



全国高等专科教育自动化类专业规划教材

电气控制与 PLC 应用技术

田效伍 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



全国高等专科教育自动化类专业规划教材

电气控制与 PLC 应用技术

主 编 田效伍
副主编 刘宏飞 王仰周 刘东汉
参 编 郑先锋 张 雷 赵 斌 牟光臣
主 审 刘先省



机械工业出版社

本书从应用角度出发,介绍了继电-接触器控制系统、可编程序控制器系统及电气控制系统的设计方法。全书共分两大部分,第一部分包括常用低压电器、继电-接触器控制电路的基本环节、典型设备的电气控制电路分析;第二部分以西门子 S7 系列 PLC 为例,介绍 PLC 的结构、原理、指令系统、编程方法和系统设计方法,从 S7—200 系列到技术先进、已得到成熟应用的 S7—300/400 系列 PLC,内容由浅入深、循序渐进。为帮助学生理解,本书每章均设计了适量的例题和习题。

本书可作为高职高专自动化类、机电类专业教材,也可供工程技术人员参考。

为方便教学,本书备有免费电子教案,凡选用本书作为授课教材的学校,均可来电索取,咨询电话:010-88379758。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC 应用技术/田效伍主编. —北京:机械工业出版社, 2006. 8

全国高等专科教育自动化类专业规划教材
ISBN 7-111-19724-0

I. 电... II. 田... III. ①电气控制—高等学校—教材②可编程序控制器—高等学校—教材 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 090972 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:于宁 高倩 责任编辑:高倩

版式设计:冉晓华 责任校对:张晓蓉 封面设计:鞠杨

责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2006 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 14 印张 · 343 千字

0001—4000 册

定价:21.00 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

编辑热线电话(010)88379758

封面无防伪标均为盗版

前 言

“电气控制与 PLC 应用技术”是高职高专自动化类、机电类专业的主干课程。根据目前高等学校已普遍将工厂电气控制技术和可编程序控制器应用技术两门课程合并讲授的实际情况，本书综合了这两部分的内容。本着培养综合型应用人才的宗旨，本书在注重基础理论的同时，突出针对性、实用性和先进性，力图做到由简到繁、深入浅出、主次分明，体现高职高专教育的特点。

本书前半部分介绍传统的继电-接触器控制技术，详细介绍了常用的低压电器、继电-接触器控制电路的基本环节以及典型机械设备的控制电路；后半部分详细介绍了可编程序控制器的原理和应用技术。鉴于西门子公司 PLC 产品在我国占有较大的市场份额以及其快速发展的趋势，本书以西门子公司 S7—200 系列 PLC 为例，介绍了 PLC 的硬件组成、工作原理和指令系统以及系统设置、调试和使用方法；考虑到部分用户在较复杂的自动化控制系统中选用西门子公司 S7—300/400 系列 PLC，本书简要介绍了 S7—300/400 系列 PLC 的硬件组成和编程语言。在教学过程中，可以根据不同专业，对本书内容进行适当地删减，参考学时数为 60~80 学时。

全书共分 12 章，主要内容包括：常用低压电器，继电-接触器控制电路基本环节，典型生产机械电气控制系统，可编程序控制器概述，可编程序控制器的基本组成及工作原理，S7—200 系列 PLC，S7—200 系列 PLC 基本指令，S7—200 系列 PLC 功能指令，S7—300/400 系列 PLC，电气控制系统设计，PLC 的编程与通信，实验指导。

本书由田效伍任主编，刘宏飞、王仰周、刘东汉任副主编。安阳师范学院的刘宏飞编写了第 3 章和第 5 章，黄石理工学院的刘东汉编写了第 2 章和第 4 章，河南机电高等专科学校的田效伍编写了绪论、第 1 章和第 9 章，王仰周编写了第 10 章，郑先锋编写了第 6 章和附录，牟光臣编写了第 7 章，张雷编写了第 8 章，赵斌编写了第 11 章和第 12 章。全书由田效伍负责统稿。

本书承蒙河南大学计算机与信息工程学院刘先省教授审阅。刘先省教授为本书提出了不少宝贵的意见，在此对刘教授严谨、认真的治学态度表示由衷的感谢。本书部分章节的编写参考了相关文献，在此谨对参考文献中的作者表示诚挚的谢意！

由于编者的水平有限，编写时间仓促，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

> || <

目 录

前言

绪论 1

第 1 章 常用低压电器 3

- 1.1 低压电器的基础知识 3
- 1.2 刀开关 7
- 1.3 组合开关 10
- 1.4 熔断器 11
- 1.5 接触器 13
- 1.6 低压断路器 16
- 1.7 继电器 19
- 1.8 主令电器 27
- 1.9 智能低压电器 31

第 2 章 继电-接触器控制电路 基本环节 33

- 2.1 电气图中的图形符号和文字符号 33
- 2.2 电气控制系统图 34
- 2.3 交流电动机的基本控制电路 37
- 2.4 电动机的起动控制电路 42
- 2.5 三相异步电动机的运行控制电路 47
- 2.6 三相异步电动机制动控制电路 48

第 3 章 典型生产机械电气控制系统 ... 52

- 3.1 电气控制电路分析基础 52
- 3.2 C650 卧式车床电气控制系统 53
- 3.3 万能铣床电气控制系统 56
- 3.4 Z3040 摇臂钻床电气控制系统 61
- 3.5 T68 卧式镗床电气控制系统 64
- 3.6 组合机床电气控制系统 67

第 4 章 可编程序控制器概述 72

- 4.1 可编程序控制器的产生 72

- 4.2 可编程序控制器的控制功能及
主要特点 73

- 4.3 可编程序控制器的应用与发展前景 ... 75

第 5 章 可编程序控制器的基本组成及 工作原理 77

- 5.1 可编程序控制器的基本组成 77
- 5.2 可编程序控制器的工作原理 79
- 5.3 PLC 控制与继电器控制的区别 80
- 5.4 PLC 的编程语言 80

第 6 章 S7—200 系列 PLC 82

- 6.1 S7—200 系列 PLC 系统的构成 82
- 6.2 S7—200 系列 PLC 的内部元器件 86
- 6.3 S7—200 系列 PLC 的输入、
输出及扩展 93

第 7 章 S7—200 系列 PLC 基本指令 ... 97

- 7.1 基本逻辑指令 97
- 7.2 算术、逻辑运算指令 106
- 7.3 数据处理指令 112
- 7.4 程序控制指令 116

第 8 章 S7—200 系列 PLC 功能指令 ... 123

- 8.1 表功能指令 123
- 8.2 转换指令 126
- 8.3 中断指令 131
- 8.4 高速处理指令 134
- 8.5 其他功能指令 138

第 9 章 S7—300/400 系列 PLC 145

- 9.1 S7—300 系列 PLC 简介 145
- 9.2 S7—300 系列 PLC 的 CPU 模块 148
- 9.3 S7—300 系列 PLC 的输入/输出模块 ... 149

9.4 S7—300 系列 PLC 的其他模块·····	156	实验一 SIMATIC 软件使用和基本 指令编程练习·····	200
9.5 S7—400 系列 PLC 的硬件组成·····	157	实验二 正、次品分拣机·····	201
9.6 S7—300/400 系列 PLC 的编程·····	158	实验三 电动机的Y-△起动·····	203
第 10 章 电气控制系统设计 ·····	160	实验四 工作台自动循环控制·····	203
10.1 电气控制系统设计的内容和方法···	160	实验五 交通灯自动控制·····	204
10.2 电气控制原理电路设计的 方法与步骤·····	162	实验六 多种液体自动混合控制·····	205
10.3 电气控制装置的工艺设计·····	166	实验七 水塔水位控制·····	206
10.4 PLC 控制系统设计的内容和方法···	168	实验八 电梯控制·····	207
10.5 PLC 控制系统设计实例·····	170	附录 ·····	209
第 11 章 PLC 的编程与通信 ·····	177	附录 A 电气图常用图形与文字符号 新旧标准对照表·····	209
11.1 STEP7-Micro/WIN 编程软件的 安装与使用·····	177	附录 B S7—200 系列 PLC 操作数 寻址范围·····	215
11.2 PLC 通信的基本概念·····	187	附录 C S7—200 系列 PLC 特殊标志 存储器 SM·····	215
11.3 S7—200 系列 PLC 自由口通信·····	192	参考文献 ·····	217
11.4 S7 系列 PLC 的 PROFIBUS-DP 通信···	195		
第 12 章 实验指导 ·····	200		

绪 论

一、电气控制技术的发展概况

电气控制技术应用于国民经济的各行各业。电气控制技术的发展，是随着科学技术的不断发展、生产工艺的不断改进和电气控制装置的日新月异而迅速发展的。从最早的手动控制发展到自动控制，从简单的控制设备发展到复杂的控制系统，从有触点的硬接线继电-接触器控制系统发展到以计算机为中心的上位机对下位机的监控系统，现代电气控制技术综合了计算机技术、自动控制技术、电子技术、精密测试等许多先进的科学技术成果。

工业生产过程中的电气控制技术，其主要控制对象是电动机。19世纪末，直流发电机、交流发电机和直流电动机、异步电动机相继问世，揭开了电气控制技术的序幕。20世纪初，电动机逐步取代蒸汽机用来驱动生产机械。最初沿用集中拖动的方式，由一台电动机拖动若干台机器，这种方式能量传递路径长，损耗大，操作不便，安全性差。后来改由一台电动机拖动一台机器，称为单独拖动方式，它克服了集中拖动的缺点。随着生产技术的发展，机器功能增多，结构更加复杂，为了简化机械传动系统，出现了一台机器的几个运动部件分别由一台电动机拖动，这种方式称为多电动机拖动。在这种情况下，机器的电气控制系统不但可对各台电动机的起动、制动、反转、停车等进行控制，还具有在各台电动机之间实现协调、联锁、顺序切换、显示工作状态的功能。对生产过程比较复杂的系统还要求对影响产品质量的各种工艺参数如温度、压力、流量、速度、时间等能够自动测量和自动调节，这样就构成了功能相当完善的电气自动化系统。到本世纪30年代，电气控制技术的发展，推动了电器产品的进步，继电器、接触器、按钮、开关等元器件形成了功能齐全的多种系列，基本控制电路亦形成规范，可以实现远距离控制。这种采用继电器、接触器等电器元件构成的控制系统称为继电-接触器控制系统。继电-接触器控制系统结构简单、价格低廉、维护方便，因此广泛应用于各类机床和机械设备中。采用它不但可以方便地实现生产过程自动化，而且还可以实现集中控制和远距离控制。但由于继电-接触器控制系统是固定接线形式，故在改变生产工艺时，需要重新布线，控制的灵活性较差；另外，系统采用有触点元器件控制，动作频率低，触点易损坏，系统的可靠性较差。

在20世纪60年代，计算机技术逐步成熟，采用计算机控制技术的数控装置已广泛应用于机械加工设备中，产生了数控车床、数控铣床、数控加工中心等数控设备。数控技术的发展对传统的继电-接触器控制技术产生了冲击。1968年美国最大的汽车制造商——通用汽车(GM)公司为适应汽车型号不断更新、生产线控制系统不断改进的要求，提出了程序控制的设想。1969年美国数字设备公司(DEC)率先研制出第一台可编程序控制器(简称PLC)，在通用汽车公司的自动装配线上试用获得成功。可编程控制器结合了计算机和继电-接触器控制系统的优点，采用计算机的软件控制方式，灵活性、通用性好，操作简单方便、价格便宜，是一种能适应工业环境的通用控制装置，可编程控制器简化了编程方法和程序输入方式，使不熟悉计算机的人员也能很快掌握它的使用技术。从此以后，许多国家的著名厂商竞相研制，各自形成系列，而且品种更新很快，功能不断增强，从最初的逻辑控制、顺序控

制，发展成为具有逻辑判断、定时、计数、记忆和算术运算、数据处理、联网通信及 PID 回路调节等功能的现代可编程序控制器。PLC 的另一个突出优点是可靠性很高，平均无故障运行时间可达 10 万小时以上，可以大大减少设备维修费用和停产造成的经济损失。当前 PLC 已经成为电气自动控制系统中应用最为广泛的核心装置。

二、本课程的性质与任务

本课程是一门实用性很强的专业课，主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象，介绍继电-接触器控制系统和 PLC 控制系统的工作原理、应用技术，典型机械的电气控制电路以及电气控制系统的设计方法。

本课程的目标是培养实际应用的能力，具体要求是：

1. 熟悉常用控制电器的结构原理、用途，了解其型号规格并能够正确使用。
2. 熟练掌握继电-接触器控制电路的基本环节，能够独立分析电气控制电路的工作原理。
3. 熟悉典型设备电气控制系统，具有从事电气设备安装调试、维修管理等知识。
4. 掌握 PLC 的基本原理及编程方法，能够根据工艺过程和控制要求进行系统设计和编写应用程序。
5. 具有设计和改进一般机械设备电气控制电路的基本能力。

第1章 常用低压电器

1.1 低压电器的基础知识

低压电器是指工作在交流额定电压 1200V、直流额定电压 1500V 及以下的电路中，根据外界施加的信号和要求，通过手动或自动方式，断续或连续地改变电路参数，以实现电路或非电对象的切换、控制、检测、保护、变换和调节的电器。

低压电器广泛应用于工业、农业、交通、国防以及人们日常生活中，低压供电的输送、分配和保护是依靠刀开关、自动开关以及熔断器等低压电器来实现的。而低压电力的使用则是将电能转换为其他能量，其过程中的控制、调节和保护都是依靠各类接触器和继电器等低压电器来完成的。无论是低压供电系统还是控制生产过程的电力拖动控制系统均是由用途不同的各类低压电器所组成。

1.1.1 低压电器的分类

低压电器的种类繁多，按其结构、用途及所控制的对象不同，可以有不同的分类方式，常用的有以下三种分类方式。

1. 按用途和控制对象不同，可将低压电器分为配电电器和控制电器

(1) 用于低压电力网的配电电器 这类电器包括刀开关、转换开关、空气断路器和熔断器等。对配电电器的主要技术要求是断流能力强、限流效果好，在系统发生故障时保护动作准确，工作可靠，有足够的热稳定性和动稳定性。

(2) 用于电力拖动及自动控制系统的控制电器 这类电器包括接触器、起动器和各种控制继电器等。对控制电器的主要技术要求是操作频率高、寿命长，有相应的转换能力。

2. 按操作方式不同，可将低压电器分为自动电器和手动电器

(1) 自动电器 通过电磁(或压缩空气)操作来完成接通、分断、起动、反向和停止等动作的电器称为自动电器。常用的自动电器有接触器、继电器等。

(2) 手动电器 通过人力做功直接操作来完成接通、分断、起动、反向和停止等动作的电器称为手动电器。常用的手动电器有刀开关、转换开关和主令电器等。

3. 按工作原理的不同，可分为非电量控制电器和电磁式电器

(1) 非电量控制电器 电器的工作是靠外力或某种非电物理量的变化而动作的电器，如行程开关、按钮、速度继电器、压力继电器和温度继电器等。

(2) 电磁式电器 根据电磁感应原理来工作的电器，如接触器、各类电磁式继电器等。电磁式电器在低压电器中占有十分重要的地位，在电气控制系统中应用最为普遍。

另外，低压电器按工作条件还可划分为一般工业电器、船用电器、化工电器、矿用电器、牵引电器及航空电器等几类，对不同类型低压电器的防护形式、耐潮湿、耐腐蚀、抗冲击等性能的要求不同。

1.1.2 电磁式低压电器的基本知识

在结构上, 电器一般都具有两个基本组成结构, 即检测部分和执行部分。检测部分接受外界输入的信号, 通过转换、放大与判断做出一定的反应, 使执行部分动作, 输出相应的指令, 实现控制的目的。对于有触点的电磁式电器, 检测部分是电磁机构, 执行部分是触头系统。

1. 电磁机构

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 所示是直动式和拍合式电磁机构的常用结构形式, 图 1-1a 和图 1-1b 所示为直动式和拍合式电磁机构, 图 1-1c 所示为直动式电磁机构。

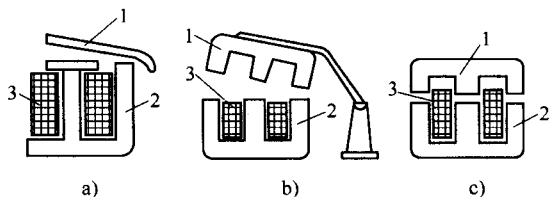


图 1-1 常见的电磁机构
1—衔铁 2—铁心 3—吸引线圈

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。根据线圈在电路中的连接方式不同可分为串联线圈(即电流线圈)和并联线圈(即电压线圈)。串联(电流)线圈串接在电路中, 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)线圈并联在电路上, 为减少分流作用, 降低对原电路的影响, 需要较大的阻抗, 因此线圈的导线细且匝数多。

(1) 直流电磁铁和交流电磁铁 按吸引线圈所通电流种类的不同, 电磁铁可分为直流电磁铁和交流电磁铁。

直流电磁铁由于通入的是直流电, 其铁心不发热, 只有线圈发热, 因此, 线圈与铁心接触以利散热, 线圈做成无骨架、高而薄的瘦高形, 以改善线圈自身散热。铁心和衔铁由软钢和工程纯铁制成。

交流电磁铁由于通入的是交流电, 铁心中存在磁滞损耗和涡流损耗, 这样线圈和铁心都发热, 所以交流电磁铁的吸引线圈设有骨架, 使铁心与线圈隔离。另外, 将线圈制成短而厚的矮胖形, 这样做有利于铁心和线圈的散热。铁心用硅钢片叠加而成, 以减小涡流损耗。

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。衔铁在复位弹簧的作用下回到原位。因此, 作用在衔铁上的力有两个: 电磁吸力与反力。电磁吸力由电磁机构产生, 反力则由复位弹簧和触头弹簧所产生。铁心吸合时要求电磁吸力大于反力, 即衔铁位移的方向与电磁吸力方向相同; 衔铁复位时要求反力大于电磁吸力。直流电磁铁的电磁吸力公式为

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

式中 F ——电磁吸力(N);

B ——气隙磁感应强度(T);

S ——磁极截面积(m^2)。

由式(1-1)可知, 当线圈中通以直流电时, B 不变, F 为恒值。当线圈中通以交流电时,

磁感应强度为交变量，即

$$B = B_m \sin \omega t \quad (1-2)$$

由式(1-1)和式(1-2)可得：

$$\begin{aligned} F &= 4B^2 S \times 10^5 \\ &= 4S \times 10^5 B_m^2 \sin^2 \omega t \\ &= 2B_m^2 S (1 - \cos^2 \omega t) \times 10^5 \\ &= 2B_m^2 S \times 10^5 - 2B_m^2 S \times 10^5 \cos^2 \omega t \end{aligned} \quad (1-3)$$

由式(1-3)可知，交流电磁铁的电磁吸力在0(最小值)~ F_m (最大值)之间变化，其吸力变化曲线如图1-2所示。在一个周期内，当电磁吸力的瞬时值大于反力时，铁心吸合；当电磁吸力的瞬时值小于反力时，铁心释放。所以电源电压变化一个周期，电磁铁吸合两次、释放两次，使电磁机构产生剧烈的振动和噪声，因而不能正常工作。

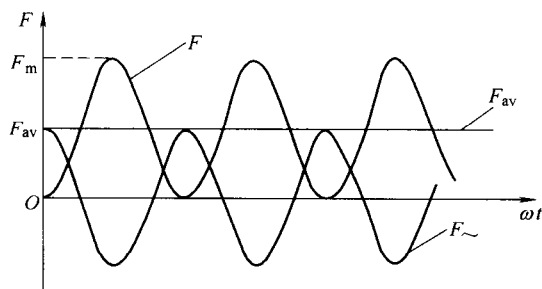


图 1-2 交流电磁铁吸力变化情况

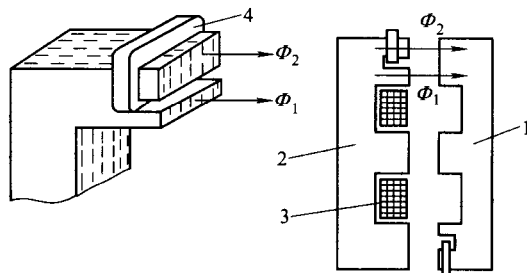


图 1-3 交流电磁铁的短路环

1—衔铁 2—铁心 3—线圈 4—短路环

(2) 短路环的作用 为了消除交流电磁铁产生的振动和噪音，在铁心的端面开一小槽，在槽内嵌入铜制短路环，如图1-3所示。加上短路环后，磁通被分成大小相近、相位相差约 90° 电角度的两相磁通 Φ_1 和 Φ_2 ，因此两相磁通不会同时为零。由于电磁吸力与磁通的平方成正比，所以由两相磁通产生的合成电磁吸力较为平坦，在电磁铁通电期间电磁吸力始终大于反力，使铁心牢牢吸合，这样就消除了振动和噪音。

2. 触头系统

触头是电磁式电器的执行部分，电器是通过触头的动作来分合被控制电路的。触头在闭合状态下动、静触头完全接触，并有工作电流通过时，称为电接触。电接触的情况将影响触头的工作可靠性和使用寿命。影响电接触工作情况的主要因素是触头的接触电阻，接触电阻大时，易使触头发热温度升高，从而易使触头产生熔焊现象，这样既影响工作可靠性，又降低了触头的寿命。触头的接触电阻不仅与触头的接触形式有关，而且还与接触压力、触头材料及表面状况有关。

触头主要有两种结构形式：桥式触头和指形触头，如图1-4所示。

触点的接触形式有点接触、线接触和面接触三种，如图1-5所示。

当动、静触点闭合后，不可能是全部紧

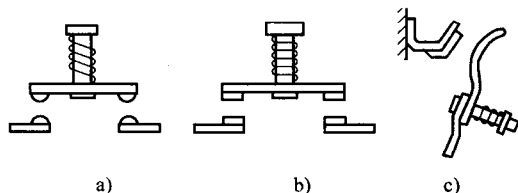


图 1-4 触头的结构形式

密地接触，从微观来看，只是在一些突出的凸起点存在着有效接触，从而造成了从一个导体到另外一个导体的过渡区域。在过渡区域里，电流只通过一些相接触的凸起点，因而使这个区域的电流密度大大增加。另外，由于只是一些凸起点相接触，使有效导电面积减小，因此该区域的电阻远远大于金属导体的电阻。这种由于动、静触点闭合时在过渡区域所形成的电阻，称为接触电阻。由于接触电阻的存在，不仅会造成一定的电压损失，还会使铜耗增加，造成触点温升超过允许值。这样，触点在较高的温度下很容易产生熔焊现象而使触点工作不可靠，因此，在实际中，应采取相应措施来减小接触电阻，限制触点的温升。

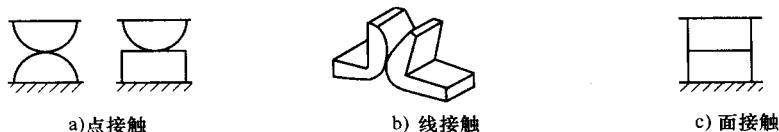


图 1-5 触点的接触形式

3. 电弧与灭弧方法

触点在通电状态下动、静触点脱离接触时，由于电场的存在，使触点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点金属表面，降低电器的寿命，又延长了电路的分断时间，所以须采取一定的措施使电弧迅速熄灭。

常用的灭弧方法有增大电弧长度、冷却弧柱、把电弧分成若干短弧等。灭弧装置就是根据这些原理设计的。

(1) 电动力吹弧 电动力吹弧如图 1-6 所示。桥式触点在分断时本身就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。

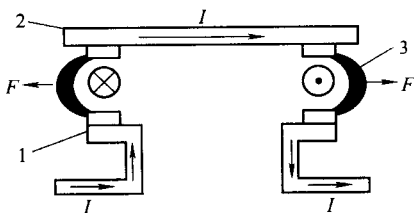


图 1-6 电动力灭弧示意图

1—静触头 2—动触头 3—电弧

(2) 磁吹灭弧 在触点电路中串入吹弧线圈，如图 1-7 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“×”所示)。触点间的电弧所产生的磁场，其方向为图中“·”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 灭弧栅是一组薄铜片，它们彼此间相互绝缘，如图 1-8 所示。当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。每两片灭弧栅片之间都有 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。

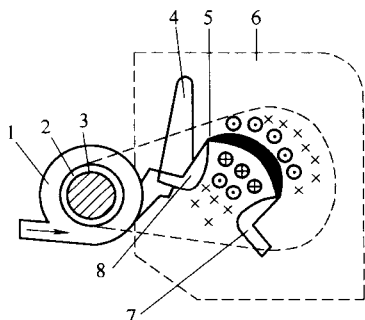


图 1-7 磁吹灭弧示意图

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

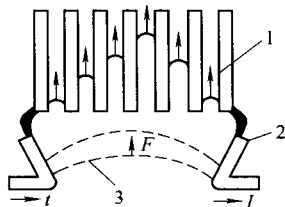


图 1-8 栅片灭弧示意图

- 1—灭弧栅片 2—触点
3—电弧

1.2 刀开关

刀开关是低压配电电器中结构最简单、应用最广泛的电器，主要用在低压成套配电装置中，作为不频繁地手动接通和分断交直流电路或作隔离开关用。也可以用于不频繁地接通与分断额定电流以下的负载，如小型电动机等。

1.2.1 刀开关的结构

刀开关的典型结构如图 1-9 所示，它由手柄、触刀、静插座和底板组成。刀开关按极数分为单极、双极和三极；按操作方式分为直接手柄操作式、杠杆操作机构式和电动操作机构式；按刀开关转换方向分为单投和双投等。

1.2.2 常用的刀开关

目前常用的刀开关型号有 HD(单投)和 HS(双投)等系列。其中 HD 系列刀开关按现行新标准应该称 HD 系列刀形隔离器，而 HS 系列为双投刀形转换开关。在 HD 系列中，HD11、HD12、HD13、HD14 为老型号，HD17 系列为新型号，产品结构基本相同，功能相同。

HD 系列刀开关、HS 系列刀形转换开关，主要用于交流 380V、50Hz 电力网络中作电源隔离或电流转换之用，是电力网络中必不可少的电器元件，常用于各种低压配电柜、配电箱、照明箱中。当电源接入，首先是接刀开关，之后再接熔断器、断路器、接触器等其他电器元件，以满足各种配电柜、配电箱的功能要求。当其以下的电器元件或电路中出现故障，切断电源就靠它来实现，以便对设备、电器元件的修理更换。HS 系列刀形转换开关，主要用于转换电源，即当一路电源不能供电，需要另一路电源供电

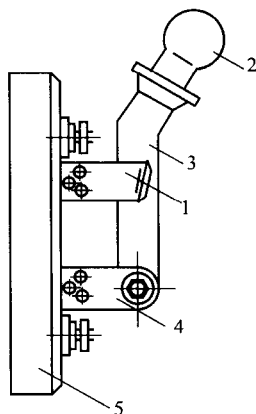
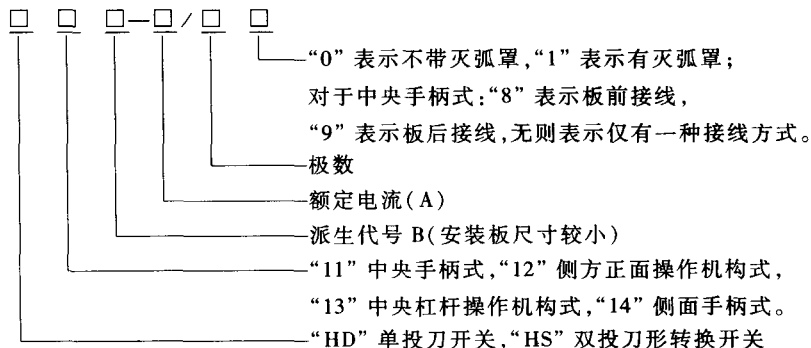


图 1-9 刀开关典型结构

- 1—静插座 2—手柄
3—触刀 4—铰链支座
5—绝缘底板

时就由它来进行转换，当转换开关处于中间位置时，可以起隔离作用。

刀开关的型号及其含义如下：



HD17 系列刀开关的主要技术参数见表 1-1。

为了使用方便和减小体积，在刀开关上安装熔丝或熔断器，组成兼有通断电路和保护作用的开关电器，如胶盖刀开关、熔断器式刀开关等。

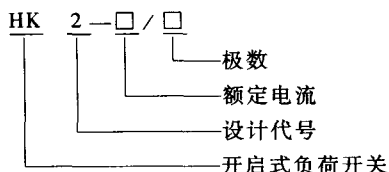
表 1-1 HD17 系列刀开关的主要技术参数

额定 电流 /A	通断能力/A			在 AC380V 和 60% 额定电流时， 刀开关的电气 寿命/次	电动稳定 性电流峰 值/kA	1s 热稳 定性电 流/kA
	AC 380V $\cos\phi$ = 0.72 ~ 0.8	DC				
		220V	440V			
200	200	200	100	1000	30	10
400	400	400	200	1000	40	20
600	600	600	300	500	50	25
1000	1000	1000	500	500	60	30
1500	—	—	—	—	80	40

1.2.3 胶盖刀开关

胶盖刀开关即开启式负荷开关，适用于交流 50Hz，额定电压单相 220V、三相 380V，额定电流至 100A 的电路中，作为不频繁地接通和分断有负载电路与小容量电路的短路保护之用。其中三极开关适当降低容量后，可作为小型感应电动机手动不频繁操作的直接起动及分断用。常用的有 HK1 和 HK2 系列。

胶盖刀开关的型号及其含义如下：



HK2 系列开启式负荷开关的主要技术参数列于表 1-2。

表 1-2 HK2 开启式负荷开关的主要技术参数

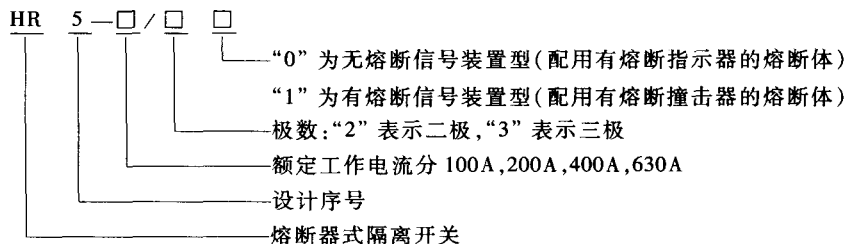
型号规格	额定电压/V	极数	额定电流/A	型号规格	额定电压/V	极数	额定电流/A
HK2—100/3	380	3	100	HK2—60/2	220	2	60
HK2—60/3	380	3	60	HK2—30/2	220	2	30
HK2—30/3	380	3	30	HK2—15/2	220	2	15
HK2—15/3	380	3	15	HK2—10/2	220	2	10

1.2.4 熔断器式刀开关

熔断器式刀开关即熔断器式隔离开关，是以熔断体或带有熔断体的载熔件作为动触点的一种隔离开关。常用的型号有 HR3、HR5、HR6 系列，主要用于额定电压 AC 660 V (45 ~ 62 Hz)，额定发热电流至 630A 的具有高短路电流的配电电路和电动机电路中，作为电源开关、隔离开关、应急开关，并作电路保护用，但一般不作直接开关单台电动机之用。HR5、HR6 熔断器式隔离开关中的熔断器为 NT 型低压高分断型熔断器。NT 型熔断器系引进德国 AEG 公司制造技术生产的产品。

HR5、HR6 系列若配有熔断撞击器的熔断体，当某极熔断体熔断，撞击器弹出使辅助开关发出信号，以实现断相保护。

熔断器式刀开关的型号及其含义如下：



HR5 系列熔断器的主要技术参数及所配用的熔断体列于表 1-3。

表 1-3 HR5 系列熔断器式隔离开关的主要技术参数

额定工作电压/V	380		660	
	约定发热电流/A	100	200	400
熔体电流值/A	4 ~ 160	80 ~ 250	125 ~ 400	315 ~ 630
熔断体型号	00	1	2	3

另外，还有封闭式负荷开关即铁壳开关，常用的型号为 HH3、HH4 系列，适用于额定工作电压 380V、额定工作电流至 400A、频率 50Hz 的交流电路中，可作为手动不频繁地接通、分断有负载的电路，并有过载和短路保护作用。

1.2.5 刀开关的选用及图形、文字符号

刀开关的额定电压应等于或大于电路额定电压。其额定电流应等于(在开启和通风良好的场合)或稍大于(在封闭的开关柜内或散热条件较差的工作场合，一般选 1.15 倍)电路工作

电流。在开关柜内使用还应考虑操作方式，如杠杆操作机构、旋转式操作机构等。当用刀开关控制电动机时，其额定电流要大于电动机额定电流的 3 倍。

刀开关的图形符号及文字符号如图 1-10 所示。

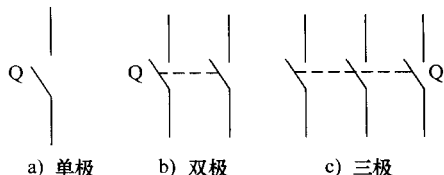


图 1-10 刀开关的电气符号

1.3 组合开关

组合开关是转换开关的一种，也是刀开关的一种。不过它的刀片（动触片）是转动式的，比刀开关轻巧而且组合性强，有各种不同组合。

组合开关有单极、双极和三极之分，由若干个动触点及静触点分别装在数层绝缘件内组成，动触点随手柄旋转而变更其通断位置。顶盖部分是由滑板、凸轮、扭簧及手柄等零件构成操作机构。由于该机构采用了扭簧储能结构从而能快速闭合及分断开关，使开关闭合和分断的速度与手动操作无关，提高了产品的通断能力。其结构示意图如图 1-11 所示。由图可知，静止时虽然触点位置不同，但当手柄转动 90° 时，三对动、静触点均闭合，接通电路。

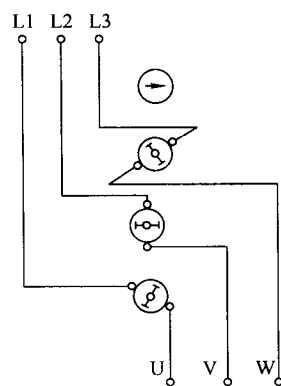
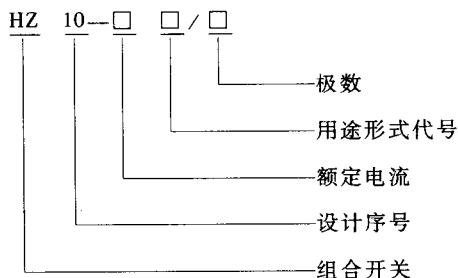


图 1-11 组合开关结构示意图

常用的组合开关有 HZ5、HZ10 和 HZW(3LB、3ST1) 系列。其中 HZW 系列主要用于三相异步电动机带负荷起动、转向以及作主电路和辅助电路转换之用，可全面代替 HZ10、HZ12、LW5、LW6、HZ5-S 等转换开关。

HZW1 开关采用组合式结构，由定位系统、限位系统、接触系统及面板手柄等组成。接触系统采用桥式双断点结构。绝缘基座分为 1~10 节共 10 种，定位系统采用棘爪式结构，可获得 360° 旋转范围内 90°、60°、45°、30° 定位，相应实现 4 位、6 位、8 位、12 位的开关状态。

组合开关的型号及其含义如下：



HZ10 系列组合开关的主要技术参数见表 1-4。

组合开关的图形和文字符号如图 1-12 所示。

表 1-4 HZ10 系列组合开关主要技术参数

型 号	用 途	AC/A		DC/A		次 数
		接通	断开	接通	断开	
HZ10—10(1,2,3 极)	作配电	10	10	10		10000
HZ10—25(2,3 极)	电器用	25	25	25		15000
HZ10—60(2,3 极)	作控制交流 电动机用	60	60	60		5000
HZ10—10(3 极)		60	10			5000
HZ10—25(3 极)		150	25			

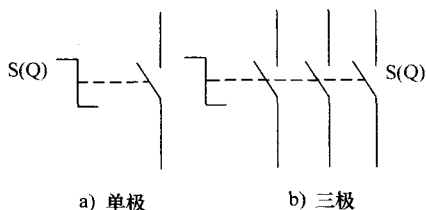


图 1-12 组合开关的图形和文字符号

1.4 熔断器

熔断器是一种广泛应用的、简单有效的保护电器，在电路中用于过载与短路保护。具有结构简单、体积小、重量轻、使用维护方便、价格低廉等优点。熔断器的主体是低熔点金属丝或金属薄片制成的熔体，串联在被保护的电路中。在正常情况下，熔体相当于一根导线，当发生短路或过载时，电流很大，熔体因过热熔化而切断电路。

1.4.1 熔断器的结构和工作原理

熔断器主要由熔体（俗称保险丝）和安装熔体的熔管（或熔座）组成。熔体是熔断器的主要部分，其材料一般由熔点较低、电阻率较高的金属材料铝锡合金丝、铅锡合金丝或铜丝制成。熔管是装熔体的外壳，由陶瓷、绝缘钢纸或玻璃纤维制成，在熔体熔断时兼有灭弧作用。

熔断器的熔体与被保护的电路串联，当电路正常工作时，熔体允许通过一定大小的电流而不熔断。当电路发生短路或严重过载时，熔体中流过很大的故障电流，当电流产生的热量达到熔体的熔点时，熔体熔断切断电路，从而达到保护电路的目的。

电流流过熔体时产生的热量与电流的平方、电流通过的时间成正比，因此，电流越大，则熔体熔断的时间越短。这一特性称为熔断器的保护特性（或安秒特性），如图 1-13 所示。

熔断器的安秒特性为反时限特性，即短路电流越大，熔断时间越短，这样就能满足短路保护的要求。由于熔断器对过载反应不灵敏，不宜用于过载保护，主要用于短路保护。表 1-5 所示为某熔体安秒特性数值关系。

表 1-5 常用熔体的安秒特性

熔体通过电流/A	$1.25I_N$	$1.6I_N$	$1.8I_N$	$2.0I_N$	$2.5I_N$	$3I_N$	$4I_N$	$8I_N$
熔断时间/s	∞	3600	1200	40	8	4.5	2.5	1

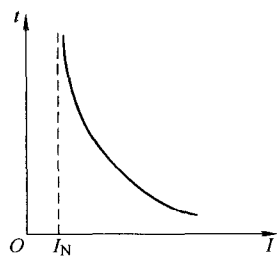


图 1-13 熔断器的保护特性

1.4.2 熔断器的分类

熔断器的种类很多，按结构形式可分为插入式熔断器、螺旋式熔断器、封闭管式熔断