

高等院校机械类专业应用人才培养规划教材

GAODENGYUANXIAOJIXIELEIZHUANYEYINGYONGREN
CAIPEIYANGGUIHUAJIAOCAI

业界资深的专家执笔 全面完整的知识体系

深入浅出的理论阐述 实用典型的案例引导

PLC编程技术与工程应用

张政 郭会平 赵春生 罗艳丽 等编著

登陆网站索取授课PPT



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



PLC 编程技术与工程应用

张政 郭会平 赵春生 罗艳丽 等编著

机械工业出版社 (CIP) 数据

PLC 编程技术与工程应用 / 张政等编著. — 北京: 机械工业出版社, 2010.9
ISBN 978-7-111-31918-4

I. ①P... Ⅱ. 张... Ⅲ. ①可编程控制器—程序设计 IV. ①TM271.6

中图分类号: TP375.2 (2010) 第 181884 号

机械工业出版社 (北京) 大街 23 号 邮政编码 100027

策划: 曲云 编辑: 曲云

北京蓝桥印刷厂

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 1/32 开本 · 412 千字

0001—3000 册

定价: 39.00 元



凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页等, 由本社发行部调换

编辑热线: (010) 88379282

网络服务: 中心 (010) 88361066

机械工业出版社



8006890008
宁波大学

本书是为适应高等工科院校教育发展需要而编写的理论实际一体化教材,主要讲解 PLC 的编程技术及其在工程中的应用。在编写特点上,本书理论联系实际,力图使学生通过本教材的学习,掌握电气控制和 PLC 的具体应用技术;在内容安排上,注重基础概念和基本原理的阐述,理论部分坚持“必需、够用”的原则,同时增加了很多应用实例,使本书既有系统性,又有实用性;在编排形式上,本书将图、表、文字有机结合,版面生动,可读性强。

本书可作为高等工科院校本科、高职高专电气和机电工程专业教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

PLC 编程技术与工程应用/张政等编著. —北京:机械工业出版社,2010.9
ISBN 978-7-111-31918-4

I. ①P… II. ①张… III. ①可编程序控制器—程序设计 IV. ①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 181884 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:曲彩云 责任编辑:曲彩云

责任印制:杨曦

北京蓝海印刷有限公司印刷

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·17.25 印张·427 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-31918-4

定价:39.00 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

编辑热线:(010)88379782

社服务中心:(010)88361066

网络服务

销售一部:(010)68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是为适应高等工科院校教育发展需要而编写的教材,主要介绍了 PLC 编程的基本理论和相关的工程应用案例,具体内容包括低压电器、电气控制系统的基本电路、可编程控制器概述、PLC 的基本结构与工作原理、编程与仿真、基本逻辑指令及使用、编程规则与实例、步进顺控指令、功能指令、PLC 用于模拟量控制、PLC 在工程控制中的应用等。

目前, PLC 市场基本上被美国、欧洲及日本公司的 PLC 产品三个派别所垄断,它们在许多方面存在较大差异。从国内市场使用情况来看,进口的大中型 PLC 以美国和欧洲产品为主,小型 PLC 以日本产品为主。前者数量较少,后者数量较多。考虑到绝大多数电气工程技术人员面对的是最小型机的使用问题,而三菱公司的 FX2N 系列 PLC 有较高的性能价格比,故本书以其为例进行重点介绍。

FX 系列 PLC 编程开发软件有很多。FX-PCS/WIN-E-C 编程软件包是一个专门的开发程序,且配有学习软件,具有动画界面,易被初学者接受,本书将作详细的介绍,以使学

生为适应兼容性强、功能强、较复杂的软件(如 GX-Developer 等)打好基础。

本书由河南工程学院的张政、郭会平、赵春生以及郑州轻工业学院民族职业学院的罗艳丽编写。其中郭会平编写了第 1、2 章;张政编写了第 3、4、5、6、11 章;赵春生编写了第 7、8、9 章;罗艳丽编写了第 10 章。张红松、胡仁喜、刘昌丽、王敏、王艳池、王培合、周冰、路纯红、阳平华等也为本书的编写提供了大量帮助,在此表示感谢。本书在编写过程中参考了大量文献和书籍,在此对这些文献的作者也深表感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,请广大读者指正。读者可通过电子邮箱 win760520@126.com 与编者联系。

编 者

目 录

前言

第1章 低压电器	1
1.1 低压电器概述	1
1.1.1 低压电器基础知识	1
1.1.2 低压电器基本结构和工作原理	2
1.2 低压开关电器和主令电器	5
1.2.1 低压开关电器	6
1.2.2 低压断路器	9
1.2.3 主令电器	12
1.3 接触器	15
1.3.1 交流接触器	15
1.3.2 直流接触器	16
1.3.3 接触器的主要技术参数	16
1.3.4 接触器的选择	17
1.4 继电器	17
1.4.1 电磁式继电器	18
1.4.2 热继电器	19
1.4.3 时间继电器	22
1.4.4 速度继电器	23
1.5 熔断器	24
1.5.1 熔断器的结构及工作原理	24
1.5.2 熔断器的保护特性	25
1.5.3 熔断器的主要技术参数	25
1.5.4 熔断器的选择原则	26
1.6 思考与练习	26
第2章 电气控制系统的基本电路	28
2.1 电气控制电路图的绘制	28
2.1.1 电气图形符号和文字符号	28
2.1.2 电气控制电路图的绘制原则	32
2.2 三相异步电动机的典型控制电路	34
2.2.1 单向直接起动控制电路	35
2.2.2 正反转控制电路	38
2.2.3 行程控制电路	40
2.2.4 顺序和多点控制电路	42
2.3 三相笼型异步电动机减压起动控制电路	43
2.3.1 定子绕组串电阻减压起动	44
2.3.2 星形-三角形(\times - \triangle)减压起动	46

09	2.3.3 自耦变压器减压启动	48
19	2.4 三相笼型异步电动机制动控制电路	51
92	2.4.1 异步电动机的机械制动	51
92	2.4.2 异步电动机的电气制动	52
92	2.5 典型生产机械的电气控制电路	55
93	2.5.1 生产机械电气控制电路分析	55
93	2.5.2 CA6140 型车床电气控制电路	56
92	2.6 思考与练习	59
9	第 3 章 可编程控制器概述	61
99	3.1 可编程控制器的定义和发展历史	61
99	3.1.1 可编程控制器的定义	61
99	3.1.2 可编程控制器的发展历史	62
98	3.2 可编程控制器的基本功能	63
99	3.3 可编程控制器的特点	64
99	3.4 可编程控制器的发展趋势	66
99	3.5 可编程控制器的分类	67
001	3.5.1 按结构形式分类	68
001	3.5.2 按功能分类	68
001	3.5.3 按 I/O 点数分类	69
101	3.6 三菱公司的可编程控制器	70
101	3.7 思考与练习	71
9	第 4 章 PLC 的基本结构与工作原理	72
92	4.1 PLC 的基本组成	72
92	4.1.1 中央处理器	73
103	4.1.2 存储器	74
104	4.1.3 输入 / 输出接口单元	74
102	4.1.4 电源单元	78
102	4.1.5 外部设备	78
106	4.2 FX 系列 PLC 硬件配置	78
106	4.2.1 FX2N 系列 PLC 的基本单元	78
123	4.2.2 FX2N 系列 PLC 的 I/O 扩展单元和扩展模块	79
124	4.2.3 FX 系列 PLC 的特殊功能模块	80
124	4.3 FX 系列 PLC 的编程元件	81
124	4.3.1 输入继电器 (X)	81
124	4.3.2 输出继电器 (Y)	83
122	4.3.3 辅助继电器 (M)	84
122	4.3.4 状态器 (S)	86
122	4.3.5 定时器 (T)	86
129	4.3.6 计数器 (C)	87

84	4.3.7 数据寄存器 (D)	90
12	4.3.8 常数 (K、H)	91
12	4.4 PLC 的工作原理	92
52	4.4.1 PLC 控制系统的组成	92
22	4.4.2 PLC 控制系统等效电路	92
22	4.4.3 PLC 的工作状态	93
62	4.4.4 PLC 的工作方式	93
92	4.4.5 PLC 扫描工作方式的特点	95
18	4.5 PLC 的主要性能指标	96
18	4.6 PLC 与其他控制系统的比较	96
18	4.6.1 PLC 控制系统与继电器控制系统相比	96
58	4.6.2 PLC 控制系统与微机控制系统相比	97
88	4.7 思考与练习	98
88	第 5 章 编程与仿真	99
88	5.1 PLC 程序设计语言	99
78	5.1.1 梯形图	99
88	5.1.2 布尔助记符	100
88	5.1.3 功能表图	100
98	5.1.4 功能模块图	100
107	5.1.5 结构化语句	101
117	5.1.6 其他编程语言	101
57	5.2 FX-20P-E 编程器	102
57	5.2.1 编程器的外观	102
87	5.2.2 编程器操作面板	102
47	5.2.3 编程器主要功能操作说明	103
47	5.2.4 联机方式菜单	104
87	5.2.5 实践中的技巧	105
87	5.3 SWOPC-FXGP/WIN-C 编程软件	105
87	5.3.1 产品构成	106
87	5.3.2 SWOPC-FXGP/WIN-C 的操作	106
97	5.4 思考与练习	123
88	第 6 章 基本逻辑指令及使用	124
18	6.1 逻辑取、取反、输出指令 (LD、LDI、OUT)	124
18	6.1.1 LD、LDI、OUT 指令介绍	124
88	6.1.2 使用举例	124
48	6.2 触点串联指令 (AND、ANI)	125
88	6.2.1 AND、ANI 指令介绍	125
88	6.2.2 使用举例	125
78	6.3 触点并联指令 (OR、ORI)	126

121	6.3.1 OR、ORI 指令介绍	126
122	6.3.2 使用举例	127
124	6.4 串联电路块的并联指令 (ORB)	127
125	6.4.1 ORB 指令介绍	127
125	6.4.2 使用举例	128
126	6.5 并联电路块的串联指令 (ANB)	129
126	6.5.1 ANB 指令介绍	129
126	6.5.2 使用举例	129
126	6.6 分支多重输出电路指令 (MPS、MRD、MPP)	129
126	6.6.1 MPS、MRD、MPP 指令介绍	129
126	6.6.2 使用举例	130
126	6.6.3 编程应用	131
127	6.7 主控触点指令 (MC、MCR)	132
127	6.7.1 MC、MCR 指令介绍	132
128	6.7.2 使用举例	133
127	6.8 自保持与解除指令 (SET、RST)	133
127	6.8.1 SET、RST 指令介绍	133
127	6.8.2 使用举例	134
127	6.9 脉冲微分输出指令 (PLS、PLF)	135
127	6.9.1 PLS、PLF 指令介绍	135
127	6.9.2 使用举例	136
127	6.10 取反指令 (INV)	136
128	6.10.1 INV 指令介绍	136
128	6.10.2 使用举例	137
128	6.11 空操作指令 (NOP)	137
128	6.11.1 NOP 指令介绍	137
128	6.11.2 功能	137
128	6.12 程序结束指令 (END)	138
128	6.12.1 END 指令介绍	138
128	6.12.2 功能	138
128	6.13 脉冲操作指令 (LDP、LDF、ANDP、ANDF、ORP、ORF)	138
128	6.13.1 LDP、LDF、ANDP、ANDF、ORP、ORF 指令介绍	138
128	6.13.2 使用举例	139
128	6.14 基本逻辑指令的编程及应用	140
128	6.14.1 PLC 的编程特点	140
128	6.14.2 一些典型的控制程序	140
128	6.15 思考与练习	143
128	第 7 章 编程规则与实例	149
128	7.1 PLC 梯形图编程规则	149

7.2	实例 1: 电动机正反转控制	151
7.3	实例 2: 三台电动机的顺序起动控制	153
7.4	实例 3: 三相异步电动机的 X- Δ 换接起动控制	154
7.5	实例 4: 控制花样喷泉	156
7.6	实例 5: 三层电梯的 PLC 控制	159
7.7	思考与练习	163
第 8 章	步进顺控指令	164
8.1	状态转移图	164
8.1.1	三台电动机顺序起动控制电路	164
8.1.2	工序图	164
8.1.3	状态继电器	165
8.1.4	状态转移图的组成	166
8.1.5	步进指令 STL、RET	167
8.1.6	步进梯形图和指令表程序	167
8.2	步进指令的单流程控制	168
8.3	步进指令的选择性分支结构流程控制	170
8.4	步进指令的并行分支结构流程控制	173
8.5	思考与练习	176
第 9 章	功能指令	178
9.1	功能指令的基本概念	178
9.1.1	功能指令的表示方法	178
9.1.2	位元件与字元件	178
9.2	程序流控制指令 (FNC00~FNC09)	180
9.2.1	条件跳转指令 CJ	180
9.2.2	子程序调用指令 CALL、返回指令 SRET 与主程序结束指令 FEND	182
9.2.3	中断指令 IRET、EI、DI	184
9.2.4	看门狗定时器指令 WDT	186
9.2.5	循环指令 FOR、NEXT	186
9.3	传送和比较指令 (FNC10~FNC19)	190
9.3.1	比较指令	190
9.3.2	数据传送指令 MOV	196
9.3.3	位传送指令 SMOV	198
9.3.4	反相传送指令 CML	198
9.3.5	块传送指令 BMOV	199
9.3.6	多点传送指令 FMOV	200
9.3.7	数据交换指令 XCH	200
9.3.8	BCD 交换指令 BCD	201
9.3.9	BIN 交换指令 BIN	201
9.4	四则运算及逻辑运算指令 (FNC20~FNC29)	202

9.4.1	加法指令 ADD	202
9.4.2	减法指令 SUB	203
9.4.3	乘法指令 MUL	203
9.4.4	除法指令 DIV	204
9.4.5	加 1 指令 INC	205
9.4.6	逻辑字“与”指令 WAND	206
9.4.7	逻辑字“或”指令 WOR	207
9.4.8	逻辑字“异或”指令 WXOR	208
9.4.9	求补指令 NEG	209
9.5	循环移位指令 (FNC30~FNC39)	209
9.5.1	循环左移指令 ROL	209
9.5.2	循环右移指令 ROR	211
9.5.3	带进位循环右移指令 RCR	212
9.5.4	带进位循环左移指令 RCL	213
9.5.5	位左移指令 SFTL	214
9.5.6	位右移指令 SFTR	215
9.5.7	字右移指令 WSFR	216
9.5.8	字左移指令 WSFL	217
9.5.9	移位写入指令 SFWR	218
9.5.10	移位读出指令 SFRD	218
9.6	数据处理指令 (FNC40~FNC49)	219
9.6.1	区间复位指令 ZRST	219
9.6.2	译码指令 DECO	220
9.6.3	编码指令 ENCO	221
9.6.4	置 1 位数总和指令 SUM	222
9.6.5	置 1 位判别指令 BON	223
9.6.6	平均值指令 MEAN	223
9.6.7	平方根指令 SOR	223
9.7	高速处理指令 (FNC50~FNC59)	224
9.7.1	输入/输出刷新指令 REF	224
9.7.2	滤波调整指令 REFF	225
9.7.3	矩阵输入指令 MTR	225
9.7.4	比较置位指令 HSCS	226
9.7.5	比较复位指令 HSCR	227
9.7.6	区间比较指令 HSZ	227
9.7.7	脉冲密度指令 SPD	228
9.7.8	脉冲输出指令 PLSY	228
9.7.9	脉宽调制指令 PWM	229
9.7.10	带加减速脉冲输出指令 PLSR	229

9.8 外部 I/O 设备指令 (FNC70~FNC79)	230
9.8.1 十字键输入指令 TKY	230
9.8.2 十六键输入指令 HKY	231
9.8.3 数字开关指令 DSW	232
9.8.4 七段码译码指令 SEGD	232
9.8.5 带锁存七段码显示指令 SEGL	233
9.8.6 方向开关指令 ARWS	234
9.8.7 ASCII 码转换指令 ASC	235
9.8.8 ASCII 码打印指令 PR	225
9.8.9 读特殊功能模块指令 FROM	236
9.8.10 写特殊功能模块指令 TO	236
9.9 思考与练习	237
第 10 章 PLC 用于模拟量控制	238
10.1 模拟量输入/输出单元	238
10.1.1 模拟量输入/输出模块的特性	239
10.1.2 模块编号	242
10.1.3 缓冲寄存器分配	242
10.1.4 程序举例	244
10.2 大型 PLC 模拟量输入/输出模块	245
10.3 思考与练习	248
第 11 章 PLC 在工程控制中的应用	249
11.1 CA6140 型车床的控制系统改造	249
11.2 T68A 型卧式镗床的控制系统改造	252
11.3 液压组合机床的控制系统	253
11.4 BS516 型细纱机电气控制	258
11.5 思考与练习	264
参考文献	266

第1章 低压电器

电气控制系统的作用是使机械产品按照一定的要求实现一定的功能，提高产品的自动化程度。电气控制的对象是机电一体化产品，范围包括机电设备、自动化生产线、家用电器、办公设备等。目前，我国的电气控制技术是传统的继电器技术与可编程控制器技术并存，共同发展。

传统的继电器控制系统由继电器、接触器、按钮、行程开关等电气元件组成，广泛应用于各类机床和机械设备，是最基本的电气控制形式之一。

1.1 低压电器概述

凡是用来分、合电路，能实现对电路或非电路对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节目的的元件都称为电器。电器按其工作电压等级可分为高压电器和低压电器。工作电压在1200V以下的电器称为低压电器。电器的种类繁多，结构各异，用途广泛。本章仅介绍电力拖动控制系统中常用的低压电器。

1.1.1 低压电器基础知识

1. 低压电器的分类

(1) 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，如接触器、控制器、起动器等。
- 2) 主令电器。用于自动控制系统中发送控制指令的电器，如控制按钮、主令开关、行程开关、万能转换开关等。
- 3) 保护电器。用于保护电路及用电设备的电器，如熔断器、热继电器、各种保护电器、避雷器等。
- 4) 配电电器。用于电能的输送和分配的电器，如断路器、隔离开关、刀开关等。
- 5) 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。

(2) 按操作方式分

- 1) 手动电器。通过人力驱动来完成指令任务的电器，如各类开关、按钮等。
- 2) 自动电器。不需要人力驱动，而是按照电或非电信号自动完成指令任务的电器，如接触器、各类继电器等。

(3) 按工作原理分

- 1) 电磁式电器。依据电磁感应原理来工作的电器，如交直流接触器、各种电磁式继电器等。
- 2) 非电量控制电器。靠外力或某种非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。

(4) 按执行机能分

1) 有触头电器

具有动触头和静触头，利用触头的接触或分离来实现电路的接通或断开，如刀开关、接触器、继电器等。

2) 无触头电器

无可分离的触头，主要利用电子元件的开关效应（即导通或截止）来实现电路的接通或断开，如接近开关、电子式时间继电器等。

2. 低压电器的主要技术参数

低压电器种类繁多，控制对象的性质和要求也不一样。为了正确、合理、经济地使用低压电器，必须有一套用于衡量电器性能的技术指标。低压电器的主要技术参数如下：

(1) 额定绝缘电压 这是一个由电器结构、材料、耐压等因素决定的标称电压值。除非另有规定，一般为低压电器最大额定工作电压。

(2) 额定工作电压 即低压电器在规定条件下长期工作时，保证其正常工作的工作电压值，通常是指触头上的额定电压。电磁式电器还规定了吸引线圈的额定电压。

(3) 额定发热电流 即在规定条件下试验时，电器处于非封闭状态下长时间工作，各部分的温度不超过极限值时所能承受的最大电流值。

(4) 额定工作电流 即在规定条件下，保证电器正常工作的电流值。它与规定的使用条件(如电压等级、电网频率、工作制、使用类别等)有关系，并且同一个电器在不同的使用条件下有不同的额定电流等级。

(5) 通断能力 即低压电器在规定的条件下，能可靠接通和分断的最大电流。通断能力与电器的额定电压、负载特性、灭弧方法等有关。对于有触头的低压电器，接通时其主触头不应熔化，分断时其主触头不应长时间燃弧。

(6) 机械寿命 即低压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。

(7) 电气寿命 即低压电器在规定条件下，无需修理或更换零件的负载操作次数称为电气寿命。对于有触头的低压电器，其触头在工作中除机械磨损外，还有比机械磨损更为严重的电磨损，因此其电气寿命一般要低于机械寿命。设计低压电器时，一般要求其电气寿命为机械寿命的 20%~50%。

1.1.2 低压电器基本结构和工作原理

低压电器在电气控制系统中使用量最大，其类型也最多。各类电磁式低压电器结构相似、原理基本相同，就其结构而言，大部分都由三个主要部分组成：电磁机构、触头和灭弧装置。

1. 电磁机构

电磁机构是电磁电器的感测部分，其作用是将电磁能转换为机械能，带动触头动作，实现对电路的通、断控制。

(1) 电磁机构的结构形式 电磁机构由铁心、衔铁和吸引线圈等部分组成，其常用的结构形式如图 1-1 所示。

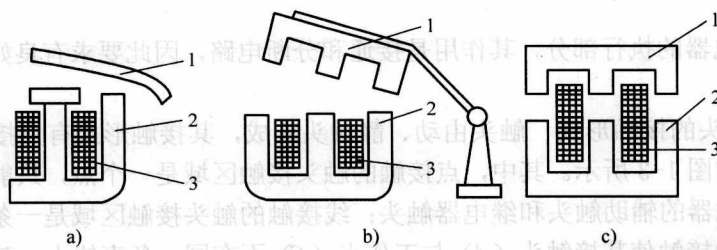


图 1-1 常用的电磁结构形式

a) 衔铁沿棱角转动 b) 铁心绕轴转动 c) 衔铁作直线运动

1—衔铁 2—铁心 3—吸引线圈

图 1-1a 所示结构广泛应用于直流感触器中；图 1-1b 所示结构铁心形状有 E 形和 U 形两种，适用于触头容量较大的交流接触器；图 1-1c 所示结构具有双 E 形直动式铁心，多用于交流接触器和继电器中。

吸引线圈的作用是将电能转换成磁场能。按通入的电流性质不同，电磁机构分为直流电磁机构和交流电磁机构。

对于直流电磁机构，由于其铁心不发热，只有线圈发热，所以铁心通常用整块铸铁铸成，而且其直流线圈做得瘦而长，且不设线圈骨架，使线圈与铁心直接接触，易于散热；而对于交流电磁机构，由于其铁心存在磁滞和涡流损耗，造成铁心发热，所以交流电磁机构的铁心用硅钢片叠成，并且其交流线圈设有骨架，使铁心与线圈隔离，线圈做得短而粗，有利于铁心散热。

(2) 电磁机构的工作原理 当吸引线圈通入电流后，产生磁场，磁通经过铁心、衔铁和工作气隙形成闭合回路，产生电磁力，将衔铁吸向铁心。当吸引线圈断电时，电磁力消失，衔铁在复位弹簧作用下与铁心脱离，衔铁释放。

单相交流电磁机构在铁心端部装有一个铜制的短路环，其作用是降低交流电磁机构在吸合时产生的振动与噪声。当线圈中通以交流电流时，铁心中产生的磁通 Φ_1 也是交变的，对衔铁的吸力时大时小，有时为零，如图 1-2a 所示。在复位弹簧的作用下，衔铁时而拉紧，时而释放，产生振动和噪声，造成触头接触不良，产生电弧而灼伤。通过在铁心的端部加一个短路环，在短路环中产生感应电流，其产生的磁通与 Φ_1 共同作用形成 Φ_2 ， Φ_2 的相位滞后于 Φ_1 ，两者不同时为零。线圈的电流和铁心磁通 Φ_1 经过零时，环中磁通 Φ_2 不为零，仍然将衔铁吸住，使衔铁的振动与噪声显著降低。

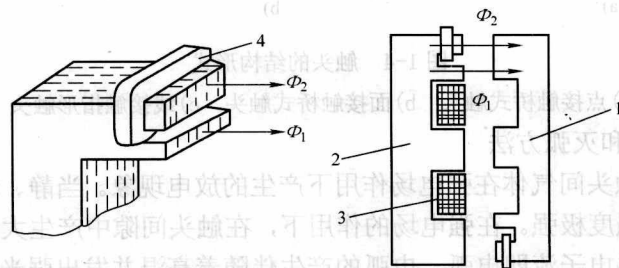


图 1-2 交流电磁机构的短路环

1—衔铁 2—铁心 3—线圈 4—短路环

2. 触头

触头是电器的执行部分，其作用是接通和分断电路，因此要求有良好的导电、导热性能。

(1) 触头的接触形式 触头由动、静触头构成，其接触形式有点接触、线接触和面接触三种，如图 1-3 所示。其中，点接触的触头接触区域是一个点，只能用于小电流的电器中，如接触器的辅助触头和继电器触头；线接触的触头接触区域是一条直线，触头的通断是通过滚动接触使其接触头(A)与工作点(C)不在同一条直线上，延长了触头的使用寿命，如图 1-3d 所示，多用于直流电器中；面接触触头一般在接触表面镶有合金，允许通过较大电流，多用做大容量电器的触头，如交流接触器的触头。

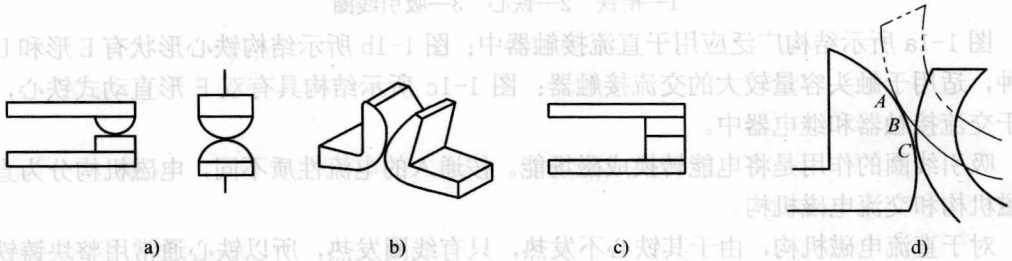


图 1-3 触头的接触形式

a) 点接触 b) 线接触 c) 面接触 d) 线接触触头的接触过程

(2) 触头的结构形式 触头的结构形式主要有桥式触头和指形触头，如图 1-4 所示。桥式触头接通和断开电路由两个触头共同完成，有利于灭弧，一般采用点接触和面接触形式；指形触头一般采用线接触形式，在接通和断开电路时产生滚动摩擦，能去掉表面的氧化膜，从而减小触头的接触电阻，故其触头可以用纯铜制造，特别适用于触头分合次数多、电流大的场合。

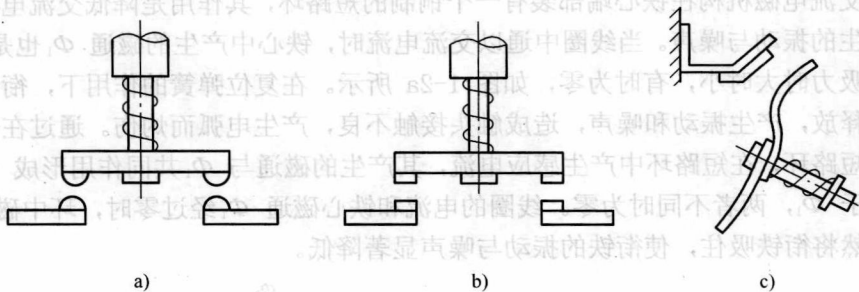


图 1-4 触头的结构形式

a) 点接触桥式触头 b) 面接触桥式触头 c) 线接触指形触头

3. 电弧的产生和灭弧方法

电弧实际上是触头间气体在强电场作用下产生的放电现象。当静、动触头刚脱离的瞬间，两触头间电场强度极强。在强电场的作用下，在触头间隙中产生大量的带电粒子，使气体导电形成了炽热电子流即电弧。电弧的产生伴随着高温并发出强光，会将触头灼伤，缩短电器的使用寿命，使电路切断时间延长甚至不能断开，造成火灾等严重事故，因此，必须采取措施熄灭或减小电弧。常用的灭弧方法有以下几种：

(1) 电动力灭弧 电动力灭弧的原理如图 1-5 所示。电弧在触头回路电流 I 磁场的

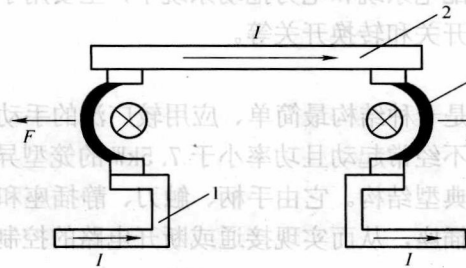


图 1-5 双断口电动力灭弧

1—静触头 2—动触头 3—电弧

(2) 多断点灭弧 采用桥式触头的交流接触器和继电器，其触头有两个断点。在交流电压过零后，若一对断点处电弧重燃需要 150~250V 的电压，那么两对断点就需要 300~500V 的电压。若断点电压达不到该值，电弧就不能重燃而熄灭。

(3) 磁吹式灭弧 磁吹式灭弧的原理如图 1-6 所示。在触头电路中串入一个吹磁线圈，它产生的磁通经导磁夹板 5 引向触头周围。当触头断开产生电弧后，在电动力作用下，电弧被拉长并吹入灭弧罩 6 中，使电弧冷却熄灭。

这种灭弧方法广泛应用于直流感触器中，实际上是利用电弧电流本身灭弧，且电弧电流越大灭弧能力越强。

(4) 灭弧栅灭弧 这是一种常用的交流灭弧装置。如图 1-7 所示，将由许多镀铜薄钢片组成的灭弧栅安放在触头上方的灭弧罩里，一旦电弧产生，电弧周围产生磁场，导磁钢片将电弧吸入灭弧栅片而将其分割成许多串联的短弧，从而使电弧迅速冷却而熄灭。

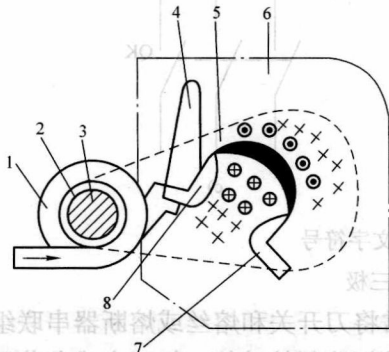


图 1-6 磁吹式灭弧

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—动触头 8—静触头

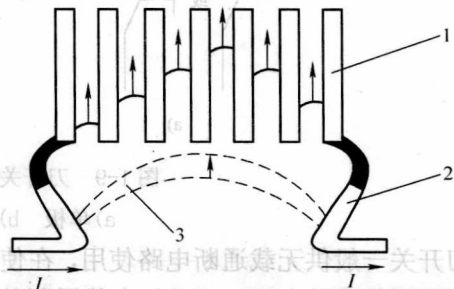


图 1-7 灭弧栅灭弧

1—灭弧栅片 2—触头 3—电弧

1.2 低压开关电器和主令电器

本节主要介绍低压开关电器、低压断路器和主令电器。

1.2.1 低压开关电器

低压开关电器广泛用于配电系统和电力拖动系统中，主要用于电源的隔离、电气设备的保护与控制，常用的有刀开关和转换开关等。

1. 刀开关

刀开关又称闸刀开关，是一种结构最简单、应用较广泛的手动电器，主要用于接通和断开长期工作设备的电源及不经常启动且功率小于 7.5kW 的笼型异步电动机。

图 1-8 所示为刀开关的典型结构。它由手柄、触刀、静插座和绝缘底板等组成，依靠手动来实现触刀插入或脱离插座，从而实现接通或断开电路的控制。

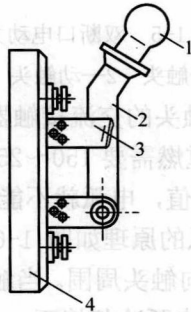


图 1-8 刀开关的典型结构

1—手柄 2—触刀 3—静插座 4—底板

刀开关的种类很多，按刀的极数可分为单极、双极和三极；按刀的转换方向可分为单掷和双掷；按灭弧情况可分为带灭弧罩和不带灭弧罩；按接线方式可分为板前接线式和板后接线式。刀开关的图形符号和文字符号如图 1-9 所示。

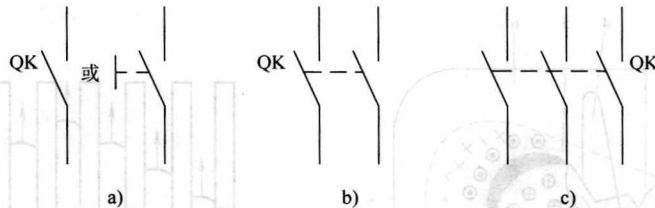


图 1-9 刀开关的图形和文字符号

a)单极 b)双极 c)三极

刀开关一般供无载通断电路使用，在使用时通常将刀开关和熔丝或熔断器串联组成具有保护作用的开关电器，可进行有载通断并有一定的短路保护功能，如开启式负荷开关和封闭式负荷开关。

(1) 开启式负荷开关 开启式负荷开关又称瓷底胶盖闸刀开关，是刀开关的一种。由于结构简单、价格便宜、使用维修方便，此类开关应用很广泛，主要用做电气照明电路和小功率电动机的不频繁启动与停止操作开关。

图 1-10 为 HK 系列开启式负荷开关的结构图。它主要由操作手柄、熔体、静触头（触刀座）、动触头（触刀片）、瓷底座和胶盖组成。开关上面罩有两块胶盖，可防止操作人员触及带电部分，并且还可以防止分断电路时产生的电弧飞出而灼伤操作人员。熔体主要对