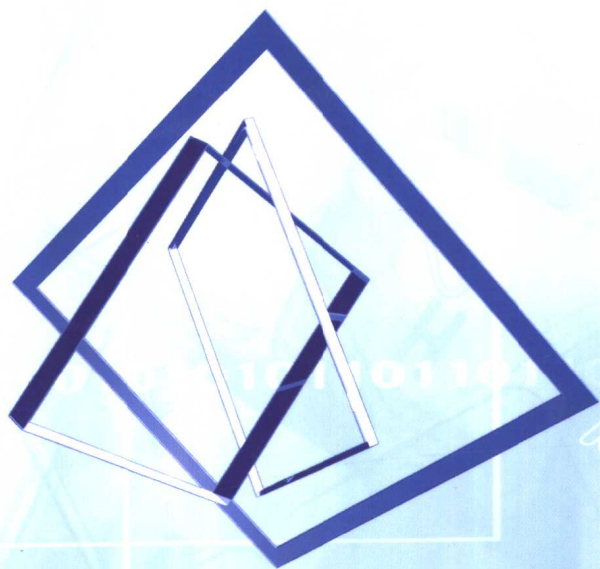




高等学校教材

# 电气控制与 可编程控制器技术

史国生 主编  
王念春 赵阳 主审



化学工业出版社  
教材出版中心

高等学校教材

# 电气控制与可编程控制器技术

史国生 主编  
王念春 赵阳 主审

化学工业出版社  
教材出版中心  
·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与可编程控制器技术/史国生主编. —北京:化学工业出版社, 2003.12  
高等学校教材  
ISBN 7-5025-5072-0

I. 电… II. 史… III. ①电气控制系统-高等学校-教材  
②可编程控制器-高等学校-教材 IV. ①TM921.5②TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 117002 号

---

高等学校教材

电气控制与可编程控制器技术

史国生 主编

王念春 赵阳 主审

责任编辑: 王丽娜

文字编辑: 张童 陈敏

责任校对: 陈静

封面设计: 潘峰

\*

化学工业出版社  
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京管庄永胜印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 25 字数 625 千字

2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5072-0/G·1357

定 价: 39.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 前 言

电气控制与可编程控制器技术是综合了计算机技术、自动控制技术和通讯技术的一门新兴技术,是实现工业生产、科学研究以及其他各个领域自动化的重要手段之一,应用十分广泛。

由于电气控制与可编程控制器本是起源于同一体系,只是发展的阶段不同,在理论和应用上是一脉相承的,因此本书将电气控制技术和可编程控制器应用技术的内容编写在一起,能够更好地体现出它们之间的内在联系,使本书的结构和理论基础系统化,并更具有科学性和先进性。本书注重精选内容,结合实际、突出应用。在编排上循序渐进、由浅入深;在内容阐述上,力求简明扼要,图文并茂,通俗易懂,便于教学和自学。由于本课程的实践性强,因此本书在编写上也安排了电气控制与可编程控制器的实验内容。

本书由三部分组成。第一篇 电气控制技术,介绍电气控制中常用的低压电器、典型控制线路、典型电气控制系统分析和设计方法。第二篇 可编程控制器技术,介绍工业生产中常用的日本三菱公司 FX<sub>2N</sub> 系列和日本 OMRON 公司 C 系列 P 型可编程控制器结构原理,指令系统及其应用,控制系统程序分析和设计方法,共五章。第三篇 电气控制与可编程控制器技术实验,介绍各种电气控制线路的设计与接线,日本三菱公司 FX<sub>2N</sub> 系列可编程控制器在 PC 机上编程软件的使用和 OMRON 公司 C 系列 P 型可编程控制器简易编程器的操作,PLC 系统设计、接线和调试实验,本篇内容加强学生工程实践应用能力的培养。

本书可作为高等学校自动化、电气工程及其自动化、机械工程及其自动化等相关专业的本、专科教材,也可供相关工程技术人员参考。

本书由南京师范大学电气与电子工程学院史国生主编,并编写了第五至九章,曹保国编写了第一、三章,曹弋编写了第二、四章,李世锦编写了第十章,鞠勇编写了第十一、十二章。全书由史国生统稿,东南大学王念春教授、南京师范大学电气与电子工程学院赵阳教授主审。

本书是南京师范大学“十五”教材建设规划中首批校级重点教材。本书的出版得到了学校和电气与电子工程学院的大力资助,在此深表谢意!

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正!

编 者

# 目 录

## 第一篇 电气控制技术

<b>第一章 常用低压电器</b> .....	1
第一节 电器的功能、分类和工作原理.....	1
第二节 电气控制中常用电器.....	6
第三节 主令电器.....	19
第四节 动力线路中常用电器.....	22
第五节 智能电器.....	28
本章小结.....	30
习题及思考题.....	30
<b>第二章 电气控制线路的基本控制规律</b> .....	31
第一节 绘制电气控制线路的若干规则.....	31
第二节 电气控制的基本控制环节.....	38
第三节 三相交流电动机的启动控制.....	41
第四节 三相异步电动机制动控制.....	49
第五节 电动机的可逆运行.....	54
第六节 三相异步电动机调速控制.....	56
第七节 电气控制线路中的保护主令电器.....	59
本章小结.....	63
习题及思考题.....	63
<b>第三章 电气控制系统分析</b> .....	64
第一节 C650 卧式车床电气控制线路分析.....	64
第二节 X62 卧式万能铣床电气控制线路分析.....	67
第三节 T68 卧式镗床电气控制线路分析.....	71
第四节 组合机床电气控制线路分析.....	76
本章小结.....	81
习题及思考题.....	81
<b>第四章 电气控制系统的设计</b> .....	83
第一节 电气控制系统设计的基本内容和一般原则.....	83
第二节 电力拖动方案确定原则和电机的选择.....	86
第三节 电气控制线路的经验设计法和逻辑设计法.....	88
第四节 电气控制系统的工艺设计.....	98
本章小结.....	100
习题及思考题.....	100

## 第二篇 可编程控制器技术

<b>第五章 可编程控制器概述</b> .....	102
第一节 可编程控制器的基本概念.....	102
第二节 可编程控制器的特点及应用.....	103
第三节 可编程控制器的发展.....	104
第四节 可编程控制器的组成及其各部分功能.....	105
第五节 可编程控制器的结构及软件.....	109
第六节 可编程控制器的工作原理.....	114
第七节 可编程控制器系统与继电器接触器系统工作原理的差别.....	116
习题及思考题.....	116
<b>第六章 三菱 FX<sub>2N</sub> 系列可编程控制器及其基本指令的应用</b> .....	118
第一节 三菱 FX <sub>2N</sub> 系列可编程控制器 .....	118
第二节 FX <sub>2N</sub> 系列可编程控制器软组件及功能 .....	124
第三节 FX <sub>2N</sub> 系列可编程控制器的基本指令及应用 .....	143
第四节 编程规则及注意事项.....	158
第五节 常用基本环节的编程.....	161
第六节 基本指令编程实例.....	163
第七节 “经验”编程方法.....	168
习题及思考题.....	168
<b>第七章 FX<sub>2N</sub> 系列可编程控制器步进指令及状态编程法</b> .....	171
第一节 步进指令与状态转移图表示方法.....	171
第二节 编制 SFC 图的注意事项和规则 .....	175
第三节 多流程步进顺序控制.....	178
习题及思考题.....	189
<b>第八章 FX<sub>2N</sub> 系列可编程控制器应用指令及编程方法</b> .....	193
第一节 应用指令的类型及使用要素.....	193
第二节 程序流程类应用指令及应用.....	204
第三节 传送、比较类应用指令及应用.....	213
第四节 算术及逻辑运算指令及应用.....	223
第五节 循环与移位指令及其应用.....	228
第六节 数据处理指令及其应用.....	234
第七节 高速处理指令及应用.....	241
第八节 方便类指令及其应用.....	248
第九节 FX <sub>2N</sub> 系列 PLC 外部设备 I/O 指令 .....	260
第十节 FX <sub>2N</sub> 系列 PLC 外部串行口设备指令 .....	271
第十一节 浮点数运算指令及应用.....	285
第十二节 时钟运算类指令及应用.....	291
第十三节 格雷码变换指令及触点形式的比较指令.....	294
习题及思考题.....	297

<b>第九章 可编程控制系统设计</b> .....	299
第一节 PLC 控制系统设计的基本内容和步骤 .....	299
第二节 可编程控制器在电镀生产线上的应用 .....	302
第三节 可编程控制器在化工过程控制中的应用 .....	305
第四节 可编程控制器在随动控制系统中的应用 .....	308
习题及思考题 .....	311
<b>第十章 OMRON 公司 C 系列 P 型可编程控制器</b> .....	312
第一节 P 型机系统的组成及特点 .....	312
第二节 存储区分配及 CPU 工作流程 .....	314
第三节 P 型机指令系统及编程 .....	319
第四节 P 型机简易编程器 .....	337
第五节 编程方法和编程技巧 .....	339
第六节 编程举例 .....	341
习题及思考题 .....	343

### 第三篇 电气控制与可编程控制器技术实验

<b>第十一章 电气控制实验</b> .....	345
第一节 三相异步电机点动、单向启动及停止控制 .....	345
第二节 三相异步电动机可逆运转控制 .....	346
第三节 三相异步电机调压器降压启动控制 .....	347
第四节 三相绕线式异步电机串电阻启动控制 .....	348
<b>第十二章 PLC 控制系统设计与实验</b> .....	349
第一节 FX 系列编程软件的使用 .....	349
第二节 编程器 (OMRON) 的使用 .....	355
第三节 PLC 实验装置概述 .....	362
第四节 电机的控制实验 .....	364
第五节 抢答器实验 .....	365
第六节 天塔之光控制实验 .....	367
第七节 交通信号灯控制实验 .....	368
第八节 水塔水位自动控制实验 .....	368
第九节 自控成型机控制实验 .....	369
第十节 自控轧钢机控制实验 .....	371
第十一节 多种液体自动混合控制实验 .....	372
第十二节 自动送料装车系统控制实验 .....	374
第十三节 邮件分拣机控制实验 .....	375
第十四节 电梯控制实验 .....	377
<b>附录一 FX<sub>2N</sub> 可编程控制器特殊元件编号及名称检索</b> .....	381
<b>附录二 FX<sub>2N</sub> 应用指令顺序排列及其索引</b> .....	389
<b>主要参考文献</b> .....	391

# 第一篇 电气控制技术

电气控制技术在工业生产、科学研究以及其他各个领域的应用十分广泛，已经成为实现生产过程自动化的重要技术手段之一。尽管电器控制设备种类繁多、功能各异，但其控制原理、基本线路、设计基础都是类似的。本篇主要以电动机和其他执行电器为控制对象，介绍电气控制中常用的低压电器、基本线路以及电气控制系统的分析和设计方法。

## 第一章 常用低压电器

低压电器是组成各种电气控制成套设备的基础配套组件，它的正确使用是低压电力系统可靠运行、安全用电的基础和重要保证。

本章主要介绍常用低压电器的结构、工作原理、用途及其图形符号和文字符号，为正确选择和合理使用这些电器进行电气控制线路的设计打下基础。

### 第一节 电器的功能、分类和工作原理

#### 一、电器的功能

电器是一种能根据外界的信号（机械力、电动力和其他物理量）和要求，手动或自动地接通、断开电路，以实现电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节的元件或设备。

电器的控制作用就是手动或自动地接通、断开电路，“通”称为“开”，“断”也称为“关”。因此，“开”和“关”是电器最基本、最典型的功能。

#### 二、电器的分类

电器的功能多、用途广、品种多，常用的分类方法如下。

##### 1. 按工作电压等级分

(1) 高压电器 用于交流电压 1200V、直流电压 1500V 及以上的电路中的电器，例如高压断路器、高压隔离开关、高压熔断器等。

(2) 低压电器 用于交流 50Hz（或 60Hz）额定电压为 1200V 以下、直流额定电压为 1500V 及以下的电路中的电器，例如接触器、继电器等。

##### 2. 按动作原理分

(1) 手动电器 人手操作发出动作指令的电器，例如刀开关、按钮等。

(2) 自动电器 产生电磁力而自动完成动作指令的电器，例如接触器、继电器、电磁阀等。

##### 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，例如接触器、继电器、电动机启动器等。

(2) 配电电器 用于电能的输送和分配的电器，例如高压断路器等。

(3) 主令电器 用于自动控制系统中发送动作指令的电器，例如按钮、转换开关等。



(4) 保护电器 用于保护电路及用电设备的电器，例如熔断器、热继电器等。

(5) 执行电器 用于完成某种动作或传送功能的电器，例如电磁铁、电磁离合器等。

### 三、电磁式电器的基本原理

低压电器中大部分为电磁式电器，各类电磁式电器的工作原理基本相同，由检测部分（电磁机构）和执行部分（触头系统）两部分组成。

#### （一）电磁机构

##### 1. 电磁机构的结构形式

电磁机构由吸引线圈、铁心和衔铁组成，其结构形式按衔铁的运动方式可分为直动式和拍合式。图 1-1 和图 1-2 是直动式和拍合式电磁机构的常用结构形式。

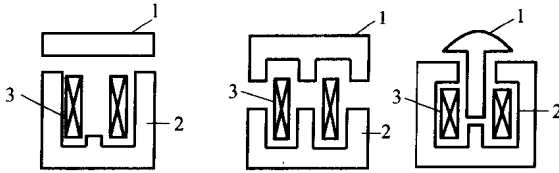


图 1-1 直动式电磁机构

1—衔铁；2—铁心；3—吸引线圈

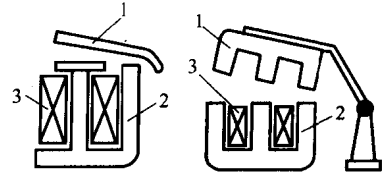


图 1-2 拍合式电磁机构

1—衔铁；2—铁心；3—吸引线圈

吸引线圈的作用是将电能转换为磁能，即产生磁通，衔铁在电磁吸力作用下产生机械位移使铁心吸合。通入直流电的线圈称直流线圈，通入交流电的线圈称交流线圈。

直流线圈通电，铁心不会发热，只有线圈发热，因此使线圈与铁心直接接触，易于散热。线圈一般做成无骨架、高而薄的瘦高型，以改善线圈自身散热。铁心和衔铁由软钢或工程纯铁制成。

对于交流线圈，除线圈发热外，由于铁心中有涡流和磁滞损耗，铁心也会发热。为了改善线圈和铁心的散热情况，在铁心与线圈之间留有散热间隙，而且把线圈做成有骨架的矮胖型。铁心用硅钢片叠成，以减少涡流。

另外，根据线圈在电路中的连接方式可分为串联线圈（即电流线圈）和并联线圈（即电压线圈）。串联（电流）线圈串接在线路中，流过的电流大，为减少对电路的影响，线圈的导线粗，匝数少，线圈的阻抗较小。并联（电压）线圈并联在线路上，为减少分流作用，需要较大的阻抗，因此线圈的导线细且匝数多。

##### 2. 电磁机构的工作原理

电磁铁工作时，线圈产生的磁通作用于衔铁，产生电磁吸力，并使衔铁产生机械位移，衔铁复位时复位弹簧将衔铁拉回原位。因此作用在衔铁上的力有两个：电磁吸力和反力。电磁吸力由电磁机构产生，反力由复位弹簧和触头等产生。电磁机构的工作特性常用吸力特性和反力特性来表达。

(1) 吸力特性 电磁机构的电磁吸力  $F$  与气隙  $\delta$  的关系曲线称为吸力特性。

电磁吸力可按下式求得

$$F = \frac{10^7}{8\pi} B^2 S \quad (1-1)$$

式中， $F$  为电磁吸力，N； $B$  为气隙磁感应强度，T； $S$  为磁极截面积， $m^2$ 。

当铁心截面积  $S$  为常数时，电磁吸力  $F$  与  $B^2$  成正比，也可认为  $F$  与气隙磁通  $\Phi^2$  成正

比。励磁电流的种类对吸力特性有很大影响。

对于具有电压线圈的交流电磁机构，设线圈外加电压  $U$  不变，交流电磁线圈的阻抗主要决定于线圈的电抗，若电阻忽略不计，则

$$U \approx E = 4.44 f \Phi N \quad (1-2)$$

$$\Phi = \frac{U}{4.44 f N} \quad (1-3)$$

式中， $U$  为线圈外加电压； $E$  为线圈感应电动势； $f$  为电压频率； $\Phi$  为气隙磁通； $N$  为电磁线圈的匝数。

当电压频率  $f$ 、电磁线圈的匝数  $N$  和线圈外加电压  $U$  为常数时，气隙磁通  $\Phi$  也为常数，则电磁吸力也为常数，即  $F$  与气隙  $\delta$  大小无关。实际上，考虑到漏磁通的影响，电磁吸力  $F$  随气隙  $\delta$  的减少略有增加。交流电磁机构的吸力特性如图 1-3 所示。由于交流电磁机构的气隙磁通  $\Phi$  不变， $IN$  随气隙磁阻（也即随气隙  $\delta$ ）的变化成正比变化，所以交流电磁线圈的电流  $I$  与气隙  $\delta$  成正比变化。

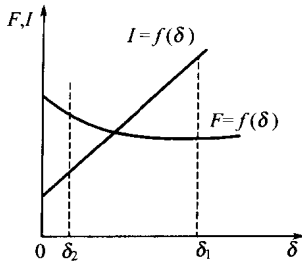


图 1-3 交流电磁机构的吸力特性

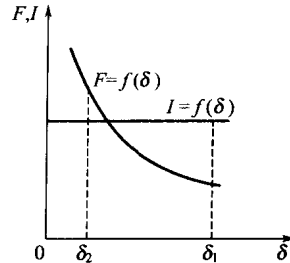


图 1-4 直流电磁机构的吸力特性

对于具有电压线圈的直流电磁机构，其吸力特性与交流电磁机构有所不同。因外加电压  $U$  和线圈电阻不变，则流过线圈的电流  $I$  为常数，与磁路的气隙大小无关。根据磁路定律

$$\Phi = \frac{IN}{R_m} \propto \frac{1}{R_m} \quad (1-4)$$

$$F \propto \Phi^2 \propto \left(\frac{1}{R_m}\right)^2 \propto \frac{1}{\delta^2} \quad (1-5)$$

故其吸力特性为二次曲线形状，如图 1-4 所示。

在一些要求可靠性较高或操作频繁的场所，一般不采用交流电磁机构而采用直流电磁机构，这是因为一般 U 形铁心的交流电磁机构的励磁线圈通电而衔铁尚未吸合的瞬间，电流将达到衔铁吸合后额定电流的 5~6 倍；E 形铁心电磁机构则达到额定电流的 10~15 倍。如果衔铁卡住不能吸合或者频繁操作时，交流励磁线圈则有可能被烧毁。

(2) 反力特性 电磁系统的反作用力与气隙的关系曲线称为反力特性。反作用力包括弹簧力、衔铁自身重力、摩擦阻力等。图 1-5 中所示曲线 3 即为反力特性曲线。图中  $\delta_1$  为起始位置， $\delta_2$  为动、静触头接触时的位置。在  $\delta_1 \sim \delta_2$  区域内，反作用力随气隙减小而略有增大，到达位置  $\delta_2$  时，动、静触头接触，这时触头上的初压力作用到衔铁上，反作用力骤增，曲线发生突变。在  $\delta_2 \sim 0$  区域内，气隙越小，触头压得越紧，反作用力越大，其曲

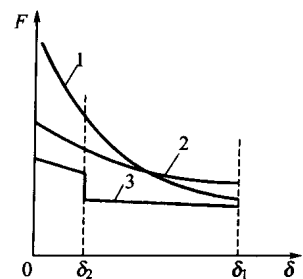


图 1-5 吸力特性和反力特性

- 1—直流接触器吸力特性；
- 2—交流接触器吸力特性；
- 3—反力特性

线比  $\delta_1 \sim \delta_2$  段陡。

(3) 反力特性与吸力特性的配合 为了保证使衔铁能牢牢吸合, 反作用力特性必须与吸力特性配合好, 如图 1-5 所示。在整个吸合过程中, 吸力都必须大于反作用力, 即吸力特性高于反力特性, 但不能过大或过小, 吸力过大时, 动、静触头接触时以及衔铁与铁心接触时的冲击力也大, 会使触头和衔铁发生弹跳, 导致触头熔焊或烧毁, 影响电器的机械寿命; 吸力过小时, 会使衔铁运动速度降低, 难以满足高操作频率的要求。因此, 吸力特性与反力特性必须配合得当, 才有助于电器性能的改善。在实际应用中, 可调整反力弹簧或触头初压力以改变反力特性, 使之与吸力特性有良好配合。

### 3. 交流电磁机构上短路环的作用

由于单相交流电磁机构上铁心的磁通是交变的, 故当磁通过零时, 电磁吸力也为零, 吸合后的衔铁在反力弹簧的作用下将被拉开, 磁通过零后电磁吸力又增大, 当吸力大于反力时, 衔铁又被吸合。这样, 交流电源频率的变化, 使衔铁产生强烈振动和噪声, 甚至使铁心松散。因此交流电磁机构铁心端面上都安装一个铜制的短路环。短路环包围铁心端面约  $2/3$  的面积, 如图 1-6 所示。

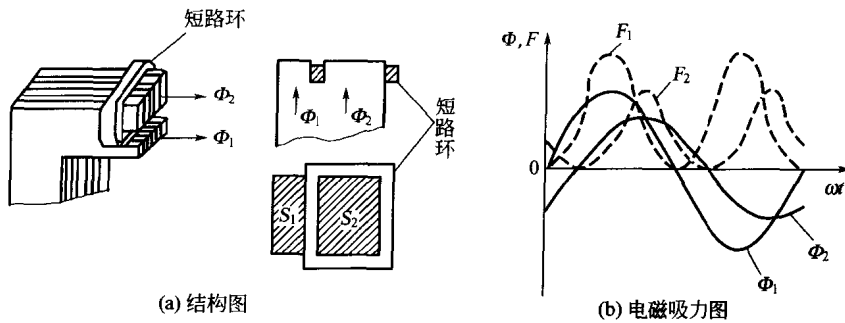


图 1-6 单相交流电磁铁铁心的短路环

当交变磁通穿过短路环所包围的截面积  $S_2$  在环中产生涡流时, 根据电磁感应定律, 此涡流产生的磁通  $\Phi_2$  在相位上落后于短路环外铁心截面  $S_1$  中的磁通  $\Phi_1$ , 由  $\Phi_1$ 、 $\Phi_2$  产生的电磁吸力为  $F_1$ 、 $F_2$ , 作用在衔铁上的合成电磁吸力是  $F_1 + F_2$ , 只要此合力始终大于其反力, 衔铁就不会产生振动和噪声。

### (二) 触头系统

触头 (触点) 是电磁式电器的执行元件, 用来接通或断开被控制电路。

触头的结构形式很多, 按其所控制的电路可分为主触头和辅助触头。主触头用于接通或断开主电路, 允许通过较大的电流; 辅助触头用于接通或断开控制电路, 只能通过较小的电流。

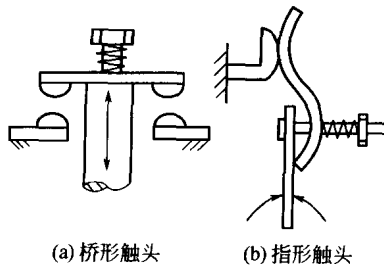


图 1-7 触头结构形式

触头按其原始状态可分为常开触头和常闭触头: 原始状态时 (即线圈未通电) 断开, 线圈通电后闭合的触头叫常开触头; 原始状态闭合, 线圈通电后断开的触头叫常闭触头 (线圈断电后所有触头复原)。

触头按其结构形式可分为桥形触头和指形触头, 如图 1-7 所示。

触头按其接触形式可分为点接触、线接触和面接触三

种，如图 1-8 所示。

图 1-8 (a) 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，常用于小电流的电器中，如接触器的辅助触头或继电器触头。图 1-8 (b) 为线接触，它的接触区域是一条直线，触头的通断过程是滚动式进行的。开始接通时，静、动触头在 A 点处接触，靠弹簧压力经 B 点滚动到 C 点，断开时做相反运动。这样可以自动清除触头表面的氧化物，触头长期正常工作位置不是在易灼烧的 A 点，而是在工作点 C 点，保证了触头的良好接触。线接触多用于中容量的电器，如接触器的主触头。图 1-8 (c) 为面接触，它允许通过较大的电流。这种触头一般在接触表面上镶有合金，以减少触头接触电阻并提高耐磨性，多用于大容量接触器的触头。

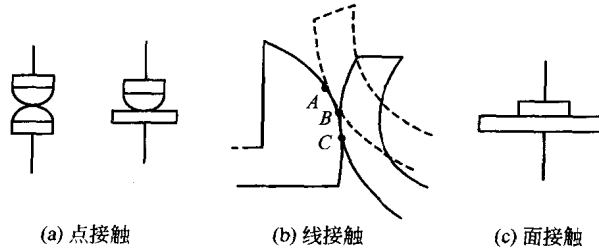


图 1-8 触头接触形式

### (三) 灭弧工作原理

触点在通电状态下动、静触头脱离接触时，由于电场的存在，使触头表面的自由电子大量溢出而产生电弧。电弧的存在既烧损触头金属表面，降低电器的寿命，又延长了电路的分断时间，所以必须迅速消除。

#### 1. 常用的灭弧方法

(1) 迅速增大电弧长度 电弧长度增加，使触点间隙增加，电场强度降低，同时又使散热面积增大，降低电弧温度，使自由电子和空穴复合的运动加强，因而电荷容易熄灭。

(2) 冷却 使电弧与冷却介质接触，带走电弧热量，也可使复合运动得以加强，从而使电弧熄灭。

#### 2. 常用的灭弧装置

(1) 电动力吹弧 电动力吹弧如图 1-9 所示。双断点桥式触头在分断时具有电动力吹弧功能，不用任何附加装置，便可使电弧迅速熄灭。这种灭弧方法多用于小容量交流接触器中。

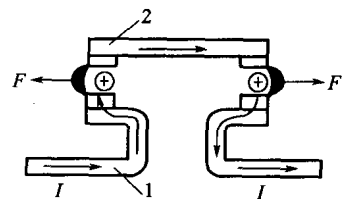


图 1-9 电动力吹弧示意

1—静触头；2—动触头

(2) 磁吹灭弧 在触点电路中串入吹弧线圈，如图 1-10 所示。该线圈产生的磁场由导磁夹板引向触点周围，其方向由右手定则确定（为图中  $\times$  所示）。触点间的电弧所产生的磁场，其方向为  $\odot\odot$  所示。这两个磁场在电弧下方方向相同（叠加），在弧柱上方方向相反（相减），所以弧柱下方的磁场强于上方的磁场。在下方磁场作用下，电弧受力的方向为  $F$  所指的方向，在  $F$  的作用下，电弧被吹离触点，经引弧角引进灭弧罩，使电弧熄灭。

(3) 栅片灭弧 灭弧栅是一组镀铜薄钢片，它们彼此间相互绝缘，如图 1-11 所示。电弧进入栅片被分割成一段段串联的短弧，而栅片就是这些短弧的电极。每两片灭弧片之间都

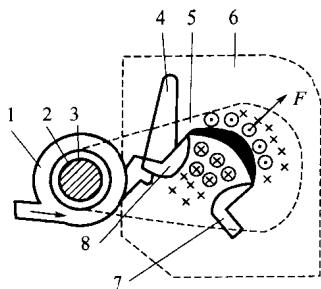


图 1-10 磁吹灭弧示意

1—磁吹线圈；2—绝缘套；3—铁心；4—引弧角；  
5—导磁甲板；6—灭弧罩；7—动触头；8—静触头

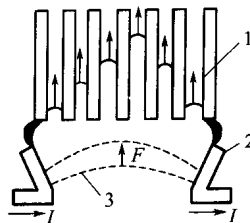


图 1-11 栅片灭弧示意

1—灭弧栅片；2—触点；3—电弧

有 150~250V 的绝缘强度，使整个灭弧栅的绝缘强度大大加强，以致外加电压无法维持，电弧迅速熄灭。此外，栅片还能吸收电弧热量，使电弧迅速冷却。基于上述原因，电弧进入栅片后就会很快熄灭。由于栅片灭弧装置的灭弧效果在交流时要比直流时强得多，因此在交流电器中常采用栅片灭弧。

## 第二节 电气控制中常用电器

### 一、低压隔离器

低压隔离器是低压电器中结构比较简单、应用十分广泛的一类手动操作电器，品种主要有低压刀开关、熔断器式刀开关和组合开关三种。

隔离器主要是在电源切除后，将线路与电源明显地隔开，以保障检修人员的安全。熔断器式刀开关由刀开关和熔断器组合而成，故兼有两者的功能，即电源隔离和电路保护功能，可分断一定的负载电流。

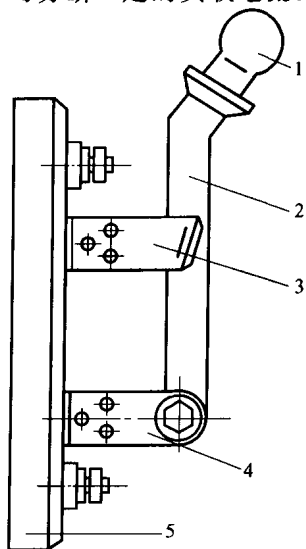


图 1-12 低压隔离开关结构示意图

1—静插座；2—操纵手柄；3—触  
刀；4—支座；5—绝缘底板

#### 1. 刀开关

刀开关由操纵手柄、触刀、静插座和绝缘底板等组成。图 1-12 为其结构简图。

刀开关的主要类型有：带灭弧装置的大容量刀开关，带熔断器的开启式负荷开关（胶盖开关）、带灭弧装置和熔断器的封闭式负荷开关（铁壳开关）等。常用的产品有：HD11~HD14 和 HS11~HS13 系列刀开关，HK1、HK2 系列胶盖开关，HH3、HH4 系列铁壳开关。

刀开关的主要技术参数有：长期工作所承受的最大电压——额定电压；长期通过的最大允许电流——额定电流；以及分断能力等。表 1-1 列出 HK1 系列胶盖开关的技术参数。

近年来中国研制的新产品有 HD18、HD17、HS17 等系列刀形隔离开关，HG1 系列熔断器式隔离开关等。

选用刀开关时，刀的极数要与电源进线相数相等；刀开关的额定电压应大于所控制的线路额定电压；刀开关的额定电流应大于负载的额定电流。

刀开关的图形、文字符号如图 1-13 所示。

表 1-1 HK1 系列胶盖开关的技术参数

额定电 流值 /A	极数	额定电 压值 /V	可控制电动机 最大容量值/kW		触刀极限 分断能力/A ( $\cos\varphi=0.6$ )	触刀极限 分断能力 /A	配用熔丝规格			
			220V	380V			熔丝成分			熔丝直径/mm
							W <sub>Pb</sub>	W <sub>Sn</sub>	W <sub>Sb</sub>	
15	2	220	—	—	30	500	98%	1%	1%	1.45 ~ 1.59
30	2	220	—	—	60	1000				2.30 ~ 2.52
60	2	220	—	—	90	1500				3.36 ~ 4.00
15	2	380	1.5	2.2	30	500				1.45 ~ 1.59
30	2	380	3.0	4.0	60	1000				2.30 ~ 2.52
60	2	380	4.4	5.5	90	1500				3.36 ~ 4.00

## 2. 组合开关

组合开关也是一种刀开关，不过它的刀片是转动式的，操作比较轻巧，它的动触头（刀片）和静触头装在封闭的绝缘件内，采用叠装式结构，其层数由动触头数量决定，动触头装在操作手柄的转轴上，随转轴旋转而改变各对触头的通断状态。

组合开关一般在电气设备中用于非频繁地接通和分断电路、接通电源和负载、测量三相电压以及控制小容量异步电动机的正反转和星-三角降压启动等。

组合开关的主要参数有额定电压、额定电流、极数等。其中额定电流有 10A、25A、60A 等几级。全国统一设计的常用产品有 HZ5、HZ10 系列和新型组合开关 HZ15 等系列。HZ10 系列组合开关的技术数据见表 1-2。

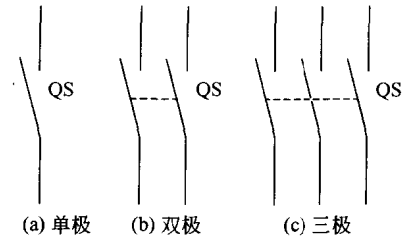


图 1-13 刀开关的图形、文字符号

表 1-2 HZ10 系列组合开关的技术数据

型号	额定 电压 /V	额定 电流 /A	极数	极限操作 电流 <sup>①</sup> /A		可控制电动机最大 容量和额定电流 <sup>①</sup>		额定电压及电流下的通断次数							
				接通	分断	容量 /kW	额定电流 /A	AC $\cos\varphi$		直流时间常数/s					
								$\geq 0.8$	$\geq 0.3$	$\leq 0.0025$	$\leq 0.01$				
HZ10-10	DC220, AC380	6	单极	94	62	3	7	20000	10000	20000	10000				
HZ10-25		10	2,3									155	108	5.5	12
HZ10-60		25		10000	5000	10000	5000								
HZ10-100		60													
		100													

① 均指三板组合开关。

组合开关的结构和图形、文字符号如图 1-14 所示。

## 二、熔断器

### 1. 熔断器的工作原理和保护特性

熔断器是一种结构简单、使用方便、价格低廉的保护电器，广泛用于供电线路和电气设备的短路保护中。熔断器由熔体和安装熔体的熔断管（或座）等部分组成。熔体是熔断器的核心，通常用低熔点的铅锡合金、锌、铜、银的丝状或片状材料制成，新型的熔体通常设计成灭弧栅状和具有变截面片状结构。当通过熔断器的电流超过一定数值并经过一定的时间

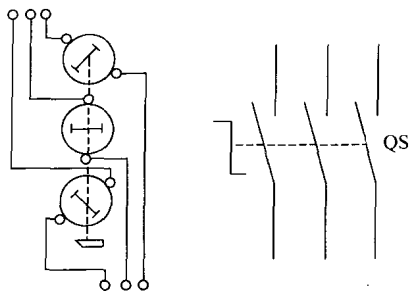


图 1-14 组合开关结构和图形、文字符号

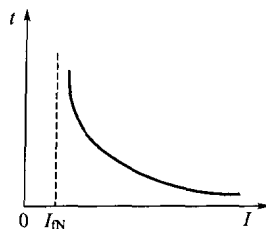


图 1-15 熔断器的安-秒特性

后，电流在熔体上产生的热量使熔体某处熔化而分断电路，从而保护了电路和设备。

熔断器熔体熔断的电流值与熔断时间的关系称为熔断器的保护特性曲线，也称为熔断器的安-秒（ $I-t$ ）特性，如图 1-15 所示。由特性曲线可以看出，流过熔体的电流越大，熔断所需的时间越短。熔体的额定电流  $I_N$  是熔体长期工作而不致熔断的电流。

熔断器的熔断电流与熔断时间的数值关系如表 1-3 所示。

表 1-3 熔断器的熔断电流与熔断时间的数值关系

熔断电流	$1.25 \sim 1.3 I_N$	$1.6 I_N$	$2 I_N$	$2.5 I_N$	$3 I_N$	$4 I_N$
熔断时间	$\infty$	1h	40s	8s	4.5s	2.5s

## 2. 常用熔断器的种类及技术数据

熔断器按其结构型式分为插入式、螺旋式、有填料密封管式、无填料密封管式等，品种规格很多。在电气控制系统中经常选用螺旋式熔断器，它有明显的分断指示和不用任何工具就可取下或更换熔体等优点。最近推出的新产品有 RL6、RL7 系列，可以替代老产品 RL1、RL2 系列。RLS2 系列是快速熔断器，用以保护半导体硅整流元件及晶闸管，可替代老产品 RLS1 系列。RT12、RT15、NGT 等系列是有填料密封管式熔断器，瓷管两端铜帽上焊有联结板，可直接安装在母线排上，RT12、RT15 系列带有熔断指示器，熔断时红色指示器弹出。RT14 系列熔断器带有撞击器，熔断时撞击器弹出，既可作熔断信号指示，也可触动微动开关以切断接触器线圈电路，使接触器断电，实现三相电动机的断相保护。

熔断器的主要技术参数如下。

(1) 额定电压 指熔断器长期工作时和分断后能够承受的电压，其值一般等于或大于电气设备的额定电压。

(2) 额定电流 指熔断器长期工作时，设备部件温升不超过规定值时所能承受的电流。厂家为了减少熔断管额定电流的规格，熔断管的额定电流等级比较少，而熔体的额定电流等级比较多，也即在一个额定电流等级的熔管内可以分几个额定电流等级的熔体，但熔体的额定电流最大不能超过熔断管的额定电流。

(3) 极限分断能力 是指熔断器在规定的额定电压和功率因素（或时间常数）的条件下，能分断的最大电流值，在电路中出现的最大电流值一般指短路电流值。所以极限分断能力也反映了熔断器分断短路电流的能力。

表 1-4 列出了 RL6、RLS2、RT12、RT14 等系列的技术数据。

表 1-4 常用熔断器技术数据

型号	额定电压/V	额定电流/A		分断能力/kA
		熔断器	熔体	
RL5-25	~500	25	2,4,6,10,16,20,25	50
RL5-63		63	35,50,63	
RL5-100		100	80,100	
RL5-200		200	125,160,200	
RLS2-30	~500	30	16,20,25,30	50
RLS2-63		63	32,40,50,63	
RLS2-100		100	63,80,100	
RT12-20	~415	20	2,4,6,10,16,20	80
RT12-32		32	20,25,32	
RT12-63		63	32,40,50,63	
RT12-100		100	63,80,100	
RT14-20	~380	20	2,4,6,10,16,20	100
RT14-32		32	2,4,6,10,16,20,25,32	
RT14-63		63	10,16,20,25,32,40,50,63	

### 3. 熔断器的选择

熔断器的选择主要包括熔断器类型、额定电压、熔断器额定电流和熔体额定电流的确定。

熔断器的类型主要由电控系统整体设计确定，熔断器的额定电压应大于或等于实际电路的工作电压；熔断器额定电流应大于或等于所装熔体的额定电流。

确定熔体电流是选择熔断器的主要任务，具体来说有下列几条原则。

(1) 对于照明线路或电阻炉等电阻性负载，熔体的额定电流应大于或等于电路的工作电流，即  $I_{fN} \geq I$ ，式中  $I_{fN}$  为熔体的额定电流， $I$  为电路的工作电流。

(2) 保护一台异步电动机时，考虑电动机冲击电流的影响，熔体的额定电流按下式计算

$$I_{fN} \geq (1.5 \sim 2.5) I_N \quad (1-6)$$

式中， $I_N$  为电动机的额定电流。

(3) 保护多台异步电动机时，若各台电动机不同时启动，则应按下式计算

$$I_{fN} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{N_{\max}} + \sum I_N \quad (1-7)$$

式中， $I_{N_{\max}}$  为容量最大的一台电动机的额定电流； $\sum I_N$  为其余电动机额定电流的总和。

(4) 为防止发生越级熔断，上、下级（即供电干、支线）熔断器间应有良好的协调配合，为此，应使上一级（供电干线）熔断器的熔体额定电流比下一级（供电支线）大 1~2 个级差。

熔断器的图形、文字符号如图 1-16 所示。

### 三、控制继电器

继电器是一种根据某种输入信号的变化，使其自身的执行机构动作的自动控制电器。它具有输入电路（又称感应元件）和输出电路（又称执行元件），当感应元件中的输入量（如电压、电流、温度、压力等）

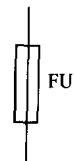


图 1-16 熔断器的图形、文字符号



变化到某一定值时继电器动作，执行元件便接通和断开控制电路。

继电器种类很多，按输入信号可分为：电压继电器、电流继电器、功率继电器、速度继电器、压力继电器、温度继电器等；按工作原理可分为：电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器、电子式继电器，热继电器等；按用途可分为控制继电器与保护继电器；按输出形式可分为有触点继电器和无触点继电器。

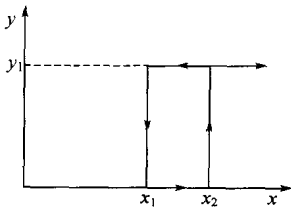


图 1-17 继电特性

继电器的主要特性是输入-输出特性，即继电特性。继电特性曲线如图 1-17 所示。当继电器输入量  $x$  由零增至  $x_2$  以前，输出量  $y$  为零。当输入量  $x$  增加到  $x_2$  时，继电器吸合，输出量为  $y_1$ ，若  $x$  再增大， $y_1$  值保持不变。当  $x$  减小到  $x_1$  时，继电器释放，输出量由  $y_1$  降至零。 $x$  再减小， $y$  值均为零。图中， $x_2$  称为继电器吸合值，欲使继电器吸合，输入量必须大于或等于此值； $x_1$  称为继电器释放值，欲使继电器释放，输入量必须小于或等于此值。

$k = x_1/x_2$  称为继电器的返回系数，它是继电器的重要参数之一。 $k$  值是可以调节的，不同场合要求不同的  $k$  值。例如一般继电器要求低的返回系数， $k$  值应在 0.1~0.4 之间，这样当继电器吸合后，输入量波动较大时不致引起误动作。欠电压继电器则要求高的返回系数， $k$  值应在 0.6 以上。如某继电器  $k=0.66$ ，吸合电压为额定电压的 90%，则电压低于额定电压的 60% 时，继电器释放，起到欠电压保护的作用。

另一个重要参数是吸合时间和释放时间。吸合时间是指从线圈接受电信号到衔铁完全吸合所需的时间；释放时间是指从线圈失电到衔铁完全释放所需的时间。一般继电器的吸合时间与释放时间为 0.05~0.15s，快速继电器为 0.005~0.05s，它的大小影响着继电器的操作频率。

无论继电器的输入量是电量或非电量，继电器工作的最终目的总是控制触头的分断或闭合，而触头又是控制电路通断的，就这一点来说接触器与继电器是相同的。但是它们又有区别，主要表现在以下两个方面。

(1) 所控制的线路不同 继电器用于控制电讯线路、仪表线路、自控装置等小电流电路及控制电路；接触器用于控制电动机等大功率、大电流电路及主电路。

(2) 输入信号不同 继电器的输入信号可以是各种物理量，如电压、电流、时间、压力、速度等，而接触器的输入量只有电压。

### (一) 电磁式继电器

在低压控制系统中采用的继电器大部分是电磁式继电器，电磁式继电器的结构与原理和接触器基本相同。电磁式继电器的典型结构如图 1-18 所示，它由电磁机构和触头系统组成。按吸引线圈电流的类型，可分为直流电磁式继电器和交流电磁式继电器。按其在电路中的连接方式，可分为电流继电器、电压继电器和中间继电器等。

#### 1. 电流继电器

电流继电器反映的是电流信号。使用时，电流继电器的线圈串联于被测电路中，根据电流的变化而动作。为降低负载效应对被测测量电路参数的影响，线圈匝数

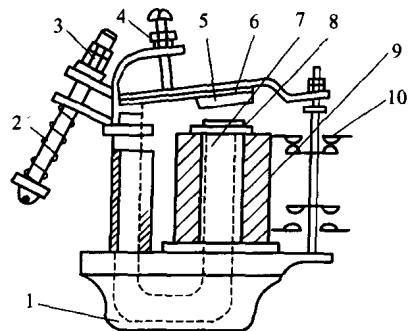


图 1-18 电磁式继电器的典型结构

1—底座；2—反力弹簧；3，4—调节螺钉；  
5—非磁性垫片；6—衔铁；7—铁心；  
8—极靴；9—电磁线圈；10—触头系统