




电气控制与 可编程控制器

王斌鹏 董霞 孙涛 肖中俊 编著

 中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

电气控制与可编程控制器

王斌鹏 董霞 孙涛 肖中俊 编著



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书内容包括电气控制基础和可编程控制器两大部分,分为8章:第1章、第2章以电气控制基础为主,系统介绍了电气控制系统基本概念、常用低压电器和电气控制电路分析方法;第3章至第8章以可编程控制器为主,重点介绍了西门子公司S7-300 PLC的工作原理、系统组成与硬件组态、基本指令及应用、功能指令及应用、程序结构与设计及在模拟量闭环控制中的应用。本书体系完整、通俗易懂、注重实际、强调应用,是一本工程性较强的应用研究型专业书籍。

本书可作为高等院校自动化、电气工程及其自动化、测控技术与仪器、电力系统自动化、机械设计制造及其自动化等相关专业的教材,也可供从事相关技术工作的工程技术人员、科技工作者自学和参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与可编程控制器/王斌鹏等编著. —北京:电子工业出版社,2019.7

ISBN 978-7-121-36047-3

I. ①电… II. ①王… 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. ①TM571.2
②TM571.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第033829号

策划编辑:赵玉山 杜 军

责任编辑:底 波

印 刷:三河市华成印务有限公司

装 订:三河市华成印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:14.25 字数:383千字

版 次:2019年7月第1版

印 次:2019年7月第1次印刷

定 价:39.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: zhaoyz@phei.com.cn。

前 言

可编程控制器（PLC）是为工业控制应用而设计制造的一种新型的、通用的自动控制装置。它以微处理器为核心，综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术，具有可靠性高、配置灵活、使用方便、易于扩展等优点，成为现代工业自动化的三大支柱（PLC、CAD/CAM、机器人）之一，在工业控制领域和许多其他行业得到了迅猛发展。

本书内容以电气控制系统和西门子 S7-300 可编程控制器应用技术为主，系统介绍了常用低压电器的基本知识、电气控制电路分析方法、可编程控制器概述、S7-300 PLC 软硬件基础及其自动化控制系统中的应用。为了便于教学和自学，本书精心编写了大量的例题及其实现程序。此外，本书精心挑选的工程实例都有较为详细的设计步骤，对从事自动化系统设计、系统集成的工程师也有一定的帮助。

本书分 8 章，由齐鲁工业大学（山东省科学院）王斌鹏、董霞、孙涛、肖中俊 4 位教师共同参与编写，具体分工为：王斌鹏编写第 3 章、第 4 章、第 5 章、第 6 章和第 7 章；董霞编写第 1 章、第 2 章和第 8 章；孙涛、肖中俊对全书进行修改和统稿。本书的编写得到了齐鲁工业大学（山东省科学院）电气工程与自动化学院各级领导的大力支持，同时，藏家义、张慧等教师也做了许多具体工作，在此一并表示感谢。

此外，本书在编写过程中参考了一些相关的优秀教材及西门子公司官网技术资源，特此对相关人员表示谢意。

由于编者水平有限，书中难免会有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 电气控制系统常用器件	(1)
1.1 电器的基本知识	(1)
1.1.1 电器的定义和分类	(1)
1.1.2 电磁式低压电器	(2)
1.2 熔断器	(6)
1.2.1 熔断器的结构和分类	(6)
1.2.2 熔断器的安秒特性	(8)
1.2.3 熔断器的技术数据	(9)
1.2.4 熔断器的选择	(9)
1.3 低压断路器	(10)
1.3.1 低压断路器的结构及工作原理	(10)
1.3.2 低压断路器的类型	(11)
1.3.3 低压断路器的主要技术数据	(12)
1.3.4 低压断路器的选择及使用	(12)
1.4 接触器	(13)
1.4.1 接触器的分类	(13)
1.4.2 接触器的结构及工作原理	(13)
1.4.3 接触器的型号及主要技术数据	(15)
1.4.4 接触器的选择与使用	(16)
1.5 继电器	(17)
1.5.1 电磁式继电器	(17)
1.5.2 时间继电器	(20)
1.5.3 热继电器	(20)
1.5.4 速度继电器	(24)
1.5.5 其他功能继电器	(24)
1.6 主令电器	(26)
1.6.1 控制按钮	(26)
1.6.2 转换开关	(27)
1.6.3 行程开关	(28)
1.6.4 接近开关	(29)
1.6.5 光电开关	(30)
1.7 信号电器	(31)
1.8 常用的执行器件	(31)
1.8.1 电磁执行器件	(32)
1.8.2 驱动设备	(33)

1.9	常用的检测仪表	(34)
1.10	常用电气安装附件	(36)
	本章小结	(37)
	思考题与练习题	(37)
第2章	电气控制电路基础	(39)
2.1	电气控制系统图	(39)
2.1.1	电气图中常用的图形符号和文字符号	(40)
2.1.2	电气原理图的绘制原则	(48)
2.1.3	电气元件布置图的绘制原则	(50)
2.1.4	电气安装接线图的绘制原则	(50)
2.2	三相笼型异步电动机的基本控制电路	(51)
2.2.1	全压启动控制电路	(51)
2.2.2	点动控制电路	(52)
2.2.3	正反转控制电路	(53)
2.2.4	多点控制电路	(54)
2.2.5	顺序控制电路	(54)
2.2.6	自动往复控制电路	(55)
2.3	三相笼型异步电动机降压启动控制电路	(56)
2.3.1	星形-三角形降压启动控制电路	(56)
2.3.2	软启动器及其使用	(57)
2.4	三相笼型异步电动机速度控制电路	(61)
2.4.1	基本概念	(62)
2.4.2	变极调速控制电路	(62)
2.4.3	变频调速与变频器的使用	(63)
2.5	三相异步电动机的制动控制电路	(70)
2.5.1	反接制动控制电路	(70)
2.5.2	能耗制动控制电路	(72)
	本章小结	(73)
	思考题与练习题	(74)
第3章	可编程控制器概述	(76)
3.1	可编程控制器的产生和定义	(76)
3.1.1	可编程控制器的产生	(76)
3.1.2	PLC的定义	(77)
3.2	PLC的发展	(78)
3.2.1	PLC的发展历史	(78)
3.2.2	PLC的发展趋势	(79)
3.3	PLC的特点	(81)
3.4	PLC的应用领域	(83)
3.5	PLC的系统组成	(84)
3.6	PLC的分类	(86)
3.6.1	按输入/输出点数容量分类	(86)

3.6.2	按结构形式分类	(87)
3.6.3	按功能分类	(88)
3.7	PLC的工作方式、原理及特点	(89)
3.7.1	PLC的工作方式	(89)
3.7.2	PLC工作原理	(89)
3.7.3	循环扫描工作方式的特点	(90)
3.8	PLC的编程语言	(91)
	本章小结	(93)
	思考题与练习题	(94)
第4章	S7-300 PLC 系统组成与硬件组态	(95)
4.1	S7-300 PLC 的模块简介	(95)
4.1.1	中央处理单元 (CPU)	(95)
4.1.2	信号模块 (SM)	(99)
4.1.3	电源模块 (PS)	(103)
4.1.4	接口模块	(104)
4.1.5	功能模块	(104)
4.1.6	通信处理模块	(105)
4.2	S7-300 PLC 控制系统组成	(106)
4.2.1	系统模块结构	(106)
4.2.2	模块地址分配	(107)
4.3	硬件组态	(109)
4.3.1	STEP 7 简介	(109)
4.3.2	创建项目	(110)
4.3.3	硬件搭建与参数设置	(111)
	本章小结	(114)
	思考题与练习题	(114)
第5章	S7-300 PLC 基本指令及应用	(116)
5.1	S7-300 编程基础	(116)
5.1.1	数制	(116)
5.1.2	数据类型	(117)
5.1.3	S7-300 PLC 的存储器	(120)
5.1.4	CPU 中的寄存器	(121)
5.1.5	寻址方式	(123)
5.2	位逻辑指令	(126)
5.2.1	触点与线圈指令	(126)
5.2.2	置位和复位指令	(128)
5.2.3	RS 与 SR 触发器指令	(130)
5.2.4	RLO 边沿检测指令	(130)
5.3	定时器和计数器	(132)
5.3.1	定时器	(132)
5.3.2	计数器	(140)

本章小结	(143)
思考题与练习题	(144)
第 6 章 S7-300 PLC 功能指令及应用	(146)
6.1 数据传送指令	(146)
6.2 比较指令	(147)
6.3 转换指令	(149)
6.4 数学运算指令	(152)
6.4.1 整数运算指令	(152)
6.4.2 浮点数运算指令	(153)
6.5 移位和循环移位指令	(154)
6.5.1 移位指令	(154)
6.5.2 循环移位指令	(156)
6.6 字逻辑运算指令	(157)
6.7 控制指令	(158)
6.7.1 逻辑控制指令	(158)
6.7.2 程序控制指令	(158)
本章小结	(161)
思考题与练习题	(162)
第 7 章 S7-300 PLC 程序结构与设计	(163)
7.1 用户程序的基本单元	(163)
7.2 符号定义与变量声明	(167)
7.2.1 符号定义	(167)
7.2.2 局部变量声明	(169)
7.3 功能与功能块的编程	(170)
7.3.1 功能 (FC) 的编程	(170)
7.3.2 功能块 (FB) 的编程	(172)
7.4 用户程序的基本结构	(174)
7.5 顺序控制系统的梯形图设计方法	(176)
7.5.1 顺序控制与顺序功能图	(176)
7.5.2 顺序功能图的组成	(176)
7.5.3 顺序功能图的基本结构	(179)
7.5.4 顺序功能图转换实现的基本规则	(180)
7.5.5 使用置位复位指令的顺序控制梯形图编程方法	(180)
7.6 设计实例	(184)
7.6.1 交通灯程序设计	(184)
7.6.2 搅拌系统程序设计	(187)
7.6.3 水箱水位控制系统程序设计	(190)
7.6.4 机械手控制系统程序设计	(195)
本章小结	(202)
思考题与练习题	(203)

第 8 章 S7-300 在模拟量闭环控制系统中的应用	(205)
8.1 模拟量闭环控制与 PID 控制器	(205)
8.1.1 模拟量闭环控制系统的组成	(205)
8.1.2 PID 控制器的数字化	(208)
8.1.3 S7-300 实现 PID 闭环控制的方法	(210)
8.2 连续 PID 控制器 FB41	(211)
8.2.1 设定值与过程变量的处理	(211)
8.2.2 PID 控制算法与输出值的处理	(213)
本章小结	(214)
思考题与练习题	(214)
参考文献	(216)

第1章

电气控制系统常用器件

【教学目标】

1. 了解低压电器的概念和分类。
2. 理解电磁机构的基本结构和工作原理。
3. 掌握各种低压电器的工作原理和作用、型号与规格；能够正确选择和合理使用常用的低压电器。

【教学重点】

1. 电磁机构的基本结构和工作原理。
2. 常用的低压电器（断路器、接触器、继电器、主令电器等）。

低压电器、传感器和执行器是电气自动控制系统的基本组成单元。本章主要介绍常用低压电器的结构、工作原理、使用方法、图形符号及文字符号等有关知识，同时根据电器发展状况，介绍一些新型的电气元件，使大家对常用低压电器有正确的认知和理解，并且能够正确选择和合理使用低压电器。无论电气自动控制系统如何发展，本章所介绍和讲解的内容都是必不可少、最为基础的组成部分，这是因为：一方面，由低压电器组成的继电接触器控制系统仍然是机械设备最常用的电气控制方式；另一方面，PLC（可编程逻辑控制器）是计算机技术和继电接触器控制技术相结合的产物，PLC的输入、输出仍然与低压电器密切相关，因此掌握低压电器知识是学好继电接触器控制技术和PLC的前提和基础。

1.1 电器的基本知识

1.1.1 电器的定义和分类

电器是根据外界特定的信号和要求，手动或自动接通或断开电路，断续或连续地改变电路参数，从而实现电或非电对象的切换、控制、检测、保护、变换及调节的电工器械。电器的用途广泛、功能多样、构造各异，其分类的方法也有很多，常见的分类方法如下所述。

1. 按工作电压等级分类

(1) 高压电器：工作电压在交流 1200V（50Hz 或 60Hz）或直流 1500V 及以上的各种电器，如高压断路器、高压隔离开关、高压熔断器、高压电抗器等。

(2) 低压电器：工作电压在交流 1200V（50Hz 或 60Hz）或直流 1500V 以下的各种电器，

如低压断路器、接触器、继电器、低压熔断器、主令电器等。

2. 按控制方式分类

(1) 手动控制电器：需要人工直接操作才能完成指令任务的电器，如刀开关、转换开关、控制按钮等。

(2) 自动控制电器：无须手动操作，根据电或非电信号的变化自动完成指定任务的电器，如空气断路器、接触器、各种类型的继电器、电磁阀等。

3. 按用途分类

(1) 控制电器：用于各种控制电路和控制系统的电器，对这类电器的主要技术要求是有相应的通断能力和保护功能，操作频率高，电气寿命和机械寿命长，如接触器、中间继电器、时间继电器、速度继电器、液位继电器等。

(2) 主令电器：用于自动控制系统中发送动作指令的电器，对这类电器的主要技术要求是有一定的分断能力，电器的机械寿命长，如按钮、行程开关、万能转换开关等。

(3) 保护电器：用于保护用电设备及电路的电器，对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力和保护功能，可靠性高，反应灵敏，如熔断器、热继电器、电压继电器、电流继电器等各种保护继电器。

(4) 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。

(5) 配电电器：用于电能的输送和分配的电器，对这类电器的主要技术要求是分断能力强、限流效果和保护性能好、动稳定性能及热稳定性能好，如高压断路器、隔离开关、刀开关等。

4. 按工作原理分类

(1) 电磁式电器：采用电磁感应原理完成信号检测及工作状态转换的电器，它是低压电器中应用最广泛、结构最典型的一类，如接触器、各种电磁式继电器等。

(2) 非电量控制电器：依靠外力或某种非电物理量的变化而动作的电器，如刀开关、行程开关、控制按钮、速度继电器、温度继电器等。

5. 按有无触点分类

电器按有无触点可分为有触点电器、无触点电器和混合式电器。

6. 按使用场合分类

电器按使用场合可分为农用电器、民用电器、一般工业用电器、特殊工矿业用电器和其他使用场合（如航空、船舶、军事、防爆）用电器。

由于在工业、农业、交通、国防等绝大多数领域都采用低压供电，因此重点介绍低压电器。常用的低压电器如图 1-1 所示。

1.1.2 电磁式低压电器

电磁式低压电器应用最为广泛，其性价比高、种类繁多，在电气控制系统中大量采用。就其结构而言，大功率电磁式低压电器主要由三部分组成，即电磁机构、触点系统和灭弧装置，小功率电磁式低压电器主要由两部分组成，即电磁机构和触点系统。

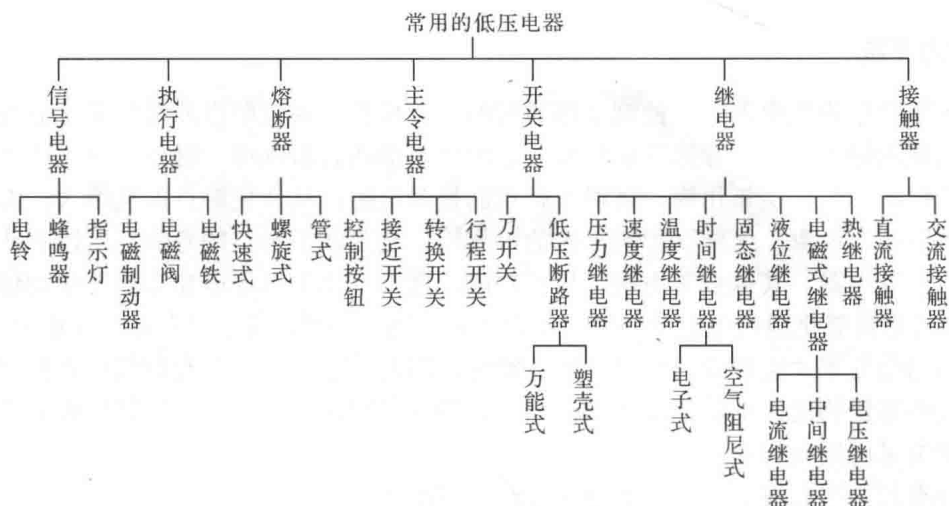


图 1-1 常用的低压电器

1. 电磁机构

电磁机构是电磁式低压电器的核心部分，其作用是将电磁能量转换为机械能量，并且带动触点使之闭合或断开，从而控制电路的接通与分断。

电磁机构由线圈、铁芯和衔铁三部分组成。根据衔铁相对铁芯的运动方式，电磁机构可分为直动式和拍合式两种，拍合式又分为衔铁沿棱角转动和衔铁沿轴转动两种，如图 1-2 所示。衔铁沿棱角转动的电磁机构广泛应用于直流电器，衔铁沿轴转动的电磁机构多用于触点容量较大的交流电器中，双 E 形直动式电磁机构多用于交流接触器和继电器中。

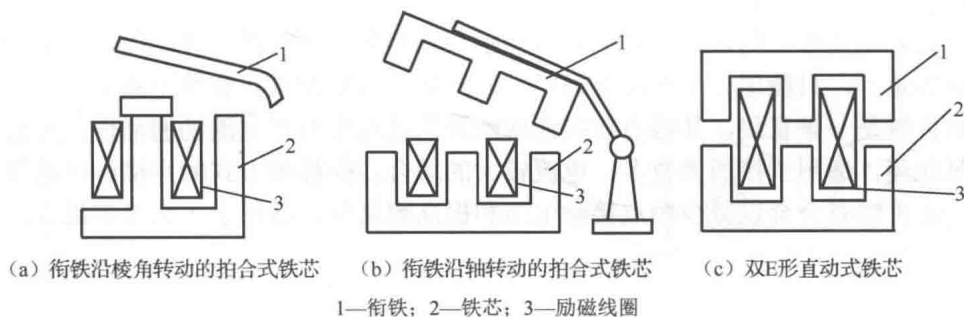


图 1-2 电磁机构

当励磁线圈通入电流后产生磁场，使铁芯成为电磁铁，吸引衔铁运动，从而带动触点动作。根据励磁线圈通入的电流种类不同，可以将电磁机构分为直流电磁机构和交流电磁机构。由于直流电磁机构产生恒定磁场，铁芯几乎不发热，只有线圈发热，所以铁芯通常使用整块钢材或铸铁制成，励磁线圈一般做成无骨架、高而薄的瘦高型，并且直接与铁芯接触，便于散热。交流电磁机构由于产生交变磁场，铁芯存在涡流损耗和磁滞损耗，发热明显，所以通常使用硅钢片叠装而成，励磁线圈设有骨架，使其与铁芯隔离，同时将励磁线圈制成短而厚的矮胖型，以改善线圈和铁芯的散热条件。

另外，根据励磁线圈在电路中的连接形式，可分为串联线圈和并联线圈。串联线圈用于电流检测类电磁式电器中，并联线圈用于电压检测类电磁式电器中，所以串联线圈也称为电流线圈，并联线圈也称为电压线圈。为减少对电路分压的影响，串联线圈采用粗导线制造，匝数少、阻抗小。为减少对电路分流的影响，并联线圈采用细导线制造，匝数多、阻抗大。

2. 触点系统

触点系统是电磁式电器用于控制电路通断的执行机构，通过触点的动作来接通或断开被控电路，因此要求触点导电、导热性能良好，通常采用铜质材料制成。触点长时间工作后，铜表面容易被氧化而产生一层氧化膜，将增大触点的接触电阻，从而使触点能耗增大，温度升高，甚至产生触点熔化现象，这样既影响工作的可靠性，又降低了触点的寿命。所以有些电器，如继电器和小容量电器，其触点常用银质材料制成，这不仅由于其导电和导热性能均优于铜质触点，更主要的是其氧化膜的电阻率与纯银相似（氧化铜则不然，其电阻率可达纯铜的10余倍），而且在较高的温度下才会形成，同时又容易粉化。因此，银质触点具有较低和较稳定的接触电阻。对于大中容量的低压电器，在结构设计上，触点采用滚动接触，可将氧化膜清除，这种结构的触点也常采用铜质材料。

触点分类的方法有很多，常见的分类方法如下所述。

(1) 触点的结构形式分类。

常用电磁式电器触点的结构形式包括双断点桥式触点和单断点指形触点，如图1-3所示。

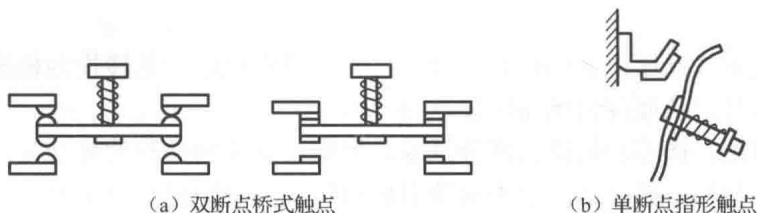


图 1-3 触点的结构形式

(2) 触点的接触方式分类。

常用电磁式电器触点的接触方式包括点接触、线接触和面接触三种，如图1-4所示。点接触方式触点容量小，只能用于小电流电器中，如接触器的辅助触点和继电器的触点；线接触方式触点接触区域是一条直线，其触点在接通或断开的过程中有相对滚动的动作，可有效清除触点表面的氧化膜，适用于接通次数多、电流较大的场合；面接触方式触点接触区域较大，并且多在接触表面上镶有合金以减少触点接触电阻和提高耐磨性，适用于大电流的场合，如较大容量接触器的主触点。



图 1-4 触点的接触方式

(3) 触点的初始状态分类。

在励磁线圈没有通电时，触点的初始状态包括断开和闭合两种，分别称为常开触点和常闭触点。当励磁线圈通电后，电磁机构动作，触点改变原来的状态，常开触点将闭合，使其与相连的电路接通；常闭触点将断开，使其与相连的电路断开。常开触点也称动合触点，常闭触点也称动断触点。

3. 灭弧装置

电弧是一种气体放电现象。在通电状态下，当动、静触点脱离接触的瞬间，由于电路中的电场几乎全部作用于两触点之间，使触点表面的自由电子大量溢出，并在强电场的作用下撞击空气分子，使之电离，电离出的电子呈现累积效应，在触点之间形成炽热的电子流，即电弧。电弧的存在既妨碍了电路及时可靠地分断，又会使触头表面温度骤升，加速氧化过程，降低电器寿命。为此必须采取适当且有效的措施，以保护触头系统，降低其损耗，提高其分断能力，从而保证整个电器安全可靠地工作。

根据电弧产生的机制，可以通过快速增加触点间隙、拉长电弧长度、降低电场强度、增大散热面积等手段灭弧。常用的灭弧方法有以下几种。

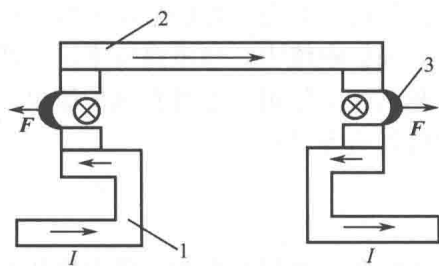
(1) 电动力吹弧。

桥式触点在断开时具有电动力吹弧功能。当触点打开时，在断口中产生电弧，同时也产生如图 1-5 所示的磁场，如“×”符号所示。根据左手定则，电弧电流将会受到一个指向外侧的力 F 的作用，使其迅速离开触点而熄灭。这种灭弧方法结构简单，不需要增加额外装置，但灭弧效果一般，因此多用于小容量的交流接触器中。

(2) 磁吹灭弧。

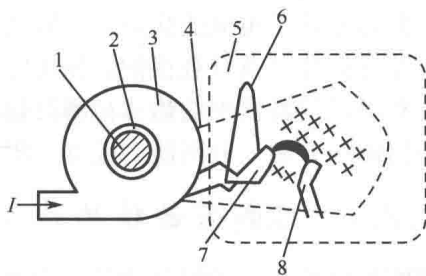
磁吹灭弧的原理是使电弧处于磁场中间，磁场力“吹”长电弧，使其进入冷却装置，加速电弧冷却，促使电弧迅速熄灭。

图 1-6 所示是磁吹式灭弧的原理图。磁场由与触点电路串联的吹弧线圈 3 产生，当电流逆时针流经吹弧线圈时，其产生的磁通经铁芯 1 和导磁夹板 4 引向触点周围。触点周围的磁通方向由纸面流入，如“×”符号所示。由左手定则可知，电弧在磁场中受到一个向上的力 F 的作用，电弧向上运动被拉长并吹入灭弧罩 5 中。引弧角 6 和静触点 7 相连接，引导电弧向上运动，将热量传递给灭弧罩壁，促使电弧熄灭。



1—静触点；2—动触点；3—电弧

图 1-5 双断口结构的电动力吹弧原理图



1—铁芯；2—绝缘管；3—吹弧线圈；4—导磁夹板；
5—灭弧罩；6—引弧角；7—静触点；8—动触点

图 1-6 磁吹灭弧原理图

这种灭弧装置是利用电弧电流本身灭弧，电弧电流越大，吹弧能力越强，且不受电路电流方向的影响（当电流方向改变时，磁场方向随之改变，结果电磁力方向不变）。它广泛地应用于直流感触器中。

(3) 栅片灭弧。

栅片灭弧原理图如图 1-7 所示，灭弧栅片是一组薄钢片，它们彼此间相互绝缘，片间距离为 2~3mm，安放在触点上方的灭弧罩内（图中未画出灭弧罩）。一旦产生电弧，电弧周围产生磁场，导磁的钢片将电弧吸入栅片，当电弧进入栅片后被分割成一段一段串联的短弧，交流电压过零时，电弧自然熄灭。电弧要重燃，两栅片间必须有 150~250V 的电弧压降，一方面电源

电压不足以维持电弧，另一方面栅片具有散热作用，因此，电弧熄灭后很难重燃。这是一种常用的交流灭弧装置。

(4) 窄缝灭弧。

窄缝灭弧原理图如图 1-8 所示，它是利用灭弧罩的窄缝来实现灭弧的。灭弧罩内有一个或数个窄缝，缝的下部宽上部窄。当触点断开时，电弧在电动力的作用下进入缝内，窄缝可将电弧柱分成若干直径较小的电弧，同时可将电弧直径压缩，使电弧同缝紧密接触，加强冷却和去游离作用，可加快电弧的熄灭速度。灭弧罩通常用耐热陶土、石棉水泥和耐热塑料制成。

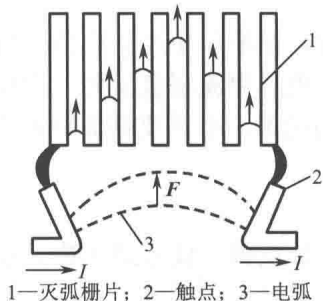


图 1-7 栅片灭弧原理图

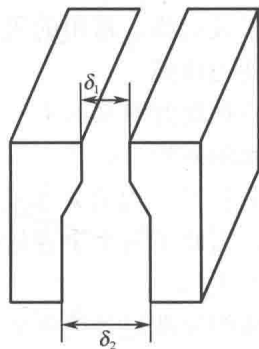


图 1-8 窄缝灭弧原理图

1.2 熔断器

熔断器是基于电流的热效应和发热元件热熔断原理设计的，具有一定的瞬动特性，用于电路的短路保护和严重过载保护。使用时，熔断器串接于被保护电路中，当电路发生短路故障或严重过载时，熔断器中的熔体被瞬时熔断而分断电路，起到保护作用。它具有结构简单、体积小、使用维护方便、分断能力较强、限流性能良好、价格低廉等特点。

1.2.1 熔断器的结构和分类

熔断器由熔体（俗称保险丝）和安装熔体的熔管（或熔座）两部分组成。其中熔体是关键部分，它既是感测元件又是执行元件，熔体是由低熔点的金属材料（如铅、锡、锌、铜、银及其合金等）制成，其形状有丝状、带状、片状等；熔管（或熔座）的作用是安装熔体及在熔体熔断时熄灭电弧，多由陶瓷、绝缘钢纸或玻璃纤维材料制成。

熔断器按其结构形式划分，有瓷插式、螺旋式、有填料密封管式、无填料密封管式、自复式等。按用途划分，有保护一般电气设备用的熔断器，还有保护半导体器件用的快速熔断器。

1. 瓷插式熔断器（RC）

瓷插式熔断器是低压分支电路中常用的一种熔断器，其结构简单、分断能力小，多用于民用和照明电路，其实物图及结构示意图如图 1-9 所示。

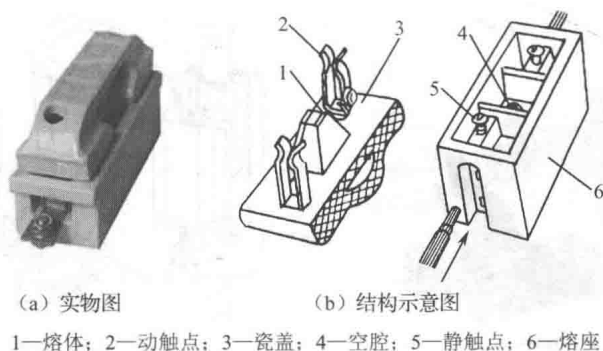


图 1-9 瓷插式熔断器

2. 螺旋式熔断器 (RL)

螺旋式熔断器的熔管内装有石英砂或惰性气体，有利于电弧的熄灭，因此螺旋式熔断器具有较高的分断能力。熔体的上端盖有一个熔断指示器，熔断时红色指示器弹出，可以通过瓷帽上的玻璃孔观察，其实物图及结构示意图如图 1-10 所示。

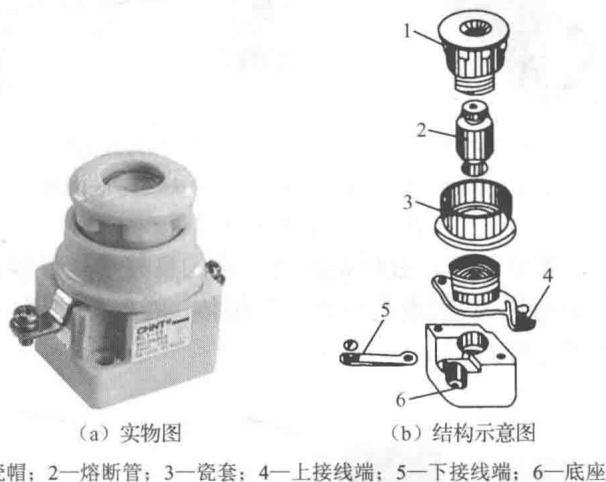


图 1-10 螺旋式熔断器

3. 封闭管式熔断器

封闭管式熔断器分为有填料 (RT)、无填料 (RM) 和快速 (RS) 熔断器三种。有填料熔断器一般用方形瓷管，内装石英砂及熔体，分断能力强，用于较大电流的电力输配电系统中，其实物图及结构示意图如图 1-11 所示。无填料熔断器将熔体装入密闭式圆筒中，分断能力稍小，用于低压电力网络成套配电设备中，其实物图及结构示意图如图 1-12 所示。快速熔断器主要用于半导体器件或整流装置的短路保护。半导体器件的过载能力很低，因此要求短路保护具有快速熔断的能力。快速熔断器的熔体是采用银片冲成的变截面的 V 形熔片，熔管采用有填料的密闭管。快速熔断器的结构与有填料封闭式熔断器的结构基本相同，但熔体材料和形状不同。

4. 自复式熔断器 (RZ)

自复式熔断器是一种新型的熔断器。它采用金属钠作为熔体，在常温下具有高电导率。当电路发生短路故障时，短路电流产生高温使钠迅速气化，气态钠呈现高阻态，从而限制了短路电流。

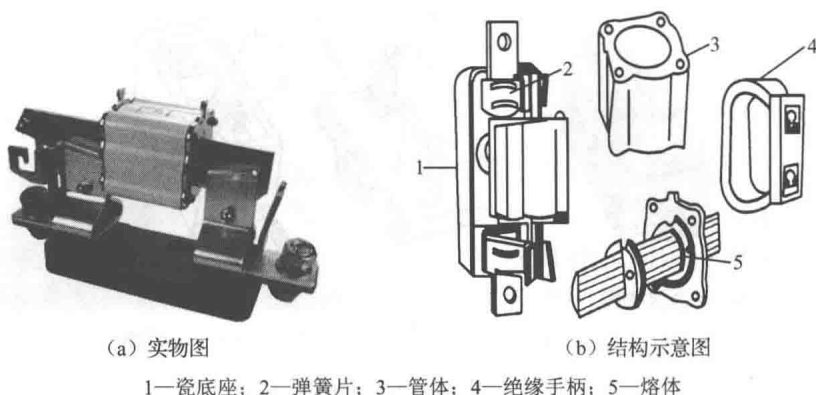


图 1-11 有填料式熔断器

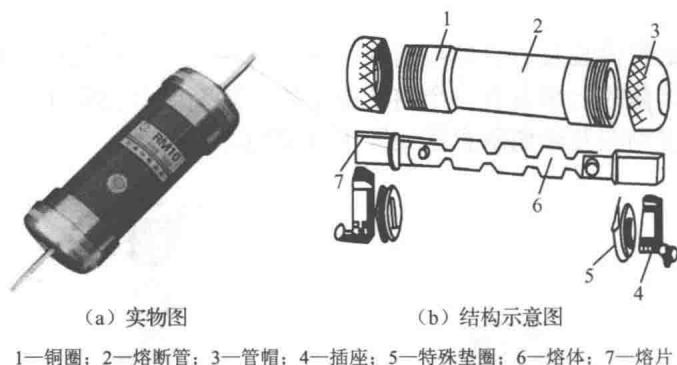


图 1-12 无填料式熔断器

当短路电流消失后，温度下降，金属钠恢复原来的良好导电性能。自复式熔断器只能限制短路电流，不能真正分断电路。其优点是不必更换熔体，能重复使用，其实物图如图 1-13 所示。熔断器的图形和文字符号如图 1-14 所示。

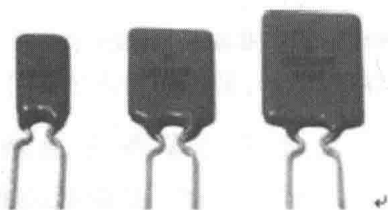


图 1-13 自复式熔断器的实物图



图 1-14 熔断器的图形和文字符号

1.2.2 熔断器的安秒特性

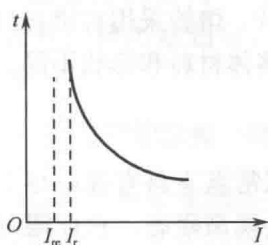


图 1-15 熔断器的安秒特性

熔断器的安秒特性（也称保护特性）是指熔体的熔化电流与熔化时间之间的关系。电流通过熔体时产生的热量与电流的平方及通电时间成正比，即 $Q=I^2Rt$ 。由此可见，电流越大，熔体熔断的时间越短，其特性曲线如图 1-15 所示，由图可知，它具有反时限特性。在安秒特性中有一条熔断与不熔断电流的分界线，与此相对应的电流是最小熔断电流 I_r 。当熔体通过的电流小于 I_r 时，熔体不应熔断。根据对熔断器的要求，熔体在额定电流 I_{re} 时不应