

21世纪高等职业技术教育规划教材

电气工程类

电气控制

DIANQI KONGZHI

主 编◎汪明添

副主编◎魏继红

主 审◎邵良成



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪高等职业技术教育规划教材——电气工程类

电 气 控 制

主 编 汪明添
副主编 魏继红
主 审 邵良成

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内 容 简 介

本书是高职高专电气专业系列教材之一。主要介绍常用低压电器的型号、规格、结构、工作原理、技术数据、选用原则及其在控制电路中的作用；基本电气控制线路的工作原理和运行情况；常用电机调速控制线路的工作原理和运行过程；常用机床电气控制线路的工作原理和运行过程；数控机床基础知识；常用起重机械的组成、结构和电气控制线路；继电器接触器控制系统的设计；最后根据课程能力培养目标安排了实验教学内容。

本书注重理论联系实际，既有实用性，又有系统性，内容全面，同时也增加了对先进电器元件和设备的介绍。书中配有许多的电器实物插图，方便学生直观学习。

本书可作为高职高专院校电气专业、自动化专业和机电技术等专业的教材，也可作为相关领域工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制 / 汪明添主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2009.5

21世纪高等职业技术教育规划教材. 电气工程类
ISBN 978-7-5643-0248-1

I. 电… II. 汪… III. 电气控制—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM921.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第065908号

21世纪高等职业技术教育规划教材——电气工程类

电 气 控 制

主 编 汪 明 添

*

责任编辑 黄淑文

特邀编辑 谢美俊

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蜀通印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 12.875

字数: 322千字 印数: 1—4 000册

2009年5月第1版 2009年5月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-0248-1

定价: 22.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本教材是高职高专电气专业系列教材之一，根据教育部高职高专培养目标和对本课程的教学大纲编写而成。

本书由具有多年教学经验和丰富实践技能的教师编写。在编写过程中，遵循适用、够用的原则，以电气控制应用能力培养为根本出发点，突出职业教育特点，力图使学生通过本教材安排的基础知识学习和训练，能够掌握电气控制在工业控制中的应用技术，达到学得会、掌握牢、用得上的目的。在内容编排上，着重基本概念和基本原理的阐述，理论部分坚持必需、够用的原则，避免繁琐的理论推导，注重理论联系实际，增加了应用实例，使本书既有实用性，又有系统性；编入了实验内容，实现了理论知识和能力训练的相互结合。

本书主要介绍了常用低压电器的型号、规格、结构、工作原理、技术数据、选用原则及其在控制电路中的作用；基本电气控制线路的工作原理和运行情况；常用电机调速控制线路的工作原理和运行过程；常用机床电气控制线路的工作原理和运行过程；数控机床基础知识；常用起重运输机械的组成、结构和电气控制线路；继电器接触器控制系统的设计；最后根据课程能力培养目标安排了实验教学内容。每章后面配有体现教学基本要求的习题，便于学生学习。

本书由汪明添担任主编，魏继红担任副主编。参加编写的教师有贵州电子信息职业技术学院的汪明添、郑州电力职业技术学院的魏继红、重庆水利水电职业技术学院的陈达波、贵州电力职业技术学院的张萍。在编写过程中得到了四所学院领导的大力支持和关心，在此谨致深切谢意。

贵州电子信息职业技术学院高级讲师邵良成担任本书主审，认真仔细地审核了书稿，并提出了许多宝贵的修改意见。

本书可作为高职高专院校电气、自动化和机电技术等专业的教材，也可作为相关领域工程技术人员的参考书。

本书编写过程中参考了大量文献和书籍，在此，对这些文献的作者深表感谢。

由于编者水平有限，书中难免有欠妥之处，恳请广大读者批评指正。读者有何意见和建议，可直接与作者联系，作者电子邮箱：wmt8899@163.com。

编 者

2009年2月

目 录

第 1 章 常用低压电器	1
1.1 低压电器的基本知识	1
1.2 接触器	10
1.3 继电器	14
1.4 熔断器	33
1.5 低压开关、低压断路器和漏电保护器	37
1.6 主令电器	45
1.7 其他低压电器	52
第 2 章 基本电气控制线路	56
2.1 控制线路的原理图及接线图	56
2.2 三相笼型异步电动机的基本控制线路	64
2.3 三相笼型异步电动机的降压启动控制线路	72
2.4 三相绕线式异步电动机启动控制线路	79
2.5 三相异步电动机的制动控制线路	84
2.6 电液控制线路	92
2.7 电气控制电路中常用的保护环节	95
第 3 章 电机调速基本控制线路	99
3.1 三相异步电动机的基本调速控制线路	100
3.2 三相异步电动机的变频调速技术	107
3.3 直流电动机的控制线路	110
3.4 步进电动机	117
第 4 章 典型生产机械电气控制	123
4.1 电气控制电路的读图方法	123
4.2 磨床控制线路	125
4.3 摇臂钻床控制线路	130
4.4 万能铣床控制线路	139
4.5 数控机床简介	150
4.6 机床电气安装与维修	162

第 5 章 起重运输机械	166
5.1 电动葫芦	166
5.2 桥式起重机	169
第 6 章 电气控制系统设计	179
6.1 电气控制系统原理设计的基本原则和内容	179
6.2 电气控制线路设计的一般规律	181
6.3 电气控制线路的设计方法	183
6.4 电气控制系统设计的应用举例	185
6.5 电气控制线路常用控制电器的选择	188
实验 1 三相异步电动机的直接启动和点动控制	193
实验 2 三相异步电动机的正、反转控制	195
实验 3 三相异步电动机的 Y-Δ 降压启动控制	198
参考文献	200

常用低压电器

本章主要内容：★低压电器的基本知识 ★接触器 ★继电器 ★熔断器 ★低压开关、低压断路器和漏电保护器 ★主令电器 ★其他低压电器

低压电器是电力拖动自动控制系统的基本组成元件，控制系统的优劣与所用低压电器性能有直接关系。作为电气工程技术人员，必须熟悉常用低压电器的结构、原理，掌握其使用与维护等方面的知识和技能。本章主要介绍常用低压电器的结构、原理、型号、规格、选择、使用等方面的知识，为后续内容的学习奠定基础；同时根据目前电器发展的现状，对部分新型电器元件做简单介绍。

1.1 低压电器的基本知识

电器是所有电工器械的简称。即凡是根据外界特定的信号和要求自动或手动接通与断开电路，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、检测和调节的电工器械称为电器。

低压电器通常指工作在交流 1 200 V 以下或直流 1 500 V 以下电路中的电器。常用的低压电器主要有接触器、继电器、刀开关、断路器（空气自动开关）、转换开关、行程开关、按钮、熔断器等。工作电压高于交流 1 200 V、直流 1 500 V 的各种电器则属于高压电器，常用的高压电器主要有：高压断路器、隔离开关、高压熔断器、避雷器等。

1.1.1 低压电器的分类

低压电器种类繁多，功能各异，构造各异，用途广泛。分类方法很多，通常有如下分类：

1. 按有无触点的结构特点分

可分为有触点电器和无触点电器。

2. 按动作方式分

① 自动切换电器：依靠自身参数的变化或外来信号的作用，自动完成接通或分断等动作，如接触器、继电器等。

② 非自动切换电器：主要是用外力（如人力）直接操作来进行切换的电器，如刀开关、转换开关、按钮等。

3. 按用途分

① 控制电器：用于各种控制电路和控制系统的电器，如接触器、各种控制继电器、控制器、启动器等。

② 主令电器：用于自动控制系统中发送控制指令的电器，如控制按钮、行程开关、万能转换开关等。

③ 保护电器：用于保护电路及用电设备的电器，如熔断器、热继电器、各种保护继电器、避雷器等。

④ 配电电器：用于电能的输送和分配的电器，如高压断路器、隔离开关、刀开关、自动开关等。

⑤ 执行电器：用于完成某种动作或传动功能的电器，如电磁铁、电磁离合器等。

4. 按工作原理分

① 电磁式电器：根据电磁感应原理来动作的电器，如交流、直流接触器，各种电磁式继电器、电磁铁等。

② 非电量控制电器：依靠外力或非电量信号（如速度、压力、温度等）的变化而动作的电器，如转换开关、行程开关、速度继电器、压力继电器、温度继电器等。

1.1.2 低压电器的电磁系统

低压电器一般由两个基本部分组成，即感测机构和执行机构。感测机构感测外界信号的变化，作出有规律的反应；而执行机构则是根据指令信号，执行电路的通、断控制。

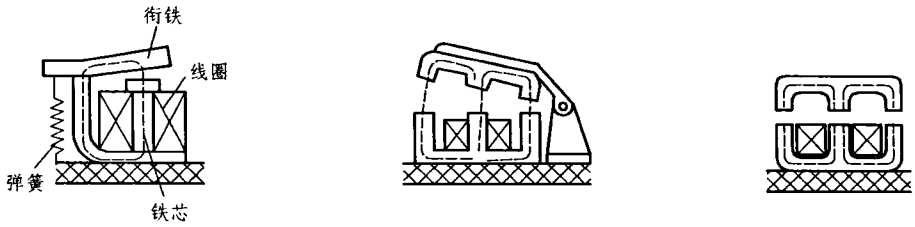
在各种低压电器中，根据电磁感应原理来实现通、断控制的电器很多，它们的结构相似、原理相同，感测机构是电磁系统，执行机构则是触点系统及灭弧系统。

1. 电磁系统的结构和工作原理

电器的感测机构，其作用是将电磁能量转换成机械能量，带动触点动作，实现对电路的通、断控制。

电磁系统由铁芯、衔铁和线圈等部分组成。其作用原理是：当线圈中有电流通过时，产生电磁吸力，电磁吸力克服弹簧的反作用力，使衔铁与铁芯闭合，衔铁带动连接机构运动，从而带动相应触点动作，完成通、断电路的控制作用。接触器常用的电磁系统结构如图 1.1.1 所示。其中，衔铁绕棱角转动的拍合式结构，适用于直流接触器；衔铁绕轴转动的拍合式结构，适用于触点容量较大的交流接触器；衔铁直线运动的螺管式结构，适用于交流接触器、继电器等。

电磁式电器分为直流与交流两大类。直流电磁铁的铁芯由整块铸铁铸成，而交流电磁铁的铁芯则用硅钢片叠成，以减小铁损（磁滞损耗及涡流损耗）。



(a) 衔铁绕棱角转动拍合式 (b) 衔铁绕轴转动拍合式 (c) 衔铁直线运动螺管式

图 1.1.1 接触器电磁系统的结构图

图 1.1.1 中线圈的作用是将电能转化为磁场能。按通入线圈电流性质的不同，分为直流线圈和交流线圈两种。

实际应用中，由于直流电磁铁仅有线圈发热，所以线圈匝数多、导线细，制成细长形，且不设线圈骨架，线圈与铁芯直接接触，利于线圈的散热。而交流电磁铁由于铁芯和线圈均发热，所以线圈匝数少、导线粗，制成短粗形，吸引线圈设有骨架，且铁芯与线圈隔离，利于铁芯和线圈的散热。

2. 电磁系统的吸力特性和反力特性

电磁系统的工作特性常用吸力特性和反力特性来表达。电磁系统使衔铁吸合的力与气隙的关系曲线称为吸力特性。电磁系统使衔铁释放（复位）的力与气隙的关系曲线称为反力特性。

1) 反力特性

电磁系统使衔铁释放的力一般有两种：一种是利用弹簧的反力；另一种是利用衔铁自身重力，如图 1.1.2 所示。弹簧的反力与其变形量 x 成正比，其反力特性可写为：

$$\text{弹簧的反力特性} \quad F_{\text{弹}} = K_1 x \quad (1.1.1)$$

$$\text{自重的反力特性} \quad F_{\text{重}} = M \quad (1.1.2)$$

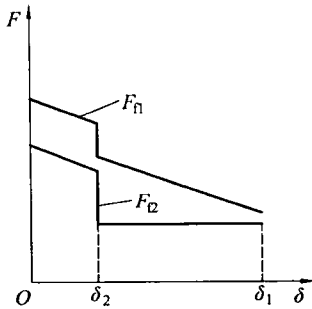


图 1.1.2 反力特性

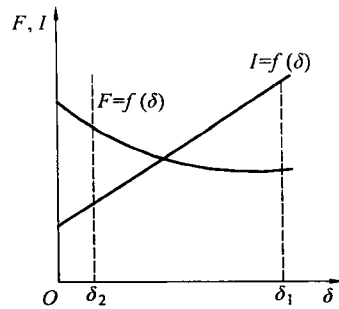


图 1.1.3 交流吸力特性

考虑到常开触头闭合时超行程机构的弹力作用，上述两种反力特性曲线如图 1.1.2 所示。其中 δ_1 为电磁机构气隙的初始值， δ_2 为动、静触头开始接触时的气隙长度。由于超行程机构的弹力作用，反力特性在 δ_2 处有一突变。

2) 吸力特性

电磁机构的吸力与很多因素有关，当铁芯与衔铁端面互相平行，且气隙 δ 比较小时，吸

力可近似地按下式求得：

$$F = 4 \times 10^5 B^2 S \quad (1.1.3)$$

式中 B ——气隙磁通密度，T；
 S ——吸力处端面积， m^2 ；
 F ——电磁吸力，N。

当端面积 S 为常数时，吸力 F 与磁通密度 B^2 成正比；也可以认为 F 与磁通 Φ^2 成正比，反比于端面积 S ，即

$$F \propto \Phi^2 / S \quad (1.1.4)$$

电磁机构的吸力特性反映的是其电磁吸力与气隙的关系，而励磁电流的种类不同，其吸力特性也不一样，以下对交、直流电磁机构的电磁吸力特性分别讨论。

(1) 交流电磁机构的吸力特性

交流电磁机构励磁线圈的阻抗主要取决于线圈的电抗（电阻相对很小），于是有

$$U \sim E = 4.44 f \Phi N \quad (1.1.5)$$

$$\Phi = \frac{U}{4.44 f N} \quad (1.1.6)$$

式中 U ——线圈电压，V；
 E ——线圈感应电动势，V；
 f ——线圈外加电压的频率，Hz；
 Φ ——气隙磁通，Wb；
 N ——线圈匝数。

当频率 f 、匝数 N 和外加电压 U 都为常数时，由式 (1.1.6) 可知，磁通 Φ 亦为常数。由式 (1.1.4) 又可知，此时电磁吸力 F 为常数。但是，因为交流励磁时，电压、磁通都随时间做周期性变化，其电磁吸力也做周期变化。因此，此处 F 为常数是指电磁吸力的幅值不变。由于线圈外加电压 U 与气隙 δ 的变化无关，因此其吸力 F 也与气隙 δ 的大小无关。实际上，考虑到漏磁通的影响，吸力 F 随气隙 δ 的减小略有增加，其吸力特性如图 1.1.3 所示。虽然交流电磁机构的气隙磁通 Φ 近似不变，但气隙磁阻随气隙长度 δ 而变化。根据磁路定律有：

$$\Phi = \frac{IN}{R_m} = \frac{IN}{\frac{\delta}{\mu_0 S}} = \frac{(IN)(\mu_0 S)}{\delta} \quad (1.1.7)$$

由式 (1.1.7) 可知，交流励磁线圈的电流 I 与气隙 δ 成正比。一般 U 形交流电磁机构的励磁线圈通电而衔铁尚未动作时，其电流可达到吸合后额定电流的 5~6 倍；E 形电磁机构则达到 10~15 倍额定电流，如果衔铁卡住不能吸合或者频繁动作，交流励磁线圈很可能因过电流而烧毁。所以，在可靠性要求高或操作频繁的场所，一般不采用交流电磁机构。

(2) 直流电磁机构的吸力特性

直流电磁机构由直流电流励磁。稳态时，磁路对电路无影响，所以可认为其励磁电流不受气隙变化的影响，即其磁势 IN 不受气隙变化的影响，动作过程中为恒磁势工作，由式

(1.1.7) 和式 (1.1.4) 知, 其吸力与气隙的平方成反比, 所以吸力特性曲线比较陡峭, 如图 1.1.4 所示。

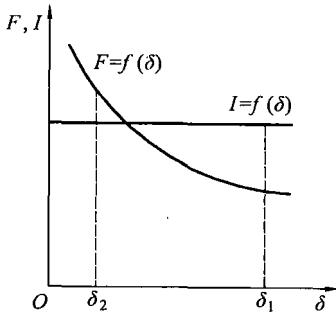


图 1.1.4 直流电磁机构的吸力特性

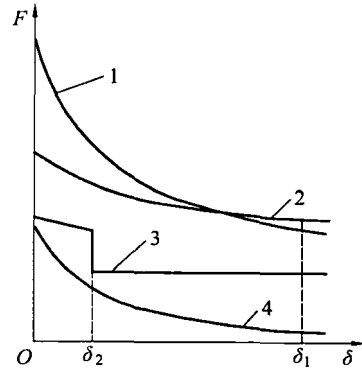


图 1.1.5 吸力特性和反力特性

1—直流吸力特性; 2—交流吸力特性; 3—反力特性;
4—剩磁吸力特性

(3) 剩磁的吸力特性

由于铁磁物质有剩磁, 它使电磁机构的励磁线圈失电后仍有一定的磁性吸力存在, 剩磁的吸力随气隙的增大而减小。剩磁的吸力特性如图 1.1.5 中曲线 4 所示。

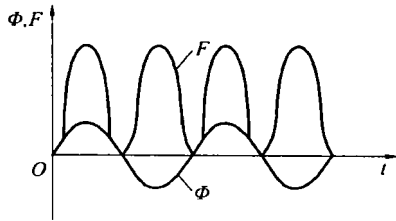
3) 吸力特性与反力特性的配合

电磁机构欲使衔铁吸合, 在整个吸合过程中, 吸力都必须大于反力, 但也不能过大, 否则会影响电器的机械寿命。反映在特性图上, 就是要保证吸力特性在反力特性的上方。当切断电磁机构的励磁电流以释放衔铁时, 其反力特性必须大于剩磁吸力, 才能保证衔铁可靠释放。所以, 在特性图上, 电磁机构的反力特性必须介于电磁吸力特性和剩磁吸力特性之间, 如图 1.1.5 所示。

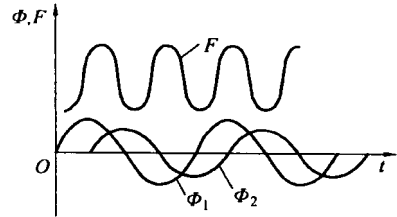
3. 交流电磁系统的短路环

在实际使用中, 无论是直流还是交流操作, 只要线圈两端电压大于释放电压, 闭合状态的电磁机构都必须产生大于反力弹簧反力的吸力。直流电磁机构在这方面毫无问题, 但对于交流电磁铁来说, 铁芯中的磁通量及吸力是一个周期函数, 根据交流电磁吸力公式可知, 交流电磁机构的电磁吸力是一个 2 倍电源频率的周期性变量。它有两个分量: 一个是恒定分量, 另一个是交变分量。总的电磁吸力在 $0 \sim F_{\max}$ 的范围内变化, 其吸力曲线如图 1.1.6 (a) 所示。

电磁机构在工作时, 衔铁始终受到反作用弹簧、触头弹簧等反作用力的作用。尽管电磁吸力的平均值大于反力, 但在某些时候 (如 $\Phi = 0$ 时), 电磁吸力仍小于反力, 衔铁开始释放, 当电磁吸力大于反力时, 衔铁又被吸合。如此周而复始, 从而使衔铁产生振动, 发出噪声。为此, 必须采取有效措施, 消除振动和噪声。具体办法是在铁芯端部开一个槽, 槽内嵌入称为短路环 (或称分磁环) 的铜环, 如图 1.1.7 所示。当励磁线圈通入交流电时, 在短路环中就有感应电流产生, 该感应电流又会产生一个磁通。短路环把铁芯中的磁通分为两部分, 即不穿过短路环的 Φ_1 和穿过短路环的 Φ_2 。由于短路环的作用, 使 Φ_1 与 Φ_2 产生相移, 即不同时为零, Φ_2 滞后于 Φ_1 , 使合成吸力始终大于反作用力, 从而消除了振动和噪声, 如图 1.1.6 (b) 所示。

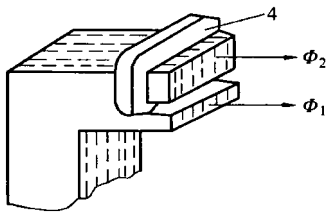


(a) 未加短路环时的磁通与电磁吸力

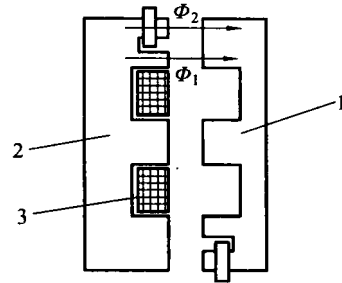


(b) 加装短路环后的磁通与电磁吸力

图 1.1.6 交流电磁机构实际吸力曲线



(a)



(b)

图 1.1.7 交流电磁铁的短路环

1—衔铁；2—铁芯；3—线圈；4—短路环

1.1.3 低压电器的触点系统

1. 触点系统的材料

触点亦称触头，是电器的主要执行部分，起接通和分断电路的作用。在有触头的电器元件中，电器元件的基本功能是靠触头来执行的，因此要求触头导电、导热性能良好，接触电阻小，通常用铜、银、镍及其合金材料制成，有时也在铜触头表面电镀锡、银或镍。铜的表面容易氧化而生成一层氧化铜，这将增大触头的接触电阻，使触头的损耗增大，温度上升。所以，有些特殊用途的电器（如微型继电器和小容量的电器），其触头常采用银质材料，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电阻率很低，与纯银相似（氧化铜则不然，其电阻率可达纯铜的十倍以上），而且要在较高的温度下才会形成，同时又容易粉化。因此，银质触头具有较低而稳定的接触电阻。对于大、中容量的低压电器，在结构设计上，触头采用滚动接触，可将氧化膜去掉，这种结构的触头，也常采用铜质材料。

2. 触头系统的结构形式和接触形式

触头的结构形式有单断点指形触头[见图 1.1.8 (e)]和双断点桥式触头（见图 1.1.9）两类。小型继电器中常采用分裂触头和片簧形式，如图 1.1.8 (f)、(g) 所示。

触头的接触形式归为三种，即点接触、线接触和面接触。显然，面接触时的实际接触面要比线接触的大，而线接触的又比点接触的大。

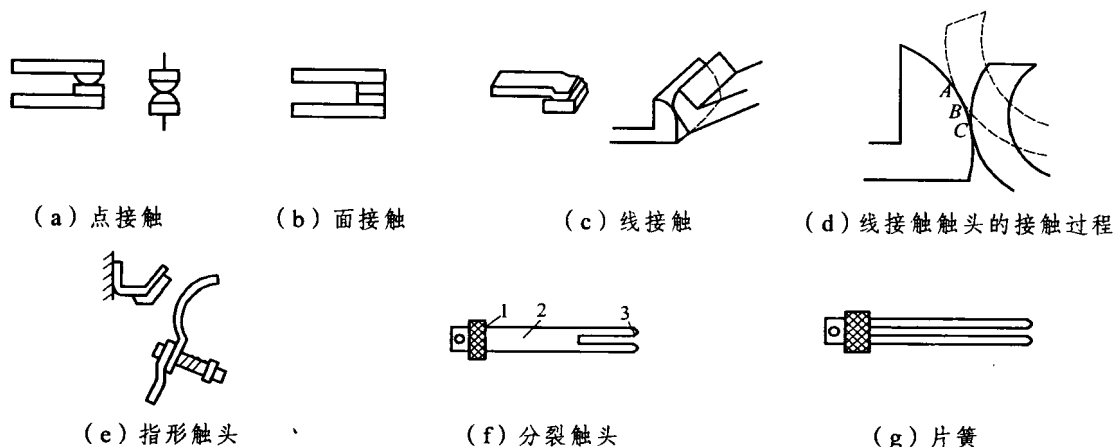


图 1.1.8 触头的接触形式
1—固定件；2—簧片；3—两个触点

图 1.1.8 (a) 所示为点接触，它由两个半球形触头或一个半球形与一个平面形触头构成，这种结构容易提高单位面积上的压力，减小触头表面电阻。它常用于小电流的电器中，如接触器的辅助触头和继电器触头。图 1.1.8 (b) 所示为面接触，这种触头一般在接触表面上镀有合金，以减小触头的接触电阻，提高触头的抗熔焊和抗磨损能力，并允许通过较大的电流。中小容量的接触器的触头多采用这种结构。图 1.1.8 (c) 所示为线接触，常做成指形触头结构，如图 1.1.8 (e) 所示，它的接触区是一条直线，触头通、断过程是滚动接触，并产生滚动摩擦，以利于去掉氧化膜，如图 1.1.8 (d) 所示。开始接触时，静、动触头在 A 点接触，靠弹簧压力经 B 点滚动到 C 点，并在 C 点保持接通状态。断开时，做相反的运动，这样可以在通断过程中自动清除触头表面的氧化膜。同时，长时期工作的位置不是在易烧灼的 A 点而在 C 点，保证了触头的良好接触。这种滚动线接触适用于通电次数多和电流大的场合，多用于中等容量电器。图 1.1.8 (f)、(g) 分别是小型继电器中常用的分裂触头和片簧形式，这种结构有利于继电器提高通断的可靠性。

触头在接触时，其基本性能要求接触电阻尽可能小，为了使触头接触得更加紧密，以减小接触电阻，并消除开始接触时产生的振动，一般在制造时，在触头上装有接触弹簧，并在安装时将弹簧预先压缩了一段，使动触头刚与静触头接触时产生一个初压力 F_1 ，如图 1.1.9 (b) 所示。触头闭合后，由于弹簧在超行程内继续变形而产生一个终压力 F_2 ，如图 1.1.9 (c) 所示。从静、动触头开始接触到触头压紧，整个触头系统向前压紧的距离 L 称为触头的超行程。有了超行程，在触头磨损情况下，仍具有一定压力，保证可靠接触。磨损严重时超行程将失效。

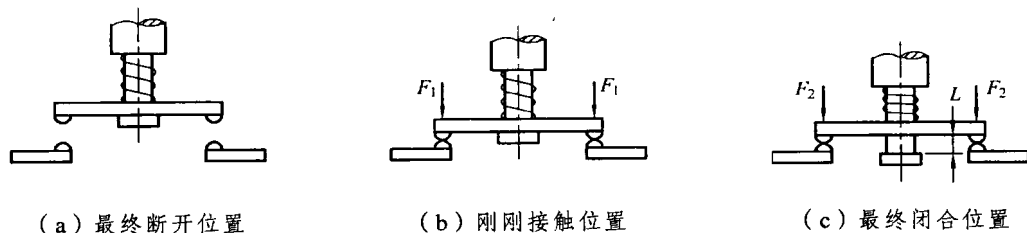


图 1.1.9 桥式触头闭合过程位置示意图

1.1.4 低压电器的灭弧系统

1. 电弧的产生

在大气中开断电路时，如果被开断电路的电流超过某一数值，开断后加在触头间隙两端电压超过某一数值（根据触头材料的不同其值在 $0.25 \sim 1 \text{ A}$ 、 $12 \sim 20 \text{ V}$ 间），则触头间隙中就会产生电弧。实际上电弧是触头间气体在强电场作用下产生的放电现象，即当触头间刚出现分断时，电场强度极高，在高热和强电场作用下，金属内部的自由电子从阴极表面逸出，奔向阳极，这些自由电子在电场中运动时撞击中性气体分子，使之激励和游离，产生正离子和电子。因此，在触头间隙中产生大量的带电粒子，使气体导电形成了炽热电子流即电弧。电弧产生后，伴随高温产生并发出强光，将触头烧损，并使电路的切断时间延长甚至无法真正断开，严重时会引起火灾、触头熔焊或其他事故，因此，在电器中应采取适当措施熄灭电弧。

2. 灭弧方法

1) 多断点灭弧

在交流电路中也可以采用桥式触头。图 1.1.10 所示有 2 个断口，就相当于两对电极。若一个断口处要使电弧熄灭后重燃，需要 $150 \sim 250 \text{ V}$ 的电压，现有 2 个断口，则需要 $2 \times (150 \sim 250) \text{ V}$ 的电压，所以有利于灭弧。

若采用两极或三极接触器控制一个电路时，根据需要可灵活地将两个极或三个极串联起来，当做一个触点用，这组触头便成为多断点的，加强了灭弧效果。

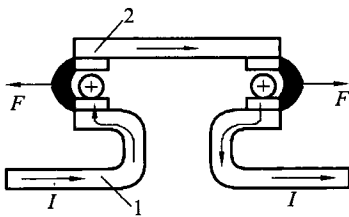


图 1.1.10 双断点和电动力灭弧

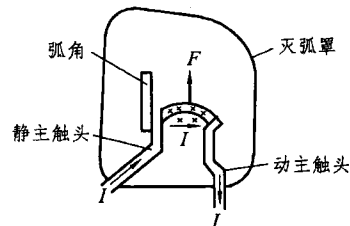


图 1.1.11 电动力灭弧

2) 电动力灭弧

电弧在触点回路电流 I 磁场的的作用下，受到电动力 F 作用拉长，使之与陶土灭弧罩相接触，将热量传递给灭弧罩，促使电弧熄灭，如图 1.1.11 所示。注意图中在静触头上安装有铁板制成的弧角，它具有吸引电弧向上进入灭弧罩的作用。该装置可用于交、直流灭弧。图 1.1.10 所示为桥式结构双断口触头，也具有电动力灭弧作用。因为工作时流过触头两端的电流方向相反，将产生互相推斥的电动力，使电弧向外运动并拉长，使它迅速穿越冷却介质而加快电弧冷却并熄灭。

3) 磁吹灭弧

磁吹灭弧的原理如图 1.1.12 所示。在触头电路中串入一个磁吹线圈，它产生的磁通经过导磁夹板 5 引向触头周围，如图中的符号“ \odot ”所示，当触头开断产生电弧后，电弧被电动

力拉长并吹入灭弧罩中，使电弧冷却熄灭。这种灭弧装置与电动力灭弧装置相比，是增加了一个磁吹线圈。由于这种灭弧装置是利用电弧电流本身灭弧，因而电弧电流越大，吹弧能力也越强。它广泛应用于直流接触器中。

4) 纵缝灭弧室

纵缝灭弧室如图 1.1.13 所示。电弧在电动力作用下，进入由陶土和石棉水泥制成的灭弧室窄缝中，电弧与室壁紧密接触，被迅速冷却而熄灭，这种灭弧室热量易于散出，陶土耐热性好，所以可用于较高操作频率的交、直流接触器中（直流需加磁吹装置）。

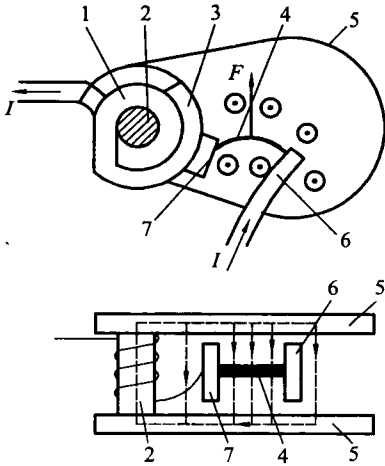


图 1.1.12 磁吹灭弧

1—磁吹线圈；2—铁芯；3—引弧角；4—电弧；
5—磁性夹板；6—动触头；7—静触头

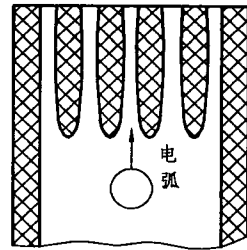


图 1.1.13 纵缝灭弧室

5) 栅片灭弧室

栅片灭弧室如图 1.1.14 所示。灭弧栅一般是由多片镀铜薄钢片（称为栅片）和石棉绝缘板组成，它们安装在电器触头上方的灭弧罩内，彼此之间互相绝缘，片间距离 2~3 mm。一旦产生电弧，电弧周围产生磁场，导磁钢片将电弧引入灭弧栅片之间，电弧被分割成数段串联的短弧，当交流电压过零后，电弧自然熄灭，两栅片之间必须有 150~250 V 的电弧压降，电弧才能重燃。这样，一方面每个栅片间的电压不足以达到电弧燃烧电压；另一方面栅片吸收电弧热量，使电弧迅速冷却而很快熄灭。这种灭弧室由于栅片吸收电弧能量较多，故不适合于太高的频率操作。栅片灭弧室是常用的交流灭弧装置。

6) 真空灭弧室

真空灭弧室如图 1.1.15 所示。动、静触头处于密封的玻璃外壳内，动触头可以在波纹管上下运动一个不大的距离，触头间真空度为 10^{-4} mm 汞柱，故气体分子很少，电弧由金属蒸气形成，当交流电弧过零时，金属蒸气以极快的速度向弧区以外扩散，弧隙介质耐压强度迅速恢复，从而使电弧熄灭。这种灭弧室的优点为有很强的熄灭交流电弧的能力，灭弧室密封，电弧及游离气体不能逸出，使用安全，而且，触头磨损少，电寿命高。真空灭弧室适合于高电压、大电流、操作频率高的接触器上，可用于矿井或化工厂等防火防爆场合。真空接

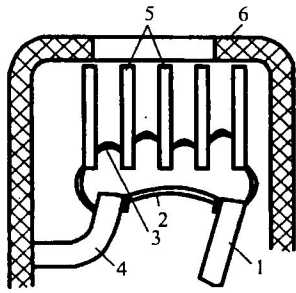


图 1.1.14 栅片灭弧室

1—动触头；2—电弧

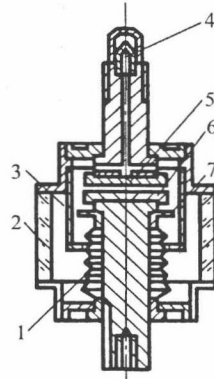


图 1.1.15 真空灭弧室

1—波纹管；2—外壳；3—屏蔽罩；4—排气管；
5—静触头；6—动触头；7—挡板

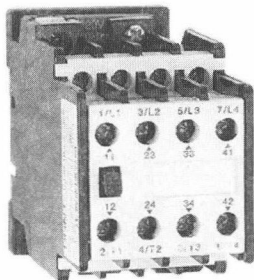
触器与交流接触器相比，体积小、重量轻、操作时噪声小，真空件不需维修。缺点是过电压高，不能直接用于开断直流电路，而且价格高。

1.2 接触器

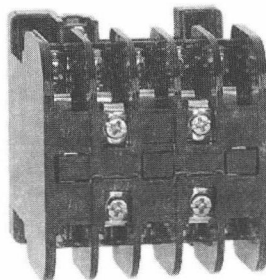
接触器是一种用于频繁地接通或断开交直流主电路、大容量控制电路等大电流电路的自动切换电器。在功能上接触器除能自动切换外，还具有远距离操作功能和失压（或欠压）保护功能，但没有过载和短路保护功能，接触器具有操作频率高、使用寿命长、工作可靠、性能稳定、成本低廉、维修简便等优点，主要用于控制电动机、电热设备、电焊机、电容器组等，是电力拖动自动控制线路中应用最为广泛的控制电器之一。

接触器的分类有几种不同的方式。按驱动触头系统的动力分，有电磁接触器、液压接触器和气动接触器；按灭弧介质分，有空气电磁式接触器、油浸式接触器和真空接触器等；按主触头控制的电流种类分，有交流接触器、直流接触器等。新型的真空接触器与晶闸管交流接触器正在逐步使用。本节仅讨论应用最广泛的电磁接触器。

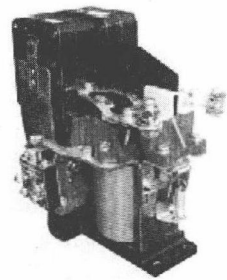
图 1.2.1 为几种常用接触器实物图。



(a) CJ20 型交流接触器



(b) CJT1 型交流接触器



(c) 直流接触器

图 1.2.1 接触器实物图

1.2.1 接触器的结构和工作原理

1. 交流接触器的结构

图 1.2.2 所示为交流接触器结构示意图，主要由电磁系统、触点系统、灭弧装置和其他辅助部件四部分组成。

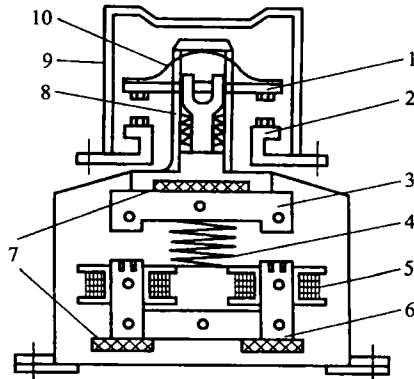


图 1.2.2 交流接触器结构示意图

1—动触点；2—静触点；3—衔铁；4—缓冲弹簧；5—电磁线圈；6—铁芯；
7—垫毡；8—触点弹簧；9—灭弧罩；10—触点压力簧片

1) 电磁系统

电磁系统由吸引线圈、动铁芯（衔铁）、静铁芯组成，主要完成电能向机械能的转换。

2) 触点系统

交流接触器触点系统包括主触点和辅助触点。主触点用于通断主电路，辅助触点用于控制辅助电路。主触点容量大，有三对或四对常开触点；辅助触点容量小，通常有两对常开、常闭触点，且分布在主触点两侧。

3) 灭弧装置

容量在 10 A 以上的接触器都有灭弧装置。对于小容量的接触器，常采用双断口桥形触点以利灭弧，其上有陶土灭弧罩。对于大容量的接触器常采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧结构。

4) 其他辅助部件

包括反作用弹簧、缓冲弹簧、触点压力弹簧、传动机构及接线端子、外壳等。

2. 交流接触器的工作原理

交流接触器工作原理如下：接触器电磁机构的线圈通电后，在铁芯中产生磁通。在衔铁气隙处产生吸力，使衔铁产生闭合动作，主触头在衔铁的带动下也闭合，于是接通了电路。与此同时，衔铁还带动辅助触头动作，使常开触头闭合，常闭触头断开。当线圈断电或电压显著降低时，吸力消失或减弱，衔铁在释放弹簧作用下打开，主、辅触头又恢复到原来状态。这就是电磁接触器的简单工作原理。