

第2版

图解三菱

PLC、变频器与触摸屏

李响初◎等编著

综合应用



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

图解三菱 PLC、变频器与 触摸屏综合应用

第2版

李响初 余雄辉 章建林 尹冠博等 编著



机械工业出版社

本书系统介绍了三菱 FX_{2N} 系列 PLC、FR-E700 系列变频器和 GOT-F900 系列触摸屏综合应用。主要内容包括图解可编程序控制器入门与提高、图解三菱 FR-E700 系列变频器入门与提高、图解三菱 GOT-F900 系列触摸屏入门与提高, 以及图解三菱 PLC、变频器与触摸屏的综合应用。本书以大量的工程案例为载体, 内容编排采取循序渐进、由浅入深、够用和实用的原则, 将枯燥的理论与实践紧密结合起来, 符合读者的认知规律; 具有选材新颖、结构合理、语言通俗易懂、图文并茂、趣味性、科学性和实用性等特点。

本书适用于从事 PLC、变频器和触摸屏应用及开发的工程技术人员作为自学资料和技术革新、设备改造的关键素材; 也可作为高等学校和职业院校电气工程、机电一体化等相关专业的教材以及教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

图解三菱 PLC、变频器与触摸屏综合应用/李响初等
编著. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2016. 10
ISBN 978-7-111-55176-8

I. ①图… II. ①李… III. ①PLC 技术—图解 ②变频器—
图解 ③触摸屏—图解 IV. ①TM571.6-64 ②TN773-64
③TP334.1-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 250453 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: 徐明煜 责任编辑: 徐明煜 朱林

封面设计: 马精明 责任校对: 赵蕊

责任印制: 常天培

河北新华第一印刷有限责任公司印刷

2017 年 1 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·21.5 印张·577 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-55176-8

定价: 59.00 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

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066 机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294 机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网: www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

前 言

本书第1版出版至今已过去三个年头，在这几年里，PLC、变频器与触摸屏技术均得到了高速发展，三菱PLC编程软件已由SWOPC-FXGP/WIN-C升级为GX Developer，三菱变频器与触摸屏产品升级与更新换代也在快速推进。为了能够使读者更好地学习和掌握三菱PLC、变频器与触摸屏综合应用新技术，我们决定对《图解三菱PLC、变频器与触摸屏综合应用》一书进行修订。

由于PLC编程软件版本升级以及变频器与触摸屏产品的更新换代，第2版与第1版相比会有较多不同，主要体现在以下两个方面：

第一，以重点突出新技术、新产品应用研究为原则，本次修订对部分章节内容进行了较大幅度的优化和替换。例如编程软件GX Developer替换SWOPC-FXGP/WIN-C，FR-E700系列新型变频器替换FR-A540型变频器，新添加仿真软件GX Simulator-6应用研究内容等，进一步凸显本次修订的新颖性和实用性。

第二，为了使读者能够更好地理解和掌握所讲解的内容，本次修订特意在第1版的基础上增加和优化了大量工程案例。同时，为便于读者理解和掌握，将工程案例编写体例变更为项目驱动式，内容编排循序渐进、由浅入深，将枯燥的理论与实践紧密结合起来，更加符合读者的认知规律。

本书主要由湖南有色金属职业技术学院李响初、余雄辉、章建林、尹冠博统稿编著，参加本书编写工作的还有王资、阙爱仁、李喜初、李哲、刘拥华、陆运华、蔡振华、李四金、阙敬生、黄桂英、廖艳姚、谢莉、刘志勇、雷远飞、朱执桥、刘艺群、蔡晓春等同仁。

在编撰本书过程中，参考了大量的国内外书刊资料，并采用了其中的一些资料，限于篇幅有限，难以一一列举，在此一并向有关作者表示衷心的感谢。

限于编者学识水平，书中不足和疏漏之处在所难免，恳请有关专家与广大读者朋友批评指正。

编 者

2016年8月于株洲

目 录

前言

第 1 篇 图解可编程序控制器入门与提高

第 1 章 可编程序控制器 (PLC) 基础

知识	1
1.1 PLC 的产生与发展	1
1.1.1 PLC 的产生与定义	1
1.1.2 PLC 的特点	3
1.2 PLC 的应用和发展前景	4
1.2.1 PLC 的典型应用	4
1.2.2 PLC 的发展前景	5
1.3 PLC 的基本结构及工作原理	6
1.3.1 PLC 的基本结构	6
1.3.2 PLC 的工作原理	7
1.3.3 PLC 的分类和常见品牌	9
1.4 PLC 的技术规格与产品选型	11
1.4.1 PLC 的技术规格	11
1.4.2 PLC 的产品选型技巧	12

第 2 章 FX_{2N} 系列 PLC 的硬、软件

资源	16
2.1 FX _{2N} 系列 PLC 简介	16
2.1.1 认识 FX _{2N} 系列 PLC	16
2.1.2 FX _{2N} 系列 PLC 的型号	19
2.1.3 FX _{2N} 系列 PLC 的硬件性能指标	20
2.2 FX _{2N} 系列 PLC 的硬件配置	23
2.2.1 FX _{2N} 系列 PLC 的基本单元	23
2.2.2 FX _{2N} 系列 PLC 的扩展设备	23
2.2.3 FX _{2N} 系列 PLC 的输入/输出 (I/O) 模块	24
2.3 FX _{2N} 系列 PLC 的软件配置	26
2.3.1 FX _{2N} 系列 PLC 的软件性能指标	26

2.3.2 FX _{2N} 系列 PLC 的软件元件	28
2.3.3 PLC 编程基础	33
2.4 编程器及编程软件的应用	35
2.4.1 FX-20P-E 型手持式编程器的 应用	35
2.4.2 GX Developer 编程软件应用	41
2.4.3 GX Simulator-6 仿真软件应用	50

第 3 章 基本指令系统编程技巧及工程

案例	54
3.1 基本指令系统	54
3.1.1 逻辑取、输出指令	54
3.1.2 触点串、并联指令	55
3.1.3 电路块连接指令	57
3.1.4 脉冲式触点指令	58
3.1.5 多重输出指令	59
3.1.6 主控触点指令	60
3.1.7 置位与复位指令	62
3.1.8 脉冲输出指令	62
3.1.9 取反指令	63
3.1.10 空操作指令和程序结束指令	64
3.1.11 定时器与计数器指令	65
3.2 基本指令系统编程技巧与工程案例	65
3.2.1 基本指令系统编程基本规则和 技巧	65
3.2.2 工程案例 1: 三相异步电动机单向 连续运转控制线路技改设计 与实施	67
3.2.3 工程案例 2: 三相异步电动机正	

反转控制线路技改设计与实施	71	5.2.2 工程案例:运输带控制系统 设计与实施	117
3.2.4 工程案例3:三相异步电动机Y- Δ 减压起动控制线路技改设计与 实施	76	5.3 传送与比较指令及其应用	120
3.2.5 工程案例4:绕线转子异步电动机 串电阻起动控制线路技改设计与 实施	81	5.3.1 传送与比较指令介绍	120
3.2.6 工程案例5:高层建筑消防水泵 控制系统设计与实施	85	5.3.2 工程案例:计件包装控制系统 设计与实施	127
第4章 步进顺控指令编程技巧及 工程案例	89	5.4 算术与逻辑运算指令及其应用	129
4.1 步进顺序控制及状态流程图	89	5.4.1 算术与逻辑运算指令介绍	129
4.1.1 步进顺序控制简介	89	5.4.2 工程案例:投币洗车机控制 系统设计与实施	134
4.1.2 状态流程图	90	5.5 循环与移位指令及其应用	135
4.1.3 状态元件	90	5.5.1 循环与移位指令介绍	135
4.1.4 状态流程图与步进梯形图的转换 ..	91	5.5.2 工程案例:霓虹灯广告屏控制 系统设计与实施	138
4.2 步进顺控指令及应用	91	5.6 数据处理指令及其应用	141
4.2.1 步进顺控指令介绍	91	5.6.1 数据处理指令介绍	141
4.2.2 步进顺控指令应用实例	92	5.6.2 工程案例:花式喷泉控制系统 设计与实施	146
4.2.3 多分支状态流程图的处理	92	5.7 高速处理指令及其应用	148
4.3 步进顺控指令系统编程技巧与工程 案例	94	5.7.1 高速处理指令介绍	148
4.3.1 步进顺控指令系统编程基本 规则和技巧	94	5.7.2 工程案例:步进电动机出料 控制系统设计与实施	155
4.3.2 工程案例1:自动混料罐控制 系统设计与实施	94	5.8 方便指令及其应用	158
4.3.3 工程案例2:钻孔动力头控制 系统设计与实施	98	5.8.1 方便指令介绍	158
4.3.4 工程案例3:简易机械手控制 系统设计与实施	100	5.8.2 工程案例:复杂机械手控制系统 设计与实施	163
4.3.5 工程案例4:大、小球分拣传 送机控制系统设计与实施	104	5.9 外部I/O设备指令及其应用	166
第5章 典型功能指令编程技巧及 工程案例	108	5.9.1 外部I/O设备指令介绍	166
5.1 功能指令概述	108	5.9.2 工程案例:智能密码锁控制 系统设计与实施	172
5.1.1 功能指令的格式及含义	108	5.10 其他典型功能指令及其应用	174
5.1.2 功能指令操作数结构形式	109	5.10.1 外部串联接口设备控制指令 介绍	174
5.2 程序流程指令及应用	110	5.10.2 浮点数运算指令介绍	176
5.2.1 程序流程指令介绍	110	5.10.3 时钟运算指令介绍	176
		5.10.4 格雷码变换指令介绍	178
		5.10.5 触点比较指令介绍	179
		5.10.6 工程案例:工厂作息时间控制 系统设计与实施	181

第 6 章 PLC 工业控制系统设计与工程实例	183	6.2.4 PLC 的系统供电及接地设计	193
6.1 PLC 工业控制系统的规划与设计	183	6.3 工程案例:基于 PLC 的工业控制系统设计	194
6.1.1 PLC 工业控制系统设计的基本原则	183	6.3.1 工程案例 1:摩天轮控制系统设计与实施	194
6.1.2 PLC 工业控制系统设计的基本内容	183	6.3.2 工程案例 2:居室安全控制系统设计与实施	196
6.1.3 PLC 工业控制系统的设计流程	184	6.3.3 工程案例 3:C650 型卧式车床电气控制系统技改设计与实施	198
6.1.4 PLC 软件设计与程序调试	185	6.3.4 工程案例 4:4 层电梯电气控制系统设计与实施	201
6.2 PLC 工业控制系统硬件设计	185	6.3.5 工程案例 5:智能电动小车控制系统设计与实施	204
6.2.1 PLC 系统硬件设计方案	185		
6.2.2 PLC 的接口电路设计	188		
6.2.3 节省 I/O 点数的措施	191		
第 2 篇 图解三菱 FR - E700 系列变频器入门与提高			
第 7 章 变频器的概念、基本结构与工作原理	207	8.2.1 FR - E740 型变频器操作面板	225
7.1 变频器概述	207	8.2.2 FR - E740 型变频器的运行模式和参数设置	226
7.1.1 变频器的基本概念	207	8.3 三菱 FR - E700 系列变频器联机技术与使用注意事项	233
7.1.2 变频器的应用与发展前景	208	8.3.1 三菱 FR - E700 系列变频器联机技术	233
7.2 变频器的基本结构及工作原理	210	8.3.2 三菱 FR - E700 系列变频器使用注意事项	235
7.2.1 变频器的基本结构	210	第 9 章 三菱 FR - E700 系列变频器在工控领域的应用	237
7.2.2 变频器常用电力半导体器件简介	213	9.1 三菱 FR - E700 系列变频器的基本应用	237
7.2.3 变频器的工作原理	215	9.1.1 工程案例 1:小车正、反转控制系统设计与实施	237
7.3 变频器的额定参数、技术指标与产品选型	216	9.1.2 工程案例 2:电梯轿厢开关门控制系统设计与实施	240
7.3.1 变频器的额定参数与技术指标	216	9.1.3 工程案例 3:8 站小推车控制系统设计与实施	243
7.3.2 变频器的产品选型	217	9.2 三菱 FR - E700 系列变频器的 PID 控制及应用	247
第 8 章 初识三菱 FR - E700 系列变频器	220	9.2.1 PID 控制的基本概念	247
8.1 三菱 FR - E700 系列变频器快速入门	220	9.2.2 PID 控制方式	248
8.1.1 FR - E740 型变频器基本接线图	220	9.2.3 三菱 FR - E700 系列变频器的 PID 控制应用	249
8.1.2 FR - E740 型变频器端子功能简介	222		
8.2 三菱 FR - E700 系列变频器的运行与操作	224		

第 3 篇 图解三菱 GOT - F900 系列触摸屏入门与提高

第 10 章 初识三菱 GOT - F900 系列

触摸屏	253
10.1 触摸屏概述	253
10.1.1 触摸屏的基本概念	253
10.1.2 触摸屏的应用与发展前景	254
10.2 触摸屏的基本结构及工作原理	255
10.2.1 触摸屏的基本结构	255
10.2.2 触摸屏的工作原理	256
10.2.3 常用触摸屏技术介绍	256
10.3 三菱 GOT - F900 系列触摸屏快速入门及选型指标	260
10.3.1 三菱 GOT - F900 系列触摸屏快速入门	260
10.3.2 触摸屏的选型指标	263
10.4 触摸屏与外围设备的连接	263
10.4.1 触摸屏通信接口介绍	263
10.4.2 触摸屏与外围设备的连接方法	265
10.4.3 触摸屏与 PLC 联机原理	266

第 11 章 三菱触摸屏 GT 组态软件的应用

11.1 三菱触摸屏 GT 组态软件的安装	268
-----------------------	-----

11.1.1 GT 软件的基本硬件要求	268
11.1.2 GT 软件的安装	268
11.1.3 GT 软件安装注意事项	270
11.2 GT 软件的应用	271
11.2.1 新建项目	271
11.2.2 画面仿真调试	281
11.2.3 上传项目	282
11.2.4 下载项目	283
11.2.5 触摸屏与 PLC 的连接	283
11.3 GT 软件画面设置	284
11.3.1 GOT 的画面配置	284
11.3.2 GT 软件画面切换设置	285
11.3.3 GT 软件密码设置	286

第 12 章 三菱 GOT - F900 系列触摸屏在工控领域的应用

12.1 工程案例 1:按钮式人行横道交通信号灯控制系统设计与实施	288
12.2 工程案例 2:知识竞赛抢答器控制系统设计与实施	292

第 4 篇 图解三菱 PLC、变频器与触摸屏的综合应用

第 13 章 三菱 PLC、变频器与触摸屏综合应用工程案例

13.1 工程案例 1:工业洗衣机控制系统设计与实施	295
13.2 工程案例 2:恒压供水控制系统设计与实施	299

附录	304
附录 A 三菱 FX _{2N} 系列 PLC 指令一览表	304
附录 B 三菱 FR - E740 型变频器参数一览表	310
参考文献	333

第 1 篇 图解可编程序控制器入门与提高

第 1 章 可编程序控制器 (PLC) 基础知识

导读: PLC 是以微处理器为核心, 综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术, 由此发展起来的一种通用工业自动控制装置, 已成为现代工业控制的三大支柱 (PLC、机器人和 CAD/CAM) 之一。本章主要介绍其基本结构及工作原理。

1.1 PLC 的产生与发展

1.1.1 PLC 的产生与定义

20 世纪 60 年代末, 现代制造业为适应市场需求、提高竞争力, 生产出小批量、多品种、多规格、低成本、高质量的产品, 要求生产设备的控制系统必须具备更灵活、更可靠、功能更齐全、响应速度更快等特点。随着微处理器技术、计算机技术、现代通信技术的飞速发展, 可编程序控制器 (PLC) 应运而生。

1. PLC 的发展简史

早期的自动化生产设备基本上都是采用继电器 - 接触器控制方式, 系统复杂程度不高, 但自动化水平有限。主要存在的问题包括机械触点、系统运行可靠性差; 工艺流程改变时要改变大量的硬件接线, 要耗费大量人力、物力和时间; 功能局限性大; 体积大、耗能多。由此产生的设计开发周期、运行维护成本、产品调整能力等方面的问题, 越来越不能满足工业成长的需求。

由于美国汽车制造工业竞争激烈, 为适应生产工艺不断更新的需要, 1968 年, 美国通用汽车 (GM) 公司根据汽车制造生产线的需要, 希望用电子化的新型控制系统替代采用继电器 - 接触器控制方式的机电控制盘, 以减少汽车改型时, 重新设计、制造继电器 - 接触器控制装置的成本和时间。通用汽车公司首次公开招标的新型控制器 10 项指标为:

- 1) 编程简单, 可在现场修改程序;
- 2) 维护方便, 采用插件式结构;
- 3) 可靠性高于继电器 - 接触器控制系统;
- 4) 体积小于继电器 - 接触器控制系统;
- 5) 成本可与继电器 - 接触器控制系统竞争;
- 6) 数据可以直接送入计算机;
- 7) 输入可为市电 (PLC 主机电源可以使用 115V 交流电压);
- 8) 输出可为市电 (115V 交流电压, 电流达 2A 以上), 能直接驱动电磁阀、接触器等;

9) 通用性强, 易于扩展;

10) 用户存储器容量大于 4KB。

1969 年, 美国数字设备公司 (DEC) 根据 GM 公司招标的技术要求, 研制出第一台可编程序控制器, 并在 GM 公司汽车自动装配线上试用, 获得成功。其后, 日本、德国等相继引入这项新技术, 可编程序控制器由此而迅速发展起来。

在 20 世纪 70 年代初、中期, 可编程序控制器虽然引入了计算机的设计思想, 但实际上只能完成顺序控制, 仅有逻辑运算、定时、计数等控制功能。所以人们将其称为可编程序逻辑控制器, 简称 PLC (Programmable Logic Controller)。

20 世纪 70 年代末至 80 年代初, 随着微处理器技术的发展, 可编程序控制器的处理速度大大提高, 增加了许多特殊功能, 使得可编程序控制器不仅可以进行逻辑控制, 而且可以对模拟量进行控制。因此, 美国电气制造商协会 (National Electrical Manufacturers Association, 简称 NEMA) 将可编程序控制器命名为 PC (Programmable Controller), 但由于 PC 容易和个人计算机 (Personal Computer) 混淆, 故人们仍习惯 PLC 作为可编程序控制器的缩写。

80 年代以来, 随着大规模和超大规模集成电路技术的迅猛发展, 以 16 位和 32 位微处理器为核心的可编程序控制器得到了迅速发展。这时的 PLC 具有了高速计数、中断技术、PID 调节和数据通信等功能, 从而使 PLC 的应用范围和应用领域不断扩大。

近 10 年来, 我国的 PLC 研制、生产、应用也发展很快, 特别是在应用方面, 在引进一些成套设备的同时, 也配套引进了不少 PLC。如上海宝钢第一期工程, 就采用了 250 台 PLC 进行生产控制, 第二期又采用了 108 台。又如天津化纤厂、秦川核电站、北京吉普生产线等都采用了 PLC 控制。

综上所述, 可编程序控制器从诞生到现在, 经历了三次换代, 如表 1-1 所示。

表 1-1 可编程序控制器的发展过程

代次	核心器件	功能特点	应用范围
第一代 1969 ~ 1972	1 位微处理器	逻辑运算、定时、计数	替代传统的继电器 - 接触器控制
第二代 1973 ~ 1975	8 位微处理器及存储器	数据的传送和比较, 模拟量的运算, 产品系列化	能同时完成逻辑控制、模拟量控制
第三代 1976 ~ 1983	高性能 8 位微处理器	处理速度提高, 向多功能及联网通信发展	复杂控制系统及联网通信
第四代 1984 ~ 至今	32 位、16 位微处理器	实现逻辑、运算、数据处理、联网等多功能	分级网络控制系统

2. PLC 的定义

PLC 的发展初期, 不同的开发制造商对 PLC 有不同的定义。为使这一新型的工业控制装置的生产和发展规范化, 国际电工委员会 (IEC) 于 1987 年 2 月颁布的 PLC 标准草案 (第三稿) 中对 PLC 做了如下定义: 可编程序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命令, 并通过数字式、模拟式的输入和输出, 控制各种类型的机械或生产过程。可编程序控制器及其有关的外部设备, 都应按易于与工业控制系统联成一个整体、易于扩充

其功能的原则而设计。

1.1.2 PLC 的特点

PLC 是综合继电器 - 接触器控制系统的优点及计算机灵活、方便的优点而设计制造和发展的,这就使 PLC 具有许多其他控制系统所无法比拟的特点。

1. 可靠性高, 抗干扰能力强

由 PLC 的定义知道, PLC 是专门为工业环境下应用而设计的工业计算机, 因此人们在设计 PLC 时, 从硬件和软件上都采取了抗干扰的措施, 提高了其可靠性。

(1) 硬件措施

1) 屏蔽: 对 PLC 的电源变压器、内部 CPU、编程器等主要部件采用导电、导磁良好的材料进行屏蔽, 以防外界的电磁干扰。

2) 滤波: 对 PLC 的输入输出线路采用多种形式的滤波, 以消除或抑制高频干扰。

3) 隔离: 在 PLC 内部的微处理器和输入输出电路之间, 采用了光电隔离等措施, 有效地隔离了输入输出之间电的联系, 减少了故障和误动作。

4) 采用模块式结构: 这种结构有助于在故障情况下的短时修复。因为一旦查出某一模块出现故障, 就能迅速更换, 使系统恢复正常工作。

(2) 软件措施

1) 故障检测: 设计了故障检测软件, 定期地检测外界环境。如掉电、欠电压、强干扰信号等, 以便及时进行处理。

2) 信息保护和恢复: 信息保护和恢复软件使 PLC 偶发性故障出现时, 将 PLC 内部信息进行保护, 不遭破坏。一旦故障消失, 可恢复原来的信息, 使之正常工作。

3) 设置了警戒时钟 WDT: 如果 PLC 程序循环执行时间超过了 WDT 规定的时间, 预示程序进入死循环, 立即报警。

4) 对程序进行检查和检验, 一旦程序有错, 立即报警, 并停止执行。

由于采用了以上抗干扰的措施, 一般 PLC 的平均无故障时间可达到 $(3 \sim 5) \times 10^4 \text{h}$ 以上。

2. 编程直观, 简单

PLC 是面向用户、面向现场的控制类器件, 常采用梯形图、指令语句表、状态流程图等进行编程。其中梯形图与继电器原理图类似, 形象直观, 易学易懂。电气工程师和具有一定电气知识基础的电工、操作人员都可以在短时间内学会, 使用起来得心应手。

3. 通用性好、使用方便

目前, PLC 产品已标准化、系列化、模块化, 可灵活方便地进行系统配置, 组成规模不同、功能不同的控制系统。

4. 功能完美, 接口功能强

目前, PLC 具有数字量和模拟量的输入/输出、逻辑和算术运算、定时、计数、顺序控制、通信、人机对话、自检、记录和显示等功能, 可使设备控制功能大大提高。此外, 利用 PLC 接口功能强的特点, 可以很方便地将 PLC 与各种不同的现场控制设备相连接, 组成应用系统。例如, 输入接口可直接与各种开关量和传感器进行连接, 输出接口在多数情况下也可直接与各种传统的继电器、接触器及电磁阀等相连接。

5. 安装简单、调试方便、维护工作量小

PLC 控制系统的安装接线工作量比继电器 - 接触器控制系统少得多, 只需将现场的各种设备与 PLC 相应的 I/O 端相连。PLC 软件设计和调试大多可在实验室里进行, 用模拟实验开关代替输入

信号,其输出状态可以观察 PLC 上相应的发光二极管,也可以另接输出模拟实验板。模拟调试后,再将 PLC 控制系统安装到现场,进行联机调试,这样既省时间又很方便。此外,PLC 配备有许多监控提示信号,能动态地监视控制程序的执行情况,检查出自身的故障,并随时显示给操作人员,为现场的调试和维护提供了方便。

6. 体积小、重量轻、功耗低

由于 PLC 采用半导体大规模集成电路,因此,整个产品结构紧凑、体积小、重量轻、功耗低,以三菱 FX_{0N}-24M 型 PLC 为例,其外形尺寸仅为 130mm × 90mm × 87mm,重量只有 600g,功耗小于 50W。所以,PLC 很容易装入机械设备内部,是实现机电一体化的理想控制设备。

综上所述,可编程控制器在性能上优于继电器逻辑控制,与微型计算机、单片机一样,是一种用于工业自动化控制的理想工具。

PLC、继电器-接触器控制系统及计算机控制系统的性能比较见表 1-2。

表 1-2 PLC、继电器-接触器控制系统及计算机系统的性能比较

项目	PLC	继电器-接触器控制系统	计算机控制系统
功能	用程序可以实现各种复杂控制	利用大量继电器布线实现顺序控制	用程序实现各种复杂控制、功能最强
改变控制内容	修改程序,较简单容易	改变硬件接线,工作量大	修改程序,技术难度较大
工作方式	顺序扫描	并行处理	中断处理,响应最快
接口功能	直接与生产设备连接	直接与生产设备连接	要设计专门的接口
可靠性	平均无故障工作时间长	受机械触点寿命限制	一般比 PLC 差
环境适应性	可适应一般工业生产现场环境	环境差会降低可靠性和寿命	要求有较好的环境
抗干扰能力	一般不专门考虑抗干扰问题	能抗一般电磁干扰	要专业设计抗干扰措施
维护	现场检查、维修方便	定期更换继电器,维修费时	技术难度较高
系统开发	设计容易、安装简单、调试周期短	图样多、安装接线工作量大、调试周期长	系统设计较复杂、调试技术难度大,需要有系统的计算机知识
通用性	较好,适应面广	一般是专用	需进行软、硬件改造
硬件成本	比计算机控制系统高	少于 30 个继电器的系统成本最低	一般比 PLC 低

1.2 PLC 的应用和发展前景

1.2.1 PLC 的典型应用

在工程技术中,PLC 在国内外已广泛应用于钢铁、石化、机械制造、汽车装配、电力、轻纺等行业。PLC 的应用形式可归纳为以下几种类型。

1. 开关量逻辑控制

PLC 具有强大的逻辑运算能力,可以实现各种简单和复杂的逻辑控制。它取代了传统的继电器-接触器控制系统。

2. 模拟量控制

PLC 中配置有 A-D 和 D-A 转换模块。其中 A-D 模块能将现场的温度、压力、流量、速度等模拟量经过 A-D 转换变为数字量,再经 PLC 中的微处理器进行处理去进行控制或经 D-A 模块转换后,变成模拟量去控制被控对象,这样就可实现 PLC 对模拟量的控制。

3. 过程控制

现代大中型的 PLC 一般都配备了 PID 控制模块,可进行闭环过程控制。当控制过程中某一个变量出现偏差时,PLC 能按照 PID 算法计算出正确的输出去控制生产过程,把变量保持在整定值上。目前,许多小型 PLC 也具有 PID 功能。

4. 定时和计数控制

PLC 具有很强的定时和计数功能,它可以为用户提供几十甚至上百个、上千个定时器和计数器。其计时的时间和计数值可以由用户在编写用户程序时任意设定,也可以由操作人员在工业现场通过编程器进行设定,实现定时和计数的控制。如果用户需要对频率较高的信号进行计数,则可以选择高速计数模块。

5. 顺序控制

在工业控制中,可采用 PLC 步进指令编程或用移位寄存器编程来实现顺序控制。

6. 数据处理

现代的 PLC 不仅能进行算术运算、数据传送、排序、查表等,而且还能进行数据比较、数据转换、数据通信、数据显示和打印等,它具有很强的数据处理能力。

7. 通信和联网

现代 PLC 一般都具有通信功能,它可以对远程 I/O 进行控制,又能实现 PLC 与 PLC 之间的通信,PLC 与计算机之间的通信,这样用 PLC 可以方便地进行分布式控制。

1.2.2 PLC 的发展前景

近年来,随着电子技术的发展和市场需求的增加,PLC 的结构和功能正在不断改进,各个生产厂家不断推出 PLC 新产品,平均 3~5 年更新换代一次,有些新型中小型 PLC 的功能甚至达到或超过了过去大型 PLC 的功能。现代可编程序控制器具有如下发展前景。

1. 向高速度、大容量方向发展

为了提高 PLC 的处理能力,要求 PLC 具有更快的响应速度和更大的存储容量。目前,有的 PLC 的扫描速度可达 0.1ms/千步左右。PLC 的扫描速度已成为很重要的一个性能指标。

在存储容量方面,有的 PLC 最高可达几十兆字节。为了扩大存储容量,有的公司已使用了磁棒存储器或硬盘。

2. 向超大型、超小型两个方向发展

当前中小型 PLC 比较多,为了适应市场的不同需求,今后 PLC 将向多品种方向发展,特别是向超大型和超小型两个方向发展。现已有 I/O 点数达 14336 点的超大型 PLC,其使用 32 位微处理器、多 CPU 并行工作和大容量存储器,功能较强。

小型 PLC 由整体结构向小型模块化结构发展,可以使配置更加灵活,为了市场需要已开发了各种简易、经济的超小型及微型 PLC,最小配置的 I/O 点数为 8~16 点,以适应单机及小型自动控制的需要,如三菱公司的 α 系列 PLC。

3. 大力开发智能模块,加强联网通信能力

为满足各种自动化控制系统的要求,近年来不断开发出许多功能模块,如高速计数模块、温度控制模块、远程 I/O 模块、通信和人机接口模块等。这些带 CPU 和存储器的智能 I/O 模块既

扩展了 PLC 的功能，使用也更灵活方便，扩大了 PLC 的应用范围。

加强 PLC 联网通信的能力是 PLC 技术进步的潮流。PLC 的联网通信有两类：一类是 PLC 之间的联网通信，各 PLC 生产厂家都有自己的专用联网技术；另一类是 PLC 与计算机之间的联网通信，一般 PLC 都有专用通信模块与计算机通信。为了加强联网通信能力，PLC 生产厂家之间也在协商制订通用的通信标准，以便构成更大的网络系统，PLC 已成为集散控制系统（DCS）不可缺少的重要组成部分。

4. 增强外部故障的检测与处理能力

根据统计资料表明，在 PLC 控制系统的故障中，CPU 故障占 5%，I/O 接口故障占 15%，输入设备故障占 45%，输出设备故障占 30%，线路故障占 5%。前两项共 20% 的故障属于 PLC 的内部故障，它可以通过 PLC 本身的软件和硬件实现检测、处理；而其余 80% 的故障属于 PLC 的外部故障。因此，PLC 生产厂家都在致力于研制、开发用于检测外部故障的专用智能模块，以进一步提高系统的可靠性。

5. 编程语言多样化

在 PLC 系统结构不断发展的同时，PLC 的编程语言也越来越丰富，功能也在不断提高。除了大多数 PLC 使用的梯形图语言外，为了适应各种控制要求，出现了面向顺序控制的步进编程语言、面向过程控制的流程图语言、与计算机兼容的高级语言（BASIC、C 语言等）等。多种编程语言的并存、互补与发展是 PLC 进步的一种表现。

6. 标准化

生产过程自动化的要求在不断提高，PLC 的控制功能也在不断增强，过去那种不开放、各品牌自成一体的结构显然不适合，为提高兼容性，在通信协议、总线结构、编程语言等方面需要一个统一的标准。国际电工委员会（IEC）为此制定了国际标准 IEC61131。该标准由总则、设备性能和测试、编程语言、用户手册、通信、模糊控制的编程、可编程序控制器的应用和实施指导八部分内容和两个技术报告组成。

几乎所有的 PLC 生产厂家都表示支持 IEC61131，并开始向该标准靠拢。

1.3 PLC 的基本结构及工作原理

PLC 由于自身的特点，在工业生产的各个领域得到了越来越广泛的应用。而作为 PLC 的用户，要正确地应用 PLC 去完成各种不同的控制任务，首先应了解 PLC 的基本结构和工作原理。

1.3.1 PLC 的基本结构

目前，可编程序控制器的产品很多，不同厂家生产的 PLC 以及同一厂家生产的不同型号 PLC 其结构各不相同，但其基本结构和基本工作原理大致相同。它们都是以微处理器为核心的结构，其功能的实现不仅基于硬件的作用，更要靠软件的支持。PLC 基本结构框图如图 1-1 所示。

PLC 的基本结构可分为两大部分：硬件系统和软件系统。

硬件系统是指组成 PLC 的所有具体单元电路，主要包括中央处理器单元（CPU）、存储器、输入/输出接口、通信接口、编程器和电源等部分，此外还有扩展设备、EPROM 的读写器和打印机等选配的设备。为了维护、调试的方便，许多 PLC 采用模块结构，由中央处理器、存储器组成主控模块，输入单元组成输入模块，输出单元组成输出模块，三者通过专用总线构成主机，并由电源模块集中对其供电。编程器可采用袖珍式编程器，也可采用带有 PLC 编程软件的通用计算机，通过通信接口对 PLC 进行编程。

软件系统是指管理、控制、使用 PLC，并确保 PLC 正常工作的一整套程序。这些程序有来自 PLC 生产厂家的，也有来自用户的，一般称前者为系统程序，后者为用户程序。系统程序是指控制和完成 PLC 各种功能的程序，它侧重于管理 PLC 的各种资源，控制和协调各硬件的正常动作及关系，以便充分发挥整个可编程序控制器的使用效率，方便广大用户的直接使用。用户程序是指使用者根据生产工艺要求编写的应用控制程序，它侧重于应用，侧重于输入、输出之间的逻辑控制关系。

硬件系统、软件系统的具体内容，本书将在第 2 章予以详细介绍。

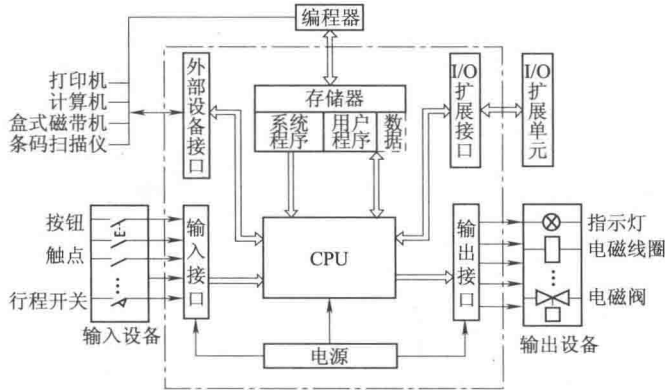


图 1-1 PLC 基本结构框图

1.3.2 PLC 的工作原理

1. PLC 的工作过程

PLC 是采用“顺序扫描，不断循环”的方式进行工作的，即在 PLC 运行时，CPU 根据用户按控制要求编制好并存放于用户程序存储器中的程序，按指令步序号（或地址号）做周期性循环扫描，在无中断或跳转的情况下，按存储地址号递增的方向顺序逐条执行用户程序，直至程序结束。然后重新返回第一条指令，开始新一轮新的扫描。在每次扫描过程中，还要完成对输入信号的采样和对输出状态的刷新等工作。PLC 的扫描工作方式示意图如图 1-2 所示。

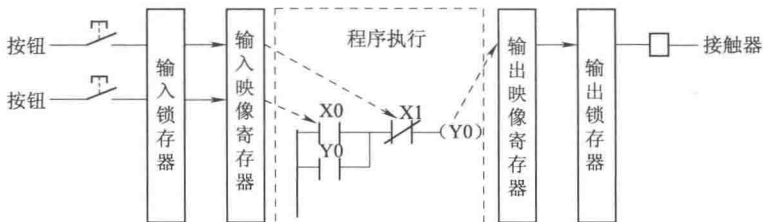


图 1-2 PLC 的扫描工作方式示意图

由图 1-2 可知，PLC 扫描过程主要分为 3 个阶段：输入采样、程序执行、输出刷新。

(1) 输入采样阶段

PLC 在开始执行程序之前，首先以扫描方式将所有输入端的通断状态转换成电平的高低状态“1”或“0”并存入输入锁存器中，然后将其写入各自对应的输入映像寄存器中，即刷新输入。随即关闭输入端口，进入程序执行阶段。

需要注意的是，只有采样时刻，输入映像寄存器中的内容才与输入信号一致，而其他时间范围内输入信号的变化是不会影响输入映像寄存器中的内容的，输入信号的变化状态只能在下一个扫描周期的输入处理阶段被读入。

(2) 程序执行阶段

PLC 按顺序从 0000 号地址开始的程序进行逐条扫描执行，并分别从输入映像寄存器、输出映像寄存器以及辅助继电器中获得所需的数据进行运算处理，再将程序执行的结果写入输出映像寄存器。但这个结果在全部程序未被执行完毕之前不会送到输出端口。

(3) 输出刷新阶段

输出刷新阶段又称为输出处理阶段。在此阶段，当程序执行到 END 指令，即执行完用户所有程序后，PLC 将输出映像寄存器中的内容送到输出锁存器中，并通过一定的驱动装置（继电器、晶体管或晶闸管）驱动相应输出设备工作。

由上述分析很容易看出，PLC 在初始化后，进行循环扫描。PLC 一次扫描的过程包括 5 个主要环节：公共处理、执行程序、循环时间计算处理、I/O 刷新、RS-232 端口服务和外设端口服务。如图 1-3 所示。

图 1-3 中各环节作用如下。

公共处理：复位监视定时器；进行硬件检查、用户内存检查等。检查正常后，方可进行下一步的操作。如果有异常情况，则根据错误的严重程度发出报警或错误警示甚至停止 PLC 运行。

执行程序：CPU 按从左向右和自上而下的顺序对每条指令进行解释、执行；且 CPU 从输入映像寄存器和元件映像寄存器中读出各继电器的状态，根据用户程序给出的逻辑关系（串并联关系等）进行逻辑运算，并将运算结果再写入元件映像寄存器中。

循环时间计算处理：在扫描周期计算处理阶段，若设定扫描周期为固定值，则进入等待循环，直到该指令值到达，再往下进行；若设定扫描周期为不定值（即决定于用户程序的长短等），则进行扫描周期的计算。

I/O 刷新：CPU 从输入电路中读取各输入点状态，并将此状态写入输入映像寄存器中；同时将元件映像寄存器的状态传送到输出锁存电路，再经输出电路隔离和功率放大，驱动外部负载。

RS-232 端口服务和外设端口服务：完成与外设端口连接的外围设备或通信适配器的通信处理。

PLC 完成一次扫描 5 个环节所需的时间称为扫描周期（或工作周期），在不考虑外部因素（与编程器通信等）时，其扫描周期 T 为

$$T = (\text{读入一点的时间} \times \text{输入点数}) + (\text{运算速度} \times \text{程序步数}) + (\text{输出一点的时间} \times \text{输出点数}) + \text{故障诊断时间}$$

显然，PLC 扫描时间主要取决于程序的长短，一般每秒钟可扫描数十次以上，这对于工业设备通常没有什么影响。但对控制时间要求较严格、响应速度要求快的控制系统，就应该精确计算响应时间，合理选用指令，精简程序，以尽可能减少扫描周期造成的响应延时等不良影响。

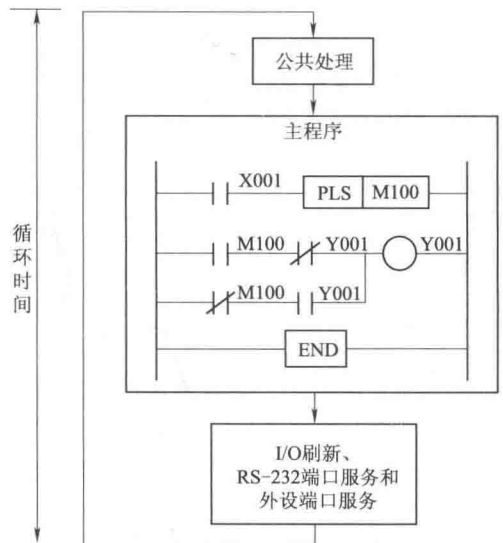


图 1-3 PLC 扫描周期示意图

2. I/O 信号传递的滞后现象

根据上述 PLC 的工作过程, 可以得出从输入端子到输出端子的信号传递过程, 如图 1-4 所示。

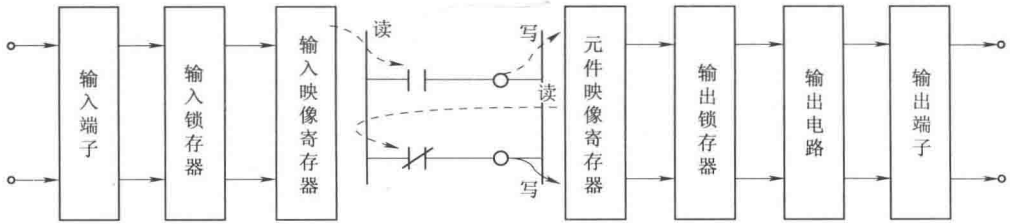


图 1-4 信号传递过程

从微观上来考虑, 由于 PLC 特定的扫描工作方式, 程序在执行过程中所用的输入信号是本周期内采样阶段的输入信号。若在程序执行过程中, 输入信号发生变化, 其输出不能及时做出反应, 只能等到下一个扫描周期开始时采样该变化了的输入信号。另外, 程序执行过程中产生的输出不是立即去驱动负载, 而是将处理的结果存放在输出映像寄存器中, 等程序全部执行结束, 才能将输出映像寄存器的内容通过锁存器输出到端口上。

由上述分析可知, 从 PLC 的输入端输入信号发生变化, 到 PLC 输出端对该变化做出响应需要一段时间, 这段时间称作响应时间或滞后时间, 这种现象称为 PLC 输入/输出响应的滞后现象。综合分析该现象产生原因, 大致有以下几个方面。

1) 以扫描的方式执行程序, 其输入/输出信号间的逻辑关系存在着原理上的滞后。这是 PLC 输入/输出响应出现滞后的最主要原因。

2) 输入滤波器存在时间常数。输入电路中的滤波器对输入信号有延迟作用, 时间常数越大, 延迟作用越大。

3) 输出继电器存在机械滞后。从输出继电器的线圈得电到其触点闭合需要一段时间, 这取决于输出电路的硬件参数, 如 FX_{2N} 系列 PLC 输出继电器的滞后时间为 14ms。

由于 CPU 的运算处理速度很快, 因此 PLC 的扫描周期都相当短, 对于一般工业控制设备来说, 这种滞后还是完全可以被接受的。而对于一些输入/输出需要做出快速响应的工业控制设备, PLC 除了在硬件上采用快速响应模块、高速计数模块等以外, 也可在软件系统上采用中断处理等措施, 来尽量缩短滞后时间。同时, PLC 在循环扫描过程中, 占据时间最长的是用户程序的处理阶段, 所以对于一些大型的用户程序, 如果用户选择指令恰当、编写合理, 也有助于缩短滞后时间。

1.3.3 PLC 的分类和常见品牌

1. PLC 的分类

目前, 各个厂家生产的 PLC, 其品种、规格及功能都各不相同。其分类也没有统一标准, 这里仅介绍常见的 3 种分类方法供参考。

(1) 按 I/O 点数, 可分为小型、中型和大型

I/O 点数为 256 点以下的为小型 PLC, I/O 点数为 64 点以下的为超小型或微型 PLC。

I/O 点数为 256 点以上、2048 点以下的为中型 PLC。

I/O 点数为 2048 点以上的为大型 PLC, I/O 点数为 8192 点以上的为超大型 PLC。

(2) 按结构形式, 可分为整体式、模块式和紧凑型

整体式 PLC 是将各部分单元电路包括 I/O 接口电路、CPU、存储器、稳压电源均封装在一个