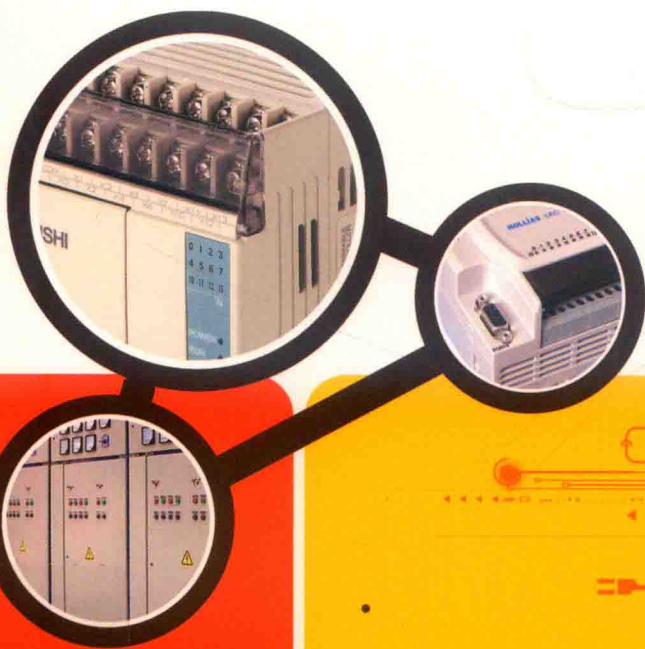


PLC步进与伺服知识的全面讲解  
从工程运用角度出发  
的实战宝典



# PLC步进与伺服 从入门到精通

岂兴明 初云涛 汤涛 刘仲祥 编著



# PLC



中国工信出版集团



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

PLC 步进与伺服

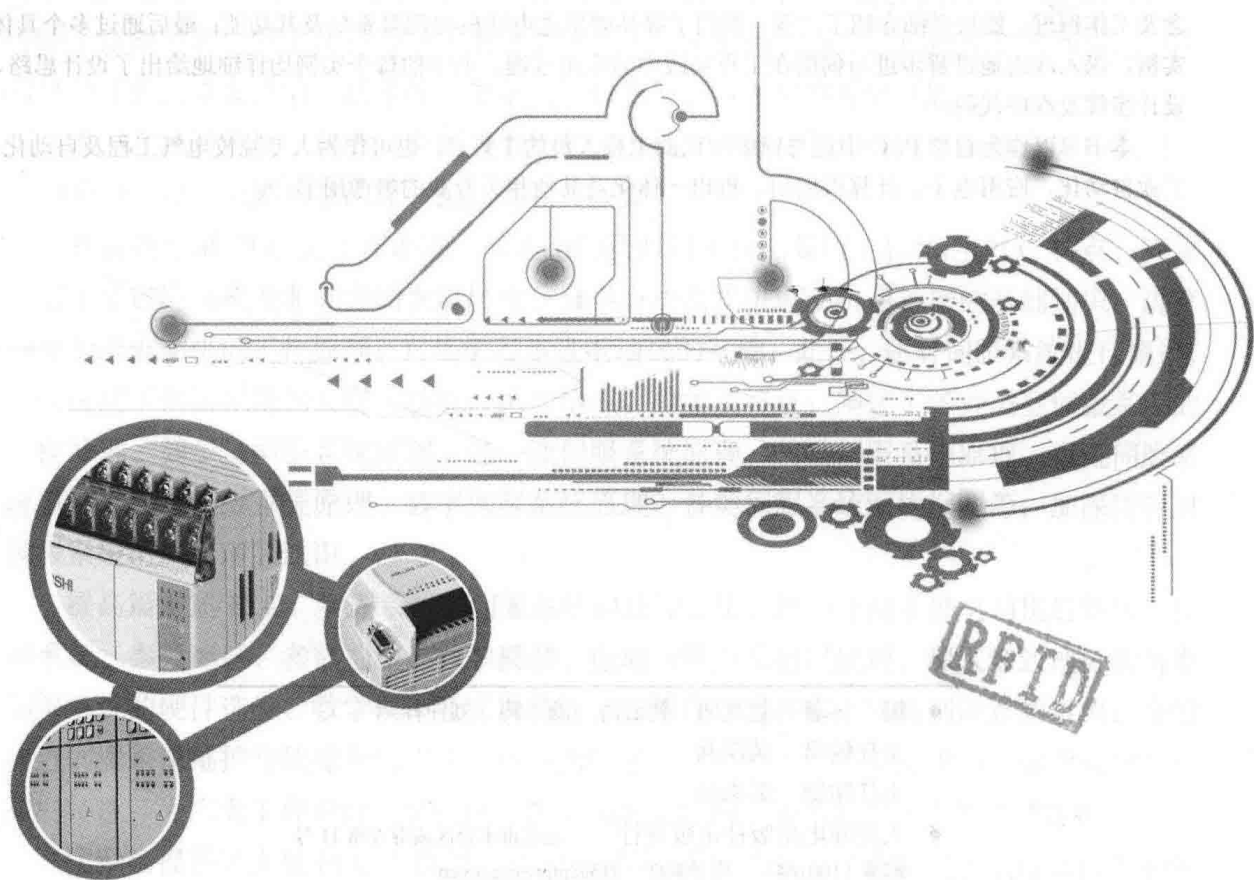
PLC 步进与伺服

PLC 步进与伺服

PLC 步进与伺服

# PLC 步进与伺服 从入门到精通

岂兴明 初云涛 汤涛 刘仲祥 © 编著



PLC 步进与伺服 (010) 81022310 印刷工业出版社 88122010 (010) 81022310 北京人民邮电出版社

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

PLC步进与伺服从入门到精通 / 岂兴明等编著. --  
北京: 人民邮电出版社, 2019. 5  
ISBN 978-7-115-50872-0

I. ①P… II. ①岂… III. ①PLC技术②步进电机③伺  
服电机 IV. ①TM571.61②TM35③TM383.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第037075号

## 内 容 提 要

本书从工程应用角度出发, 首先介绍 PLC 步进与伺服的基础知识, 包括步进电动机和伺服系统的概念及工作原理; 然后详细介绍了三菱、西门子等品牌步进电动机与伺服系统及其功能; 最后通过多个具体实例, 深入浅出地讲解步进与伺服在工程实践中的应用过程。书中的每个实例均详细地给出了设计思路、设计步骤及程序代码。

本书可以作为自学 PLC 步进与伺服知识的工程人员的工具书, 也可作为大专院校电气工程及自动化、工业自动化、应用电子、计算机应用、机电一体化及其他相关专业的参考用书。

- 
- ◆ 编 著 岂兴明 初云涛 汤 涛 刘仲祥  
责任编辑 黄汉兵  
责任印制 彭志环
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号  
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
三河市祥达印刷包装有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 30.5  
字数: 600 千字
- 

定价: 99.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316  
反盗版热线: (010)81055315

# 前言

早在 20 世纪 60 年代, 步进伺服系统就已经出现。20 世纪 80 年代后, 随着电动机技术、现代电力电子技术、微电子技术、控制技术及计算机技术的快速发展, 步进伺服系统得到了迅速发展, 其应用已经对人类社会产生了巨大影响。当今, 伺服控制器和步进电动机已经开始向着高性能、高速度、数字化、智能型、网络化的方向发展。

本书系统地阐述了各类步进伺服系统的基本概念、原理、设计方法及综合应用实例。本书分为 3 篇, 分别为基础篇、提高篇和实践篇。

基础篇介绍 PLC 的工作原理、基本结构及西门子和三菱两个品牌的 PLC 特点, 简单介绍了步进电动机及驱动器的发展历史、分类方法及步进电动机驱动器的基础知识; 讲解各种步进电动机的工作原理, 它是学习步进电动机的基础; 此外, 还对伺服系统进行概述, 主要讲述了伺服系统的发展、功能、结构组成、分类及特点; 阐述了各种类型伺服系统的工作原理, 如步进伺服系统原理、电—液伺服系统原理、气动伺服系统原理、直流伺服系统原理、交流伺服系统原理、数字伺服系统原理、各类伺服系统结构框图等, 加深读者对伺服系统组成原理的认识。

提高篇阐述 PLC、步进系统、伺服系统的设计方法, 逐一介绍步进电动机的特性、控制系统、参数测试、参数选型、数学模型、振动与噪声及阻尼处理; 深入细致地分析每类伺服系统的硬件选型、数学模型及元件特性, 强调设计过程中需要特别注意的事项; 介绍步进伺服系统维护与故障分析方法, 以及西门子和三菱两个品牌的步进与伺服驱动相关产品的特性; 为广大工程设计人员提供了各类伺服元件的引脚图和规格表等参考数据。

实践篇提供了大量 PLC 步进与伺服相关实例, 介绍西门子工程常用步进电动机控制的实例, 分别为 S7-200 PLC 驱动三相混合式步进电动机、S7-300 PLC 驱动三相混合式步进电动机及工控机驱动混合式步进电动机, 重点讲解步进电动机选型、电气控制原理图和对应的步进电动机控制程序; 以三菱步进伺服系统为例着重讲述三菱伺服系统模块中应用广泛的 MR-J2S-A 伺服驱动器, 分别从结构功能、控制模式、工作模式、参数设置等方面对 MR-J2S-A 伺服驱动器进行描述, 读者可以全面、深入地掌握三菱伺服系统的应用设计技术; 对数控伺服系统、电—液伺服系统及步进伺服系统的工程开发进行详细说明: 首先介绍西

门子数控伺服系统 840D 在轧辊车床上的应用,接着阐述电—液伺服系统在仿形铣床上的应用,最后分析基于 DSP 的混合式步进电动机伺服系统的应用;这三类实例特点突出、代表性强、图表丰富、内容简单易懂,读者可以进一步熟悉掌握步进伺服系统的设计方法及其在工程上的应用。

本书具有以下特点。

① 突出了选取内容的实用性、典型性。本书的应用实例大多来自工程实践,且内容丰富、翔实,所介绍的各种设计方案均采用经典的设计方法。

② 强调了应用系统的设计。本书不仅翔实地介绍了各种硬件选型和接口的设计过程,还对如何组成硬件系统进行了详细的讲解,使读者能快速掌握各类伺服系统设计。

③ 本书文字简练,通俗易懂,深入浅出,便于自学。

④ 本书应用面广,既可作为各学校的教学用书,又可作为广大工程技术人员设计伺服系统的参考用书。

本书由岂兴明主编,初云涛、汤涛、刘仲祥参与策划和校对。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏与不足之处,殷切期望广大读者不吝批评指正。

编者

# 目 录

## 基 础 篇

<b>第 1 章 可编程序控制器概述</b> .....	2
1.1 PLC 的发展.....	2
1.1.1 PLC 的定义.....	2
1.1.2 PLC 技术的产生.....	3
1.1.3 PLC 的发展历史.....	4
1.1.4 PLC 技术的发展趋势.....	4
1.2 PLC 的特点和应用范围.....	6
1.2.1 PLC 的特点.....	6
1.2.2 PLC 的应用范围.....	8
1.3 PLC 的基本结构与工作原理.....	9
1.3.1 PLC 的基本结构.....	10
1.3.2 PLC 的软件系统.....	17
1.3.3 PLC 的程序结构概述.....	20
1.3.4 PLC 的扫描工作方式.....	21
1.3.5 PLC 的工作原理.....	23
1.3.6 PLC 的 I/O 原则.....	24
1.3.7 PLC 的中断处理.....	24
1.4 部分品牌 PLC 简介.....	24
1.4.1 西门子 PLC.....	24
1.4.2 三菱 PLC.....	30
1.5 本章小结.....	33

<b>第 2 章 步进电动机及驱动器概述</b> .....	34
2.1 步进电动机的发展 .....	34
2.1.1 步进电动机的现状 .....	34
2.1.2 步进电动机的发展趋势 .....	35
2.2 步进电动机的分类 .....	35
2.2.1 按运动方式分类 .....	36
2.2.2 按电动机输出转矩分类 .....	37
2.2.3 按转矩产生的工作方式分类 .....	37
2.2.4 按励磁组数分类 .....	39
2.2.5 按电流极性分类 .....	39
2.3 步进电动机驱动器 .....	40
2.3.1 驱动器系统组成 .....	40
2.3.2 驱动器参数说明 .....	41
2.3.3 驱动器使用方法 .....	41
2.3.4 驱动器连接电路 .....	44
2.4 本章小结 .....	45
<b>第 3 章 步进电动机工作原理</b> .....	46
3.1 反应式步进电动机 .....	46
3.1.1 反应式步进电动机的结构 .....	46
3.1.2 反应式步进电动机的运行方式 .....	47
3.1.3 小步距角步进电动机 .....	49
3.1.4 反应式步进电动机的结构形式 .....	50
3.2 永磁式步进电动机 .....	52
3.2.1 单定子结构 .....	52
3.2.2 两定子结构 .....	53
3.3 混合式步进电动机 .....	53
3.3.1 永磁感应子式步进电动机的结构 .....	53
3.3.2 永磁感应子式步进电动机的工作原理 .....	54
3.4 特种步进电动机 .....	55
3.4.1 特微型永磁式步进电动机 .....	55
3.4.2 机电混合式步进电动机 .....	60
3.4.3 直线和平面步进电动机 .....	62
3.5 本章小结 .....	65

<b>第 4 章 伺服系统概述</b> .....	67
4.1 伺服系统的发展 .....	67
4.1.1 液压及气动伺服系统的发展 .....	68
4.1.2 电气伺服系统的发展 .....	68
4.2 伺服系统的结构及功能 .....	70
4.2.1 伺服系统的结构 .....	70
4.2.2 伺服系统的功能 .....	71
4.3 伺服系统的组成 .....	72
4.3.1 自动控制理论中的伺服系统 .....	72
4.3.2 电气控制系统中的伺服设备 .....	73
4.3.3 电—液控制系统中的伺服设备 .....	73
4.3.4 电—气控制系统中的伺服设备 .....	74
4.4 伺服系统的分类 .....	74
4.4.1 按照参数特性分类 .....	74
4.4.2 按照驱动元件类型分类 .....	77
4.4.3 按照控制原理分类 .....	77
4.4.4 按照机床加工系统分类 .....	79
4.5 伺服系统的特点 .....	79
4.6 本章小结 .....	80
<b>第 5 章 伺服系统原理</b> .....	82
5.1 步进式伺服系统原理 .....	82
5.1.1 脉冲发生器 .....	82
5.1.2 环分电路 .....	83
5.1.3 驱动电路 .....	84
5.1.4 步进电动机 .....	85
5.2 电—液伺服系统原理 .....	87
5.2.1 伺服阀 .....	87
5.2.2 液压马达 .....	90
5.2.3 液压缸的基本原理 .....	91
5.2.4 反馈传感器 .....	92
5.3 气动伺服系统原理 .....	92
5.3.1 气动伺服系统的构成 .....	93
5.3.2 气动伺服系统的气路原理 .....	93

5.4	直流伺服系统原理	94
5.4.1	整流驱动装置的原理	94
5.4.2	直流 PWM 伺服驱动装置的工作原理	95
5.4.3	直流系统控制电路的原理	96
5.4.4	测速元件的工作原理	97
5.5	交流伺服系统原理	97
5.5.1	伺服控制单元的基本原理	98
5.5.2	功率放大单元的基本原理	99
5.5.3	感应电动机的基本原理	100
5.5.4	反馈元件的基本原理	101
5.6	数字伺服系统原理	101
5.6.1	控制计算机及接口原理	102
5.6.2	模拟低通滤波器原理	103
5.6.3	自整角机—数字转换器原理	103
5.7	本章小结	104

## 提 高 篇

<b>第 6 章</b>	<b>PLC 的基本指令系统</b>	106
6.1	指令系统的基本知识	106
6.1.1	数制	106
6.1.2	数据类型	107
6.2	位逻辑指令	112
6.2.1	触点指令	112
6.2.2	绕组指令	114
6.2.3	RLO 操作指令	115
6.2.4	立即读与立即写	116
6.3	比较指令	117
6.4	转换指令	119
6.5	计数器指令	120
6.6	数据块操作指令	120
6.7	逻辑控制指令	121
6.8	运算指令	122
6.8.1	整数运算指令	122

6.8.2	浮点运算指令	122
6.8.3	赋值指令	123
6.9	程序控制指令	124
6.10	定时器指令	129
6.11	累加器指令	133
6.12	本章小结	137
<b>第7章</b>	<b>PLC 控制系统的设计方法</b>	<b>138</b>
7.1	安全用电常识	138
7.1.1	触电的原因和危害	138
7.1.2	触电的种类和形式	138
7.1.3	安全措施	139
7.1.4	触电的急救	139
7.2	PLC 控制系统的设计流程	140
7.2.1	PLC 控制系统的基本原则	140
7.2.2	PLC 控制系统的设计内容	141
7.2.3	PLC 控制系统的设计步骤	142
7.3	PLC 的硬件系统设计选型方法	145
7.3.1	PLC 硬件系统设计的基本流程	145
7.3.2	机型的选择	146
7.3.3	容量选择	147
7.3.4	I/O 模块的选择	147
7.3.5	电源模块及编程器的选择	150
7.3.6	分配 PLC 的 I/O 地址, 绘制 PLC 外部 I/O 接线图	150
7.4	PLC 的控制程序设计方法	153
7.4.1	PLC 控制程序的设计步骤	153
7.4.2	PLC 控制程序的设计方法	155
7.5	设计经验与注意事项	156
7.5.1	干扰和抗干扰措施	156
7.5.2	节省 I/O 点数的方法	157
7.5.3	PLC 的安装与维护	158
7.6	本章小结	162
<b>第8章</b>	<b>步进电动机系统设计</b>	<b>163</b>
8.1	步进电动机特性	163

8.1.1	静态特性	163
8.1.2	运行特性	167
8.1.3	频率特性	171
8.1.4	机械谐振与阻尼特性	174
8.1.5	步距误差特性	177
8.2	控制系统	178
8.2.1	开环控制系统	178
8.2.2	闭环控制系统	180
8.3	参数测试	181
8.3.1	静态参数测试	181
8.3.2	动态参数测试	185
8.4	参数选型	188
8.4.1	参数估算	188
8.4.2	参数设定	191
8.5	数学模型	196
8.5.1	状态变量与传递函数	196
8.5.2	动态特性模型	206
8.5.3	加减速模型	213
8.6	振动与噪声及阻尼处理	215
8.6.1	振荡和失步	216
8.6.2	振荡和噪声	217
8.6.3	低频振荡的抑制	218
8.7	本章小结	220
<b>第9章</b>	<b>伺服系统设计</b>	<b>222</b>
9.1	伺服系统需求分析	222
9.1.1	伺服系统的需求	222
9.1.2	伺服系统的优点	223
9.1.3	伺服系统的技术要求	223
9.2	伺服系统总体设计	224
9.2.1	伺服系统总体方案的初步制订	225
9.2.2	伺服系统的稳态设计	225
9.2.3	建立系统数学模型及动态设计	225
9.3	电—液伺服系统设计	226

9.3.1	电—液伺服系统的总体设计	226
9.3.2	电—液伺服系统的稳态设计	227
9.3.3	电—液伺服系统的数学模型	232
9.3.4	电—液伺服系统的动态分析	234
9.4	气动伺服系统设计	235
9.4.1	气动伺服系统的总体设计	235
9.4.2	气动伺服系统的稳态设计	237
9.4.3	气动伺服系统的数学模型	242
9.4.4	气动伺服系统的动态分析	243
9.5	直流伺服系统设计	244
9.5.1	直流伺服系统的总体设计	244
9.5.2	直流伺服系统的稳态设计	245
9.5.3	直流伺服系统的数学模型	254
9.5.4	直流伺服的动态设计	255
9.6	交流伺服系统设计	256
9.6.1	交流伺服系统的总体设计	257
9.6.2	交流伺服系统的稳态设计	257
9.6.3	交流伺服系统的数学模型	267
9.6.4	交流伺服系统的动态分析	270
9.7	全数字伺服系统设计	270
9.7.1	全数字伺服系统的总体设计	271
9.7.2	全数字伺服系统的稳态设计	272
9.7.3	全数字伺服系统的软件设计	282
9.8	本章小结	282
<b>第 10 章</b>	<b>步进伺服系统的维护与故障分析</b>	<b>284</b>
10.1	步进电动机和伺服电动机的维护与保养	284
10.1.1	步进电动机的维护要点与保养步骤	284
10.1.2	伺服电动机的维护要点与保养步骤	285
10.2	步进电动机及驱动器典型故障分析	287
10.2.1	反应式步进电动机及驱动器典型故障分析	287
10.2.2	永磁式步进电动机及驱动器典型故障分析	289
10.3	伺服电动机及驱动器典型故障分析	290
10.3.1	直流伺服电动机及伺服系统典型故障分析	290

10.3.2	交流伺服电动机及伺服系统典型故障分析	297
10.4	部分品牌 PLC 通用步进、伺服系统简介	315
10.4.1	西门子 PLC 通用步进、伺服系统	315
10.4.2	三菱 PLC 通用步进、伺服驱动系统	327
10.5	本章小结	334

## 实 践 篇

<b>第 11 章</b>	<b>西门子工程常用步进电动机控制实例</b>	336
11.1	S7-200 PLC 驱动步进电动机实例	336
11.1.1	S7-200 PLC 下步进电动机控制系统的功能说明	336
11.1.2	系统硬件的选型与搭建	338
11.1.3	电气控制原理图	340
11.1.4	系统软件程序设计	342
11.2	S7-300 PLC 驱动步进电动机实例	344
11.2.1	S7-300 PLC 下步进电动机控制系统的功能说明	344
11.2.2	系统硬件的选型与搭建	346
11.2.3	电气控制原理图	348
11.2.4	系统软件程序设计	349
11.3	工控机驱动步进电动机实例	353
11.3.1	工控机控制下步进电动机控制系统的功能说明	353
11.3.2	系统硬件的选型与搭建	354
11.3.3	电气控制原理图	355
11.3.4	系统软件程序设计	356
11.4	本章小结	357
<b>第 12 章</b>	<b>三菱步进伺服系统的控制应用技术</b>	358
12.1	三菱伺服系统模块组成	358
12.1.1	MR-J2S-A 伺服驱动器的结构与功能	359
12.1.2	伺服电动机的原理及其功能	361
12.2	三菱伺服系统各端子功能及内部电路	362
12.2.1	三菱伺服系统的外围接线	362
12.2.2	三菱伺服系统的各端子及功能说明	364
12.2.3	三菱伺服系统的接口说明	365

12.3	三菱伺服系统的工作模式	370
12.3.1	三菱 MR-J2S-A 伺服系统的位置控制模式	370
12.3.2	三菱 MR-J2S-A 伺服系统的速度控制模式	376
12.3.3	三菱 MR-J2S-A 伺服系统的转矩控制模式	379
12.4	三菱伺服系统的设计	380
12.4.1	三菱 MR-J2S-A 伺服系统的控制模式选择	381
12.4.2	三菱伺服电动机的型号选择	383
12.4.3	三菱伺服系统其他配件的规格选择	391
12.4.4	三菱伺服系统的电气接线图	393
12.4.5	三菱伺服系统的软件选择	398
12.4.6	三菱伺服系统 MR-J2S-A 基本参数的设置	399
12.5	本章小结	403
<b>第 13 章</b>	<b>步进伺服系统综合应用实例</b>	<b>404</b>
13.1	西门子数控伺服系统在轧辊车床上的应用	404
13.1.1	西门子 840D 数控伺服系统及轧辊车床的基本概念	404
13.1.2	西门子 840D 数控伺服系统的硬件配置	407
13.1.3	基于西门子 840D 系统的轧辊车床软件配置	421
13.2	电—液伺服系统在仿形铣床上的典型应用	432
13.2.1	仿形铣床的基本概念	432
13.2.2	仿形铣床的基本参数	434
13.2.3	仿形铣床的基本控制方式	436
13.2.4	数字随动铣床的基本原理	437
13.2.5	液压伺服系统下仿形铣床的检修方式	438
13.3	基于 DSP 的混合式步进电动机伺服系统	440
13.3.1	基于 DSP 的混合式步进电动机系统的功能说明	440
13.3.2	系统硬件设计	441
13.3.3	系统软件设计	449
13.4	本章小结	460
<b>附录 1</b>	<b>自动控制系统常用器件及说明</b>	<b>461</b>
<b>附录 2</b>	<b>CNC 常用术语中英文对照表</b>	<b>465</b>
	<b>参考文献</b>	<b>474</b>

# 基础篇

- 第1章 可编程序控制器概述
- 第2章 步进电动机及驱动器概述
- 第3章 步进电动机工作原理
- 第4章 伺服系统概述
- 第5章 伺服系统原理





# 第 1 章

# 可编程序控制器概述

PLC 是在电器控制技术和计算机技术的基础上开发出来的，并逐渐发展成为以微处理器为核心，把自动化技术、计算机技术、通信技术融为一体的一种新型工业自动化控制装置。PLC 将传统的继电器控制技术和现代计算机信息处理技术的优点有机地结合起来，具有结构简单、性能优越、可靠性高等优点，在工业自动化控制领域得到了广泛的应用，被公认为现代工业自动化的三大支柱（PLC、机器人、CAD/CAM）之一。本章主要介绍 PLC 的发展历史及相关技术的发展历程，进而概述 PLC 的工作原理，并详细讨论 PLC 的功能特点及结构组成，最后对西门子和三菱两个品牌的 PLC 型号和性能进行了简单介绍。

## 1.1 PLC 的发展

PLC 是一种数字运算操作的电子系统，即计算机。不过 PLC 是专为在工业环境下应用而设计的工业计算机，它具有很强的抗干扰能力、广泛的适应能力和应用范围，这也是其区别于其他计算机控制系统的一个重要特征。这种工业计算机采用“面向用户的指令”，因此编程更方便。PLC 能完成逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作，其具有数字量和模拟量输入/输出能力，并且非常容易与工业控制系统连成一个整体，易于“扩充”。由于 PLC 引入了微处理器及半导体存储器等新一代电子器件，并用规定的指令进行编程，因此 PLC 是通过软件方式来实现“可编程”的，程序修改灵活、方便。

### 1.1.1 PLC 的定义

早期的 PLC 主要用来实现逻辑控制。但随着技术的发展，PLC 不仅有逻辑运算功能，还有算术运算、模拟处理和通信联网等功能。PLC 这一名称已不能准确地反映其功能。因此，1980 年美国电气制造商协会（National Electrical Manufacturers Association, NEMA）将它命名为可编程序控制器（Programmable Controller），并简称 PC。但是由于个人计算机（Personal Computer）也简称为 PC，为避免混淆，后来仍习惯称其为 PLC。

为使 PLC 生产和发展标准化，1987 年国际电工委员会（International Electrotechnical Committee, IEC）颁布了 PLC 标准草案第三稿，对 PLC 的定义如下：PLC 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。它采用可编程序的存储器，用来在其

内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，并通过数字式和模拟式的输入和输出接口，控制各种类型的机械或生产过程。PLC 及其有关外部设备，都应按易于与工业系统连成一个整体，易于扩充其功能的原则设计。

该定义强调了 PLC 应用于工业环境，必须具有很强的抗干扰能力、广泛的适应能力和广阔的应用范围，这是区别于一般微机控制系统的重要特征。

综上所述，PLC 是专为工业环境应用而设计制造的计算机，它具有丰富的 I/O 接口，并具有较强的驱动能力。但 PLC 产品并不针对某一具体工业应用，在实际应用时，其硬件需要根据实际需要进行选用配置，其软件需要根据控制需求进行设计编制。

### 1.1.2 PLC 技术的产生

20 世纪 20 年代，继电器控制系统开始盛行。继电器控制系统就是将继电器、定时器、接触器等电子器件按照一定的逻辑关系连接起来而组成的控制系统。由于继电器控制系统结构简单、操作方便、价格低廉，在工业控制领域一直占据着主导地位。但是继电器控制系统具有明显的缺点：体积大，噪声大，能耗大，动作响应慢，可靠性差，维护性差，功能单一，采用硬连线逻辑控制，设计安装调试周期长，通用性和灵活性差等。

1968 年，美国通用汽车公司为了提高竞争力，更新汽车生产线，以便将生产方式从少品种大批量转变为多品种小批量，公开招标一种新型工业控制器。为了尽可能地减少更换继电器控制系统的硬件及连线，缩短重新设计、安装、调试周期，降低成本，美国通用汽车公司提出了以下 10 条技术指标。

- ① 编程方便，可现场编辑及修改程序。
- ② 维护方便，最好是插件式结构。
- ③ 可靠性高于继电器控制装置。
- ④ 数据可直接输入管理计算机。
- ⑤ 输入电压可为市电 115V（国内 PLC 产品电压多为 220V）。
- ⑥ 输出电压可为市电 115V，电流大于 2A，可直接驱动接触器、电磁阀等。
- ⑦ 用户程序存储器容量大于 4KB。
- ⑧ 体积小于继电器控制装置。
- ⑨ 扩展时系统变更最少。
- ⑩ 成本与继电器控制装置相比，有一定的竞争力。

1969 年，美国数字设备公司根据上述要求，研制出了世界上第一台 PLC：型号为 PDP-14 的一种新型工业控制器。它把计算机的完备功能、灵活及通用等优点和继电器控制系统的简单易懂、操作方便、价格便宜等优点结合起来，制成了一种适合于工业环境的通用控制装置，并把计算机的编程方法和程序输入方式加以简化，用“面向控制过程，面向对象”的“自然语言”进行编程，使不熟悉计算机的人也能方便地使用。它在美国通用汽车公司