



普通高等教育电气信息类规划教材



免费电子教案下载

[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)



# 电气控制与西门子 S7-300 PLC 编程技术

刘忠超 田金云 主 编

刘增磊 杨 旭 李名莉 副主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育电气信息类规划教材

# 电气控制与西门子 S7 - 300 PLC 编程技术

刘忠超 田金云 主编  
刘增磊 杨旭 李名莉 副主编  
肖东岳 范伟强 参编  
盖晓华 主审

机械工业出版社

西门子 S7 系列 PLC 性能卓越, 广泛应用于各种工业生产中, 在工控市场占有非常大的份额。

本书内容包括电气控制与 PLC 编程技术两部分。电气控制部分包括常用低压电器的工作原理及选型、电气控制电路的分析与设计等; PLC 编程技术以西门子 S7-300 PLC 及其编程软件 STEP 7 为主线, 重点介绍了 PLC 工作原理、硬件结构、编程软件、指令系统、程序结构以及 PLC 控制工程实例等。本书内容丰富、全面系统、实用性强, 理论结合实例清晰易懂, 可以让读者快速掌握西门子自动化的相关技术。

本书可作为高等院校自动化、电气工程及其自动化、机电一体化、计算机控制及相关专业本科教材, 也可作为工程技术人员培训及自学参考书, 同时对西门子自动化系统的用户也是很好的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电气控制与西门子 S7-300 PLC 编程技术 / 刘忠超, 田金云主编. —北京: 机械工业出版社, 2017. 9

普通高等教育电气信息类规划教材

ISBN 978-7-111-57621-1

I. ①电… II. ①刘… ②田… III. ①电气控制-高等学校-教材  
②PLC 技术-高等学校-教材 IV. ①TM571

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 179686 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: 尚 晨 责任编辑: 尚 晨

责任校对: 张艳霞 责任印制: 李 昂

三河市国英印务有限公司印刷

2017 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·18.5 印张·451 千字

0001-3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-57621-1

定价: 49.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: (010)88379833

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线: (010)88379649

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面防伪标均为盗版

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

# 前 言

PLC 是可编程序控制器的简称,是一种在继电器接触器控制技术和计算机控制技术的基础上发展起来的新型工业自动控制装置。PLC 以其控制能力强、可靠性高、配置灵活、编程简单、使用方便、易于扩展等优点,成为工业控制领域中增长速度最迅猛的工业控制设备之一,在机械制造、石油化工、冶金钢铁、汽车、轻工业等领域得到了广泛的应用。

本书以德国西门子公司的 S7-300 PLC 为主,全面介绍了 PLC 的基础知识和应用设计方法,全书共分为 10 章。第 1 章介绍了电气控制的相关知识;第 2 章主要介绍可编程控制器的发展、定义和工作原理等;第 3 章介绍了 S7-300 PLC 的硬件体系和模块特性;第 4 章主要介绍了 S7-300 PLC 的编程软件 STEP 7 的使用方法;第 5 章介绍了 S7-300 PLC 的编程基础;第 6 章重点讲解了 S7-300 PLC 的指令系统;第 7 章介绍了 PLC 编程方法,重点是结构化编程;第 8 章介绍了数据块和组织块的使用方法;第 9 章介绍了模拟量控制的处理及闭环控制;第 10 章结合工程实例给出了 PLC 控制系统的设计原则、内容和步骤。

本书由南阳理工学院刘忠超、田金云任主编,南阳理工学院刘增磊、杨旭、河南工业职业技术学院李名莉任副主编。第 1 章由刘增磊编写,第 3 章、第 4 章由杨旭编写,第 2 章、第 8 章由李名莉编写,第 6 章由刘忠超编写,第 7 章、第 9 章、第 10 章由田金云编写,第 5 章由中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院范伟强编写。肖东岳对全书进行了校对,朱清慧、翟天嵩、盖晓华、崔世林、殷华文参加了本书的出版和审阅工作,在此一并表示衷心的感谢。刘忠超负责本书的结构和组织安排,并对全书进行了整理和统稿。

由于编者水平和时间有限,书中难免有疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编者

# 目 录

## 前言

第1章 电气控制基础	1
1.1 常用低压电器	1
1.1.1 刀开关	2
1.1.2 熔断器	4
1.1.3 断路器	6
1.1.4 接触器	8
1.1.5 控制继电器	9
1.1.6 主令电器	16
1.2 电气图中的图形符号和文字符号	20
1.2.1 电器的文字符号	20
1.2.2 电器的图形符号	20
1.3 电气图基本知识	25
1.4 三相异步电动机的基本控制电路	27
1.4.1 基本控制环节	27
1.4.2 三相异步电动机起动控制	30
1.4.3 三相异步电动机制动控制	32
1.4.4 三相异步电机调速控制线路	33
习题	35
第2章 可编程序控制器概述	36
2.1 PLC 简介	36
2.1.1 PLC 的产生	36
2.1.2 PLC 的发展	37
2.1.3 PLC 的定义	37
2.1.4 PLC 的分类	38
2.1.5 PLC 的特点	39
2.1.6 PLC 性能指标	41
2.2 PLC 硬件组成	41
2.3 PLC 编程环境和工作原理	44
2.3.1 PLC 编程环境	44
2.3.2 PLC 编程语言及编程软件	45
2.3.3 PLC 的工作原理	47

2.4	PLC 产品概况及发展趋势	48
2.5	PLC 在工业自动化中的地位和作用	50
2.6	SIMATIC 自动化控制系统	50
2.6.1	SIMATIC 的组成	50
2.6.2	全集成自动化	53
	习题	53
<b>第3章</b>	<b>S7-300 PLC 硬件系统</b>	<b>54</b>
3.1	S7-300 PLC 硬件简介	54
3.2	S7-300 PLC 机架	54
3.3	S7-300 PLC 电源模块	55
3.4	S7-300 PLC CPU 模块	56
3.4.1	CPU 模块的分类	56
3.4.2	CPU 面板介绍	57
3.4.3	CPU 模块存储器	60
3.5	S7-300 PLC 接口模块	61
3.6	S7-300 PLC 信号模块	62
3.6.1	数字量模块	62
3.6.2	模拟量模块	65
3.6.3	数字量仿真模块	67
3.7	其他模块	68
3.8	编程设备 PG/PC	69
3.9	人机操作界面	70
3.9.1	人机界面的概念	70
3.9.2	人机界面的功能	70
3.9.3	WinCC 软件	71
3.10	S7-300 PLC 模块的安装与扩展	72
3.10.1	模块配放原则	72
3.10.2	模块安装规范	72
3.10.3	模块安装步骤	73
3.10.4	模块扩展	74
3.11	S7-300 PLC 模块编址	76
3.11.1	数字量 I/O 编址	76
3.11.2	模拟量 I/O 编址	77
3.11.3	面向用户编址	77
	习题	78
<b>第4章</b>	<b>编程软件 STEP 7 的介绍与使用</b>	<b>79</b>
4.1	STEP 7 概述	79

4.2	安装与卸载 STEP 7 .....	80
4.2.1	安装系统配置 .....	80
4.2.2	STEP 7 授权 .....	81
4.2.3	安装 STEP 7 .....	81
4.2.4	卸载 STEP 7 .....	84
4.3	SIMATIC 管理器概述 .....	85
4.4	项目的管理与创建 .....	85
4.4.1	STEP 7 创建项目步骤 .....	85
4.4.2	项目结构 .....	85
4.4.3	创建项目 .....	86
4.4.4	编辑项目 .....	88
4.5	硬件组态 .....	89
4.5.1	硬件组态步骤 .....	89
4.5.2	参数设置 .....	90
4.5.3	硬件组态目录更新 .....	92
4.6	符号表 .....	93
4.6.1	符号表的创建 .....	94
4.6.2	符号表的管理 .....	95
4.7	逻辑块的生成 .....	98
4.7.1	逻辑块的组成 .....	98
4.7.2	程序编辑器的设置 .....	98
4.7.3	输入程序的方式 .....	99
4.7.4	程序块上锁 .....	100
4.7.5	程序编辑器 .....	101
4.8	硬件接口与程序下载及上传 .....	104
4.8.1	硬件接口 .....	104
4.8.2	程序下载及上传 .....	105
4.9	程序调试工具 PLCSIM .....	106
4.9.1	S7 - PLCSIM 的介绍 .....	106
4.9.2	S7 - PLCSIM 的使用 .....	107
4.9.3	S7 - PLCSIM 的调试举例 .....	109
4.9.4	PLCSIM 与真实 PLC 的差别 .....	110
	习题 .....	111
<b>第 5 章</b>	<b>S7 - 300 PLC 的编程基础 .....</b>	<b>112</b>
5.1	IEC61131 - 3 国际标准简介 .....	112
5.2	S7 - 300 PLC 编程语言 .....	113
5.3	梯形图绘制原则 .....	115

5.4	变量与数制 .....	115
5.4.1	变量 .....	115
5.4.2	常量和数制 .....	115
5.5	数据类型 .....	117
5.5.1	基本数据类型 .....	117
5.5.2	复杂数据类型 .....	120
5.5.3	参数类型 .....	121
5.6	PLC 中的存储区与寄存器 .....	122
5.6.1	系统存储器 .....	122
5.6.2	CPU 中的寄存器 .....	123
5.7	指令结构与寻址方式 .....	125
5.7.1	指令结构 .....	125
5.7.2	寻址方式 .....	126
5.8	S7-300 PLC 程序结构 .....	129
	习题 .....	132
<b>第 6 章</b>	<b>S7-300 PLC 指令系统 .....</b>	<b>133</b>
6.1	位逻辑指令 .....	133
6.1.1	位逻辑指令简介 .....	133
6.1.2	位逻辑指令使用方法 .....	135
6.1.3	位操作指令 .....	138
6.1.4	位测试指令 .....	141
6.2	定时器指令 .....	145
6.2.1	定时器指令简介 .....	145
6.2.2	定时器指令分类 .....	147
6.2.3	定时器举例 .....	155
6.3	计数器指令 .....	158
6.3.1	计数器简介 .....	158
6.3.2	计数器指令分类 .....	159
6.3.3	计数器举例 .....	162
6.4	数据处理指令 .....	165
6.4.1	装入指令与传送指令 .....	165
6.4.2	比较指令 .....	167
6.4.3	数据转换指令 .....	171
6.4.4	移位指令 .....	175
6.5	运算指令 .....	183
6.5.1	算术运算指令 .....	183
6.5.2	字逻辑运算指令 .....	189



6.5.3	累加器指令 .....	190
6.6	控制指令 .....	192
6.6.1	逻辑控制指令 .....	192
6.6.2	程序控制指令 .....	196
6.6.3	主控继电器指令 .....	197
6.6.4	数据块指令 .....	199
6.7	库分类及应用 .....	200
6.7.1	库的分类 .....	200
6.7.2	库的应用 .....	201
6.7.3	库的生成 .....	202
	习题 .....	208
<b>第7章</b>	<b>结构化编程</b> .....	<b>211</b>
7.1	编程方式和程序结构 .....	211
7.1.1	编程方式 .....	211
7.1.2	程序结构 .....	211
7.2	结构化编程的实现 .....	214
7.2.1	结构化编程 .....	215
7.2.2	实现形式 .....	215
7.3	功能与功能块 .....	219
7.3.1	功能块 .....	219
7.3.2	功能 .....	223
7.3.3	功能的调用 .....	225
7.3.4	功能块的调用 .....	226
7.4	结构化程序设计实例 .....	226
7.4.1	编辑并调用有参功能 (FC) .....	226
7.4.2	多重背景使用举例 .....	229
	习题 .....	235
<b>第8章</b>	<b>数据块和组织块</b> .....	<b>236</b>
8.1	数据块 .....	236
8.1.1	数据块的类型 .....	236
8.1.2	数据块的生成 .....	237
8.1.3	数据块的访问 .....	238
8.2	S7-300 PLC 的组织块 .....	239
8.2.1	组织块的分类 .....	239
8.2.2	中断 .....	240
8.2.3	启动组织块 .....	242
8.2.4	时间延时中断组织块 .....	243

8.2.5	硬件中断组织块	245
8.3	定期执行组织块	248
8.3.1	日期时间中断组织块	248
8.3.2	循环中断组织块	252
8.4	错误处理组织块	255
8.4.1	错误处理概述	255
8.4.2	错误的分类	256
8.4.3	同步错误组织块	256
8.4.4	冗余错误组织块	256
	习题	257
<b>第9章</b>	<b>S7-300/400 PLC 在模拟量闭环控制中的应用</b>	<b>259</b>
9.1	PID 控制器	259
9.1.1	PID 控制的基本原理	259
9.1.2	PID 控制器的数字化	259
9.1.3	PID 控制器参数与系统性能关系	260
9.2	连续 PID 控制模块 FB41	261
9.2.1	设定值与过程变量的处理	261
9.2.2	控制器算法	262
9.2.3	输出值的处理	263
9.3	脉冲发生器模块 FB43	263
9.3.1	脉冲发生器的功能与结构	263
9.3.2	两步控制器	265
9.3.3	三步控制器	265
9.4	闭环控制示例	267
9.4.1	系统简介	267
9.4.2	硬件选型及信号类型设置	267
9.4.3	程序设计	268
	习题	270
<b>第10章</b>	<b>PLC 控制系统设计</b>	<b>271</b>
10.1	系统设计的原则和内容	271
10.1.1	设计原则	271
10.1.2	设计内容	271
10.1.3	设计步骤	272
10.2	硬件设计	272
10.2.1	PLC 的选型	272
10.2.2	I/O 模块的选型	273
10.2.3	PLC 容量估算	274

10.3	软件设计	275
10.3.1	设计前准备工作	275
10.3.2	编写程序	275
10.3.3	程序测试	275
10.4	系统调试	276
10.4.1	调试步骤	276
10.4.2	调试方法	276
10.5	应用实例	277
10.5.1	水箱水温自动控制系统	277
10.5.2	功能需求	277
10.5.3	控制方案设计	277
10.5.4	硬件系统设计	277
10.5.5	程序设计	279
10.5.6	上位机软件设计	283
10.5.7	系统调试	284
	习题	285
	参考文献	286

# 第1章 电气控制基础

电气控制技术是以各类电动机为动力的传动装置或者系统为对象,以实现生产过程自动化的控制技术。继电器——接触器控制系统至今仍是许多生产机械设备广泛采用的基本电气控制形式,也是学习更先进电气控制系统的基础。本章主要介绍电气控制的基本原理及基本线路。

## 1.1 常用低压电器

凡是能自动或手动地接通或断开电路,连续或间断地改变电路参数,以实现电路或非电对象的切换、控制、检测、保护、变换和调节的电器元件统称为电器。简单地说,电器就是一种能控制电的工具。

电气是电能的生产、传输、分配、使用和电工装备制造等学科或工程领域的统称。它是电能、电气设备和电气技术为手段来创造、维持与改善限定空间和环境的一门科学,涵盖电能的转换、利用和研究三方面,包括基础理论、应用技术、设施设备等。电气是广义词,既可以指一种行业,一种专业,也可指一种技术,而不具体指某种产品。

电气控制主要分为两大类:一种是传统的以继电器、接触器为主搭建起来的逻辑电路,即继电器——接触器控制;另一种是基于 PLC (Programmable Logic Controller, 可编程序控制器的系统——PLC 控制)。

低压电器被广泛地应用于工业电气和建筑电气控制系统中,它是实现继电器——接触器控制的主要电器元件。通常将额定工作电压在交流 1200 V,直流 1500 V 以下,在电路中起通断、保护、控制或调节等作用的电气设备(器件)的总称为低压电器。

低压电器种类繁多,功能和构造各异,用途广泛,工作原理各不相同,常用低压电器的分类方法也很多。

### (1) 按用途或控制对象分类

① 配电电器:主要用于低压配电系统中。要求系统发生故障时准确动作、可靠工作,在规定条件下具有相应的动稳定性与热稳定性,使电器不会被损坏。常用的配电电器有刀开关、转换开关、熔断器、断路器等。

② 控制电器:主要用于电气传动系统中。要求寿命长、体积小、重量轻且动作迅速、准确、可靠。常用的控制电器有接触器、继电器、起动机、主令电器、电磁铁等。

### (2) 按动作方式分类

① 自动电器: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 手动电器:用手动操作来进行切换的电器,如刀开关、转换开关、按钮等。

### (3) 按触点类型分类

① 有触点电器:利用触点的接通和分断来切换电路,如接触器、刀开关、按钮等。

② 无触点电器：无可分离的触点。主要利用电子元件的开关效应，即导通和截止来实现电路的通、断控制，如接近开关、霍尔开关、电子式时间继电器、固态继电器等。

#### (4) 按工作原理分类

① 电磁式电器：根据电磁感应原理动作的电器，如接触器、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。

### 1.1.1 刀开关

刀开关是一种手动电器，常用的刀开关有 HD 型单投刀开关、HS 型双投刀开关、HR 型熔断器式刀开关、HZ 型组合开关、HK 型闸刀开关、HY 型倒顺开关等。

HD 型单投刀开关、HS 型双投刀开关、HR 型熔断器式刀开关主要用于在成套配电装置中作为隔离开关，装有灭弧装置的刀开关也可以控制一定范围内的负载线路。作为隔离开关的刀开关的容量比较大，其额定电流在 100 A ~ 1500 A 之间，主要用于供配电线路的电源隔离作用。隔离开关没有灭弧装置，不能操作带负载的线路，只能操作空载线路或电流很小的线路，如小型空载变压器、电压互感器等。操作时应注意，停电时应将线路的负载电流用断路器、负载开关等开关电器切断后再将隔离开关断开，送电时操作顺序相反。隔离开关断开时有明显的断开点，有利于检修人员的停电检修工作。隔离刀开关由于控制负载能力很小，也没有保护线路的功能，所以通常不能单独使用，一般要和能切断负载电流和故障电流的电器（如熔断器、断路器和负载开关等电器）一起使用。

HZ 型组合开关、HK 型闸刀开关一般用于电气设备及照明线路的电源开关。HY 型倒顺开关、HH 型铁壳开关装有灭弧装置，一般可用于电气设备的起动、停止控制。

#### (1) HD 型单投刀开关

HD 系列单投、HS 系列双投刀开关适用于交流 50 Hz、额定电压至 380 V、直流至 440 V；额定电流至 1500 A 的成套配电装置中，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。HD 型单投刀开关按极数分为 1 极、2 极、3 极、4 极四种，其实物图如图 1-1 所示。

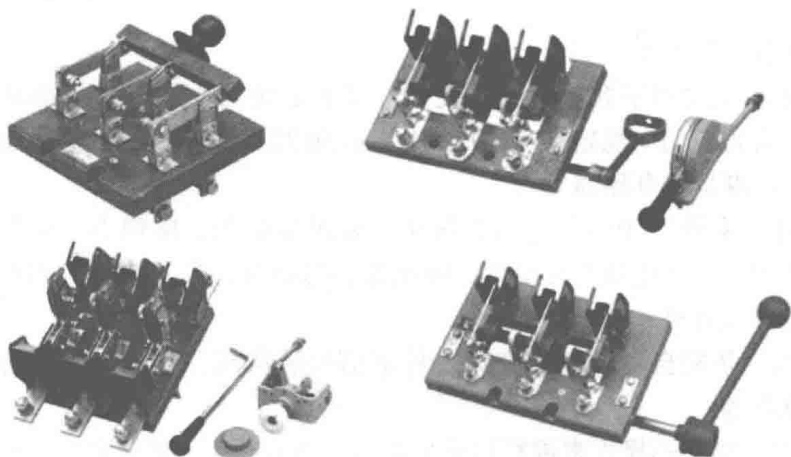


图 1-1 HD 型单投刀开关实物图

图 1-2a ~ c 为刀开关的图形符号和文字符号。其中图 1-2a 为一般图形符号，b 为手动符号，c 为三极单投刀开关符号。

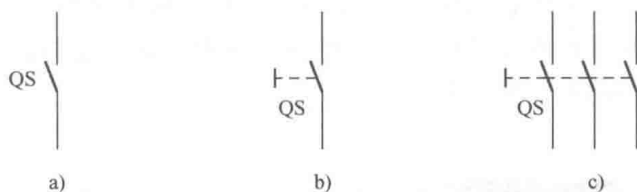


图 1-2 HD 型单投刀开关图形符号

a) 一般图形符号 b) 手动符号 c) 三极单投刀开关符号

当刀开关用作隔离开关时，其图形符号上加有一横杠，如图 1-3a、图 1-3b、图 1-3c 所示。

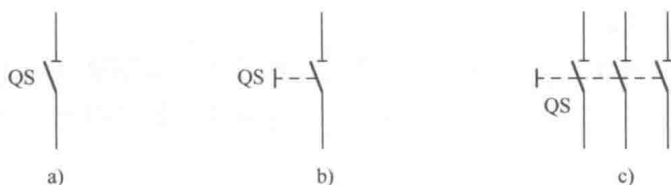
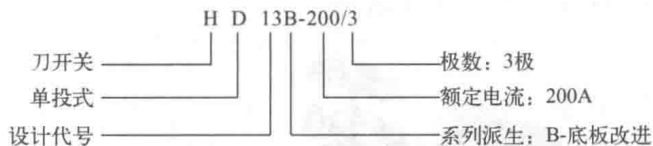


图 1-3 HD 型单投刀开关图形符号（作隔离开关用）

a) 一般隔离开关符号 b) 手动隔离开关符号 c) 三极单投刀隔离开关符号

单投刀开关的型号含义如下：



设计代号：11—中央手柄式，12—侧面正面杠杆操作机构式，13—中央正面杠杆操作机构式，14—侧面手柄式。

## (2) HS 型双投刀开关

HS 型双投刀开关也称转换开关，其作用和单投刀开关类似，常用于双电源的切换或双供电线路的切换等，其实物图及图形符号如图 1-4 所示。由于双投刀开关具有机械互锁的结构特点，因此可以防止双电源的并联运行和两条供电线路同时供电。

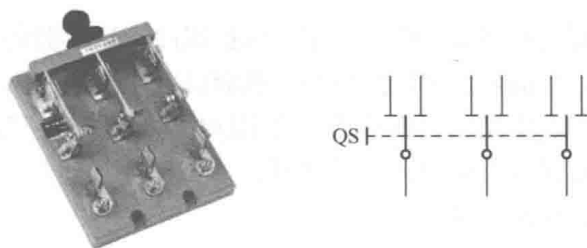


图 1-4 HS 型双投刀开关实物图及图形符号

### (3) HR 型熔断器式刀开关

HR 型熔断器式刀开关也称刀熔开关，它实际上是将刀开关和熔断器组合成一体的电器。刀熔开关操作方便，并简化了供电线路，在供配电线路上应用很广泛，其实物图及图形符号如图 1-5 所示。刀熔开关可以切断故障电流，但不能切断正常的工作电流，所以一般应在无正常工作电流的情况下进行操作。

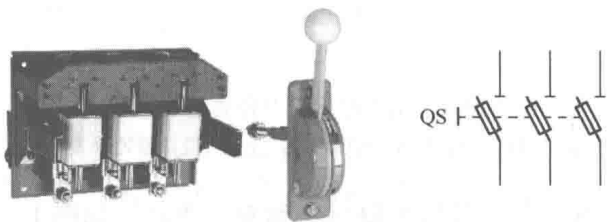


图 1-5 HR 型熔断器式刀开关示意图及图形符号

### (4) 组合开关

组合开关又称转换开关，控制容量比较小，结构紧凑，常用于空间比较狭小的场所，机床和配电箱等。组合开关一般用于电气设备的非频繁操作、切换电源和负载以及控制小容量感应电动机和小型电器。

组合开关由动触点、静触点、绝缘连杆转轴、手柄、定位机构及外壳等部分组成。其动、静触点分别叠装于数层绝缘壳内，当转动手柄时，每层的动触片随转轴一起转动。

常用的产品有 HZ5、HZ10 和 HZ15 系列。HZ5 系列是类似万能转换开关的产品，其结构与一般转换开关有所不同；组合开关有单极、双极和多极之分。

组合开关的实物图及图形符号如图 1-6 所示。

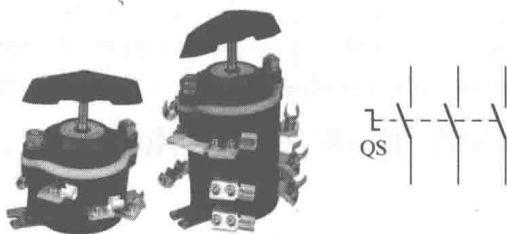


图 1-6 组合开关实物图和图形符号

## 1.1.2 熔断器

熔断器在电路中主要起短路保护作用，用于保护线路。熔断器的熔体串接于被保护的电路中，熔断器以其自身产生的热量使熔体熔断，从而自动切断电路，实现短路保护及过载保护。熔断器具有结构简单、体积小、重量轻、使用维护方便、价格低廉、分断能力较高、限流能力良好等优点，因此在电路中得到广泛应用。

### (1) 熔断器的结构原理及分类

熔断器由熔体和安装熔体的绝缘底座（或称熔管）组成。熔体由易熔金属材料铅、锌、锡、铜、银及其合金制成，形状常为丝状或网状。由铅锡合金和锌等低熔点金属制成的熔体，因不易灭弧，多用于小电流电路；由铜、银等高熔点金属制成的熔体，易于灭弧，多用

于大电流电路。

熔断器串接于被保护电路中，电流通过熔体时产生的热量与电流平方和电流通过的时间成正比，电流越大，则熔体熔断时间越短，这种特性称为熔断器的反时限保护特性或安秒特性，如图 1-7 所示。图中  $I_N$  为熔断器额定电流，熔体允许长期通过额定电流而不熔断。

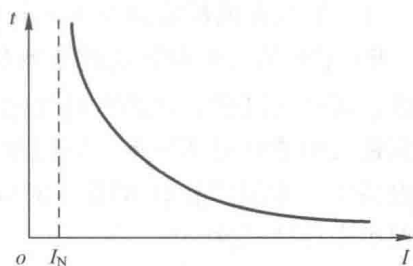


图 1-7 熔断器的反时限保护特性

熔断器种类很多，按结构分为开启式、半封闭式和封闭式；按电流形式分为直流熔断器和交流熔断器按有无填料分为有填料式、无填料式；按用途分为工业用熔断器、保护半导体器件熔断器及自复式熔断器等。

## (2) 熔断器的主要技术参数

熔断器的主要技术参数包括额定电压、熔体额定电流、熔断器额定电流、极限分断能力等。

① 额定电压：指保证熔断器能长期正常工作的电压。

② 熔体额定电流：指熔体长期通过而不会熔断的电流。

③ 熔断器额定电流：指保证熔断器能长期正常工作的电流。

④ 极限分断能力：指熔断器在额定电压下所能开断的最大短路电流。在电路中出现的最大电流一般是指短路电流值，所以，极限分断能力也反映了熔断器分断短路电流的能力。

## (3) 常用的熔断器

### ① 插入式熔断器

插入式熔断器如图 1-8a 所示。常用的产品有 RC1A 系列，主要用于低压分支电路的短路保护，因其分断能力较小，多用于照明电路和小型动力电路中。

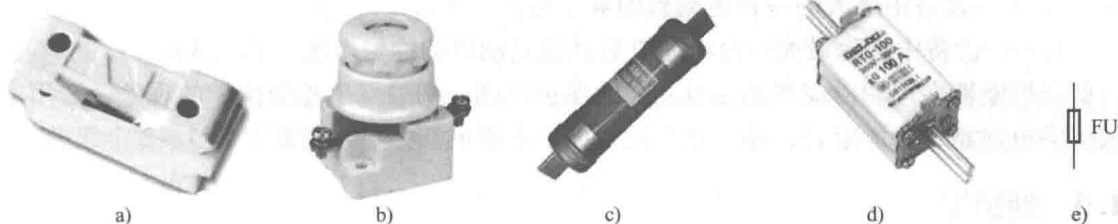


图 1-8 熔断器类型及图形符号

a) 插入式 b) 螺旋式 c) RM10 型密封管式 d) RT 型有填料密封管式 e) 图形符号

### ② 螺旋式熔断器

螺旋式熔断器如图 1-8b 所示。熔芯内装有熔丝，并填充石英砂，用于熄灭电弧，分断能力强。熔体上的上端盖有一熔断指示器，一旦熔体熔断，指示器马上弹出，可透过瓷帽上的玻璃孔观察到。常用产品有 RL6、RL7 和 RLS2 等系列，其中 RL6 和 RL7 多用于机床配电电路中；RLS2 为快速熔断器，主要用于保护半导体元件。

### ③ RM10 型密封管式熔断器

RM10 型密封管式熔断器为无填料管式熔断器，如图 1-8c 所示。主要用于供电系统作为线路的短路保护及过载保护，它采用变截面片状熔体和密封纤维管。由于熔体较窄处的电阻小，在短路电流通过时产生的热量最大，先熔断，因而可产生多个熔断点使电弧分散，



以利于灭弧。短路时其电弧燃烧密封纤维管产生高压气体，以便将电弧迅速熄灭。

#### ④ RT 型有填料密封管式熔断器

RT 型有填料密封管式熔断器如图 1-8d 所示。熔断器中装有石英砂，用于冷却和熄灭电弧，熔体为网状，短路时可使电弧分散，由石英砂将电弧冷却熄灭，可将电弧在短路电流达到最大值之前迅速熄灭，以限制短路电流。此为限流式熔断器，常用于大容量电力网或配电设备中。常用产品有 RT12、RT14、RT15 和 RS3 等系列，RS2 系列为快速熔断器，主要用于保护半导体元件。

#### (4) 熔断器选择

##### ① 低压熔断器的类型选择

选择熔断器可依据负载的保护特性、短路电流的大小和使用场合。一般按电网电压选用相应电压等级的熔断器，按配电系统中可能出现的最大短路电流选择有相应分断能力的熔断器，根据被保护负载的性质和容量选择熔体的额定电流。

##### ② 低压熔断器的容量选择可依据不同的电气设备和线路进行。

a. 照明回路冲击电流很小，所以熔断器的选用系数应尽量小一些。

$$I_{RN} \geq I \quad \text{或} \quad I_{RN} = (1.1 \sim 1.5)I$$

式中  $I_{RN}$ ——熔体的额定电流 (A)；

$I$ ——电器的实际工作电流 (A)。

b. 单台电动机负载电气回路中有冲击电流，熔断器的选用系数应尽量大一些。

$$I_{RN} \geq (1.5 \sim 2.5)I$$

c. 多台电动机负载电气回路中，应考虑电动机有同时起动的可能性，所以熔断器的选用应按下列原则选用。

$$I_{RN} = (1.5 \sim 2.5)I_{Nm} + \sum I_N$$

式中  $I_{Nm}$ ——设备中最大的一台电动机的额定电流 (A)；

$I_N$ ——设备中去除最大一台电动机后其他电动机的额定电流之和 (A)。

低压熔断器在选用时应严格注意级间的保护原则，切忌发生越级保护的现象，选用中除了依据供电回路短路电阻外，还应适当地考虑上下级的级差，一般级差在 1~2 个级差。

### 1.1.3 断路器

低压断路器俗称自动开关或空气开关，用于低压配电电路中不频繁的通断控制。在电路发生短路、过载或欠电压等故障时能自动分断故障电路，是一种控制兼保护电器。

断路器的种类繁多，按其用途和结构特点可分为 DW 型框架式断路器、DZ 型塑料外壳式断路器、DS 型直流快速断路器和 DWX 型、DWZ 型限流式断路器等。框架式断路器主要用作配电线路的保护开关，而塑料外壳式断路器除可用作配电线路的保护开关外，还可用作电动机、照明电路及电热电路的控制开关。

#### (1) 断路器的结构和工作原理

断路器主要由 3 个基本部分组成，即触点、灭弧系统和各种脱扣器，包括过电流脱扣器、失压（欠电压）脱扣器、热脱扣器、分励脱扣器和自由脱扣器。

图 1-9 是断路器实物图及图形符号。断路器开关是靠操作机构手动或电动合闸的，触点闭合后，自由脱扣机构将触点锁在合闸位置上。当电路发生上述故障时，通过各自的脱扣