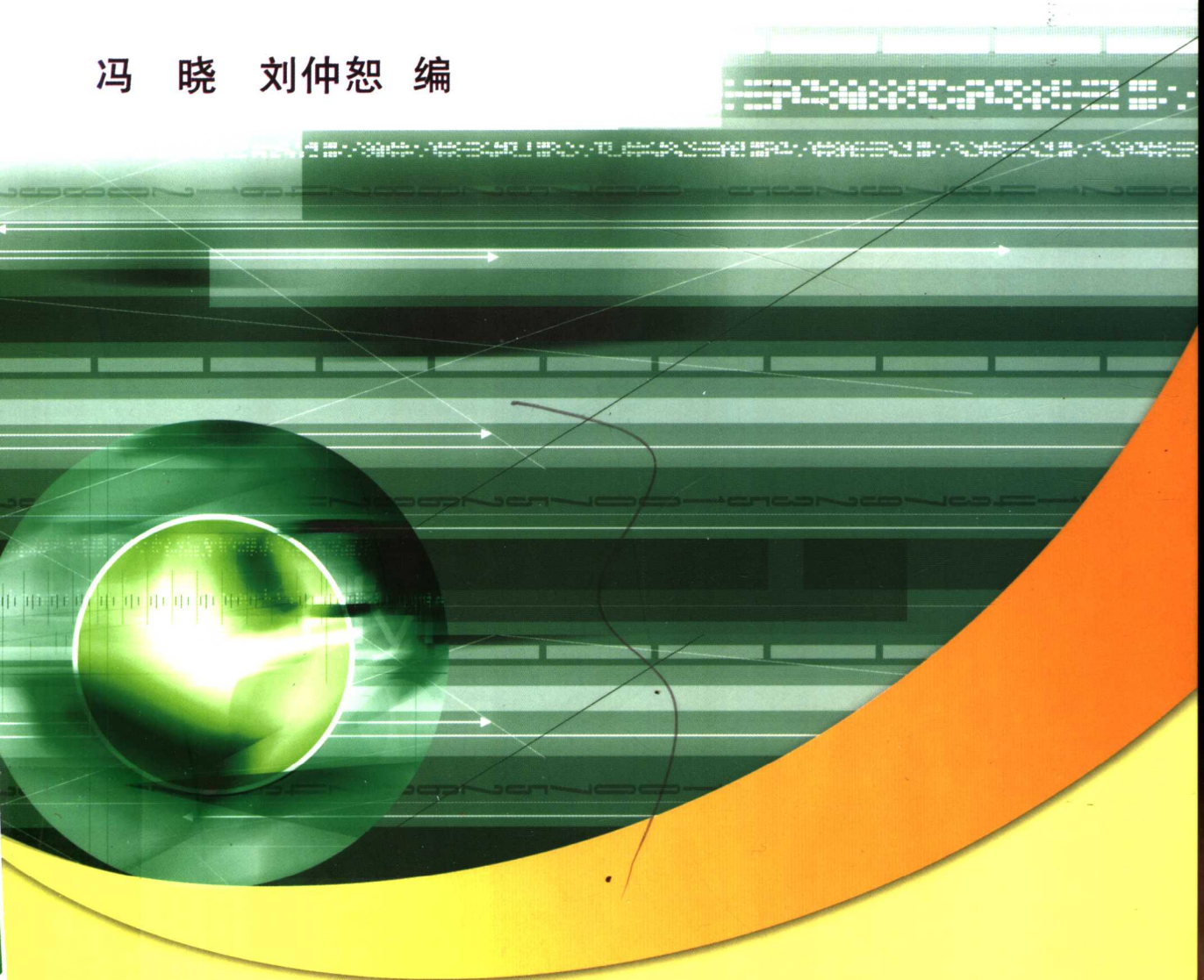




21世纪普通高等教育规划教材

# 电机与电器控制

冯 晓 刘仲恕 编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪普通高等教育规划教材

# 电机与电器控制

冯晓 刘仲恕 编  
费鸿俊 主审

机械工业出版社

本书将“电机原理”、“电力拖动基础”和“电器控制”三门课程进行了有机结合,整合成一门课程“电机与电器控制”,紧缩了学时,特别是密切了电力拖动和电器控制两者的联系,避免了它们中共性部分的重复。本书共分五章,主要内容包括:常用低压电器的结构、原理及用途;变压器、直流电机和三相异步电动机的工作原理、结构特点和电磁能量关系;交、直流电动机电力拖动的基本原理和控制方法,以及典型机械设备电气控制系统分析。

本书在编写过程中,注重应用,淡化了较为繁琐的数学推导,并力求深入浅出,通俗易懂。坚持科学性、实用性、综合性和新颖性。

本书可作为普通高等学校电气自动化、机电一体化和电气技术等专业,以及电子信息类、非电类专业本科教材,也可作为相关行业工程技术人员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

电机与电器控制/冯晓,刘仲恕编. —北京:机械工业出版社,2005.8

21世纪普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-17429-1

I. 电... II. ①冯...②刘... III. ①电机-高等学校-教材②电气控制-高等学校-教材 IV. ①TM3②TM571

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第108096号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:贡克勤 责任编辑:刘丽敏 版式设计:冉晓华

责任校对:李秋荣 封面设计:鞠杨 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷

2005年9月第1版第1次印刷

787mm×1092mm<sup>1/16</sup>·18.75印张·1插页·463千字

定价:26.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书是普通高等学校电气工程类、机电类专业“电机与电器控制”课程的教材。随着科技的飞速发展与 WTO 的加入,高新技术正在改造传统电机电器产业,促使电力电子技术、计算机技术、现代材料科学与电机电器学科交叉融合。电机电器的概念在不断更新,其领域在不断拓宽。本书是为了适应现代高等教育的改革和发展的需要而编写的。在编写过程中,充分考虑了应用型本科教育的特点,坚持科学性、实用性、综合性和新颖性。

本教材将“电机原理”、“电力拖动基础”和“电器控制”三门课程进行了有机结合。紧缩了学时,特别是密切了电力拖动和电器控制两者的联系,避免了它们中共性部分的重复。在学习电工基础等课程的基础上进行授课,并为交流调速系统、可编程序控制器、计算机控制技术等后续课程打好基础。通过本课程的学习,熟悉常用低压电器的结构、原理、用途;掌握直流电机、变压器和三相异步电动机的工作原理、结构特点和电磁能量关系;掌握交、直流电动机的起动、调速、制动的工作原理和控制方法;以及典型机械设备电气控制系统分析;并具有对一般电机、电器及控制系统的维护、选择、设计及故障排除能力。

本书的特点是:

1) 注重应用,淡化了较为繁琐的数学推导,着重于电机在电力拖动系统中的应用,并把电机、电力拖动与电器控制整合一体,紧缩了学时,并力求深入浅出,通俗易懂。

2) 工程应用性强,密切结合科技的发展。将电机电器与控制技术融合,又与电力电子、微电子、现代材料科学等交叉融合一体。充实了新的内容,如:电动机的软起动、节能电器、新型低压电器、新一代变压器的新材料和新工艺等。

3) 书中电器的图形符号、文字符号均采用了国家新的标准。

4) 每章后有小结、思考题和习题,便于读者复习和掌握所学知识。

本课程是普通高等学校工业电气自动化、机电一体化、电气技术等专业的一门专业基础课。本书可作为应用型工学院电气工程专业以及电子信息类、非电类专业本科的教材,也可作为相关行业工程技术人员的参考书。

全书共分五章,其中第一章由福建工程学院冯晓和刘仲恕共同编写,第二、三章由刘仲恕编写,第四、五章由冯晓编写,全书由冯晓统稿。

本书由福州大学费鸿俊教授主审,并得到了福建工程学院陈佳新副教授和李建兴副教授的帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,本书难免存在缺点和错误,恳请读者提出批评和指教。

编 者

# 目 录

前言	114
绪论	1
<b>第一章 常用低压电器</b>	<b>4</b>
第一节 低压电器概述	4
第二节 低压电器的电磁机构及执行机构	7
第三节 熔断器	16
第四节 低压隔离器	22
第五节 低压断路器	24
第六节 主令电器	27
第七节 接触器	30
第八节 软起动器	34
第九节 继电器	38
第十节 电磁阀、电磁离合器及电磁制 动器	47
第十一节 电子电器	49
第十二节 新型低压电器发展趋势	56
小结	58
思考题与习题	59
<b>第二章 直流电机及电气控制</b>	<b>60</b>
第一节 直流电机的基本工作原理和结构	60
第二节 直流电机的电枢绕组	65
第三节 直流电机的磁场及感应电动势和电 磁转矩	71
第四节 直流电动机	77
第五节 直流发电机	82
第六节 直流电机的换向	87
第七节 直流电动机的拖动	92
第八节 直流电动机的电气控制	107
第九节 无刷直流电动机	111
第十节 超导直流电机	112
小结	113
思考题与习题	114
<b>第三章 变压器</b>	<b>119</b>
第一节 概述	119
第二节 单相变压器的空载运行	123
第三节 单相变压器的负载运行	126
第四节 变压器的等效电路及相量图	127
第五节 变压器参数的试验测定	129
第六节 变压器的运行特性	131
第七节 三相变压器	133
第八节 自耦变压器及仪用互感器	143
第九节 新型变压器的发展动态	147
小结	150
思考题与习题	150
<b>第四章 交流电动机及电气控制</b>	<b>153</b>
第一节 三相异步电动机的基本工作原理和 结构	153
第二节 三相异步电动机的等效电路	161
第三节 三相异步电动机的功率和 电磁转矩	166
第四节 三相异步电动机的工作特性	170
第五节 三相异步电动机的机械特性	171
第六节 三相笼型异步电动机的起动与 控制	175
第七节 三相绕线转子异步电动机的起动与 控制	188
第八节 三相异步电动机的制动与控制	193
第九节 三相异步电动机的调速与控制	200
第十节 其他种类的交流电动机	206
小结	215
思考题与习题	217
<b>第五章 机械设备的电气控制</b>	<b>220</b>
第一节 铣床的电气控制	220

第二节	组合机床的电气控制 .....	226	第九节	新电梯的应用技术发展 .....	286
第三节	桥式起重机概述 .....	243	小结	.....	288
第四节	凸轮控制器控制电路分析 .....	246	思考题与习题	.....	289
第五节	主令控制器控制电路分析 .....	250	附录	主要符号表 .....	291
第六节	电梯概述 .....	255	参考文献	.....	294
第七节	电梯的驱动 .....	260			
第八节	交流双速集选控制电梯电气控制 系统 .....	265			

# 绪 论

## 一、电机及电力拖动自动控制的发展概况

电能是现代工农业生产、交通运输、国防科技以及日常生活等各个领域应用极为广泛的一种能量形式。电能在生产、交换、传输、分配、使用和控制等环节中，都必须利用电机进行能量转换或信号变换。

在电力系统中，发电机和变压器是发电厂和变电所的主要设备。在发电厂中，发电机由汽轮机、水轮机、柴油机带动，把燃料燃烧的动力、水流动力或原子核裂变的能量转变为机械能传递给发电机，再由发电机转变为电能。为了经济地分配和运输电能，采用变压器经过升压、降压，再输送给用户。

在工业企业中，大量应用电动机作为原动机去拖动各种生产机械。如在机械工业、冶金工业、化学工业中，机床、电铲、轧钢机、起重机、抽水机、鼓风机等都要用各种各样的电动机来拖动；在自动控制技术中，各种小巧灵敏的控制电动机广泛地作为检测、放大、执行和解算元件。在日常生活中应用也越来越广泛，如：电风扇、洗衣机、吸尘器、空调、冰箱和电动自行车等。

电机就是依据电磁感应定律实现电能与机械能的转换或电能与电能之间转换的一种电磁装置。

电机应用广泛，种类繁多，按功能用途分类，可分为发电机、电动机、变压器、控制电机四大类；按运动方式分类，又可分为静止的变压器和旋转的电机，旋转的电机又可分直流电机和交流电机，交流电机可分为同步电机和异步电机两大类，现代电力工业几乎都是采用同步发电机，异步电机主要用作电动机，异步电动机中又有三相异步电动机和单相异步电动机两类。

以电动机作为原动机来拖动生产机械运行的拖动方式，就称为“电力拖动”。

与其他拖动方式（如：蒸汽机、水轮机、内燃机等）相比较，电力拖动具有控制简单、调节性能好、损耗小、效率高、能实现远距离控制和自动控制等优点，因而被大多数生产机械所采用。

电力拖动主要由电动机、传动机构和控制设备三个基本环节组成。



19世纪末，电力拖动代替了蒸汽或水力的拖动。初期，它是由一台电动机拖动一组生产机械，称为“成组拖动”。能量传递过程中的损耗大，效率低，灰尘大，劳动条件与卫生条件很差，而且易出事故。随着生产发展的需要，自20世纪20年代以来，在生产机械上广泛采用一种“单电动机拖动系统”，在这一系统中，一台生产机械用一台单独的电动机拖动。为了进一步简化机械传动机构，更好地满足生产机械各运动部件对机械特性的不同要求，在20世纪30年代出现了“多电动机拖动系统”，即机械的各运动部件分别采用不同的电动机

拖动。这种多电动机拖动使机械的工作性能日趋完善，为机械的自动化控制创造了良好条件。此外，在生产过程中要求对影响产品质量的各种参数能自动检测与调整，这反过来又促使电气自动控制技术迅速发展。

在电力拖动方式的演变过程中，电力拖动的控制方式由手动控制逐步向自动控制方向发展。继电-接触器式控制是应用最早的控制系統，它是由各种有触头的接触器、继电器、按钮、行程开关等组成的控制电路，来实现对电力拖动系统的起动、制动、反转和调速的控制；实现对电力拖动系统的保护和生产过程的自动化。这种控制具有使用的单一性，而且控制的输入、输出信号只有通和断两种状态，不能连续反映信号的变化，故称为断续控制。

为使控制系统获得更好的静态与动态特性，完成更复杂的控制任务，常采用反馈控制系统，反馈控制系统由连续控制元件组成，它不仅能反映信号的通与断，而且能反映信号的大小和变化，这种由连续控制元件组成的反馈控制系统，称为连续控制系统。用作连续控制的元件有电动机扩大机、磁放大器、晶闸管等，尤其是晶闸管控制系统获得越来越广泛的应用。

尽管电力拖动系统已向无触头、连续控制、弱电化、微机控制方向发展，但由于继电-接触器控制系统具有结构简单、维护方便、价格低廉等优点，能够满足各种生产机械的不同的工艺过程，目前仍然广泛应用。

20世纪70年代出现了用软件手段来实现各种控制功能以微处理器为核心的新型工业控制器——可编程序控制器。它不仅充分利用微处理器的优点来满足各种工业领域的实时控制要求，而且用户程序的编制清晰直观，方便易学，且调试和查错容易。

随着近代电力电子技术和计算机技术的发展以及现代控制理论的应用，自动化电力拖动正向着计算机控制的生产过程自动化的方向迈进。20世纪40年代末，研制成了数控设备，它是由计算机按照预先编好的程序，对机床实现自动化的数字控制。随着价格便宜的微型计算机的出现，数控机床得到了很快的发展，先后出现了由硬件逻辑电路构成的专用数控装置（NC），小型计算机控制的（CNC）数控系统，计算机群控系统（DNC），自适应控制系统（AC），微型计算机数控系统（MNC）。近年来又发展成柔性制造系统（FMS）。最新发展起来的以数控机床为基本单元的计算机集成制造系统，即CIMS，用以实现无人自动化工厂。

## 二、课程的性质和任务

本课程是工业电气自动化、机电一体化和电气技术等专业的一门专业基础课。在学习电工基础等课程的基础上进行授课，它是将“电机原理”、“电力拖动基础”和“电器控制”三门课程进行了有机结合而成的一门课。

本课程的任务是使学生掌握常用低压电器、交、直流电机及变压器的基本结构与工作原理以及电力拖动系统的运行性能和控制方法，以及典型机械设备电气控制系统分析，分析机、电、磁相结合的综合性问题与实验方法，为学习“交流调速系统”、“可编程序控制器”、“数控机床”及“计算机控制技术”等课程准备必要的专业基础知识。本课程应配以一定的实验课和习题课，以及电器控制课程设计和工程实践等实践性教学环节。学习时一定要理论联系实际。

**学习本课程后，应达到的具体要求是：**

- 1) 熟悉常用低压电器的基本结构、工作原理及用途，能够具有正确使用和选择的能力。
- 2) 掌握交、直流电机及变压器的基本结构与工作原理。



- 3) 掌握电力拖动系统的运行性能和各种运行状态的控制方法。
- 4) 掌握电机与电力拖动系统的基本实验方法和技能。
- 5) 熟练掌握电气控制电路的基本环节，具有对一般电气控制线路的分析能力。
- 6) 掌握典型机械电气控制电路的工作原理和具有较强的安装、调试和排除故障的能力。
- 7) 具有设计和改进一般生产机械电气控制电路的能力。

# 第一章 常用低压电器

电器是一个非常广泛的概念，凡是电能生产与供应系统及电能使用系统中的各种电气设备和器具均可统称为电器。我们所研究的电器是指能够根据外界施加的信号或要求，自动或手动接通和分断电路，断续或连续改变电路参数，实现对电路或非电量对象的变换、控制、保护、检测、调节和传递信息用的电气设备和电气器具。随着科学技术的飞速发展，自动化程度的不断提高，电器的概念在不断拓展，应用范围日益扩大，品种不断增加。尤其是随着电子技术在电器中的广泛应用，近年来出现了许多新型电器。按照我国现行标准规定，低压电器通常是指工作在交流 1200V 或直流 1500V 以下的电器。本章主要介绍机械设备电气控制系统中常用的几种低压电器。

## 第一节 低压电器概述

### 一、电器的基本结构

电器的基本结构主要由三个环节组成，如图 1-1 所示。

#### 1. 感应机构

其主要任务是接收输入信号，如电压、电流、功率、频率等。

#### 2. 中间机构

其主要任务是将输入信号变换、放大及传递给执行机构。

#### 3. 执行机构

其主要任务是接收中间机构传递来的信号而动作，以实现变换、控制、保护、检测电路等职能。

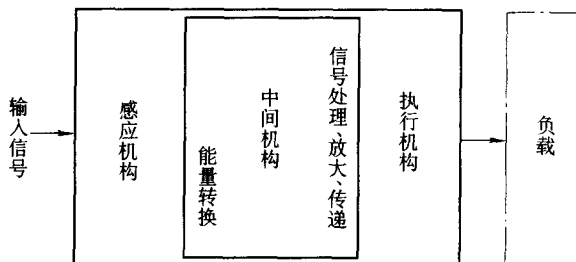


图 1-1 电器基本结构框图

### 二、低压电器的分类

低压电器应用十分广泛，最常见的笼型感应电动机起动控制就用了五种电器，如图 1-2 所示，有断路器 QF、熔断器 FU、交流接触器 KM、热继电器 FR 和按钮 SB。低压电器的分类如下。

#### 1. 按元件与系统的关系分

(1) 低压配电电器 这类电器包括刀开关、转换开关、熔断器和断路器等，主要用于低压配电系统中，实现电能的输送和分配，以及系统保护，要求这类电器动作准确、工作可靠、稳定性能良好。

(2) 低压控制电器 这类电器包括接触器、继电器、起动器、主令电器等，主要用于电气控制系统，要求这类电器工作准确可靠、操作频率高、寿命长，而且体积小、重量轻。

#### 2. 按操作方式分

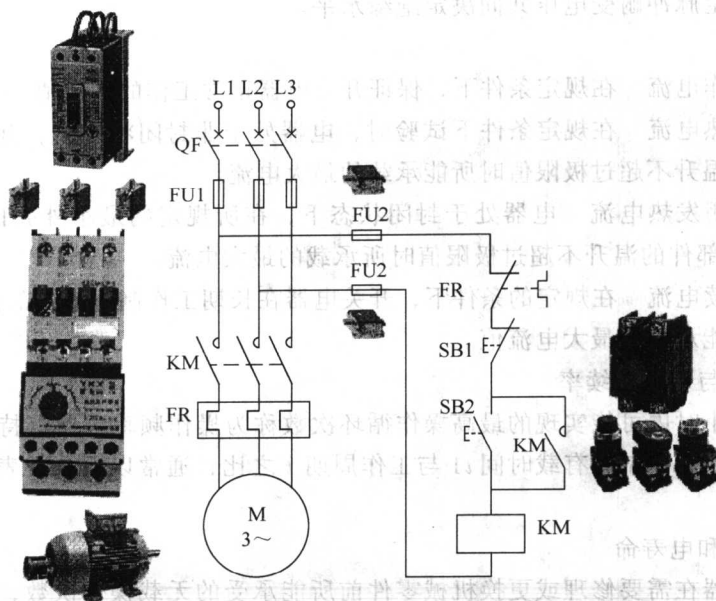


图 1-2 电动机的起动控制系统

(1) 自动电器 这类电器依靠电器本身的参数变化或外来信号(如电流、电压、温度、压力、速度、热量等)而自动接通、分断电路或使电动机进行正转、反转及停止等动作,如接触器、断路器及各种继电器等。

(2) 手动电器 这类电器依靠外力(人工)直接操作来进行接通、分断电路等动作,如各种开关、按钮、主令电器等。

### 3. 按低压电器的执行机理分

(1) 有触头电器 这类电器具有机械可分动的触头系统,利用动、静触头的接触和分离来实现电路的通断。

(2) 无触头电器 这类电器没有可分动机械触头,主要利用功率晶体管的开关效应,即导通或截止来控制电路的阻抗,以实现电路的通断与保护。

### 三、对低压电器提出的主要要求

对低压电器提出的主要要求可以概括为:

- 1) 一对矛盾:开与关——工作可靠性。
- 2) 两项要求:机械寿命和电寿命。
- 3) 三个环节:感应机构、中间机构和执行机构。
- 4) 四种状态:闭合状态、开断过程、断开状态、关合过程。

### 四、低压电器的主要技术参数

#### 1. 额定电压

- (1) 额定工作电压 规定条件下,保证电器正常工作的工作电压值。
- (2) 额定绝缘电压 规定条件下,用来度量电器及其部件的绝缘强度、电气间隙和漏电距离的标称电压值。除非另有规定,一般为电器最大额定工作电压。
- (3) 额定脉冲耐受电压 反映电器当其所在系统发生最大过电压时所能耐受的能力。额

定绝缘电压和额定脉冲耐受电压共同决定绝缘水平。

## 2. 额定电流

(1) 额定工作电流 在规定条件下, 保证开关电器正常工作的电流值。

(2) 额定发热电流 在规定条件下试验时, 电器处于非封闭状态下, 开关电器在 8h 工作制下, 各部件温升不超过极限值时所能承载的最大电流。

(3) 额定封闭发热电流 电器处于封闭状态下, 在所规定的最小外壳内, 开关电器在 8h 工作制下, 各部件的温升不超过极限值时所承载的最大电流。

(4) 额定持续电流 在规定的条件下, 开关电器在长期工作制下, 各部件的温升不超过规定极限值时所能承载的最大电流值。

## 3. 操作频率与通电持续率

开关电器每小时可能实现的最高操作循环次数称为操作频率。通电持续率  $TD\%$  是电器工作于断续周期工作制时有载时间  $t_1$  与工作周期  $t$  之比, 通常以百分数表示,  $TD\% = t_1/t$ 。

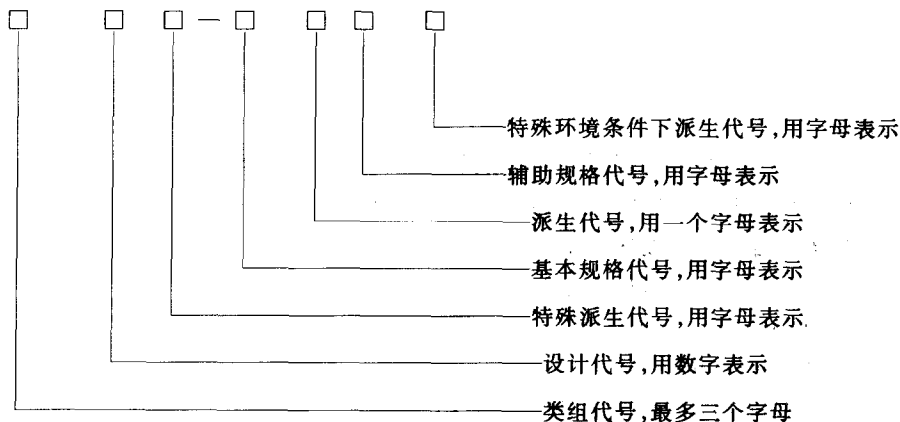
## 4. 机械寿命和电寿命

机械开关电器在需要修理或更换机械零件前所能承受的无载操作次数, 称为机械寿命。在正常工作条件下, 机械开关电器无需修理或更换零件的负载操作次数称为电寿命。

对于有触头的电器, 其触头在工作中除机械磨损外, 尚有比机械磨损更为严重的电磨损。因而, 电器的电寿命一般低于其机械寿命。设计电器时, 要求其电寿命为机械寿命的 20% ~ 50%。

## 五、低压电器的型号表示法

国产常用低压电器的全型号组成形式如下:



## 六、低压电器的选用原则

目前, 国产低压电器大约有 130 多个系列, 品种规格繁多。在对低压电器的设计和制造上, 国家有严格的标准。选用的一般原则如下。

### 1. 安全原则

安全可靠是对任何电器的基本要求, 保证电路和用电设备的可靠运行是正常生活与生产的前提。例如用手操作的低压电器要确保人身安全, 金属外壳要有明显接地标志等。

### 2. 经济原则

经济性包括电器本身的经济价值和使用该种电器产生的价值。前者要求合理适用,后者必须保证运行可靠,不能因故障而引起各类经济损失。

### 3. 选用低压电器的注意事项

- 1) 明确控制对象的分类和使用环境。
- 2) 明确有关的技术数据,如控制对象的额定电压、额定功率、操作特性、起动电流倍数和工作制等。
- 3) 了解电器的正常工作条件,如周围温度、湿度、海拔、振动和防御有害气体等。
- 4) 了解电器的主要技术性能,如用途、种类、控制能力、通断能力和使用寿命等。

## 第二节 低压电器的电磁机构及执行机构

控制电器中,执行机构由接触系统(触头)与灭弧装置组成。感应机构与中间机构大多由电磁机构组成。手控电器中,感应机构通常为电器的操作手柄。

### 一、执行机构

有触头电器的执行机构经常采用接触系统(触头)的闭合与断开,借以分合线路来实现控制作用。

#### (一) 接触系统

有触头电器的接触系统是可分合接触联结,其可动部分叫做动触头,而另一部分叫做静触头。按触头的接触形式可划分为点接触、线接触和面接触三种。如图 1-3 所示。

点接触允许通过的电流较小,常用于继电器电路或辅助触头。线接触和面接触允许通过的电流较大。常用于大电流场合,如刀开关、接触器的主触头等。

图 1-4 分别为不同接触形式的触头结构形式。图 1-4a 为采用点接触的桥式触头,图 1-4b 为采用面接触的桥式触头,图 1-4c 为采用线接触的指形触头。

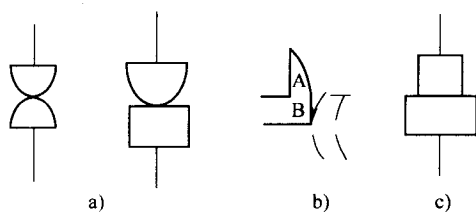


图 1-3 触头的三种接触形式  
a) 点接触 b) 线接触 c) 面接触

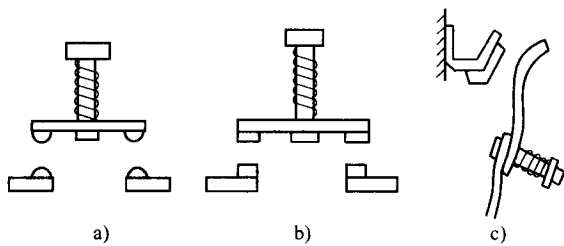


图 1-4 不同接触形式的触头结构  
a) 为采用点接触的桥式触头 b) 为采用面接触的桥式触头 c) 为采用线接触的指形触头

#### (二) 接触系统的静态机械特性与参数

我们以桥式触头为例来分析机械特性与参数,如图 1-5 所示,触头每工作一次(接通与断开),将经历四个工作状态。

##### 1. 断开状态

如图 1-5a 所示,要求动、静触头间的距离  $S_1$  足够大,保证在线路规定的容许电压与电流作用下,不致发生击穿或电弧重燃现象。

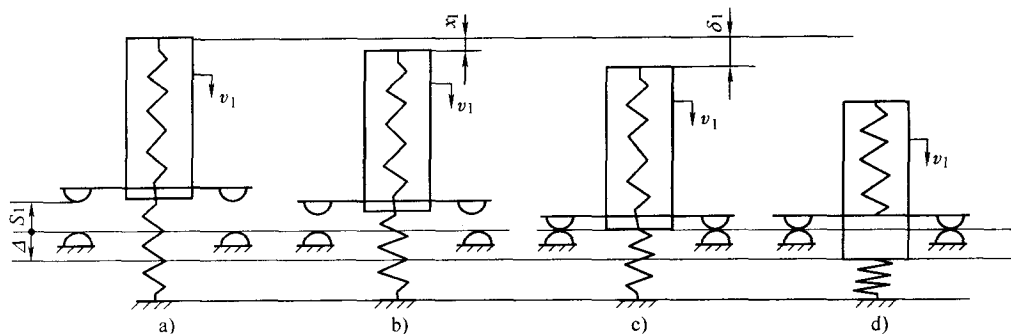


图 1-5 触头系统工作的四个工作状态

a) 断开状态 b)、c) 工作过程 d) 闭合状态

## 2. 关合过程

如图 1-5b、c、d 所示，从断开状态到闭合状态的转换过程，要求动触头具有一定的关合速度  $v_1$ ，藉以保证触头迅速可靠地接通，而不致引起严重的碰撞弹跳现象。

## 3. 闭合状态

如图 1-5d 所示，要求触头稳定可靠地接通负载线路，并且要求触头在通过容许电流值时，不致发生熔焊及烧损，甚至发生不导通现象。

## 4. 开断过程

如图 1-5c、b、a 所示，从闭合状态到断开状态的转换过程，要求动触头具有一定的开断速度，藉以保证触头迅速可靠地分开及切断负载线路。

在工作过程中，触头具有下列四个主要参数：

(1) 触头间隙 指动、静触头间的最短距离，如图 1-5a 中  $S_1$  所示，它主要取决于工作线路中电压与电流值，还受工作环境的影响，如周围气体的性质、密度、温度等。

(2) 触头超行程 从动、静触头刚接触开始到衔铁完全吸合为止，触头弹簧又被压缩的一段长度，如图 1-5a、d 中  $\Delta$  所示，它保证触头在经过一定程度的磨损及遭受振动时，仍能可靠地接通线路。

(3) 触头的初压力  $F_{c1}$  指动、静触头刚刚接触时，两触头之间的互压力，如图 1-6 中虚线所示。

(4) 触头的终压力  $F_{c2}$  指在完全闭合位置时，动、静触头之间的互压力，如图 1-6 中虚线所示。

如果考虑到触头弹簧、恢复弹簧与运动部分质量时，则可得出接触系统的静态机械特性，如图 1-6 所示，将触头弹簧特性和恢复弹簧与运动部分质量特性相叠加即得机械特性。

其中， $F_0$  表示运动系统的初始反力（打开位置）， $F_{fx}$  表示运动系统的最终反力（闭合位置）。

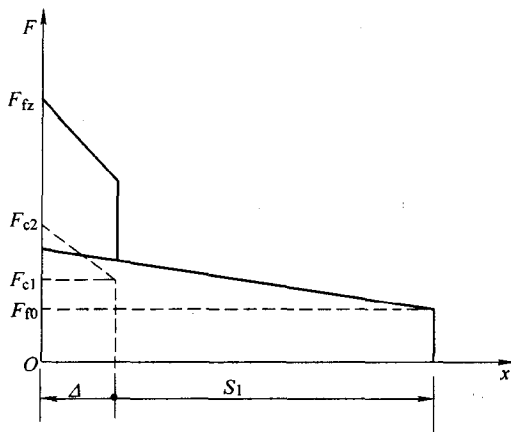


图 1-6 接触系统的机械特性

### (三) 载流触头的开断过程

当载流触头间刚出现断口时，两触头间距离极小，电场强度极大，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，这些电子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。因此，在触头间隙中产生了大量的带电粒子，使气体导电形成了炽热的电子流即电弧。电弧产生高温并发出强光，它常常造成触头的烧损、熔焊等故障，因此应采取措施强迫熄灭这有害电弧。

至于开断交流线路时，由于电弧电压与电流每秒钟自然过零点 100 次，交替地改变极性。电流自然过零点后，同时进行着两种过程的竞争：一是电弧间隙内绝缘介质强度的恢复过程（谓之介质恢复过程）；另一为弧隙上电压恢复过程。若前者的恢复速度始终高于后者的恢复速度，弧隙内电离必然逐渐减弱，最终使弧隙内呈完全绝缘状态，电弧就不会重燃。反之，若前者的恢复速度始终低于后者的恢复速度，则弧隙内电离将逐渐加强，及至带电粒子浓度超过某一定值，电弧便会重燃。

### (四) 常用灭弧措施

#### 1. 电动力灭弧

一般用于交流接触器等交流电器。图 1-7 是一种桥式结构双断口触头系统，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 在弧区内产生图 1-7 中所示的磁场，根据左手定则，电弧电流要受到一个指向外侧的力  $F$  的作用而向外运动，迅速离开触头而熄灭。电弧的这种运动，一是会使电弧本身被拉长，二是电弧穿越冷却介质时要受到较强的冷却作用，这都有助于熄灭电弧。最主要的还是两断口处的每一电极近旁，在交流过零时都能出现 150 ~ 250V 的介质绝缘强度。

#### 2. 磁吹灭弧装置

灭弧装置设有与触头串联的磁吹线圈，电弧在吹弧线圈的作用下受力拉长，从触头间吹离，加速了冷却而熄灭，如图 1-8 所示。为了加强灭弧效果，在线圈中央穿有铁心，其两端平行地设置夹着灭弧室的导磁钢板。串联磁吹线圈的吹弧效果仅在触头分断大电流时很明显，分断小电流时则效果较差，往往要同时采取几种灭弧措施。

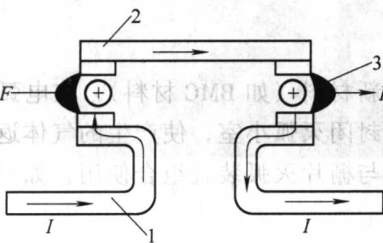


图 1-7 双断口结构的电动力吹弧效应

1—静触头 2—动触头 3—电弧

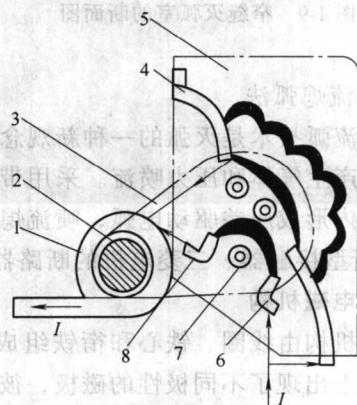


图 1-8 磁吹灭弧原理

1—磁吹线圈 2—铁心 3—导磁夹板  
4—引弧角 5—灭弧罩 6—动触头  
7—磁场方向 8—静触头

### 3. 弧罩与纵缝灭弧装置

为限制弧区扩展并加速冷却以削弱热电离，常采用耐弧陶土、石棉水泥或耐弧塑料（如三聚氰胺与 MP-1 塑料）制造的灭弧室。有些灭弧室还设有狭窄的纵缝，使电弧进入后在与缝壁紧密接触中被冷却，如图 1-9 所示。

纵缝灭弧装置有单纵缝、多纵缝和纵向曲缝等数种。为克服电弧进入宽度略小于其直径的窄缝阻力，有时还需磁吹配合。

纵缝多采用下宽上窄的形式，以减小电弧进入时的阻力。多纵缝的缝隙很窄，且入口处宽度是骤然变化的，因此，仅当电流甚大时才有效。纵向曲缝兼有逐渐拉长电弧的作用，故其效果显著。这种灭弧方式多用于低压开关电器。

### 4. 栅片灭弧装置

栅片灭弧装置有绝缘栅片与金属栅片两种。前者借助于拉长电弧并使之在与绝缘栅片紧密接触的过程中迅速冷却；后者借助于电弧进入栅片后，被截割成多段短弧，利用增大近阴极区电压降以加强灭弧效果，特别是增大交流时的近阴极区电压降更显著。金属栅片为钢质，它有将电弧吸引的作用和冷却作用，金属栅片 V 形缺口是偏心的，且交错排列以减小电弧进入时的阻力，如图 1-10 所示。这种灭弧方式多用于低压交流开关电器。

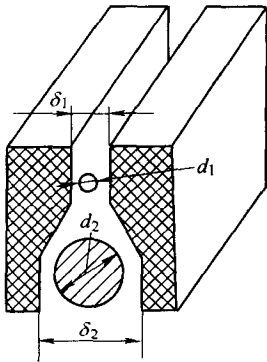


图 1-9 窄缝灭弧室的断面图

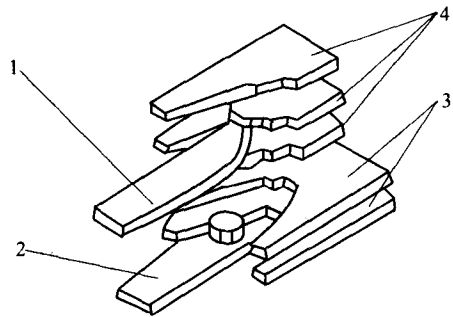


图 1-10 栅片灭弧装置

1—动触头 2—静触头 3—栅片 4—栅片剖面

### 5. 喷流熄弧法

压力流弧技术是灭弧的一种新观念。灭弧罩采用新材料（如 BMC 材料），在电弧高温环境作用下产生气体和压力喷流。采用带有出气口的半封闭灭弧小室，使产生的气体返回出气口，在室内形成压差驱动电弧，喷流熄弧。该方法常与栅片灭弧装置组合使用，如日本富士 SC 系列新型接触器、三菱电机的断路器等。

## 二、电磁机构

电磁机构由线圈、铁心和衔铁组成，如图 1-11 所示。当线圈通入电流之后，铁心和衔铁的端面上出现了不同极性的磁极，彼此相吸，使衔铁向铁心运动，由连动机构带动触头动作。电磁机构实质上是电磁铁的一种。

### （一）铁心和衔铁的结构形式

常用的铁心和衔铁的结构形式有山字形（E 形）、螺管式和拍合式几种。



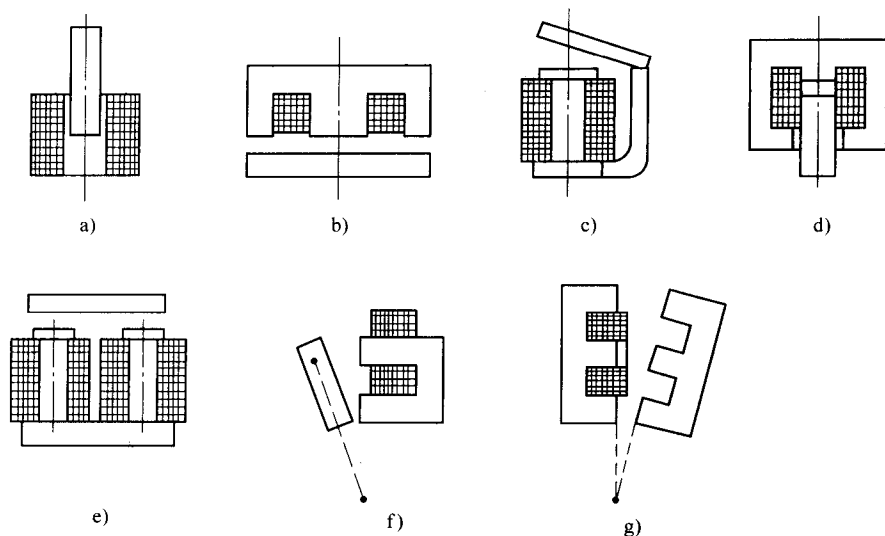


图 1-11 电磁机构的结构形式

a) 螺管式 b) 单 E 形 c) 拍合式 d) 壳式螺管式 e) 单 U 形  
f) 单 U 形转动式 g) 双 E 形转动式

### 1. E 形（含 U 形）电磁机构

E 形电磁铁有单 E 形和双 E 形之分。这种结构形式的电磁机构多用于交流继电器、交流接触器以及其他交流电磁机构的电磁系统。大容量的多采用 U 形，也有单 U 形和双 U 形之分。

### 2. 螺管式电磁机构

多用作牵引电磁铁和断路器的操作电磁铁，但也有少数过电流继电器采用这种形式的电磁机构。

### 3. 拍合式电磁机构

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。

### （二）线圈

励磁线圈是电磁机构的“心脏”，是产生磁通的源泉。按通入线圈电源的种类不同，可分为直流线圈和交流线圈。根据励磁的需要，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，匝数较少，电流较大，常用扁铜条或粗铜线绕制；电压线圈并接在电源上，匝数多，阻抗大，但电流却较小，所以常用绝缘较好的电磁线绕制。

从结构上来看，线圈可分为有骨架的和无骨架的两种。交流电磁机构的线圈多为有骨架式，因为考虑到铁心中有磁滞损耗和涡流损耗，有可能把热量传给线圈。直流电磁机构的线圈则多是无骨架的，有利于线圈散热。

### （三）电磁吸力与吸力特性

电磁机构线圈通电后，铁心吸引衔铁的力称为电磁吸力，用  $F$  表示。根据能量平衡得电磁吸力计算公式为