪论	1	§ 4-1 组合机床控制电路的基本控制环 节	129
第一章 控制电器	3	§ 4-2 组合机床通用部件的控制电路	132
§ 1-1 电器的基本知识	3	§ 4-3 典型环节应用举例	153
§ 1-2 刀开关和转换开关	10	§ 4-4 DU 型组合机床单机控制线路	160
§ 1-3 自动开关	13	习题	163
§ 1-4 主令电器	15	第五章 桥式起重机的电力拖动自动 控制	165
§ 1-5 接触器	19	§ 5-1 桥式起重机概述	165
§ 1-6 继电器	22	§ 5-2 制动器与制动电磁铁	170
§ 1-7 熔断器	36	§ 5-3 凸轮控制器及其控制线路	173
§ 1-8 控制电器常见故障及维修	38	§ 5-4 保护配电盘	177
习题	43	§ 5-5 主令控制器与交流磁力控制盘	181
第二章 继电器-接触器控制线路的基 本环节	44	§ 5-6 提升机构磁力控制器控制系统	183
§ 2-1 电气控制线路的原理图与接线图	44	§ 5-7 PQY、PQS系列交流起重机磁力 控制盘及其控制线路	188
§ 2-2 三相笼型感应电动机直接起动作 制线路	47	§ 5-8 桥式起重机控制线路分析	199
§ 2-3 三相笼型感应电动机降压起动作 制线路	54	§ 5-9 电动葫芦和梁式起重机的电气 设备	204
§ 2-4 绕线式感应电动机起动作制线路	61	习题	206
§ 2-5 三相感应电动机的制动及其自动 制	66	第六章 继电器-接触器电气控制线路 的设计	208
§ 2-6 电动机的自动控制原则	74	§ 6-1 生产机械电力装备设计的基本原则 和基本内容	208
习题	79	§ 6-2 电力拖动方案确定原则和拖动电 机的选择	208
第三章 常用机床的电气控制	84	§ 6-3 电气控制线路的设计	215
§ 3-1 普通车床的电气控制	84	§ 6-4 继电器-接触器控制线路设计举例	219
§ 3-2 M7130 卧轴矩台平面磨床的电气控 制	87	§ 6-5 常用控制电器的选择	222
§ 3-3 摇臂钻床的电气控制	94	§ 6-6 生产机械电力装备施工设计	226
§ 3-4 铣床的电气控制	104	习题	230
§ 3-5 镗床的电气控制	117	附录	232
§ 3-6 机床控制线路的分析和维修	125		
习题	128		
第四章 组合机床的电气控制	129		

绪 论

一、电力拖动自动控制的发展

十九世纪末，在生产机械的拖动系统中，电动机逐渐地代替了蒸汽机，出现了电力拖动。随着生产实践的需要和发展，二十世纪二十年代电力拖动方式由集中拖动发展为单独拖动。为了进一步简化机械传动机构，更好地满足大型机械和精密机械各部分机械特性的不同需要，三十年代出现了多电动机拖动方式，机械各部分分别采用不同的电动机拖动。这种多电动机拖动简化了机械的结构，使机械的工作性能日趋完善，为机械的自动控制创造了良好的条件。目前，常用的生产机械绝大多数都采用单独拖动或多电动机拖动。

在电力拖动方式的演变过程中，电力拖动的控制方式也由手动控制逐步向自动控制方向发展。手动控制是利用刀开关、控制器等手动控制电器，由人力操纵电动机；自动控制是利用自动控制器自动操纵电动机，人在控制过程中只是发出信号，监视生产机械的运转状况。自动控制是在手动控制的基础上发展起来的，最初的自动控制是用数量不多的继电器和接触器及保护元件组成的继电器-接触器自动控制，通常叫作电器控制。这种控制是由操作者通过主令电器接通继电器、接触器，再通过它们的触头接通或断开电动机线路，从而实现电动机的自动起动、制动、反向、调速与停车等操作。这种控制方法简单直接、工作稳定、成本低、能在一定范围内适应单机和生产自动线的需要，在工矿企业中仍被广泛采用。

但继电器接触器控制系统，由于它的固定接线，使用的单一性，即一台控制装置只能针对某一种固定程序的设备，一旦工艺程序有所变动，就得重新配线。满足不了对程序经常改变、控制要求比较复杂的系统的需要。

多年来，一种新型的控制装置顺序控制器，得到迅速的发展，它通过编码、逻辑组合来改变程序，实现对程序需要经常变动的控制要求。它具有通用性强，程序可变，编程容易，可靠性较高，使用维护方便等特点。

但无论是有触点电器还是无触点的逻辑元件，其输入和输出信号只有通和断两种状态，因而这种控制是断续的，不能连续地反映信号的变化，故称为断续控制或逻辑控制。

为了使控制系统获得更好的静态和动态特性，完成更复杂的控制任务，现在广泛地采用反馈控制系统。反馈控制系统是由连续控制元件组成的，它不仅能反映信号的通或断，而且能反映信号的数值大小，这种由连续控制元件组成的反馈控制系统，叫作连续控制系统。

用作连续控制的元件，过去普遍采用电机放大机和磁放大器，随着半导体器件和晶闸管元件的发展，越来越多的采用晶闸管作为控制元件；组成先进的、用途广泛的晶闸管控制系统。

由于数控技术的发展和电子计算机的应用，电力拖动自动控制又发展到了一个新的水平，向着生产过程自动化的方向迈进。应用电子计算机可以不断地处理复杂生产过程中的大量数据，由此可以计算出最佳参数，然后通过自动控制设备及时调整各部分生产机械，使之保持最合理的运行状态，实现整个生产过程的自动化。这是今后电力拖动自动控制发展的方向。

尽管如此，在当前的生产实践中，电力拖动断续控制系统仍是大量的、常见的，同时也

是基本的，它是由各种控制电器根据不同的要求连接而成。在工矿企业中广泛使用的生产机械仍由继电器控制系统控制，同时又是电力拖动自动控制的基础。

二、课程的任务、内容和学习方法

本课程是工业企业电气化专业的主要专业课。包括控制电器、继电器控制系统的基本控制环节、常用机床的电气控制、组合机床的电气控制、桥式起重机的电气设备、继电器控制系统的设计及电器元件选择等内容。

本课程应在学习《电机及拖动基础》以后，并在进行了电工劳动实习的基础上进行讲授，以便保证有较巩固的基础理论知识和感性认识。

在学习本课程时应抓住主要类型、深入研究、触类旁通，以便通过典型设备的学习，掌握生产机械电力拖动装置的基本工作原理和实际运行方面的知识，并能进行一般生产机械电气控制的设计。

同时，在学习本课程时，必须注意培养实际技能和独立工作能力；必须注意理论联系实际，课堂教学与生产实习密切配合，教材的有些内容（控制电器、电气装备的安装、调试、使用和维修等）可在实习中结合现场进行讲授。应对研究实物、练习、实验、实习和设计等给予高度的重视。由于科学技术发展很快，电力拖动自动控制的面貌也日新月异，新技术、新产品不断出现，因此在学习本课程时，还应密切注意这方面的实际发展动态，以求把基本理论与最新技术联系起来。

第一章 控制 电 器

凡是用来自动或手动接通或断开电路，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称为“电器”。

电器的种类繁多。按其用途可分为配电用电器和控制电器；按其工作电压可分为高压电器和低压电器（工作在交、直流电压 1200 V 及以下电路中的电器设备）；按其动作方式可分为自动切换电器和非自动切换电器等。本章仅介绍用于电力拖动自动控制的常用低压控制电器。

控制电器是用于接通或断开电路，以达到控制、调节和保护电动机的起动、反向、制动和调速等目的的电器设备。从结构上来看，大多数控制电器都具有相同的组成部分——感测部分和执行部分。对于有触头的电磁式电器来说，感测部分大都是电磁机构，执行部分是触头。随着电子技术的发展，在电力拖动自动控制系统中将逐渐运用无触点的电器。

在学习本章时，不仅要了解电器的构造、原理，更重要的是要学会电器的正确选择、合理使用和维护修理。

§ 1-1 电器的基本知识

一、电磁机构

电磁机构是电磁式电器的感测部分，通过它将电磁能转换成机械能，使触头动作，来完成接通或分断电路之目的。

（一）电磁机构的构造

电磁机构是由吸引线圈和由铁心、衔铁构成的磁路系统组成。

1. 常用的磁路结构

在控制电器中，常用的磁路结构如图 1-1 所示，可分为如下三种型式。

（1）衔铁沿棱角转动的拍合式铁心，见图 1-1 a。衔铁 1 沿铁轭 2 的棱角而转动，3 是吸引线圈。这种型式广泛用于直流电器中。

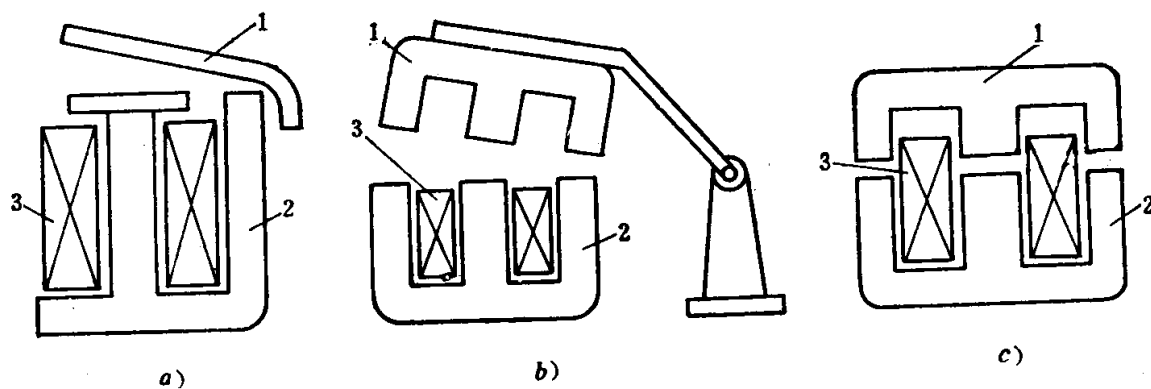


图1-1 常用的磁路结构

1—衔铁 2—铁轭 3—吸引线圈

(2) 衔铁沿轴转动的拍合式铁心, 见图 1-1 b。其铁芯形状有 E 型和 U 型两种, 图中 1 为衔铁, 2 为铁轭, 3 为吸引线圈。此种结构多用于交流电器中。

(3) 衔铁作直线运动的螺管式铁心, 见图 1-1 c。图中 1 为衔铁, 2 为铁轭, 3 为吸引线圈。

2. 吸引线圈

吸引线圈将电能转换成磁场能量, 它是电磁机构动作的能源。

按通入吸引线圈的电流种类不同, 可分为直流线圈和交流线圈。

对于直流激磁的电磁机构, 因构成磁路的铁心不发热, 仅存在吸引线圈流过电流时产生的热量, 为扩大线圈的散热面积, 并通过铁心来散热, 所以直流电磁机构的吸引线圈做成高而薄的瘦高型, 且不设线圈骨架, 使线圈与铁心直接接触, 易于散热。

对于交流电磁机构的吸引线圈, 因构成磁路的铁心存在磁滞和涡流损失, 线圈与铁心都发热, 所以这种电磁机构的吸引线圈设有骨架, 使铁心与线圈隔离并将线圈制成短而厚的矮胖型, 这样便于加强铁心自身的散热。

按吸引线圈在电路中的联接方式, 可分为并联接法与串联接法。相应的线圈称为电压线圈与电流线圈。电压线圈并接在电源上, 匝数多, 导线细, 阻抗大, 电流较小, 常用绝缘较好的电磁线绕制而成。电流线圈串接在主电路中, 电流较大, 其匝数少, 导线粗, 常用扁铜条带或粗铜线绕制。

(二) 电磁机构的吸力特性

1. 吸力公式

由“电工基础”可知, 电磁吸力 F_x 为:

$$F_x = 4 \frac{\Phi^2}{S} \times 10^{-20} \quad (1-1)$$

式中 F_x ——电磁吸力, 单位为 N;

Φ ——磁通, 单位为 Wb;

S ——气隙面积, 单位为 m^2 。

2. 具有电压线圈的交流电磁机构吸力特性

所谓电磁机构的吸力特性是指电磁吸力 F_x 与衔铁、铁轭之间气隙 δ 的关系曲线。对于不同电磁机构的吸力特性, 它们各不相同, 下面仅以常用的具有电压线圈的交流电磁铁吸力特性为例来说明。

$$\text{由} \quad U \approx E = 4.44 f N \Phi_m \quad (1-2)$$

式中 U ——电源电压, 单位为 V;

f ——电源频率, 单位为 Hz;

N ——线圈匝数;

Φ_m ——铁心中磁通的最大值, 单位为 Wb;

E ——线圈中产生的感应电势, 单位为 V。

当外加电压一定时, 铁心中磁通的幅值, 基本上是一个恒值, 这样电磁吸力 F_x 将不变, 但实际上, 随着气隙 δ 的增大, 漏磁将增加, 以使工作磁通有所减小, 所以随着气隙 δ 的增大, 电磁吸力有所减小, 其吸力特性见图 1-2。

(三) 吸力特性和返回系数

1. 反力特性

电磁式电器依靠电磁吸力使衔铁动作，释放时则要靠与吸力方向相反的反力作用。反力主要由反作用弹簧、触头弹簧、衔铁自重等构成。

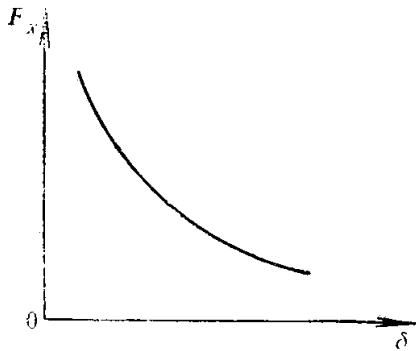


图1-2 具有电压线圈的交流
电磁机构吸力特性

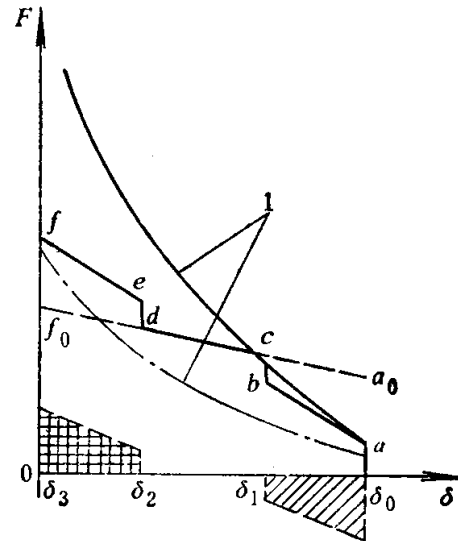


图1-3 反力特性与吸力
特性的配合

所谓反力特性是指反作用力 F_f 与气隙 δ 的关系曲线。如图 1-3 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，所以在图中是以横轴下方的斜线表示。反作用弹簧的反作用力与气隙的关系，在图中是以斜线 $a_0 f_0$ 来表示（包括衔铁自重）。常开触头在气隙为 δ_2 时，其动、静触头开始接触，此时弹簧的反作用力（即所谓触头压力）突然加到衔铁上，并且在以后随气隙的减小而增大，直到气隙为 δ_3 （即衔铁同铁心闭合）时，达到其最大值为止，见图 1-3 中有方格线的部分。总的外力特性是一条 $abcdef$ 折线。

2. 吸力特性与反力特性的配合

为了使电磁机构能正常工作，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 1-3 中，实线 1 表示的吸力特性是极限状态下的特性，若再低于此曲线，衔铁就不可能吸合；反之，衔铁释放时，吸力特性（大都为剩磁所产生）就必须位于反力特性的下方，如点划线 1 所示。要求衔铁吸合时，其吸力特性与反力特性二者尽量靠近。这样有助于改善电器的性能。

3. 返回系数

为了衡量电磁机构吸合后再释放的能力，引入了返回系数这一概念。返回系数是指释放电压（或电流）与吸合电压（或电流）的比值，用 β 表示。

具有电压线圈的电磁机构

$$\beta_v = \frac{U_{sf}}{U_{sh}} \quad (1-3)$$

对于具有电流线圈的电磁机构

$$\beta_f = \frac{I_{sf}}{I_{xh}} \quad (1-4)$$

返回系数是反映吸力特性与反力特性配合紧密程度的一个参数。它综合比较了动作值与释放值的差异性，不同用途的继电器或接触器，往往要求不同的返回系数。例如：专作开关用的继电器与接触器，为了避免电源电压短时降低时的自行释放，要求 β_f 值较低（如小于 0.3 以下），而某些保护用继电器，为了反映较小的输入量的波动范围则要求较高的 β 值（如 0.8 以上）。

提高返回系数的方法有以下几种：

(1) 增加衔铁吸合后的气隙。在反力特性不变情况下，由于气隙加大，释放电流将加大，使返回系数得到提高。如图 1-4 a 所示，吸合后气隙由 δ_{\min} 增加为 δ'_{\min} ，在反力特性 F_f 不变情况下，释放时的吸力特性由 F_{sf} 改为 F'_{sf} ，显然 $F'_{sf} > F_{sf}$ ，其对应的释放电流得到提高，返回系数相应也获得提高。

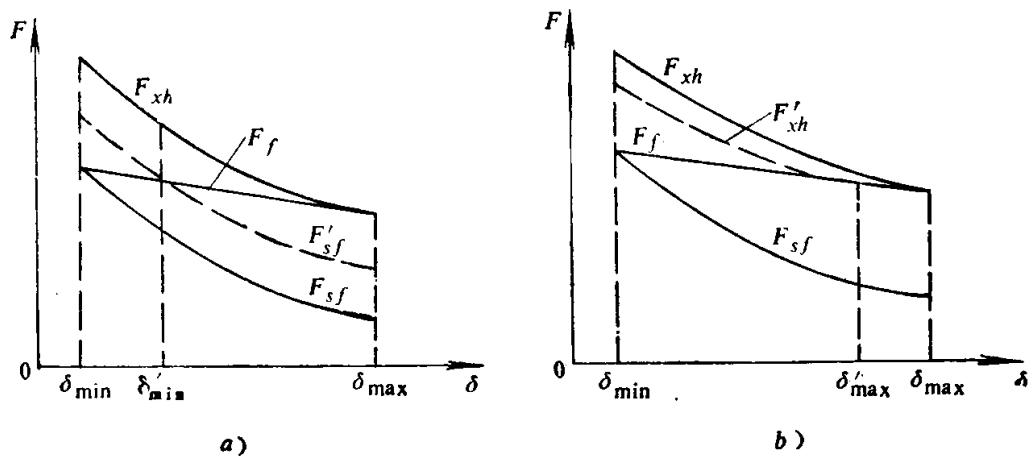


图1-4 提高返回系数的方法

(2) 减小衔铁未吸合时的气隙。由于吸合时的气隙减小，吸合时的吸力特性下降，吸上电流下降，使 β 提高。如图 1-4 b 所示，衔铁未吸合时的气隙由 δ_{\max} 减小为 δ'_{\max} ，这时吸合时的吸力特性由 F_{xh} 降为 F'_{xh} 即可，由于吸上电流下降，使 β 提高。

(3) 增大反作用弹簧的刚度，使反力特性斜率变陡，也能使返回系数 β 增大。

(四) 交流电磁机构上短路环的作用

当交流电磁机构的吸引线圈接在交流电源上，流过交变电流，产生交变磁密，若 $B = B_m \sin \omega t$ ，根据式 (1-1)，有

$$\begin{aligned} F_x &= 4S \times 10^{-20} B_m^2 \sin^2 \omega t \\ &= 4S \times 10^{-20} B_m^2 \left(\frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \right) \end{aligned}$$

若令电磁吸力最大值 $F_m = 4S \times 10^{-20} B_m^2$ 时，则上式可以写成

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

再令电磁吸力不变分量 $F_0 = \frac{F_m}{2}$ 时，则得

$$F_x = F_0 (1 - \cos 2\omega t) \quad (1-5)$$

由此可见，交流电磁机构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 ，其值为最大吸力值的一半；另一个是交变分量 $F_{\sim} = F_0 \cos 2\omega t$ ，其幅值只为最大吸力值之半，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，其吸力曲线见图 1-5 所示。

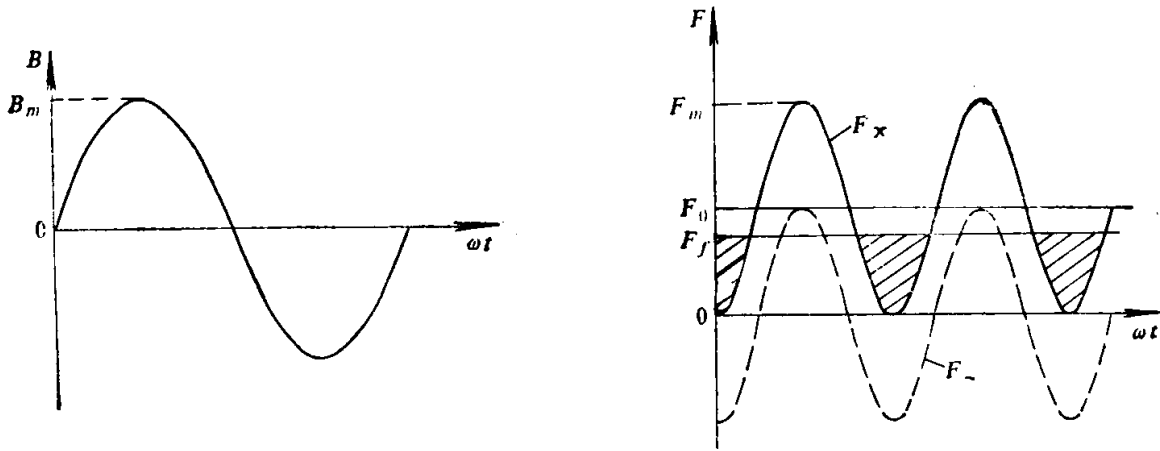


图1-5 交流电磁机构实际吸力曲线

电磁机构在工作过程中，其衔铁始终受到反作用弹簧、触头弹簧等反作用力 F_f 的作用。尽管电磁吸力的平均值 F_0 大于 F_f ，但在某些时候， F_x 仍将小于 F_f （如图 1-5 中画有阴影线的部分）。当 $F_x < F_f$ 时，衔铁开始释放，当 $F_x > F_f$ 时，衔铁又被吸合。从而使衔铁产生振动，发出噪音，为此，必须采取有效措施消除振动与噪音。

具体的办法是在铁心端部开一个槽，槽内嵌入称为短路环（或称为分磁环）的铜环，如图 1-6 所示。短路环相当于变压器的副绕组，当吸引线圈通入交流电后，在短路环中产生感应电流，而该感应电流又会产生一个磁通 $\dot{\Phi}_K$ 。根据楞次定律，磁通 $\dot{\Phi}_K$ 将阻滞穿过短路环的那部分磁通 $\dot{\Phi}_2$ 的变化，共同产生 $\dot{\Phi}_{2K}$ ，且 $\dot{\Phi}_{2K} = \dot{\Phi}_2 + \dot{\Phi}_K$ ，对于短路环未包围的那部分磁通 $\dot{\Phi}_{1K} = \dot{\Phi}_1 + (-\dot{\Phi}_K)$ ，这就使得 $\dot{\Phi}_{2K}$ 滞后于 $\dot{\Phi}_{1K}$ 。由图 1-6 a、b 可见，原来铁心中的 $\dot{\Phi}_1$ 和 $\dot{\Phi}_2$ ，在短路环的作用下变成了 $\dot{\Phi}_{1K}$ 和 $\dot{\Phi}_{2K}$ ，它们不仅不同相，而且幅值也不一样。

衔铁端面的磁通既已分相，由它产生的电磁吸力 F_{1K} 和 F_{2K} 就不会同时过零。如果短路环设计得比较理想，使 φ 角近乎 90° ，如图 1-6 b 所示。并且 F_{1K} 和 F_{2K} 也近乎相等。这时合成吸力 F_x 就相当平坦，它的交变分量的幅值 $F_{\sim m}$ 也很小（见图 1-6 c）。此时，端面上的最小吸力为

$$F_{\min} = F_{x0} - F_{\sim m} \quad (1-6)$$

只要最小吸力 F_{\min} 大于反力 F_f ，衔铁就会被铁轭牢牢吸住，不会产生振动和噪音。

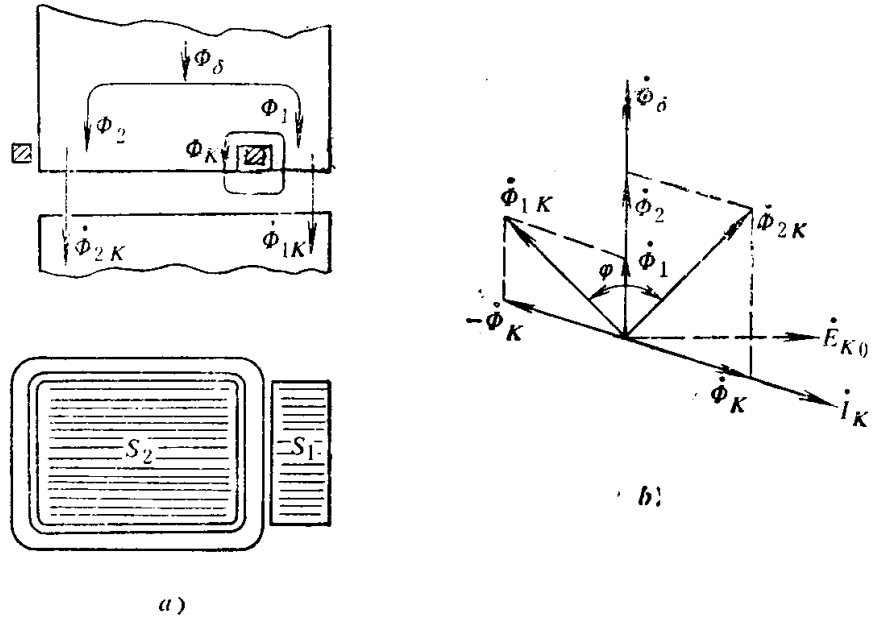
二、触头系统

它是电器的执行元件，起接通和分断电路的作用。因此，要求触头导电性能良好，所以触头通常用铜制成。但是铜的表面容易氧化而生成一层氧化铜，它是不良导体，将增大触头的接触电阻，它会使触头的损耗增大，温升增加。所以，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（氧化铜则不然，其电阻率可达纯铜的十余倍以上），而且要在较高的温度下才会形成，同时又容易粉化。因此，银质触头具有较低和较稳定的接触

电阻。对于大、中容量的低压电器，在结构设计上使触头在接触时有点滚动，可将氧化膜去掉，往往采用铜质触头。

触头主要有以下几种结构型式：

1. 桥式触头：图 1-7 a 是两个点接触的触头，图 1-7 b 是两个面接触的触头。它们都是两个触头串于同一条电路中，电路的接通与断开由两个触头共同完成。点接触型式适用于电流不大且触头压力小的场合；面接触桥式触头适用于大电流的场合。



2. 指形触头：图 1-7 c 所示。它们的接触区域为一直线，触头接通或分断时产生滚动接触，适用于接电次数多，电流大的场合。

为了使触头接触得更加紧密，以减小接触电阻，并消除开始接触时发生有害的振动，在触头上装有接触弹簧，它在刚刚接触时产生初压力并且随着触头的闭合加大触头间的互压力。

三、灭弧装置

我们知道，不论什么金属表面，即使加工光洁度再高，也不可能是理想的光滑表面。所以两个触头之间的接触，从本质上来讲是许多个点的接触。这样，触头分断时最终要出现只有一个点在接触的现象。于是，该点处的电流密度高达 $(10^7 \sim 10^{12}) \text{ A/m}^2$ ，致使触头金属熔化，并随着触头的互相分离形成熔化了的高温金属液桥。一旦触头完全分开，金属液桥就被拉断，而在断口

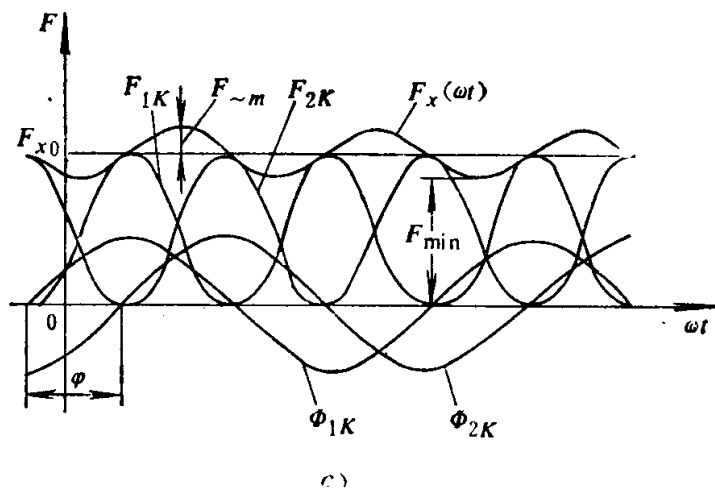


图1-6 有短路环交流电磁机构的工作原理
a) 简单结构 b) 各磁通的相位关系 c) 吸力特性

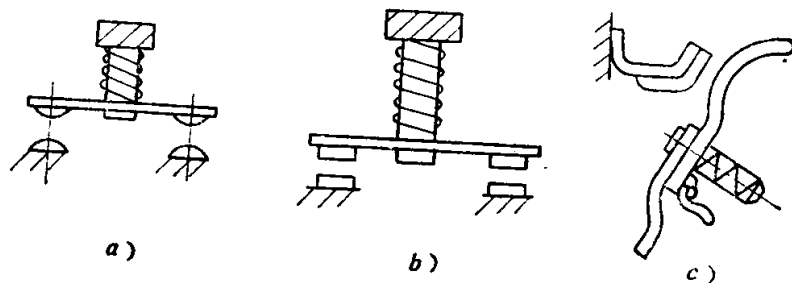


图1-7 触头结构型式

处立即产生电弧。电弧一方面烧蚀触头，减低电器寿命，降低电器工作的可靠性，另一方面还使切断时间延长，甚至会引起火灾和其它事故。因此我们希望电弧能迅速地熄灭。

为什么触头在分断电路时会形成电弧呢？当触头间刚出现断口时，两触头间距离极小，

故电场强度极大，在此强电场作用下，金属内部的自由电子从阴极表面逸出，奔向阳极；再则是这些自由电子在电场中运动时，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时，还要撞击其他中性分子。如此，在触头间隙中就产生了大量的带电粒子（正负离子和电子），终于使气体导电形成了炽热的电子流，这就是电弧。

电弧一经产生，便在弧隙中产生大量热能，使气体热游离的作用占主要地位，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。由此可见，电压越高、电流越大，即电弧功率越大，弧区温度越高，电弧的游离因素就越强。

但与此同时，弧隙中还存在着去游离因素。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。

总之，电弧是游离与去游离的统一体。要熄灭电弧，就应当抑制游离因素和加强去游离因素。通常采用下列几种方法来灭弧。

（一）电动力吹弧

图 1-8 是一种桥式结构双断口触头系统（所谓双断口就是在一个回路中有两个产生和断开电弧的间隙）。当触头打开时，在断口中产生电弧。触头 1 和 2 的载流体在弧区产生图中以 \oplus 表示的磁场，根据左手定则，电弧电流要受到一个指向外侧的电动力 F 作用，使电弧向外运动。电弧的这种运动，一方面使电弧拉长，使它迅速穿越冷却介质而加快冷却。但更主要的是在交流电流过零时，于两断口处的每一阴极近旁都能出现 150~250 V 的介质绝缘强度。

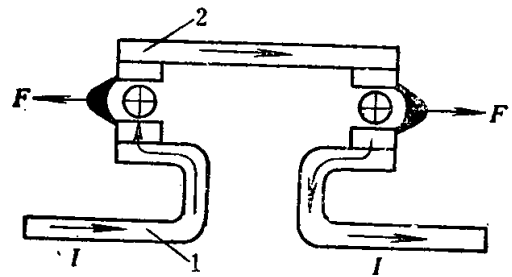


图1-8 双断口结构的电动力吹弧效应

1—静触头 2—动触头

这种灭弧方式的优点是结构简单，无需专门的灭弧装置。其缺点是当电流较小时，电动力很小。考虑到它有两个断口，一般用于交流接触器等交流电器。

（二）磁吹灭弧

为了加强弧区的磁场强度，以获得较大的电弧运动速度，可以采用图 1-9 所示串联线圈磁吹装置。由图可见，磁吹线圈产生的磁场，磁通比较集中，它经铁心和导磁夹板进入电弧空间。于是，电弧在磁场力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），并在导弧角处被拉到最长。在运动过程中，电弧一方面被拉长，另一方面又被冷却，所以容易熄灭。导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而起到保护触头的作用。

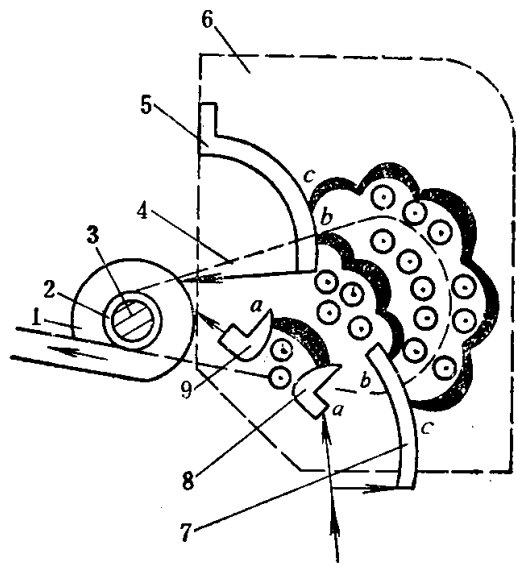


图1-9 磁吹灭弧示意图

1—磁吹线圈 2—绝缘套 3—铁心 4—导磁夹板 5—弧角 6—灭弧罩 7—弧角 8—动触头 9—静触头

这种灭弧方式称为串联磁吹灭弧方式。由于磁吹线圈是同主电路串联，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，灭弧力越强。另外，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的好，缺点是在触头上电流反向时，必须同时改变线圈的极性。不然，磁吹就会反向，使电弧不易熄灭，甚至可能损坏电器。

交直流电器都可采用磁吹灭弧方式，但继电器触头容量小，一般无需加设专门的灭弧装置。

(三) 窄缝灭弧室

磁吹灭弧一般都带灭弧罩，灭弧罩通常用耐弧陶土、石棉水泥或耐弧塑料制成。它的作用有两：一是引导电弧纵向吹出，借此防止发生相间短路；二是使电弧与灭弧室的绝缘壁接触，从而迅速冷却，增强去游离作用，提高弧柱电压降，迫使电弧熄灭。灭弧罩内只有一个纵缝，缝的下部宽些上部窄些，见图 1-10，窄缝可将电弧弧柱直径压缩，使电弧同缝壁紧密接触，加强冷却和去游离作用，同时，也加大了电弧运动的阻力，使其运动速度下降，缝壁温度上升，并在壁面产生表面放电。目前，有采用数个窄缝的多纵缝灭弧室，它将电弧引入纵缝，分劈成若干股直径较小的电弧，以增强去游离作用。

(四) 栅片灭弧

图 1-11 是栅片灭弧示意图。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。这组金属片称为栅片，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。栅片的作用在于：1. 能导出电弧的热量，以提高电弧的弧柱压降；2. 既然电弧被分割为许多段，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。这些都是有利于熄灭电弧的。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。

栅片一般用镀铜钢片制成。由于钢片是铁磁性物质，能将电弧吸入栅片之间，并迫使电弧聚向栅片中心，为栅片所冷却，形成表面复合而去游离。

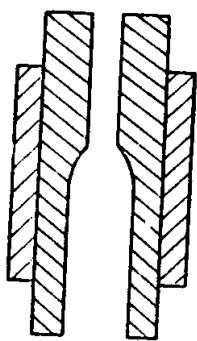


图1-10 窄缝灭弧装置

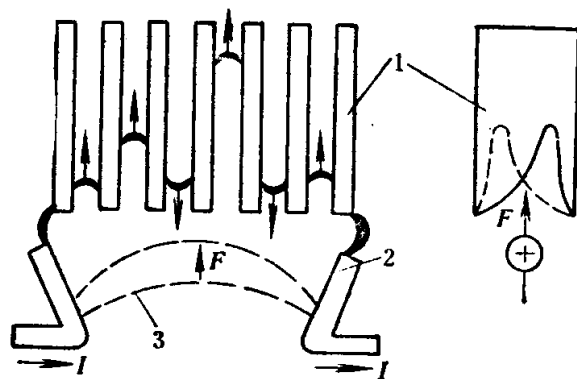


图1-11 栅片灭弧示意图

1—灭弧栅片 2—弧角 3—电弧

§ 1-2 刀开关和转换开关

一、刀开关

刀开关又称闸刀开关。是结构最简单，应用最广泛的一种手控电器。一般用于容量不大的低压电路中，作为不频繁接通和分断电路用。

刀开关由操作手柄，触刀，插座和绝缘底板等组成。刀开关和熔断器组合在一起，成为小型配电电器，如胶盖瓷底刀开关，铁壳开关和熔断器或刀开关。

(一) 胶盖瓷底闸刀开关

胶盖瓷底闸刀开关（又称开启式负荷开关）主要用作电气照明线路、电热回路的控制开关，也可用作分支电路的配电开关。在降低容量的情况下，三极的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。其价格便宜、使用维修方便，获得广泛应用。

HK 系列闸刀开关是由刀开关和熔断体组合而成。瓷底板上装有进线座、触刀、插座、熔丝及出线座，上面有保护外壳胶盖。导电部分由于有胶盖罩着，合闸时，操作人员不可能触及带电部分，在分断电路时，所产生的电弧，一般也不致飞出胶盖外面，灼伤操作人员。此外，胶盖还能防止因金属零件掉落闸刀上产生极间短路，并且因其可将各极隔开，从而防止了极间飞弧导致电源的短路。

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

常用的有 HK1、HK2 系列闸刀开关（其中 HK1 系列为全国统一设计产品）。其额定电流有 10、15、30 和 60 A 四个等级。两极式闸刀开关额定电压为 220 V，三极式额定电压为 380 V。

在正常情况下，闸刀开关的额定电流一般可根据负载额定电流来选择，但当闸刀开关被用于控制电动机时，根据经验，闸刀开关的额定电流应当是电动机额定电流的三倍来选择。

闸刀开关的额定电压，一般根据负载的额定电压来选择。

对于闸刀开关的安装也应加以注意，一般说，闸刀开关必须垂直地安装在控制屏或开关板上，并使进线座在上方。接线时，进线座和出线座也不能搞反了，不然，在更换熔丝时就会发生触电事故。

(二) 铁壳开关

铁壳开关（又称封闭式负荷开关），它是在闸刀开关没有灭弧装置，而且触头的断开速度比较慢，分断大电流时，往往会有很大的电弧向外喷出，引起相间短路，甚至灼伤操作人员的改进设计中出现的开关设备。

铁壳开关主要由触头及灭弧系统、熔断器以及操作机构等三部分共装于一防护外壳内构成。下面仅以使用得最多的 HH3、HH4 系列的铁壳开关（其中 HH4 系列为全国统一设计产品）来简单介绍它们的结构。

HH3 与 HH4 系列铁壳开关的触头和灭弧系统有两种形式，一种是双断点楔形转动式触头，其动触头为 U 形双刀片，静触头（触头座）则固定在瓷质 E 形灭弧室上，两断口间还隔有瓷板；另一种是单断点楔形触头，其结构与一般闸刀开关相仿，灭弧室是由钢纸板夹上去离子栅片构成的。

铁壳开关配用的熔断器，额定电流为 60 A 及以下者，配用瓷插式熔断器；额定电流为 100 A 及以上者，配用无填料封闭管式熔断器。

铁壳开关的操作机构具有以下两个特点：一是采用贮能合闸方式，这种贮能操作机构很简单，它是一端装在外壳上，另一端通过钩子扣在操作手柄转轴上的一根弹簧。当转动手柄使开关合闸或者分闸时，在开始阶段，闸刀并不移动，只能弹簧被拉伸，从而贮备一定的能量。

一旦转轴转过了某一角度，弹簧力便帮助操作人员，使触刀迅速地插入触头座内或迅速地离开触头座。第二个特点是设有联锁装置，保证开关合闸时不能打开开关盖，而当开关盖打开时，不能将开关合闸。这样一来，大大地提高了开关的合闸与分闸速度，因而也提高了开关的通断能力和降低了触头的电气磨损，延长了开关的使用寿命。联锁装置的采用，既有助于充分发挥外壳的防护作用，又保证了更换熔断器等操作的安全。

铁壳开关用来控制一般电热、照明电路时，开关的额定电流可按各该电路的额定电流来选择。对于起动不很频繁的小型异步电动机也可用铁壳开关控制；开关的额定电流可根据表1-1选择，或者通过下式计算

$$I_{eK} = 1.5I_{eD} \quad (1-7)$$

式中 I_{eK} ——开关的额定电流，单位为 A；

I_{eD} ——电动机的额定电流，单位为 A。

表1-1 铁壳开关与可控制电动机容量的配合

额定电流值 I_e/A	可控电动机最大容量值 P_{max}/kW		
	220 V	380 V	500 V
10	1.5	2.7	3.5
15	2.0	3.0	4.5
20	3.5	5.0	7.0
30	4.5	7.0	10
60	9.5	15	20

根据使用经验，用60 A以上的开关来控制电动机已不很相宜，有可能发生弧光烧手事故。另外，铁壳开关又不带过载保护，只有熔断器作短路保护。因此，很可能因一相熔断器熔断，而导致电动机断相运转故障，所以不宜采用铁壳开关来控制大容量的电动机。

铁壳开关不允许随意放在地上，也不允许面对着开关进行操作，以免万一发生故障而开关又分断不了短路电流时，铁壳爆炸飞出伤人。另外，开关的外壳还应当妥善接地。

二、转换开关

转换开关又称组合开关，它实质上是一种刀开关，它具有多触头、多位置，可以控制多个电路，用作非频繁地接通和分断电路、换接电源和负载、测量三相电压以及控制小容量异步电动机的正反转和星三角起动。

转换开关有许多系列，如 HZ 1、HZ 2、HZ 3、HZ 4、HZ 5 和 HZ 10 系列等，其中 HZ 1 至 HZ 4 这四个系列是技术经济指标比较落后的仿苏旧产品，已属淘汰，不应选用，HZ 5 系列是类似于万能转换开关的产品，其结构不同于一般转换开关。HZ 10 系列是全国统一设计产品，具有寿命长、使用可靠、结构简单等优点。下面以 HZ 10 系列为例作一介绍。

HZ 10 系列转换开关分操作机构无限位型与操作机构有限位型，其结构略有不同。它们的动、静触头都装设在不太高的数层胶木绝缘触头座内，触点座可以一个接一个地堆叠起来，最多的达六层。通过选择不同类型的动触头，按照不同方式配置动触头和静触头，然后叠装起来，可得到数十种不同的接线方案，使用十分方便。

动触头由两片磷铜片或硬紫铜片与具有良好消弧性能的绝缘钢纸板铆合而成，它们一起套在绝缘方轴上，两个静触头则分置于胶木绝缘触头座边沿上的两个凹槽内。当方轴转动时，

便带动动触头来接通或分断相应的静触头，达到接通和分断电路的目的。在转换开关的上部有导板、滑板、凸轮、扭簧及手柄等零件组成的操作机构，由于操作部分中扭转弹簧的储能作用，能获得快速动作，从而提高触头的通断能力。

HZ10 系列转换开关额定电压直流 220 V，交流 380 V，额定电流有 6、10、25、60、100 A 五个等级。选用时应当按照规定条件（额定电压、操作频率、功率因数、额定电流等）使用；不能用来分断故障电流，就是用于控制电动机可逆运转时，也必须在电动机完全停止转动以后，才允许反方向接通；选用时对于接线方式也应根据需要正确选择相应规格的产品。

§ 1-3 自 动 开 关

自动开关又称自动空气断路器，当电路发生严重的过载、短路以及失压等故障时，能自动切断故障电路，有效地保护串接在它后面的电气设备。因此，自动开关是低压配电网中非常重要的保护电器。但在正常条件下，也用于不频繁地接通和断开电路和控制电动机。由于自动开关具有可以操作、动作值可以调整、能做成具有短路保护和过载保护两种功能、分断能力较高以及动作过后一般不需要更换零部件等优点，因此，得到了广泛的应用。

自动开关按其用途及结构特点可分为框架式自动开关，塑料外壳式自动开关，直流快速自动开关及限流式自动开关等。本节仅介绍用于电力拖动自动控制线路中的塑料外壳式自动开关。

一、自动开关的结构和工作原理

自动开关的三个基本部分

1. 执行通断电路的部件——触头和灭弧系统；
2. 感测电路的不正常状态、并作出反应即保护性动作的部件——各种脱扣器；
3. 联系以上两种部件的中间传递部件——自由脱扣和操作机构。

图 1-12 是自动开关的工作原理图。开关的主触头是靠操作机构（手动或电动）合闸的。

在正常情况下，触头能接通和分断工作电流；在故障情况下，又能有效并及时地切断高达数十倍额定电流的故障电流，从而保护电路及电路中的电气设备。开关的自由脱扣机构是一套连杆机构，当主触头闭合以后将主触头锁在合闸位置上。如果电路中发生故障，自由脱扣机构就在有关脱扣器的推动下动作，使钩子脱开。于是，主触头在释放弹簧的作用下迅速分断。脱扣器种类很多，如过电流脱扣器、失压脱扣器和分励脱扣器等。过电流脱扣器在正常情况下，其衔铁是释放着的。当发生过载或短路故障时，与主电路串联的线圈就会产生强大的电磁吸力，将衔铁往下吸，使得衔铁另一端上的顶杆向上运动，顶开自由脱扣机构中的锁钩，使主触头分断。失压脱扣器的工作恰恰相反，当电路电压正常时，并激线圈产生足够的吸力将衔铁吸住，使

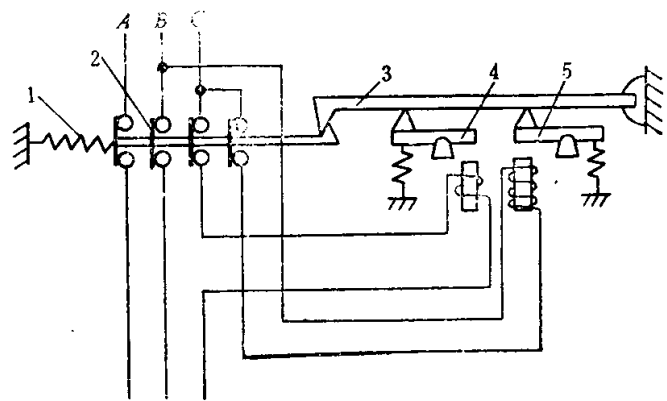


图 1-12 自动开关的工作原理图

1—释放弹簧 2—主触头 3—钩子
4—过电流脱扣器 5—失压脱扣器

在正常情况下，触头能接通和分断工作电流；在故障情况下，又能有效并及时地切断高达数十倍额定电流的故障电流，从而保护电路及电路中的电气设备。开关的自由脱扣机构是一套连杆机构，当主触头闭合以后将主触头锁在合闸位置上。如果电路中发生故障，自由脱扣机构就在有关脱扣器的推动下动作，使钩子脱开。于是，主触头在释放弹簧的作用下迅速分断。脱扣器种类很多，如过电流脱扣器、失压脱扣器和分励脱扣器等。过电流脱扣器在正常情况下，其衔铁是释放着的。当发生过载或短路故障时，与主电路串联的线圈就会产生强大的电磁吸力，将衔铁往下吸，使得衔铁另一端上的顶杆向上运动，顶开自由脱扣机构中的锁钩，使主触头分断。失压脱扣器的工作恰恰相反，当电路电压正常时，并激线圈产生足够的吸力将衔铁吸住，使