

•中等专业学校教学用书•

# 工厂电气 控制设备

冶金工业出版社

ZHONGDENG ZHUANYE  
XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU

# 工厂电气 控制设备

1954年11月

СОВЕТСКОЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ  
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

中等专业学校教学用书

# 工厂电气控制设备

鞍山钢铁学校 王振兴 主编

冶金工业出版社

中等专业学校教学用书  
工厂电气控制设备  
鞍山钢铁学校 王振兴 主编

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 13 字数 304 千字

1989年11月第一版 1989年11月第一次印刷

印数00,001~9,500册

ISBN 7-5024-0590-9

TP·28 (课) 定价2.35元

## 前 言

本书系根据冶金中等专业学校工业电气化专业“工厂电气控制设备”课程教学大纲编写的，为该专业的试用教材，也可作为有关专业的教学参考书。

全书主要分两部分：第一部分为断续控制系统及其设备，包括常用控制电器的选择和整定，继电-接触器自动控制系统，桥式起重机的电气设备，顺序控制器及其设备；第二部分为连续控制系统及其设备，包括交磁放大机控制系统，磁放大器及其应用。书中带“\*”号的有关章节，可根据具体情况有选择地进行讲授。

本书由鞍山钢铁学校王振兴主编。参加编写的有：天津冶金机电工业学校赵秉衡（第三章、第四章第九节），吉林电气化专科学校宋宏（第二章、第六章），鞍山钢铁学校王振兴（第一章、第四章、第五章）。

本书在编写过程中，吉林电气化专科学校刘天赐副教授和山东冶金工业学校刘杞全同志提供了许多宝贵意见和资料，谨致谢意。

由于编者水平有限，错误或不当之处在所难免，恳切希望读者提出宝贵意见。

编 者

一九八九年二月

# 目 录

<b>前言</b>	
<b>第一章 常用控制电器的选择和整定</b> .....	1
第一节 主线路中的常用电器元件 .....	1
第二节 控制线路中的常用电器元件 .....	19
练习题 .....	40
<b>第二章 继电器接触器自动控制系统</b> .....	41
第一节 控制线路的原理图与接线图 .....	41
第二节 三相鼠笼式异步电动机起动控制线路 .....	44
第三节 电动机的几种控制原则 .....	51
第四节 三相绕线式异步电动机起动控制线路 .....	54
第五节 三相异步电动机制动控制线路 .....	56
第六节 直流电动机的控制 .....	59
第七节 电动机的保护 .....	64
练习题 .....	67
附录 .....	69
<b>第三章 桥式起重机的电气设备</b> .....	73
第一节 概述 .....	73
第二节 15/3t桥式起重机的控制线路 .....	74
第三节 PQY1-4、PQS1-3系列交流起重机控制站 .....	84
练习题 .....	94
<b>第四章 交磁放大机控制系统</b> .....	95
第一节 交磁放大机的工作原理 .....	95
第二节 转速负反馈调速系统 .....	101
第三节 电压负反馈和电流截止负反馈系统 .....	106
第四节 交磁放大机系统的最佳过渡过程 .....	109
第五节 电压截止-电流负反馈的调速系统 .....	111
第六节 电压、电流相互截止的调速系统 .....	115
第七节 交磁放大机调速系统的稳定环节 .....	119
第八节 推床的电气设备 .....	121
*第九节 龙门刨床的电气设备 .....	126
练习题 .....	148
<b>*第五章 磁放大器及其应用</b> .....	149
第一节 磁放大器工作的物理基础 .....	149
第二节 理想磁放大器的工作原理和基本性能 .....	153
第三节 磁放大器的偏移和反馈 .....	162
第四节 双拍磁放大器 .....	168

第五节	磁放大器应用举例 .....	175
第六节	电铲电气设备 .....	177
	练习题 .....	183
<b>*第六章</b>	<b>顺序控制器及其设备 .....</b>	<b>184</b>
第一节	基本逻辑型顺序控制器 .....	184
第二节	条件步进型顺序控制器 .....	191
	练习题 .....	198
	<b>参考文献 .....</b>	<b>199</b>

# 第一章 常用控制电器的选择和整定

用来分合电路，以达到控制、调节与保护目的的电气设备称之为电器。电器一般可分为非自动电器和自动电器两类。非自动电器是工作人员手动操作的，又称为手动电器，如刀开关、转换开关、按钮、控制器等。自动电器是按照信号或某个物理量的变化自动动作的，如接触器、继电器等。

电器的种类繁多，结构迥异，用途也各不相同，这里仅介绍用于电力拖动自动控制系统中500V以下的常用低压电器。

电力拖动控制系统一般分成两大部分，一部分是开断、接通和控制主电动机运转状态的电路系统，叫作主电路系统。由于它担负着较大能量的传输任务，又叫动力线路系统。另一部分电路的任务是根据给定的指令，依照自动控制系统的规律和具体工艺要求对主电路系统进行控制的，叫作控制电路系统或控制回路。

由于动力线路和控制线路传送的能量和职能不同，对电器元件的要求也不同。为使读者有一个比较明确的概念，本章将分别对动力线路和控制线路的控制电器进行讨论。

## 第一节 主线路中的常用电器元件

### 一、自动空气开关

自动空气开关也叫自动空气断路器，主要用在低压动力线路中。它除能手动或自动接通动力电源外，还能在短路、过载和欠压故障时自动切断电路，对系统起保护作用。所以自动空气开关在一般低压控制系统中使用广泛。

但是，自动空气开关不能连续频繁的进行通断操作。另外，为了能迅速切断短路电流，它又具有较强的熄灭电弧的能力和灵敏的分断机构。

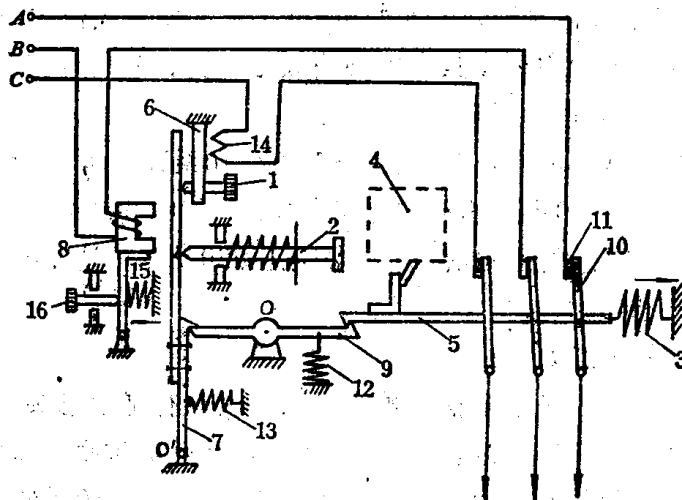


图 1-1 自动空气开关的结构原理

- 1—热脱扣器整定旋钮；2—手动脱扣按钮；3—脱扣弹簧；4—手动合闸机构；5—合闸联杆；6—热脱扣器；7—脱扣锁钩；8—电磁脱扣器；9—脱扣联杆；10、11—动静触头；12、13—弹簧；14—发热元件；15—电磁脱扣弹簧；16—调节旋钮



自动空气开关配置某些附件后，可以扩展其功能范围。这些附件主要是欠压脱扣器、分励脱扣器、辅助触头和电动操作机构等。

欠压脱扣器用于对电压值要求较高的系统中，当电源电压低于某一值时，欠压脱扣器将使空气开关断开，切断电源。

分励脱扣器用于远距离控制空气开关。

辅助触头用于空气开关的控制和讯号传送。电动操作机构用于对空气开关的远距离操作。

### 1. 自动空气开关的简单原理和参数

图1-1为自动空气开关的工作原理简图，实际的空气开关结构比图1-1要复杂得多。

手动合闸后，动静触头闭合，脱扣联杆9为锁钩7钩住，它又将合闸联杆5钩住，使触头保持在闭合状态。

发热元件14与主电路串联，有电流流过时发出热量使热脱扣器6的下端向左弯曲，发生过载时脱扣器6弯曲到将脱扣锁钩7推离开脱扣联杆9，进而松开合闸联杆5，动静触头受脱扣弹簧3的作用而迅速分开。

电磁脱扣器8有一个匝数很少的线圈与主电路串联，发生短路时，它使铁芯对脱扣锁钩7上部的吸力大于弹簧13的反力，于是脱扣锁钩7向左移动，最后也使触头断开。

如果要求手动脱扣时，按下手动按钮2就可使触头断开。

热脱扣器和短路电流脱扣器都可以对脱扣电流值进行整定，这时只要改变热脱扣器所需要的弯曲程度和电磁脱扣器铁芯与脱扣机构的气隙大小就行了。

热脱扣器和电磁脱扣器互相配合，热脱扣器担负主电路的过载保护，电磁脱扣器担负短路故障保护。

当空气开关由于过载而断开后，应等待2~3min才能重新合闸，以使热脱扣器回复原位。

自动空气开关的主触头由耐电弧合金（银钨合金）制成，采用灭弧栅片加陶瓷罩来熄灭电弧（灭弧原理见接触器）。

我国用DZ和DW表示自动空气开关的型号。DZ表示装置式自动开关，DW表示开敞式自动开关。自动空气开关的主要参数有主触头额定电流、分断电流，热脱扣器额定电流和整定范围以及电磁脱扣器整定范围。

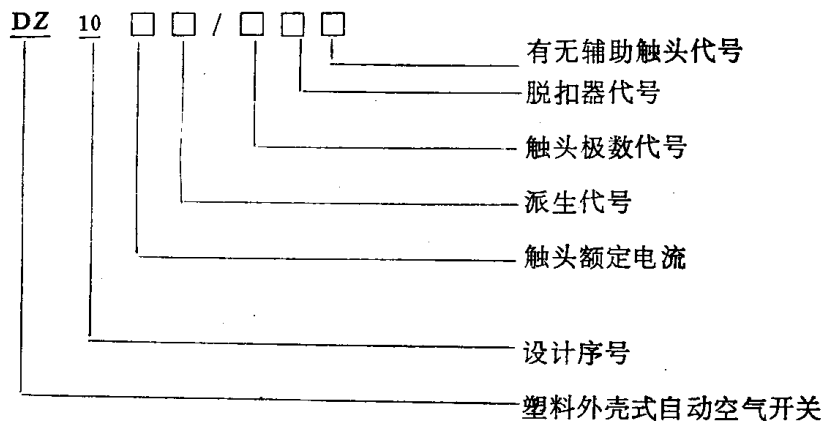
装置式自动空气开关常用的有DZ-4、DZ-5和DZ-10系列三种，前两种为小容量（额定电流有25和50A两种），DZ-10系列的额定电流有100、250、500A三个等级。分断电流（在额定电压下能分断的最大短路电流）在直流电压220V时可达7000~25000A，在交流电压为380V时为7000~50000A。

自动空气开关的型号示意如下：

在辅助触头代号中，“0”表示无辅助触头；“2”表示有辅助触头。脱扣器代号中，“0”表示没有脱扣器；“1”表示有热脱扣器；“2”表示有电磁脱扣器；“3”表示有热脱扣器和电磁脱扣器的复式脱扣器。如：DZ10—250/330表示DZ10系列装置式自动开关，额定电流250A，3极，复式脱扣器，不带附件。

### 2. 自动空气开关的选择和使用

选择空气开关时其额定电流应与被控制电气设备的额定电流相等，其电压应大于或等



于所用电源的额定电压。此外，还应根据主电路系统对保护的要求，选择脱扣器的形式和额定电流。

自动空气开关投入使用前应先进行整定，按照要求整定热脱扣器和电磁脱扣器的动作电流，以后就不应随意旋动有关的调节螺丝和弹簧。在安装自动空气开关时应注意将来自电源的母线接到开关有灭弧罩一侧的端子上，来自用电设备的母线接到另一侧的端子上。在正常情况下每六个月应对开关检修一次，消除灰尘等。发生切断短路事故的动作后，应对触头进行清理，检查有无熔坏和清除金属熔粒、粉尘等，特别要把散落在绝缘上的金属粉尘除尽。

表 1-1 DZ4-<sup>25</sup>/<sub>50</sub>系列装置式自动开关技术数据

型 号	额定电流 (A)	额定电压 (V)	极 数	过电流脱扣器类别	脱扣器额定电流 (A)
DZ4-25/330	25	交流 380 直流 220	3	复式脱扣器	1.6, 2.5, 4, 6.4, 10, 16, 25
-25/230			2		
-25/320			3	电磁脱扣器	
-25/220			2		
-25/310			3	热力脱扣器	
-25/210			2		
-25/300			3	无脱扣器	
-25/200			2		
DZ4-50/330			50	交流 380 直流 220	
-50/230	2				
-50/320	3	电磁脱扣器			
-50/220	2				
-50/310	3	热力脱扣器			
-50/210	2				
-50/300	3	无脱扣器			
-50/200	2				

DZ4-25、DZ4-50系列装置式自动开关技术数据见表1-1。

保护性能：

热脱扣器：1.1倍额定电流时，不动作；1.35倍额定电流时，30min内动作；6倍额定电流时，1~7s后动作。

电磁脱扣器瞬时动作电流调节范围：6~10倍额定电流。

## 二、熔断器

熔断器是电动机或用电线路中一种最简单的保护元件，它串接在电路中，使电气设备或线路免受短路电流的损害。在正常工作情况下，熔体发热温度低于其熔点，即熔体允许长期通过电流。当电路中发生短路或严重过载时，由于电流过大，熔体发热后使其熔化而自动把电路切断，从而起到保护的作用。

### 1. 熔断器的种类和技术数据

低压熔断器按其结构形式分为螺旋式、管式、插入式等，如图1-2所示。

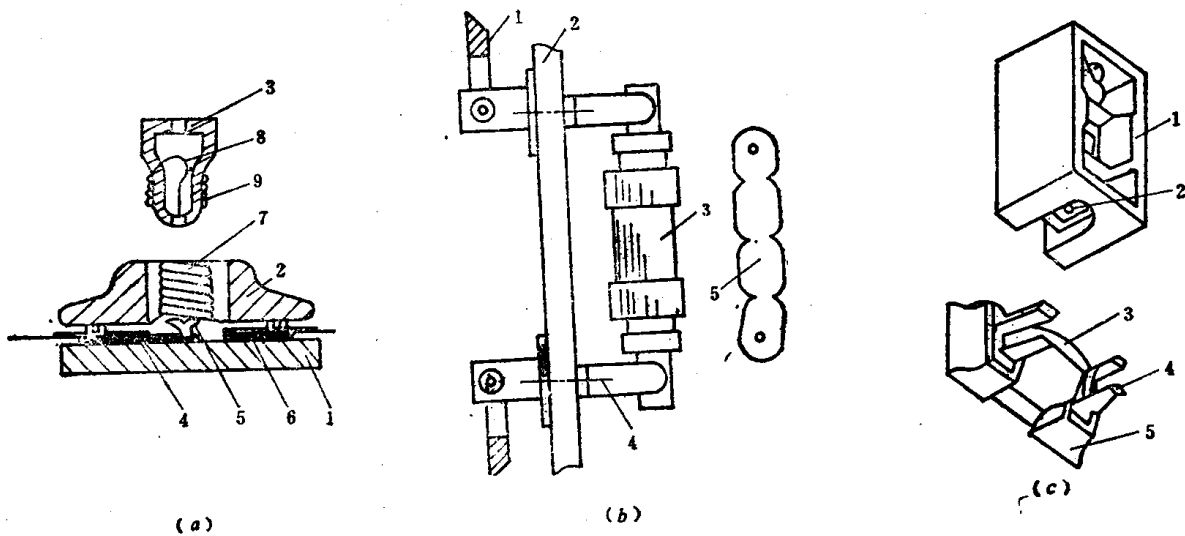


图 1-2 熔断器的结构

- a. 螺旋式熔断器：1—瓷座；2—瓷盖板；3—插塞；4—金属片；5—接触螺钉；  
6—金属片；7—金属螺帽；8—熔丝；9—金属螺丝
- b. 管式熔断器：1—导线；2—绝缘底板；3—装有熔片的金属套管；4—弹性铜片；  
5—熔片
- c. 插入式熔断器：1—瓷底座；2—静触头；3—熔丝；4—动触头；5—瓷插片

熔断器的主要组成部分是熔体（或称熔丝）和装置熔体的容器。熔体的材料由易熔金属铅、锡、铜、银、锌及其合金制成。熔体的额定电流是指长时间通过熔体而不熔断的电流。在电路正常工作时，通过熔体的电流小于或等于它的额定电流，熔体不会熔断，保持电路接通；一旦故障电流远远超过额定值时，熔体被加热到熔点而烧断。通过的电流越大，熔体熔断时间越短，这一特性叫做可熔化特性曲线，如图1-3所示。

可熔化特性的纵坐标为熔断时间，以s（秒）表示；横坐标为熔体通过的实际电流与额定电流的比值 $\frac{I}{I_0}$ 。其中 $I_0$ 为熔体的额定电流； $I$ 为通过熔体的实际电流。由图中看出，

当通过熔体的电流小于额定电流的1.25倍时，熔体长期不会熔断；当电流达到1.6倍时，约经一小时后熔断；当电流达到两倍时，约（30~40）s后熔断；当达到8到10倍时，熔体几乎瞬时熔断。由此可见，熔断器对于保护短路故障是很有效的。

螺旋式、有填料封闭式、瓷插式熔断器技术数据列于表1-2~4。

## 2. 熔断器的选择

熔断器的主要参数为额定电流，它又分熔断器额定电流和熔体额定电流。在同一个熔断器额定电流下，可选不同额定电流值的熔体，但熔体的最大额定电流不得超过所选熔断器的额定电流。通常选择熔断器时，主要考虑以下两个方面：

（1）结构形式的选择 在选择结构形式时，应考虑以电流电压的需要及安装牢固方便为原则。

瓷插式熔断器的型号为RC1，常用于低压电路末端，作为电气设备的短路保护。

螺旋式熔断器的型号为RL1，用于电压在500V以下，电流在200A以内电路中作过载或短路保护。

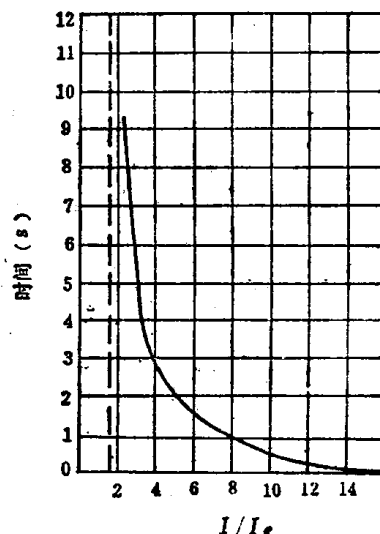


图 1-3 可熔化特性曲线

表 1-2 螺旋式熔断器技术数据

名称	型号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	熔体的额定电流等级 (A)	极限分断能力(A)		主要用途
					380 (V)	500 (V)	
螺旋式熔断器	RL1-15	500	15	2、4、5、6、10、15	2000	2000	供500V以下的电路中，作过载及短路保护用
	RL1-60		60	20、25、30、35、40、50、60	5000	3500	
	RL1-100		100	60、80、100		20000	
	RL1-200		200	100、125、150、200		50000	
螺旋式熔断器	RL2-25		25	2、4、6、10、15、20、25		1000	作为硅整流元件，可控硅整流元件，或由该元件组成成套装置中短路保护，或某些不允许过电流的过载保护
	RL2-60		60	25、35、50、60		2000	
	RL2-100		100	80、100		3500	
螺旋式快速熔断器	RLS-10		10	5、5、10		40000	作为硅整流元件，可控硅整流元件，或由该元件组成成套装置中短路保护，或某些不允许过电流的过载保护
	RLS-50		50	15、20、25、30、40、50		40000	
	RLS-100		100	60、80、100			

填料封闭管式熔断器的型号为RT0，常用于短路电流很大的电网配电装置中及大容量的电气设备作短路及过载保护。

管型熔断器的型号为RM1，常用于低压电路或成套设备中用作短路和连续过载保护。

（2）熔断器熔体额定电流的选择 当熔断器用于电动机作短路保护时，即要起到短路保护的作用，又要能承受异步电动机起动电流的冲击。

表 1-3 有填料封闭管式熔断器技术数据

型 号	额定电压 (V)		额定电流 (A)	熔体的额定电流等级 (A)	极限分断能力 (kA)	主 要 用 途	
	交 流	直 流					
RT0-50	380	440	50	5、10、15、30、40、50	交流50	用于有高短路电流存在的工业企业网路内或电气装置中,作为电缆导线及电气设备的短路保护或电缆及导线的过负荷保护	
RT0-100			100	30、40、50、60、80、100			直流25
RT0-200			200	80、100、120、150、200			
RT0-400			400	150、200、250、300、350、400			
RT0-600			600	350、400、450、500、550、600			
RT0-1000			1000	700、800、900、1000			

表 1-4 瓷插式熔断器技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	熔丝额定电流等级 (A)	主 要 用 途
RC1-10	380	10	2、4、6、10	用于交流分线路的短路保护和过载保护
RC1-15		15	5、10、15	
RC1-30		30	15、20、25、30	
RC1-60		60	30、40、50、60	
RC1-100		100	60、80、100	
RC1-200		200	100、120、150、200	

保护单台长期工作的电动机时:

$$I_{Re} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{De} \quad (1-1)$$

保护频繁启动的电动机时:

$$I_{Re} \geq (3 \sim 3.5) I_{De} \quad (1-2)$$

保护多台电动机时:

$$I_{Re} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{DeM} + \sum I_{De} \quad (1-3)$$

式中  $I_{De}$  ——电动机额定电流;

$I_{DeM}$  ——容量最大一台电动机的额定电流;

$I_{Re}$  ——熔体额定电流。

如果负载为纯电阻负载时,则熔丝电流就等于负载额定电流。降压启动的电动机选用熔丝的额定电流等于或略大于电动机额定电流。

### 三、接触器

接触器是一种用来接通或切断带有负载的交、直流主电路或大容量控制电路的自动化切换电器。其主要控制对象是电动机,也可用于其它电力负载,如电热器、电焊机、电炉变压器、电容器组等。它的作用和刀开关类似,但是接触器不仅能接通和切断电路,还具有低电压释放保护作用、控制容量大、适用于频繁操作和远距离控制、工作可靠、寿命长等优点。而刀开关既无低压释放保护,又只能用手直接操作。

接触器的运动部分(动铁芯、触头等),可借助于电磁力、压缩空气、液压力的作用来驱动,在此只介绍电磁力驱动的电磁式接触器。

接触器按其触头通过的电流种类可分为交流接触器和直流接触器两种。

### 1. 交流接触器

交流接触器的触头流过交流电流，但是它的吸引线圈并没有硬性规定，通常多数是施加交流电压，也有为了增加接触器的开闭次数和可靠性采用直流吸引线圈的。电磁式接触器主要由电磁机构、触头系统、灭弧装置等部分组成。

(1) 电磁机构 电磁机构由外施一定的电压或电流用来产生必要的吸力从而带动触头运动。它包括励磁线圈（又叫吸引线圈）、铁芯和衔铁（也叫动铁芯）三部分。图1-4为CJ12B交流接触器的电磁机构。

交流接触器的线圈一般采用电压线圈（直接并联在电源电压上的具有较高阻抗的线圈），通以单相交流电，为减少涡流、磁滞损耗，以免铁芯发热过甚，铁芯用硅钢片迭铆而成。通常做成双E型。因交流接触器励磁线圈电阻较小（主要靠感抗限制线圈电流），故铜损引起的发热不多，为了增加铁芯的散热面积励磁线圈均做成粗而短的圆筒状。

电磁机构的吸力与很多因素有关，准确的计算公式相当复杂，这里只能列出近似的计算式。

当铁芯与衔铁端面互相平行，且气隙 $\delta$ 比较小时，吸力近似为：

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

式中  $B$ ——穿过铁芯和衔铁端面之间气隙 $\delta$ 的磁通密度 (T)；

$S$ ——铁芯柱的横截面积( $m^2$ )。

如果气隙距离 $\delta$ 较大，或两端面不平行，则吸力公式应作一定的修正，其计算公式为：

$$F_x = 4 \times 10^5 B^2 S \times \frac{1}{1+k\delta} \quad (1-5)$$

式中  $\delta$ ——气隙长度(m)；

$k$ ——修正系数。

经验指出  $k=3\sim 5$ ， $\delta$ 越大或两端面夹角越大时， $k$ 应取较大值。

式(1-4)、(1-5)对交、直流和各种形式的电磁机构都可适用。

当交流接触器励磁电压线圈外加的交流电压有效值不变时，如果忽略线圈电阻压降，则有：

$$U = E = 4.44 f N \phi (V) \quad (1-6)$$

式中  $U$ ——外加交流电压；

$E$ ——线圈反电势；

$\phi$ ——通过铁芯截面的磁通(Wb)；

$f$ ——电源频率；

$N$ ——线圈匝数。

在这种情况下，磁路中的磁通，也就是气隙中的磁通：

$$\phi = \frac{U}{4.44 f N} (Wb) \quad (1-7)$$

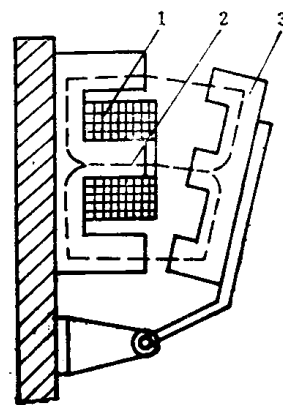


图 1-4 交流接触器的电磁机构  
1—线圈；2—铁芯；3—衔铁

由于 $U$ 、 $f$ 、 $N$ 均为常数，所以具有电压线圈的交流电磁机构磁路中的磁通也是常数，它不随空气隙大小而变化。

由式(1-4)或(1-5)可以近似地画出交流接触器电磁机构的吸力特性曲线(如图1-5所示)。

由于单相交流电流过零时，吸力也为零，从而引起吸合后的衔铁产生振动与噪音。振动易使电器结构松散、寿命降低，同时使触头接触不良，易于熔焊与烧损；噪音使工人感到疲劳，恶化工作环境。为了消除这一现象，在铁芯柱端面上嵌装一个自成回路的铜环，常称为短路环，如图1-6所示。

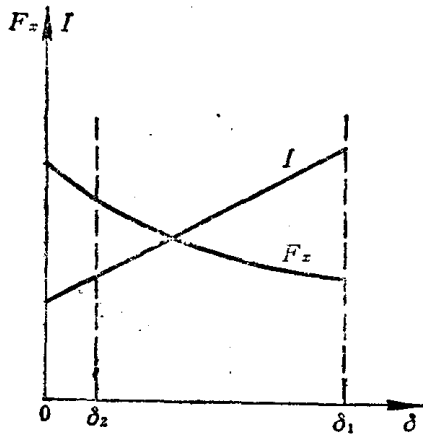


图 1-5 具有电压线圈的交流电磁铁吸力特性

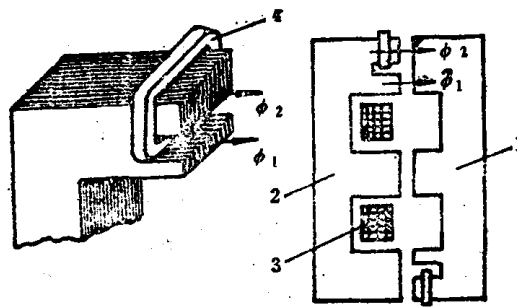


图 1-6 交流电磁机构中的短路环  
1—衔铁；2—铁芯；3—线圈；4—短路环

由于短路环并非包围整个端面，而是只包围一部分(图中所示)，这样当励磁线圈通电后，穿过铜环的磁通 $\phi_2$ 受到阻尼，落后于没穿过铜环的磁通 $\phi_1$ 一个电角度 $\varphi$ 。这两个磁通

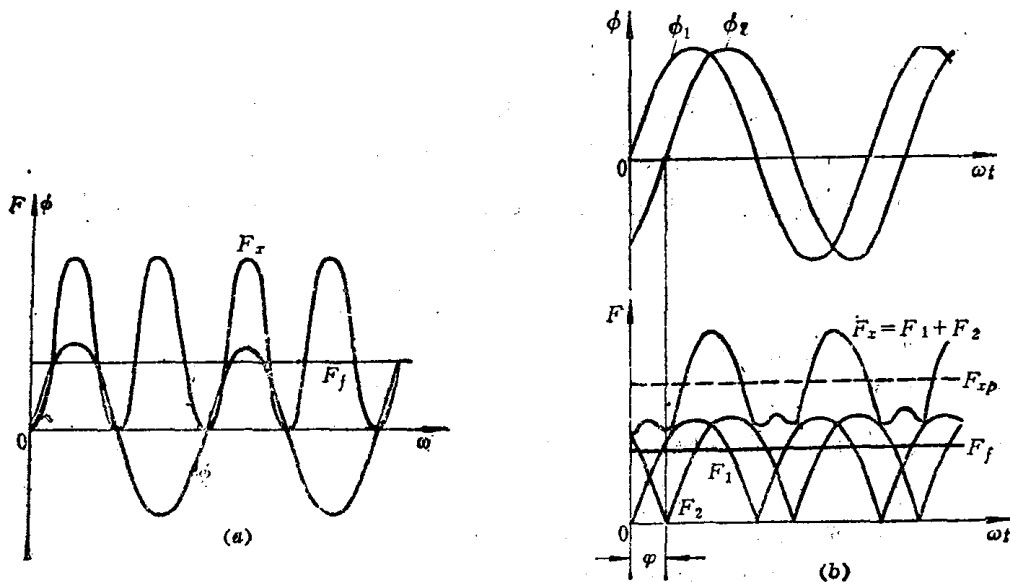


图 1-7 磁通与吸力

a—交变磁通和它的吸力；b—加短路环后磁通和吸力的变化曲线

分别产生各自的吸力，如图1-7所示。从图中可见吸力 $F_1$ 和 $F_2$ 不同时达到零，使任何瞬时吸力均不为零（即合力不为零），从而消除了振动与噪音。

从图1-5可以看出交流接触器启动时吸引线圈通过的电流远远超过吸合后的工作电流（约在十几倍左右），频繁开合将使线圈过热，因此限制了它的最大操作频率（次/h）。可靠性也不如直流接触器，因为一旦衔铁卡住不能吸合时线圈易烧毁。

交流接触器的励磁线圈在电压为85~105% $U_e$ 时能保证可靠工作。应该指出，电压升高时，交流接触器磁路趋于饱和，线圈电流将显著增大，有烧毁线圈的危险。

使用时要特别注意线圈的额定电压，如把额定电压为220V的线圈接至380V电源上，线圈将烧毁，反之衔铁不动作，线圈也可能因过热而烧毁。

另外在使用时决不允许把接触器的交流线圈误接到直流电源上，否则将会因线圈电阻小而流过大电流将线圈烧坏。

(2) 触头系统 它是电器的执行元件，起分断和接通电路的作用，因此接触器的触头不但要求能通过大的电流，而且要能耐机械磨损和电弧的烧蚀，所以要求触头要有良好的导电性能，耐高温，强度大，一般多用铜钨合金制成。

为了减少触头闭合后的接触电阻，触头闭合后应有足够大的接触压力和接触面积，这些靠设计触头的形状、接触方式和装设触头弹簧来保证。

接触器的触头有主触头和辅助触头之分，主触头用以通断主回路（大电流电路、电动机回路），常为三对常开主触头。而辅助触头则用以通断控制回路（小电流电路）起电气联锁作用，所以又称联锁触头，它有常开和常闭两种。所谓常开、常闭是指电磁机构未通电时触头的状态。

交流接触器的触头主要有如图1-8所示的几种结构形式。

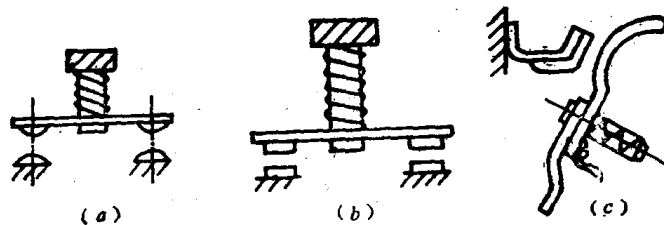


图 1-8 交流接触器触头的结构型式

a—点接触；b—面接触；c—线接触

1) 桥式触头 图1-8a是两个点接触的触头，b是两个面接触的触头，它们都是两个触头串于一条电路中，电路的开断与闭合是由两个触头共同完成的。点接触桥式触头用于电流不大且触头压力小的地方，如接触器的辅助触头。面接触的桥式触头，适用于大电流的地方，如接触器的触头。

2) 线接触的指形触头 如图1-8c所示，其接触区域是一条直线，这种触头在闭合过程中可以产生滚滑接触。从图1-9可以看出，最初接触处是触头的顶部，如图中a；随后在触头中部接触，如图中b；最后滚到触头的根部相接触，如图中c；它是触头长期导电的工作部位。当触头断开时，先从根部最后从顶部离开。正因为触头的闭合和断开均在顶部，使得正常工作部位（根部）不致受电弧烧蚀，从而保持良好的接触导电性能。同时在



滚动的过程中，略带滑动，还能磨去导电性能不良的氧化膜，有利于触头的工作。这种触头适用于接电次数多、电流大的地方，如接触器的主触头。



图 1-9 线接触式触头的接触过程

使用接触器时，要注意触头的通断容量和通断频率，如应用不当，会缩短其使用寿命或不能分断电路，严重的会使触头熔化；反之则触头得不到充分利用。

(3) 灭弧装置 根据实验，当切断电路时，如果电路中电压不小于 $10\sim 20\text{V}$ ，电流不小于 $80\sim 100\text{mA}$ 时，触头间便会产生电弧。电弧一方面烧蚀触头，减低接触器寿命，降低接触器工作的可靠性，另一方面还使切断时间延长，甚至会引引起其它事故，因此我们希望电弧能迅速地熄灭。要想熄灭电弧，必须了解电弧产生和熄灭的物理过程，从而找出灭弧措施。

1) 电弧的产生和熄灭 触头在分断电路时会形成电弧，是因为触头在开始分离时其间隙很小，而加在间隙上的是线路的全部电压，间隙中的强电场使电子自阴极表面挣脱出来（称强电场发射），以高速向阳极运动，并撞击气体中性原子，使其外层电子游离出来（称撞击游离）导致气体发生电离。电子向阳极运动，正离子向阴极运动，正离子撞击阴极时，使阴极表面发生高热，于是阴极金属中电子能量增加，当增加一定值时，电子便从金属表面逸出（称热电子发射）。在这些过程的同时，弧隙的温度升高，气体分子与原子的运动速度及动能增加，碰撞加剧，分离出带有负电的电子和带正电的离子（高温热游离）。强电场发射、撞击电离、热电子发射和高温热游离使空气隙中出现大量的向阳极飞驰的电子，形成电子流，由于电子流的存在，在动静触头之间就产生了电弧。

应该指出，在发生游离作用的同时，还存在去游离的作用。如电子在飞驰的道路上，可能与正离子重新结合成中性分子，这种过程称再结合。同时电子还会向温度较低的地方扩散出去，这样也减弱了游离的作用。电弧是否燃烧，决定于同时存在的游离和去游离作用的强弱，假如游离作用强，电弧就燃烧；去游离作用强，电弧就熄灭。电器中装有灭弧装置，其目的就是为了加强去游离的作用，来促使电弧熄灭。

2) 灭弧方法和灭弧装置 常用的灭弧方法有以下几种：

A. 迅速增大电弧长度 电弧长度的增大使电场强度减小，撞击电离的作用减小；另外，触头电弧表面积的增加，也增加了带电微粒的扩散及电弧的冷却。拉长电弧的具体措施有：

a. 用机械力拉长电弧：即使触头急速离开以拉长电弧，如图1-10a所示。

b. 磁吹拉长电弧：用电磁铁或永久磁铁的磁场对电流的作用力拉长电弧，如图1-10b所示。

c. 电动力拉长电弧：如图1-10c所示，是用电动力拉长电弧的实例。两个方向相反的电流产生互相排斥的电动力迫使电弧拉长。

d. 气吹法灭弧：利用气流使电弧拉长并冷却，如图1-10d所示。