



普通高等教育“十三五”规划教材
电气工程、自动化专业规划教材

可编程控制器 原理及应用 (第3版)

◆ 张 军 胡学林 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>

电气工程、自动化专业规划教材

可编程控制器原理及应用

(第3版)

张 军 胡学林 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书以我国目前应用非常广泛的 SIMATIC S7-300 系列 PLC 为样机,从工程应用的角度出发,介绍了 PLC 的工作原理和 S7-300 系列 PLC 的应用,突出应用性和实践性。全书共 8 章,分别为:可编程控制器概述、常用控制电器与电气控制线路、可编程控制器的组成和工作原理、S7-300 的指令系统及编程、S7-300 的组织块及中断处理、西门子 PLC 工业通信网络简介、可编程控制器应用系统的设计和 PLC 控制技术课程设计指导。另外,本书配备电子课件和实验指导书。

本书可作为高等院校自动化、电气技术、机电一体化、计算机应用等相关专业的教学用书,也可作为电大、职大相近专业的教材。对于广大的电气工程技术人员,则是一本有价值的参考书。

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

可编程控制器原理及应用 / 张军, 胡学林编著. —3 版.—北京: 电子工业出版社, 2019.3

电气工程、自动化专业规划教材

ISBN 978-7-121-34128-1

I. ①可… II. ①张… ②胡… III. ①可编程序控制器—高等学校—教材 IV. ①TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 087102 号

责任编辑: 凌 毅

印 刷: 北京捷迅佳彩印刷有限公司

装 订: 北京捷迅佳彩印刷有限公司

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: 17 字数: 458 千字

版 次: 2007 年 7 月第 1 版

2019 年 3 月第 3 版

印 次: 2019 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 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 zlt@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: (010)88254528, lingyi@phei.com.cn。

前 言

可编程控制器（简称 PLC 或 PC）是一种新型的、具有极高可靠性的通用工业自动化控制装置。它以微处理器为核心，将微型计算机技术、自动化控制技术及通信技术有机地融为一体，具有控制能力强、可靠性高、配置灵活、编程简单、使用方便、易于扩展等优点，是当今及今后工业控制的主要手段和重要的自动化控制设备。可以这样说，到目前为止，无论从可靠性上，还是从应用领域的广度和深度上，还没有任何一种控制设备能够与 PLC 相媲美。因此专家认为，PLC 技术、计算机辅助设计/计算机辅助生产（CAD/CAM）以及机器人技术，并列为当代工业生产自动化的三大支柱。

近年来，德国西门子（SIEMENS）公司的 SIMATIC-S7 系列 PLC，在我国已广泛应用于各行各业的生产过程的自动控制中。在我国的大中型企业中，西门子公司 S7-300/400 系列 PLC 有着非常广泛的应用。为大力普及 S7 系列 PLC 的应用，本次对《《可编程控制器原理及应用（第 2 版）》进行重新修订，旨在为已经使用或将要使用 S7 系列 PLC 的在校大学生和在职的电气技术人员，进行较为全面系统的介绍。

本书以 SIMATIC S7-300 系列 PLC 为样机，在重新修订过程中，注重从工程应用的角度出发，突出应用性和实践性。本书可作为高等院校自动化、电气技术、机电一体化和计算机应用等相关专业的教学用书，也可作为电大、职大相近专业的教材。对于广大的电气工程技术人員，则是一本有价值的参考书。

本书由辽宁科技学院的张军老师完成全书的重新修订工作，在征求原作者胡学林教授的同意及建议下，做了较大范围的修订。由于编者水平所限，错误和不妥之处在所难免，敬请专家、同仁、读者批评指正。

书中部分内容的编写参照了有关文献，恕不一一列举，谨对书后所有参考文献的作者表示感谢。

编 者
2019 年 2 月

目 录

第 1 章 可编程控制器概述	1
1.1 可编程控制器的产生、控制思想	1
1.1.1 电气系统的继电器-接触器控制	1
1.1.2 PLC 的产生	2
1.1.3 PLC 控制的基本思想	2
1.2 可编程控制器的定义、分类	3
1.2.1 可编程控制器的定义	3
1.2.2 可编程控制器的分类	3
1.3 可编程控制器的特点及主要功能	5
1.3.1 PLC 的一般特点	5
1.3.2 PLC 的主要功能	5
1.4 可编程控制器的应用及发展趋势	5
1.4.1 可编程控制器的应用现状	5
1.4.2 可编程控制器的发展趋势	6
本章小结	6
习题 1	6
第 2 章 常用控制电器与电气控制线路	7
2.1 常用低压控制电器	7
2.1.1 手动电器	7
2.1.2 自动电器	10
2.2 电气控制线路图	19
2.2.1 电气控制线路常用图形、文字符号	19
2.2.2 电气原理图	22
2.2.3 电器元件布置图	22
2.2.4 电气安装接线图	23
2.3 三相鼠笼式电动机启动控制	24
2.3.1 直接启动	24
2.3.2 降压启动	28
2.4 三相异步电动机的制动控制	30
2.4.1 机械制动	30
2.4.2 电气制动	32
本章小结	35
习题 2	35

第 3 章 可编程控制器的组成和工作原理	37
3.1 可编程控制器的基本结构	37
3.1.1 可编程控制器的硬件系统	37
3.1.2 可编程序控制器的软件系统	41
3.2 可编程控制器的工作原理	42
3.2.1 可编程控制器的等效工作电路	42
3.2.2 可编程控制器的工作过程	43
3.2.3 PLC 对输入/输出的处理规则	46
3.2.4 PLC 的扫描周期及滞后响应	46
3.3 可编程控制器的编程语言和程序结构	48
3.3.1 可编程控制器的编程语言	48
3.3.2 可编程控制器的程序结构	50
3.4 SIMATIC S7-300 PLC 的硬件组成及硬件组态	52
3.4.1 S7-300 系列 PLC 系统硬件组成	52
3.4.2 S7-300 的模块简介	53
3.4.3 S7-300 系列 PLC 的编程元件	62
3.4.4 S7-300 的组态	63
3.5 S7-300 的编程软件 STEP 7	68
3.5.1 STEP 7 的组成及功能	68
3.5.2 启动 STEP 7 并创建一个项目	69
3.5.3 STEP 7 的下载和程序调试	75
3.5.4 S7-PLC 模拟软件 S7-PLCSIM 简介	77
本章小结	79
习题 3	79
第 4 章 S7-300 的指令系统及编程	80
4.1 STEP 7 的数据类型和指令结构	80
4.1.1 STEP 7 的数据类型	80
4.1.2 STEP 7 的指令结构	81

4.2 位逻辑指令	85
4.2.1 位逻辑运算指令	85
4.2.2 位逻辑运算指令应用举例	91
4.3 定时器与计数器指令	92
4.3.1 定时器指令	92
4.3.2 时钟存储器	100
4.3.3 计数器指令	102
4.3.4 定时器与计数器的编程举例	104
4.4 数据传送与转换指令	108
4.4.1 数据装入和传送指令	108
4.4.2 转换指令	111
4.5 运算指令	116
4.5.1 算术运算指令	116
4.5.2 字逻辑运算指令	118
4.5.3 数据运算指令应用举例	120
4.6 移位指令	121
4.6.1 移位指令介绍	121
4.6.2 移位指令应用（编辑 步进架）	123
4.7 累加器操作和地址寄存器操作指令	126
4.8 控制指令	127
4.8.1 逻辑控制指令	127
4.8.2 程序控制指令	133
4.8.3 主控继电器指令	134
4.9 S7-300 的系统功能模块简介	135
本章小结	140
习题 4	141
第 5 章 S7-300 的组织块及中断处理	144
5.1 组织块概述	144
5.1.1 组织块的组成	145
5.1.2 组织块的分类	146
5.2 循环执行的组织块	146
5.3 定期执行的组织块和中断处理	147
5.3.1 日期时间中断组织块 (OB10~OB17)	147
5.3.2 循环中断组织块 (OB30~OB38)	148
5.4 事件驱动的组织块和中断处理	149
5.4.1 延时中断组织块 (OB20~OB23)	149

5.4.2 异步故障中断组织块 (OB80~OB87)	151
本章小结	152
习题 5	152

第 6 章 西门子 PLC 工业通信

网络简介	153
6.1 PLC 通信网络基础	153
6.1.1 PLC 网络含义	153
6.1.2 PLC 网络的结构	153
6.2 西门子 S7 的工业通信网络及分类	154
6.2.1 S7 的通信网络	154
6.2.2 S7 的通信分类	156
6.3 Profibus-DP 通信举例	157
6.4 MPI 通信举例	166
6.5 AS-I 总线通信举例	170
本章小结	178
习题 6	178

第 7 章 可编程控制器应用系统的设计

7.1 可编程控制器控制系统总体设计	179
7.1.1 PLC 控制系统设计的原则与 内容	179
7.1.2 PLC 控制系统设计的一般 步骤	180
7.1.3 PLC 控制系统的可靠性设计	181
7.1.4 系统调试	182
7.2 STEP 7 的结构化程序设计	185
7.2.1 功能块及其组成	185
7.2.2 功能块局部变量声明表	186
7.2.3 形式参数与实际参数	186
7.2.4 局部变量的数据类型	187
7.2.5 功能块（或功能）的编程及 调用举例	188
7.3 程序设计应用举例	189
7.3.1 十字路口交通信号灯的控制	189
7.3.2 立体仓库的结构化程序设计	193
7.4 模拟量的检测和控制	200
7.4.1 模拟量的检测	200
7.4.2 模拟量的控制——连续 PID 控制器 SFB41	202

本章小结	208	8.3.6	脉冲除尘器的 PLC 控制	235
习题 7	209	8.3.7	水塔水位的 PLC 控制	237
第 8 章 PLC 控制技术课程设计指导	210	8.3.8	包装生产线的 PLC 控制	238
8.1 课程设计的目的、要求和主要内容	210	8.3.9	装卸料小车多方式运行的 PLC 控制	239
8.1.1 课程设计的目的	210	8.3.10	五层电梯的 PLC 控制	239
8.1.2 课程设计的基本要求	210	8.3.11	变频调速恒压供水系统中的 PLC 控制	240
8.1.3 课程设计任务书	211			
8.1.4 课程设计报告的主要内容	211			
8.2 课程设计举例	213	附录 A STEP 7 语句表指令一览表		243
8.2.1 课程设计任务书	214	附录 B 实验指导书		247
8.2.2 系统配置及输入/输出继电器 地址分配	215	实验 1 STEP-7 编程软件的熟悉及 基本指令练习		247
8.2.3 系统的 I/O 接线图	216	实验 2 异步电动机可逆运行控制		250
8.2.4 系统的流程图	216	实验 3 异步电动机 Y- Δ 降压启动控制		251
8.2.5 用 STEP 7 编程语言进行 软件设计	217	实验 4 异步电动机反接制动控制		252
8.3 课程设计选题	229	实验 5 定时器、计数器功能实验		253
8.3.1 智力抢答器的 PLC 控制	229	实验 6 移位指令练习		259
8.3.2 自动售货机的 PLC 控制	230	实验 7 数据处理指令练习		260
8.3.3 注塑机的 PLC 控制	231	实验 8 结构化编程应用		261
8.3.4 污水净化处理系统的 PLC 控制	231	实验 9 S7-300 组织块与中断		262
8.3.5 花式喷泉的 PLC 控制	234	实验 10 现场总线应用		262
		参考文献		264

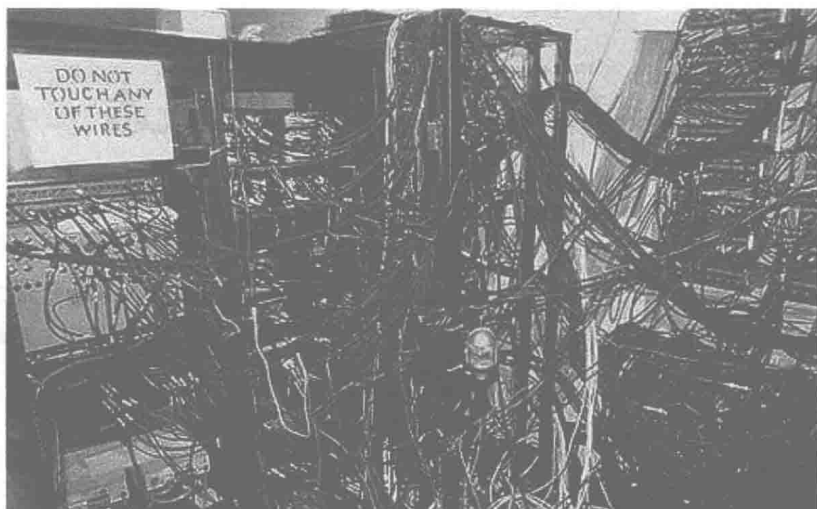


图 1-2 继电器复杂的接线

1.1.2 PLC 的产生

一种新型的控制装置，一项先进的应用技术，总是根据工业生产的实际需要而产生的。

1968 年，美国通用汽车公司（GM）为满足市场需求，适应汽车生产工艺不断更新的需要，将汽车的生产方式由大批量、少品种转变为小批量、多品种。为此要解决因汽车不断改型而重新设计汽车装配线上各种继电器的控制线路问题，寻求一种比继电器更可靠、响应速度更快、功能更强大的通用工业控制器。GM 公司提出了著名的 10 条技术指标在社会上招标，其核心指标为：

- ① 用计算机代替继电器控制盘；
- ② 用程序代替硬件接线；
- ③ 输入/输出电平可与外部装置直接连接；
- ④ 结构易于扩展。

根据以上指标，美国数字设备公司（DEC）在 1969 年研制出世界上第一台可编程控制器，型号为 PDP-14，并在 GM 公司的汽车生产线上首次应用成功，取得了显著的经济效益。当时人们把它称为可编程序逻辑控制器（Programmable Logic Controller，简称 PLC）。

第一个把 PLC 商品化的是美国的哥德公司（GOULD），时间也是 1969 年。1971 年，日本从美国引进了这项新技术，研制出日本第一台可编程控制器。1973—1974 年，德国和法国也都相继研制出自己的可编程控制器，德国西门子公司（SIEMENS）于 1973 年研制出欧洲第一台 PLC。我国从 1974 年开始研制，1977 年开始工业应用。

随着微电子技术的发展，20 世纪 70 年代中期以来，由于大规模集成电路（LSI）和微处理器在 PLC 中的应用，使得 PLC 的功能不断增强。它不仅能执行逻辑控制、顺序控制、计时及计数控制，还增加了算术运算、数据处理、通信等功能，具有处理分支、中断、自诊断的能力，使得 PLC 更多地具有了计算机的功能。由于 PLC 编程简单、可靠性高、使用方便、维护容易、价格适中等优点，使其得到了迅猛的发展，在冶金、机械、石油、化工、纺织、轻工、建筑、运输、电力等部门都得到了广泛的应用。

1.1.3 PLC 控制的基本思想

PLC 控制系统的等效工作电路可分为三部分，即输入部分、内部控制电路和输出部分。输

入部分就是采集输入信号，输出部分就是系统的执行部件。这两部分与继电器-接触器控制电路相同。内部控制电路是通过编程方法实现的控制逻辑，用软件编程代替继电器-接触器电路的功能。

PLC 支持多种编程语言，其中梯形图语言与继电器-接触器控制系统的线路图的基本思想是一致的，只是在使用符号和表达方式上有一定区别，而且各个厂家 PLC 的梯形图的符号还存在着差别，但总体来说大同小异。图 1-1 (b) 所示的三相异步电动机“正-停-反”控制，采用 S7-300 PLC 控制，其 I/O 接线及程序如图 1-3 所示。

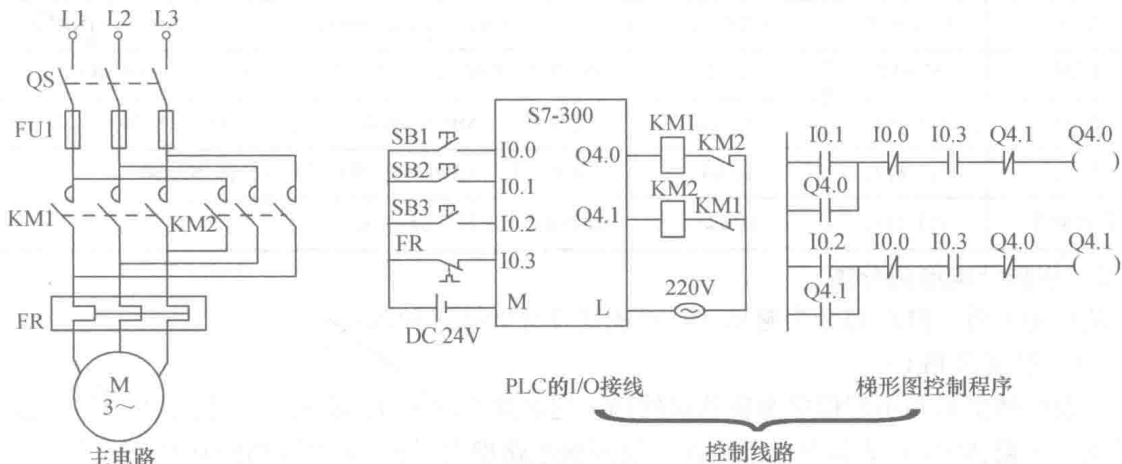


图 1-3 用 S7-300 PLC 实现的正反转控制

由图 1-3 可以看出，采用 PLC 控制方式，保留了原有的继电器-接触器控制方式的主电路部分，只是在控制线路部分用编程取代了各种电器元件的硬接线。而且可以看出，在 PLC 中通用的梯形图语言与继电器-接触器控制线路形式上很相似，基本具有相同的逻辑关系。即 PLC 是在继电器-接触器线路基础上发展起来的新型工业控制装置，并继承了原有的主电路及相关控制思想。所以要在学习 PLC 之前，对继电器-接触器控制线路进行必要的了解和掌握是非常必要的。

1.2 可编程控制器的定义、分类

1.2.1 可编程控制器的定义

可编程序控制器在它发展初期，主要用来取代继电器-接触器控制系统，即用于开关量的逻辑控制系统。后来，随着微电子技术和计算机技术的发展，可编程序控制器已发展成“以微处理器为基础，结合计算机 (Computer) 技术、自动控制 (Control) 技术和通信 (Communication) 技术 (简称 3C 技术) 的高度集成化的新型工业控制装置”。

由于 PLC 的发展非常快，所以其定义也在随 PLC 功能的发展而不断地改变。直到 1987 年 2 月，国际电工委员会 (IEC) 对 PLC 做了明确定义：“可编程控制器是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下应用而设计。它采用可程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算和顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，并通过数字的或模拟的输入和输出接口，控制各种类型的机器设备或生产过程。可编程控制器及其有关设备的设计原则是它应易于与工业控制系统联成一个整体和具有扩充功能而构建。”

1.2.2 可编程控制器的分类

目前，PLC 的品种繁多，型号和规格也不统一，通常只能按照其 I/O 点数、结构形式及功

能用途三大方面来大致分类，了解这些分类方式有助于 PLC 的选型及应用。

1. 根据 I/O 点数分类

根据 I/O 点数的多少可将 PLC 分为微型机、小型机、中型机、大型机和超大型机等 5 种类型，其点数的划分见表 1-1。

表 1-1 按 I/O 点数分类 PLC

类型	I/O 点数	存储器容量/KB	机 型 举 例
微型机	64 点以下	0.256~2	三菱 F10、F20；AB Micrologix1000；西门子 S5-90U、95U 及 S7-200
小型机	65~128	2~4	三菱 F-40、F-60，FX 系列；AB SLC-500；西门子 S5-100U
中型机	129~512	4~16	三菱 K 系列；AB SLC-504；西门子 S5-115U、S7-300
大型机	513~8192	16~64	三菱 A 系列；AB PLC-5；西门子 S5-135U、S7-400
超大型机	大于 8192	64~128	AB PLC-3；西门子 S5-155U

2. 根据结构形式分类

从结构上看，PLC 可分为整体式、模板式及分散式三种形式。

(1) 整体式 PLC

一般的微型机和小型机多为整体式结构。这种结构的 PLC 将电源、CPU、I/O 部件都集中配置在一个箱体中，有的甚至全部装在一块印制电路板上。图 1-4 所示 SIEMENS 公司的 S7-200 PLC，即为整体式结构。

整体式 PLC 结构紧凑，体积小，重量轻，价格低，容易装配在工业设备的内部，比较适合用于生产机械的单机控制。缺点是主机的 I/O 点数固定，使用不够灵活，维修也较麻烦。

(2) 模板式 PLC

模板式结构的 PLC 将电源模板、CPU 模板、输入模板、输出模板及其他智能模板等以单独的模板分开设置。这种 PLC（如 S7-400）一般设有机架底板，在底板上若有若干插槽，使用时，各种模板直接插入机架底板即可，如图 1-5 所示。也有的 PLC（如 S7-300）为串行连接，没有底板，各个模板安装在机架导轨上，而各个模板之间是通过背板总线连接的。

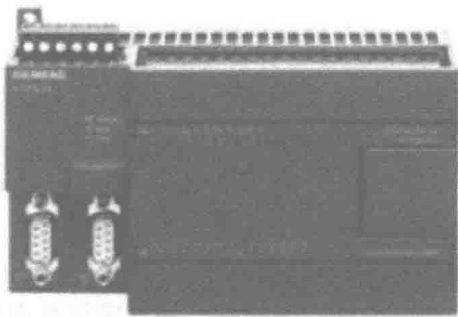


图 1-4 整体式 PLC（S7-200）的外观结构图

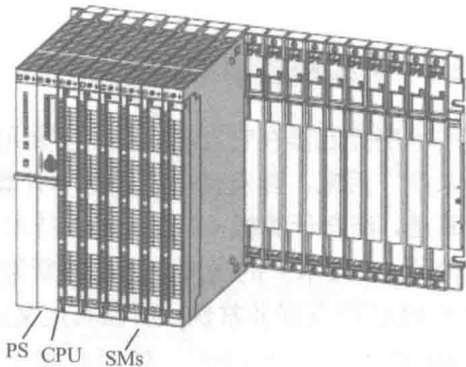


图 1-5 模板式 PLC（S7-400）外观结构图

这种结构的 PLC 配置灵活，装备方便，维修简单，易于扩展，可根据控制要求灵活配置所需模板，构成功能不同的各种控制系统。一般中型机、大型机和超大型机 PLC 均采用这种结构。模板式 PLC 的缺点是结构较复杂，各种插件多，因而增加了造价。

(3) 分散式 PLC

所谓分散式的结构就是将 PLC 的 CPU、电源、存储器集中放置在控制室，而将各 I/O 模板分散放置在各个工作站，由通信接口进行通信连接，由 CPU 集中指挥。

3. 根据功能用途分类

低档机——有开关量控制、少量的模拟量控制、远程 I/O 和通信功能。

中档机——有开关量控制、较强的模拟量控制、远程 I/O 和较强的通信联网等功能。

高档机——除有中档机的功能外，运算功能更强、特殊功能模块更多，有监视、记录、打印和极强的自诊断功能，通信联网功能更强，能进行智能控制和大规模过程控制，可很方便地构成全厂的综合自动化系统。

1.3 可编程控制器的特点及主要功能

1.3.1 PLC 的一般特点

PLC 能如此迅速发展，除了工业自动化的客观需要外，还因为它具有许多独特的优点。它较好地解决了工业控制领域中普遍关心的可靠、安全、灵活、方便、经济等问题。可编程控制器的种类虽然千差万别，但为了在工业环境中使用，它们都有许多共同的特点：

- ① 在 PLC 的设计和制造过程中，主要采用隔离和滤波技术，抗干扰能力强；
- ② 梯形图语言既继承了传统继电器-接触器控制线路的表达形式，编程简单易学；
- ③ 软/硬件配套齐全，用户使用方便，适应性强；
- ④ PLC 的操作及维修工作量小，维护方便；
- ⑤ 系统设计和施工可同时进行，程序可在实验室模拟调试，施工、调试周期短；
- ⑥ 体积小、能耗低，易于实现机电一体化。

1.3.2 PLC 的主要功能

PLC 在现场的输入信号作用下，按照预先输入的程序，控制现场的执行机构，按照一定规律进行动作。其主要功能体现在以下几个方面。

- ① 顺序逻辑控制，这是 PLC 最基本最广泛的应用领域，实现逻辑控制和顺序控制。
- ② 运动控制，PLC 与计算机数控 (CNC) 集成在一起，用以完成机床的运动控制。已广泛用于控制无心磨削、冲压、复杂零件分段冲裁、滚削等应用中。
- ③ 定时、计数控制，精度高，设定方便、灵活，同时还提供了高精度的时钟脉冲，用于准确的实时控制。
- ④ 步进控制，用步进或移位指令方便地完成步进控制功能，使得步进控制更为方便。
- ⑤ 数据处理，大部分 PLC 都具有不同程度的算术和数据处理功能，便于系统的过程控制。
- ⑥ A/D 和 D/A 转换，基本所有 PLC 都具有模拟量处理功能，用于过程控制或闭环控制系统中，而且编程和使用都很方便。
- ⑦ 通信及联网，能够在 PLC 与计算机之间进行同位链接及上位链接，记录和监控有关数据。

1.4 可编程控制器的应用及发展趋势

1.4.1 可编程控制器的应用现状

一方面由于微处理器芯片及有关元件的价格大大下降，使得 PLC 的成本下降；另一方面 PLC 的功能大大增强，它能够解决复杂的计算和通信问题。使得 PLC 作为一种通用的工业控制

器,可用于所有的工业领域。目前 PLC 在国内外已广泛地应用到机械、汽车、冶金、石油、化工、轻工、纺织、交通、电力、电信、采矿、建材、食品、造纸、军工、机器人等各个领域。PLC 控制技术代表了当今电气控制技术的世界先进水平,已与 CAD/CAM、工业机器人并列为工业自动化的三大支柱。

全世界约 200 家 PLC 生产厂商中,控制整个市场 60% 以上份额的公司只有 6 家,即美国的 AB 公司和 GE (通用) 公司,德国的 SIEMENS (西门子) 公司,法国的 SCHNEIDER (施耐德) 公司,日本的 MITSUBISHI (三菱) 公司和 OMRON (欧姆龙) 公司。

从市场份额指标来看,第一位是 SIEMENS 公司,约占 30% 的市场份额;第二位是 AB 公司,约占 18% 的市场份额;第三位是 SCHNEIDER 公司,约占 12% 的市场份额。剩下的被包括 OMRON 公司等近 200 余家 PLC 厂商占领。

1.4.2 可编程控制器的发展趋势

随着 PLC 技术的推广、应用,PLC 将进一步向以下几个方向发展:

- ① 系列化、模板化,每个厂家几乎都有自己的系列化产品,同一系列的产品指令向上兼容,扩展设备容量,以满足新机型的推广和使用;
- ② 小型机功能强化,小型机的发展速度大大高于中、大型 PLC;
- ③ 中、大型机高速度、高性能、大容量,使其能取代工业控制微机 (IPC)、集散控制系统的功能;
- ④ 低成本、多功能,价格的不断降低,使 PLC 真正成为继电器-接触器控制的替代物。计算、处理功能的进一步完善,使 PLC 可以代替计算机进行管理、监控。

本章小结

可编程控制器是“专为在工业环境下应用而设计的”工业控制计算机,是标准的通用工业控制器。它集 3C 技术 (Computer、Control、Communication) 于一体,功能强大,可靠性高,编程简单,使用方便、维护容易,应用广泛,是当代工业生产自动化的三大支柱之一。

① PLC 的产生是计算机技术与继电器-接触器控制技术相结合的产物,是社会发展和技术进步的必然结果。

② 从结构上,PLC 可分为整体式、模板式和分散式;从控制规模上,PLC 可分为大型、中型和小型,并有向微型和超大型 PLC 发展之势。

③ PLC 总的发展趋势是:高性能、高速度、高集成度、大容量、小体积、低成本、通信组网能力强。

习 题 1

1. 可编程控制器是如何产生的?
2. 整体式 PLC 与模板式 PLC 各有什么特点?
3. 可编程控制器如何分类?
4. 列举可编程控制器可能应用的场合。
5. 说明可编程控制器的发展趋势是什么?

第2章 常用控制电器与电气控制线路

常见的拖动系统有电力拖动、气动、液压驱动等方式。电动机作为原动机拖动生产机械运动的方式称为电力拖动，常用的电气控制方式主要是指继电器-接触器控制方式，电气控制电路是由各种接触器、继电器、按钮、行程开关等电器元件组成的控制电路。本章主要介绍以下内容：

- 常用低压控制电器的结构和工作原理；
- 电气控制图的组成及绘制方法；
- 三相鼠笼式电动机启动控制；
- 三相异步电动机的制动、调速控制。

本章主要通过熟悉常用低压元件结构及工作原理，重点掌握常用的交流电动机启动、制动的继电器-接触器电气控制原理图的组成、绘制及工作过程。

2.1 常用低压控制电器

凡是在电能生产、输送、分配与应用过程中起着控制、调节、检测和保护作用的各种电器元件和设备均称为电器。电器在电力输配电系统和电力拖动自动控制系统中应用极为广泛。

随着科学技术的飞速发展，自动化程度的不断提高，电器的概念在不断拓展，应用范围日益扩大，品种不断增加。按工作电压高低可将电器分为高压电器和低压电器。高压电器是指额定电压为 3kV 及以上的电器，用于电力输配电系统中；低压电器是指工作在交流 1000V 或直流 1500V 以下的电器，它是电力拖动自动控制系统的基本组成元件，也就是说常用电机控制电器即为低压电器。

电机控制电器的种类很多，按其动作方式可分为手动和自动两类。手动电器的动作是由工作人员手动或机械的碰撞操纵，如刀开关、组合开关、按钮、行程开关等。自动电器的动作是根据指令、信号变化自动进行的，如各种继电器、接触器、熔断器等。

2.1.1 手动电器

1. 低压开关

低压开关又称低压隔离器，主要有刀开关、组合开关以及刀开关与熔断器组合成的胶盖瓷底刀开关和熔断器式刀开关，还有转换开关等。

(1) 刀开关

刀开关又叫闸刀开关，一般用于不频繁操作的低压电路中，用作接通和切断电源，或用来将电路与电源隔离，有时也用来控制小容量电动机的直接启动与停机。图 2-1 为平板式手柄操作的单极刀开关的结构示意图。

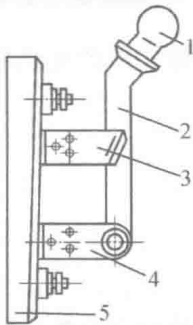
刀开关由闸刀（动触点）、静插座（静触点）、手柄、铰链支座和绝缘底板等组成。刀开关的种类很多。按极数（刀片数）分为单极、双极和三极；按结构分为平板式和条架式；按操作方式分为直接手柄操作式、杠杆操作机构式和电动操作机构式；按转换方向分为单投和双投等。刀开关一般与熔断器串联使用，以便在短路或过负荷时熔断器熔断而自动切断电路。刀开关的额定电压通常为 250V 和 500V，额定电流在 1500A 以下。

安装刀开关时，电源线应接在静触点上，负荷线接在与闸刀相连的端子上。对有熔断丝的刀开关，负荷线应接在闸刀下侧熔断丝的另一端，以确保刀开关切断电源后闸刀和熔断丝不带电。在垂直安装时，手柄向上合为接通电源，向下拉为断开电源，不能反装，否则会因闸刀松动自然落下而误将电源接通。

刀开关的选用主要考虑回路额定电压、长期工作电流及短路电流所产生的动热稳定性等因素。刀开关的额定电流应大于其所控制的最大负荷电流。目前生产的大电流刀开关的额定电流一般分为 100A、200A、400A、600A、1000A、1500A 等 6 级，小电流刀开关的额定电流一般分 10A、15A、20A、30A、60A 等 5 级。

用于直接启停 3kW 及以下的三相异步电动机时，刀开关的额定电流必须大于电动机额定电流的 3 倍。

刀开关的图形符号、文字符号如图 2-2 所示。



1—手柄；2—闸刀；3—静插座；4—铰链支座；5—绝缘底板

图 2-1 手柄操作式单极刀开关结构示意图

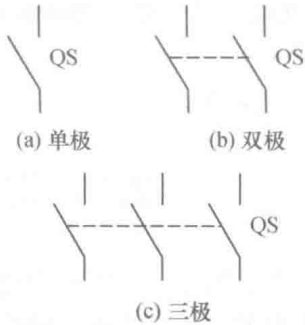


图 2-2 刀开关的图形符号、文字符号

(2) 组合开关

组合开关是一种转动式的闸刀开关，主要用于机床电气设备中用作电源引入开关，也可用来直接控制小型鼠笼型三相异步电动机的启动、停止、非频繁正反转或局部照明。

组合开关结构如图 2-3 所示。组合开关由三个分别装在三层绝缘件内的动触头、与盒外接线柱相连的静触头、绝缘杆、手柄等组成。旋转手柄，动触头随转轴转动，变更与静触头分、合的位置，实现接通和分断电路的目的。

组合开关的图形符号、文字符号如图 2-4 所示。

2. 按钮

按钮是一种人工控制的主令电器，主要用于发布操作命令，接通或断开控制电路的继电器、接触器，从而控制电动机或其他电气设备的运行。

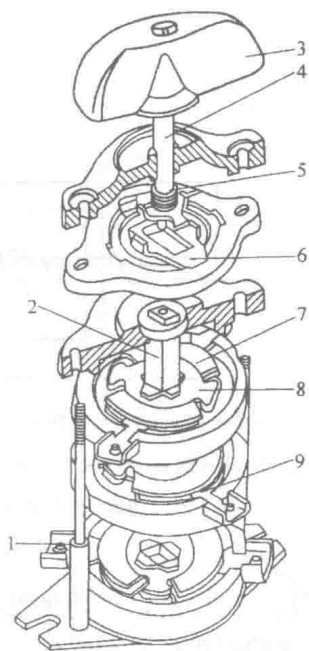
按钮一般由按钮帽、复位弹簧、动触头、静触头 and 外壳等组成，如图 2-5 所示。

通常，按钮的常开触头断开、常闭触头闭合。手指按下 7 时，动触头 5 向下运动使常闭触头（1、2）断开、常开触头（3、4）闭合。松开手之后，在复位弹簧 6 的反作用力下，动触头向上运动，使常开触头断开、常闭触头闭合，按钮回到原态。

按钮的图形符号、文字符号如图 2-6 所示。

3. 位置开关

位置开关是利用运动部件的行程位置实现控制的电器元件。位置开关根据其有无触头分为行程开关和接近开关。



1—接线柱；2—绝缘杆；3—手柄；4—转轴；5—弹簧；
6—凸轮；7—绝缘垫板；8—动触头；9—静触头

图 2-3 组合开关结构图示意图

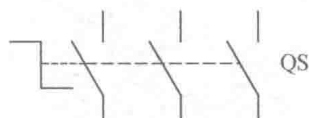
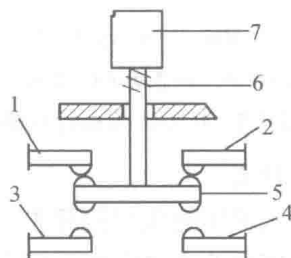


图 2-4 组合开关的图形符号、文字符号



1, 2—常闭静触头；3, 4—常开静触头；
5—桥式动触头；6—复位弹簧；7—按钮帽

图 2-5 按钮结构原理示意图



图 2-6 按钮图形符号和文字符号

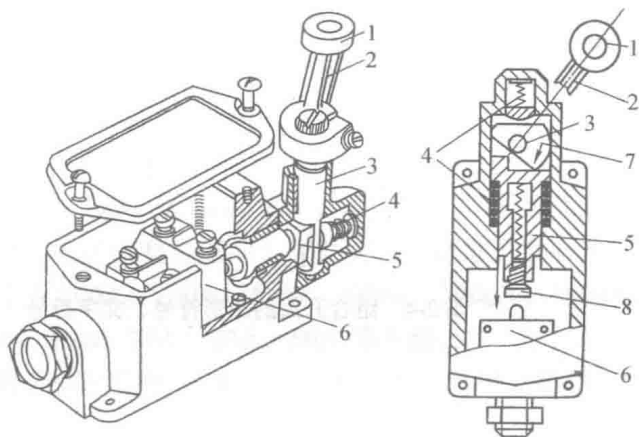
(1) 行程开关

行程开关又称限位开关，是一种利用生产机械某些运动部件的碰撞来发出控制指令的主令电器。用于控制生产机械的运动方向、速度、行程大小或位置的一种自动控制器件。

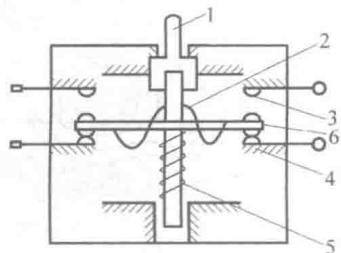
行程开关按用途不同可分为两类：一类是常用行程开关，主要用于机床、自动生产线及其他生产机械的限位控制；另一类是起重设备行程开关，主要用于限制起重机及各类冶金辅助设备的行程控制。

图 2-7 所示为 JLXK1 系列行程开关结构示意图，它主要由滚轮、杠杆、转轴、凸轮、撞块、调节螺钉、微动开关和复位弹簧等组成。其工作原理是：当运动机械的挡铁撞到行程开关的滚轮上时，行程开关的杠杆连同转轴一起转动，使凸轮推动撞块，当撞块被压到一定位置时，由微动开关（见图 2-8）的推杆带动弓形片状弹簧形成反向压力的作用，微动开关快速动作，使其常闭触头断开、常开触头闭合；当滚轮上的挡铁移开后，复位弹簧就使行程开关的各部件恢复到原始位置。

行程开关的图形符号、文字符号如图 2-9 所示。



1—滚轮；2—杠杆；3—转轴；4—复位弹簧；
5—撞块；6—微动开关；7—凸轮；8—调节螺钉
图 2-7 JLXK1 系列行程开关结构示意图



1—推杆；2—弓形片状弹簧；3—常开触头；
4—常闭触头；5—恢复弹簧；6—动触头
图 2-8 微动开关结构示意图

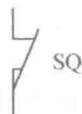
(2) 接近开关

接近开关又称无触头行程开关，是当某种物体与之接近到一定距离，在无接触情况下，就发出“动作”信号的主令电器，它无须施以机械力。接近开关的用途已经远远超出一般的行程开关的行程和限位保护，它还可以用于高速计数、测速、液面控制、检测金属体的存在、检测零件尺寸及用作计算机或可编程控制器的传感器等。

接近开关按工作原理分：高频振荡型（检测各种金属）、电磁感应型（检测导磁或不导磁金属）、电容型（检测导电或不导电的液体或气体）、光电型（检测不透光物质）和超声波型（检测不透过超声波物质）等。接近开关的图形符号、文字符号如图 2-10 所示。

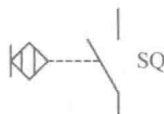


(a) 行程开关常开触头

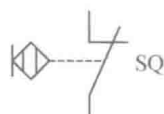


(b) 行程开关常闭触头

图 2-9 行程开关图形符号和文字符号



(a) 接近开关常开触头



(b) 接近开关常闭触头

图 2-10 接近开关图形符号和文字符号

2.1.2 自动电器

1. 熔断器

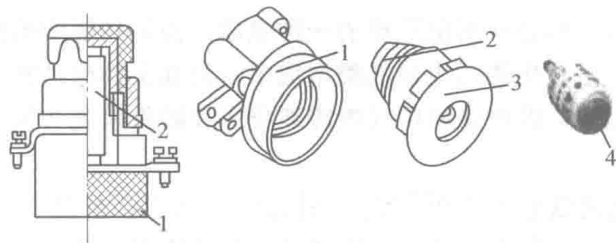
熔断器主要作短路或严重过载保护用，串联在被保护的线路中。线路正常工作时如同一根导线，起通路作用；当线路短路或严重过载时，熔断器熔断，起断路作用，从而保护线路上其他电器设备。

熔断器的结构一般由熔断管（或座）、熔断体、填料及导电部件等部分组成。图 2-11 所示为螺旋式熔断器结构示意图。

熔断器的熔体熔化电流与熔断时间关系曲线如图 2-12 所示， I_t 为最小熔化电流，当通过熔体的电流等于或大于这个电流值时，熔体熔断。当通过熔体的电流小于这个电流值时，熔体不会熔断。 I_{re} 为熔体的额定电流。 I_t 与 I_{re} 的比值称为熔断器的熔化系数。熔化系数越小，对过载保护越有利，但如果太小，接近 1，会使熔体工作温度过高，还有可能造成误熔断，影响熔断器的可靠性。

熔断器的主要元件是熔体，熔断器用于不同性质的负载，其选择熔体额定电流的方法不同。

① 电炉、照明等电阻性负载或单台长期工作的电动机： $I_{re} \geq (1.5 \sim 2.5)I_N$ 。



1—瓷座；2—熔体；3—瓷帽；4—熔断指示器

图2-11 螺旋式熔断器结构示意图

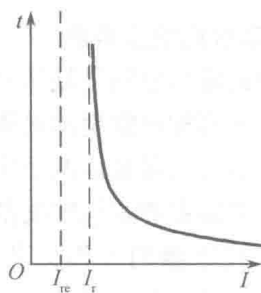


图2-12 熔断器熔断时间与熔化电流特性

② 单台频繁启动的电动机，选择 $I_{re} \geq (3 \sim 3.5)I_N$ 。

③ 保护多台电动机时，选择 $I_{re} \geq (1.5 \sim 2.5)I_{N_{max}} + \sum_{i=1}^{n-1} I_N$ 。式中， $I_{N_{max}}$ 为 n 台电动机中容量最大的电动机的额定电流； $\sum_{i=1}^{n-1} I_N$ 为其余电动机的额定电流之和。

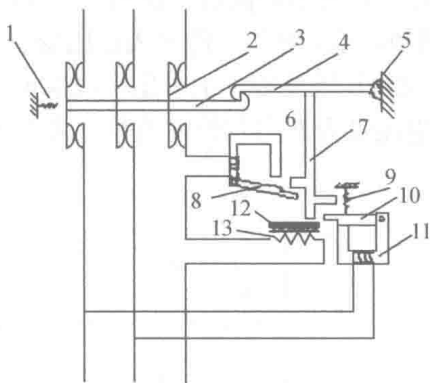
熔断器的图形符号、文字符号如图 2-13 所示。

2. 低压断路器

低压断路器又叫自动空气断路器、自动空气开关或自动开关，是低压配电网中的主要开关电器之一。它既是控制电器，同时又是保护电器。当电路中发生短路、过载、失压等故障时，能自动切断电路。自动开关广泛应用于低压配电线路上，也用于控制电机及其他用电设备。

低压断路器主要由主触头、自由脱扣机构、过电流脱扣器、热脱扣器、欠电压脱扣器、按钮等组成，其结构示意图如图 2-14 所示。

自动空气开关的主触头通常由手动的操作机构（按钮）来闭合，闭合后主触头 2 被锁钩 4 锁住。过电流脱扣器 6 的线圈和热脱扣器的热元件 13 与主电路串联，欠压脱扣器 11 的线圈与电源并联。当电路发生短路或严重过载时，过电流脱扣器的衔铁 8 吸合，使自由脱扣机构动作，主触头断开主电路。当电路过载时，热脱扣器的热元件 13 发热，使双金属片 12 向上弯曲，推动自由脱扣机构动作。当电路欠压时，欠压脱扣器的衔铁 10 释放，也使自由脱扣机构动作。自动空气开关的图形符号、文字符号如图 2-15 所示。



1, 9—释放弹簧；2—主触头；3, 4—锁钩；5—固定轴；

6—过电流脱扣器；7—推杆；8, 10—衔铁；

11—欠压脱扣器；12—双金属片；13—热元件

图 2-14 自动空气开关结构示意图



图 2-13 熔断器的图形符号和文字符号

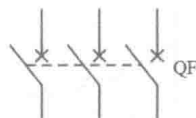


图 2-15 自动空气开关的图形符号和文字符号