

电气自动化类应用技术丛书

PLC 基础与实战

薛迎成 何坚强 姚志垒 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

电气自动化类应用技术丛书

PLC 基础与实战

薛迎成 何坚强 姚志垒 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书第1~7章介绍了西门子 PLC、三菱 PLC 的基础知识、硬件系统、存储器系统、指令系统、编程语言、编程调试和仿真方法。第8章介绍了三菱 CC-Link 网络,第9章介绍了 FX2N PLC 在废纸打包机控制系统中的应用,第10章介绍了 FX2N PLC 在下料机上的应用,第11章介绍了西门子 S7-200 PLC 和 F940 触摸屏在砌块成型机上的应用,第12章介绍了三菱 CC-Link 现场总线在生产线上的应用,第13章介绍了 FX2N PLC 和台达触摸屏在污水处理控制系统中的应用。

书中采用实例详解的方法,以大量图表的形式由浅入深地介绍了触摸屏与 PLC 的联合应用。本书通俗易懂,实例的实用性和针对性强,既可作为电气控制领域技术人员的自学参考书,也可作为高职高专、成人高校、本科院校电气工程、自动化、机电一体化、计算机应用等专业的参考教材。

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

PLC 基础与实战 / 薛迎成,何坚强,姚志垒编著. —北京:电子工业出版社,2010.8

(电气自动化类应用技术丛书)

ISBN 978-7-121-11452-6

I. ①P… II. ①薛… ②何… ③姚… III. ①可编程序控制器 IV. ①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 143552 号

责任编辑:康霞

印刷:北京市海淀区四季青印刷厂

装订:三河市鹏成印业有限公司

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:18.25 字数:467.2 千字

印次:2010 年 8 月第 1 次印刷

印数:4 000 册 定价:39.00 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。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

可编程序控制器简称 PLC，是以计算机为核心的工业自动化控制装置，它集计算机技术、自动化技术和网络通信技术于一体，具有功能强、可靠性高、使用方便、维护简单等特点，在工业生产控制中得到广泛应用。

本书对西门子 PLC、三菱 PLC 进行了详细分析，并结合工程实例系统地介绍了 PLC 应用程序设计的理论、算法及其实现技巧。

本书第 1~7 章介绍了西门子 PLC、三菱 PLC 的基础知识、硬件系统、存储器系统、指令系统、编程语言、编程调试和仿真方法；第 8 章介绍了三菱 CC-Link 网络；第 9 章介绍了 FX2N PLC 在废纸打包机控制系统中的应用；第 10 章介绍了 FX2N PLC 在下料机上的应用；第 11 章介绍了西门子 S7-200 PLC 和 F940 触摸屏在砌块成型机上的应用；第 12 章介绍了三菱 CC-Link 现场总线在生产线上的应用；第 13 章介绍了 FX2N PLC 和台达触摸屏在污水处理控制系统中的应用。

本书内容完整、概念清晰、算法实用、独创求新、涉及面广、信息量大，是 PLC 编程的实用指南，可帮助您尽快步入 PLC 编程殿堂，进而成为精通多品牌 PLC 编程技术的高手。

书中采用实例详解的方法，以大量图表的形式由浅入深地介绍触摸屏与 PLC 的联合应用，实例实用性和针对性强。既可作为电气控制领域技术人员的自学参考书，也可作为高职高专、成人高校、本科院校的电气工程、自动化、机电一体化、计算机应用等专业的参考教材。

本书第 1、2 章由何坚强编写，第 3、4 章由姚志垒编写，其余内容由薛迎成编写，胡国文教授审阅了全部书稿并提出了很多宝贵意见，盐城长城的王柏、张领提供了许多资料，崔旭兰、薛文菁参加了本书大量文稿的整理和校对工作。在本书编写过程中，得到了亚控、西门子、三菱、盐城长城等单位的大力支持，在此一并表示感谢。

由于编著者水平有限，书中难免错漏之处，希望各位同仁、专家多提宝贵意见。

本书得到盐城工学院教材出版基金资助出版。

编著者

2010 年 6 月

目 录

第 1 章 可编程控制器概况	(1)
1.1 PLC 的特点和功能	(1)
1.2 PLC 的结构及基本配置	(3)
1.3 PLC 的工作原理	(5)
1.4 编程语言和编程软件	(7)
1.5 PLC 的性能指标与发展趋势	(9)
1.6 国内外 PLC 产品和分类	(11)
1.6.1 PLC 产品	(11)
1.6.2 PLC 的分类	(13)
第 2 章 三菱可编程控制器及指令系统	(15)
2.1 FX 系列 PLC 硬件配置及性能指标	(15)
2.1.1 FX 系列 PLC 型号的说明	(15)
2.1.2 FX 系列 PLC 硬件配置	(16)
2.1.3 FX 系列 PLC 的性能指标	(20)
2.2 FX 系列 PLC 的编程元件	(21)
2.3 FX 系列 PLC 的基本指令	(27)
2.3.1 FX 系列 PLC 的基本逻辑指令	(27)
2.3.2 FX 系列 PLC 的步进指令	(33)
2.4 FX 系列 PLC 的功能指令	(34)
2.4.1 概述	(34)
2.4.2 FX 系列 PLC 功能指令介绍	(36)
2.5 Q 系列可编程控制器概述及 I/O 地址分配	(39)
2.5.1 Q 系列可编程控制器概述	(39)
2.5.2 Q 系列可编程控制器 I/O 地址分配	(40)
2.6 Q 系列可编程控制器编程元件	(43)
2.7 GX Developer 软件包使用	(51)
第 3 章 三菱可编程控制器编程软件	(56)
3.1 FXGPWIN 编程软件应用	(56)
3.1.1 概述	(56)
3.1.2 程序编制	(59)
3.1.3 程序检查	(60)
3.1.4 程序传送	(61)

3.1.5	软元件的监控和强制执行	(61)
3.1.6	其他菜单及目录的使用	(63)
3.2	GPP 软件简介	(64)
第 4 章	西门子可编程控制器及指令系统	(69)
4.1	SIMATIC 综述	(69)
4.2	SIEMENS S7-200 可编程控制器	(71)
4.2.1	S7-200 系列 PLC 的硬件配置	(71)
4.2.2	S7-200 系列 PLC 的主要技术性能	(73)
4.2.3	S7-200 CPU 存储器的数据类型及寻址方式	(75)
4.3	S7-200 系列 PLC 指令系统	(81)
4.3.1	基本指令	(81)
4.3.2	功能指令	(88)
4.4	SIMATIC S7-300 PLC 硬件构成	(98)
4.5	S7-300 PLC 组织块与存储区	(103)
4.6	S7-300 PLC 进制数和数据类型	(106)
4.7	S7-300 PLC 指令结构	(108)
4.8	SIMATIC S7-300 PLC 指令	(109)
第 5 章	西门子可编程控制器编程软件	(116)
5.1	S7-200 编程软件的使用	(116)
5.1.1	安装编程软件	(116)
5.1.2	主界面	(117)
5.1.3	系统组态	(120)
5.1.4	程序编辑	(124)
5.1.5	程序调试及监控	(130)
5.2	S7-200 编程实例	(132)
5.3	S7-300 编程软件的使用方法	(135)
5.4	S7-300 编程实例	(145)
第 6 章	可编程控制器控制系统设计	(151)
6.1	可编程控制器控制系统设计的内容和步骤	(151)
6.1.1	PLC 控制系统设计的基本内容	(151)
6.1.2	PLC 控制系统设计的基本步骤	(152)
6.2	可编程控制器控制系统的硬件设计	(153)
6.3	可编程控制器控制系统的软件设计	(158)
6.4	PLC 梯形图设计思维的培养方法	(161)
第 7 章	PLC 网络通信	(164)
7.1	PLC 常用通信接口	(164)
7.2	典型 PLC 网络通信方法介绍	(167)

7.2.1	PLC 网络类型及通信协议	(167)
7.2.2	常用的 PLC 网络通信方法介绍	(170)
7.3	典型的 PLC 网络结构	(173)
7.4	S7-300 与 S7-200 的 EM277 之间的 PROFIBUS DP 通信	(175)
第 8 章	三菱 CC-Link 网络	(183)
8.1	CC-Link 简介	(183)
8.2	CC-Link 的系统设备	(186)
8.3	CC-Link 数据通信参数设置	(189)
8.4	缓冲存储器和链接特殊继电器/寄存器	(193)
第 9 章	FX2N PLC 在废纸打包机控制系统中的应用	(201)
9.1	全自动废纸打包机的结构	(201)
9.2	电气控制硬件电路设计	(202)
9.3	PLC 程序设计	(206)
9.4	触摸屏界面设计	(208)
第 10 章	FX2N PLC 在下料机上的应用	(213)
10.1	下料机的结构与动作要求	(213)
10.2	下料机系统 PLC 内部资源分配	(217)
10.2.1	FX2N 内部资源分配	(217)
10.2.2	下料机详细 PLC 顺序动作流程	(218)
10.3	控制系统 PLC 程序	(220)
第 11 章	西门子 S7-200 PLC 和 F940 触摸屏在砌块成型机上的应用	(228)
11.1	砌块成型机工艺流程	(228)
11.2	砌块成型机电气设计	(231)
11.3	I/O 地址分配	(235)
11.4	S7-200 PLC 程序设计	(238)
11.5	触摸屏界面介绍	(240)
第 12 章	三菱 CC-Link 现场总线在生产线上的应用	(247)
12.1	涂装生产线的工艺流程	(247)
12.2	控制系统总体设计	(247)
12.3	PLC 程序设计	(254)
第 13 章	FX2N PLC 和台达触摸屏在污水处理控制系统中的应用	(258)
13.1	污水处理工艺流程	(258)
13.2	控制系统的硬件设计	(258)
13.3	PLC 程序	(263)
13.4	触摸屏界面制作	(266)

第 1 章 可编程控制器概况

1.1 PLC 的特点和功能

1. PLC 的基本概念

可编程控制器（Programmable Controller）简称 PC，为了与个人计算机的 PC 相区别，用 PLC 表示。

PLC 是在传统顺序控制器的基础上引入了微电子技术、计算机技术、自动控制技术和通信技术形成的新型工业控制装置，目的是用来取代继电器，执行逻辑、记时、计数等顺序控制功能，建立柔性的程序控制系统。国际电工委员会（IEC）颁布了对 PLC 的规定：可编程控制器是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下的应用而设计。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，并通过数字的、模拟的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。可编程控制器及其有关设备，都应按易于与工业控制系统形成一个整体，易于扩充其功能的原则设计。

2. PLC 的特点

可编程控制器为了适应在工业环境中的使用，有如下特点：

（1）编程方便，易于使用

可编程控制器的编程可采用与继电器电路极为相似的梯形图语言，这种编程语言形象直观，容易掌握，不需要专门的计算机知识和语言，有一定电工和工艺知识的人员在短时间内都可学会，因此是目前 PLC 中最常用的一种编程语言。近年来又发展了面向对象的顺控流程图语言（Sequential Function Chart, SFC），也称功能图，使编程更简单方便。

（2）控制系统构成简单，通用性强

PLC 产品种类繁多，利用琳琅满目的各种组件（如 I/O 模块、通信模块、人机界面等）就可以灵活组成各种大小及不同要求的控制系统。在构成可编程控制器系统时，只需要在其 I/O 组件的端子上接入相应的输入/输出线即可，不需要诸如继电器之类的固体电子器件和大量繁杂的硬件接线线路。当控制要求改变需要变更控制系统的功能时，可以用编程器在线或离线修改程序；同一个可编程控制器用于不同的控制对象时，只需要改变其输入/输出组件和编制不同的控制程序即可，修改程序简单易行。有的可编程控制器还可以直接与交流 220V 强电相连，从而提高其带负载的能力。

（3）可靠性高，抗干扰能力强

可编程控制器生产厂家在硬件和软件方面均采取了一系列抗干扰措施，使它可以直接安装于工业现场稳定、可靠地工作。目前各生产厂家生产的可编程控制器，其平均无故障时间



都大大超过了 IEC 规定的 10 万小时（折合为 4166 天，约 11 年）。而且为了适应特殊场合的需要，有的可编程控制器生产商还采用了冗余设计和差异设计（如德国西门子公司的可编程控制器），进一步提高了其可靠性。

（4）体积小，维护方便

PLC 体积小，重量轻，非常便于安装。一般的 PLC 都具有自诊断功能，能检查出自身的故障，并随时显示给操作人员。另外，目前大部分 PLC 控制系统都采用模块化结构，接线很少，在查出故障之后，只需更换模块即可，维护很方便。

（5）缩短了设计、施工、投产调试的周期

采用继电器控制系统完成一项控制工程，必须首先按工艺要求设计出电气原理图，然后画出继电器控制柜的布置及接线图，才能提供订货，而且一旦设计完成，修改非常不便。而采用 PLC 控制系统却很方便，首先，由于其硬件、软件配置均采用模块化、积木式结构，只需按要求选用各种组件组装，而大量具体的程序编制工作可在硬件到货后进行，既缩短了设计周期，还可使设计和施工同时进行。其次，在 PLC 控制系统中，用软件编程取代由许多继电器硬件接线来实现的多种控制功能，从而大大减轻了繁重的安装接线工作，缩短了施工周期。最后，由于 PLC 是通过程序来完成控制的，而且采用了方便用户的工业编程语言，具有强制及仿真的功能，故程序设计、修改和投产调试都很方便、安全，可以大大缩短设计和投运周期。

（6）PLC 功能非常齐全

除了上述特点外，PLC 功能也非常齐全。如具有开关量输入/输出、模拟量输入/输出和大量的内部中间继电器、时间继电器（定时器）、计数器等；具有逻辑控制、顺序控制、信号/数据处理及各种接口功能（可配备的一般 I/O 接口模块和一些智能模块，如通信模块，高精度定位模块、远程 I/O 控制等）等。现在的可编程控制器还具有强大的网络功能，可以通过各种通信接口将数据直接传送给上位机，以实现上位机的数据采集和监控。如美国 Rockwell 公司的 PLC 可以组成诸如以太网（EtherNet）、控制网（ControlNet）、设备网（DeviceNet）及传统的 DH+网、DH485、远程 I/O（Remote I/O）等网络，大大加强了可编程控制器的功能。

3. PLC 的产生与发展

可编程控制器出现以前，在工业电气控制领域中，继电器控制占主导地位。但是电器控制系统存在体积大、可靠性低、查找和排除故障困难等缺点，特别是其接线复杂、不易更改，对生产工艺变化的适应性差。

1968 年，美国通用汽车公司为了适应汽车型号不断更新，生产工艺不断变化的需要，实现小批量、多品种生产，希望能有一种新型工业控制器，以降低成本，缩短周期。于是就设想将计算机功能强大、灵活、通用性好等优点与电器控制系统简单易懂、价格便宜等优点结合起来，制成一种通用控制装置，而且这种装置采用面向控制过程、面向问题的“自然语言”进行编程，使不熟悉计算机的人也能很快掌握使用。

1969 年，美国数字设备公司（DEC）根据美国通用汽车公司的这种要求，研制成功了世界上第一台可编程控制器，并在通用汽车公司的自动装配线上试用，取得很好的效果。从此



这项技术迅速发展起来。

早期的可编程控制器仅有逻辑运算、定时、计数等顺序控制功能，只是用来取代传统的继电器控制，通常称为可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller）。随着微电子技术和计算机技术的发展，20 世纪 70 年代中期，微处理器技术应用到 PLC 中，使 PLC 不仅具有逻辑控制功能，还增加了算术运算、数据传送和数据处理等功能。

20 世纪 80 年代以后，随着大规模、超大规模集成电路等微电子技术的迅速发展，16 位和 32 位微处理器应用于 PLC 中，使 PLC 不仅控制功能增强，可靠性提高，功耗、体积减小，成本降低，编程和故障检测更加灵活方便，而且具有通信和联网、数据处理和图像显示等功能。PLC 真正成为具有逻辑控制、过程控制、运动控制、数据处理、联网通信等功能的名符其实的多功能控制器。

自从第一台 PLC 出现以后，日本、德国、法国等也相继开始研制 PLC，并得到迅速发展。目前，世界上有 200 多家 PLC 厂商，400 多品种的 PLC 产品，各流派 PLC 产品都各具特色，如日本主要发展中小型 PLC，其小型 PLC 性能先进，结构紧凑，价格便宜，在世界市场上占重要地位。著名的 PLC 生产厂家主要有美国的 AB 公司、GE 公司，日本的三菱电机公司、欧姆龙公司，德国的 AEG 公司、西门子公司，法国的 TE 公司等。

我国的 PLC 研制、生产和应用也发展很快，尤其在应用方面更为突出。在 20 世纪 70 年代末到 80 年代初，我国随国外成套设备、专用设备引进了不少国外的 PLC。此后，在传统设备改造和新设备设计中，PLC 的应用逐年增多，并取得显著的经济效益，PLC 在我国的应用越来越广泛，对提高我国工业自动化水平起到了巨大作用。目前，我国不少科研单位和工厂在研制和生产 PLC，如辽宁无线电二厂、无锡华光电子公司、上海香岛电动机制造公司、厦门 AB 公司等。

从近年统计数据看，PLC 产品的产量、销量、用量高居工业控制装置榜首，而且市场需求量一直以每年 15% 的比率上升。PLC 已成为工业自动化控制领域中占主导地位的通用工业控制装置。

1.2 PLC 的结构及基本配置

一般讲，PLC 分为箱体式和模块式两种，它们的组成是相同的。箱体式 PLC 有一块 CPU 板、I/O 板、显示面板、内存块、电源等，按 CPU 性能分成若干型号，并按 I/O 点数又有若干规格；模块式 PLC 有 CPU 模块、I/O 模块、内存、电源模块、底板或机架。无论哪种结构类型的 PLC，都属于总线式开放型结构，其 I/O 能力可按用户需要进行扩展与组合。PLC 的基本结构如图 1-1 所示：

1. CPU 的构成

PLC 中的 CPU 是 PLC 的核心，起着神经中枢的作用，每台 PLC 至少有一个 CPU，它按 PLC 的系统程序赋予的功能接收并存储用户程序和数据，用扫描的方式采集由现场输入装置送来的状态或数据，并存入规定的寄存器中，同时，诊断电源和 PLC 内部电路的工作状态，以及诊断编程过程中的语法错误等。进入运行后，从用户程序存储器中逐条读取指令，经分析后再按指令规定的任务产生相应的控制信号，去指挥有关的控制电路，

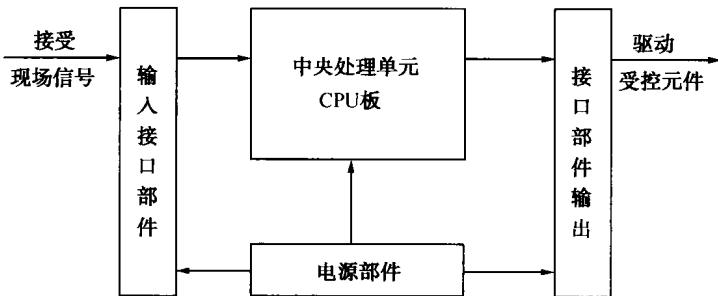


图 1-1 PLC 的基本结构

PLC 与通用计算机一样，主要由运算器、控制器、寄存器，以及实现它们之间联系的数据、控制及状态总线构成，还有外围芯片、总线接口及有关电路。CPU 确定了进行控制的规模、工作速度、内存容量等。内存主要用于存储程序及数据，是 PLC 不可缺少的组成单元。

CPU 的控制器控制 CPU 工作，由它读取指令、解释指令，以及执行指令。但工作节奏由振荡信号控制。

CPU 的运算器用于进行数字或逻辑运算，在控制器指挥下工作。

CPU 的寄存器参与运算，并存储运算的中间结果，它也是在控制器指挥下工作。

CPU 虽然划分为以上几个部分，但 PLC 中的 CPU 芯片实际上就是微处理器，由于电路的高度集成，对 CPU 内部的详细分析已无必要，我们只要弄清它在 PLC 中的功能与性能，能正确使用它就足够了。

CPU 模块的外部表现就是它的工作状态的各种显示、各种接口，以及设定或控制开关。一般来讲，CPU 模块总要有相应的状态指示灯，如电源显示、运行显示、故障显示等。箱体式 PLC 的主箱体也有这些显示。它的总线接口用于接 I/O 模板或底板；内存接口用于安装内存；外设口用于接外部设备。有的还有通信口，用于进行通信。CPU 模块上还有许多设定开关，用以对 PLC 作设定，如设定起始工作方式、内存区等。

2. I/O 模块

PLC 的对外功能主要是通过各种 I/O 接口模块来实现的。按 I/O 点数确定模块规格及数量，I/O 模块可多可少，但其最大数受 CPU 所能管理的基本配置能力，即受最大的底板或机架槽数限制。I/O 模块集成了 PLC 的 I/O 电路，其输入暂存器反映输入信号状态，输出点反映输出锁存器状态。

3. 电源模块

有些 PLC 中的电源与 CPU 模块合二为一，有些是分开的，其主要用途是为 PLC 各模块的集成电路提供工作电源。同时，有的还为输入电路提供 24V 的工作电源。电源以其输入类型有：交流 220V、交流 110V、直流 24V。

4. 底板或机架

大多数模块式 PLC 使用底板或机架，其作用是：电气上，实现各模块间的联系，使 CPU 能访问底板上的所有模块；机械上，实现各模块间的连接，使各模块构成一个整体。



5. PLC 的外部设备

外部设备是 PLC 系统不可分割的一部分，它有四大类：

(1) 编程设备。包括简易编程器和智能图形编程器，用于编程，对系统作一些设定，监控 PLC 及 PLC 所控制的系统的工作状况。编程器是 PLC 开发应用、监测运行、检查维护不可缺少的器件，但它不直接参与现场控制运行。

(2) 监控设备。包括数据监视器和图形监视器。直接监视数据或通过界面监视数据。

(3) 存储设备。包括存储卡、存储磁带、软磁盘或只读存储器，用于永久性地存储用户数据，使用户程序不丢失，如 EPROM、EEPROM 写入器等。

(4) 输入/输出设备。用于接收信号或输出信号，一般有条码读入器、输入模拟量的电位器、打印机等。

6. PLC 的通信联网

PLC 具有通信联网的功能，它使 PLC 与 PLC 之间、PLC 与上位计算机以及其他智能设备之间能够交换信息，形成一个统一的整体，实现分散集中控制。现在几乎所有的 PLC 新产品都有通信联网功能，它和计算机一样具有 RS-232 接口，通过双绞线、同轴电缆或光缆，可以在几公里甚至几十公里的范围内交换信息。

当然，PLC 之间的通信网络是各厂家专用的，PLC 与计算机之间的通信，一些生产厂家采用工业标准总线，并向标准通信协议靠拢，这将使不同机型的 PLC 之间、PLC 与计算机之间可以更方便地进行通信与联网。

1.3 PLC 的工作原理

最初研制生产的 PLC 主要用于代替传统的由继电器、接触器构成的控制装置，但这两者的运行方式是不相同的。继电器控制装置采用硬逻辑并行运行的方式，即如果这个继电器的线圈通电或断电，该继电器所有的触点（包括其常开或常闭触点）在继电器控制线路的哪个位置上都会立即同时动作。PLC 的 CPU 则采用顺序逻辑扫描用户程序的运行方式，即如果一个输出线圈或逻辑线圈被接通或断开，该线圈的所有触点（包括其常开或常闭触点）不会立即动作，必须等扫描到该触点时才会动作。为了消除两者之间由于运行方式不同而造成的差异，考虑到继电器控制装置各类触点的动作时间一般在 100ms 以上，而 PLC 扫描用户程序的时间一般均小于 100ms，因此，PLC 采用了一种不同于一般微型计算机的运行方式——扫描技术。这样在对于 I/O 响应要求不高的场合，PLC 与继电器控制装置的处理结果就没有什么区别了。

当 PLC 投入运行后，其工作过程一般分为输入采样、用户程序执行和输出刷新三个阶段。完成上述三个阶段称做一个扫描周期。在整个运行期间，PLC 的 CPU 以一定的扫描速度重复执行上述三个阶段。如图 1-2 所示。

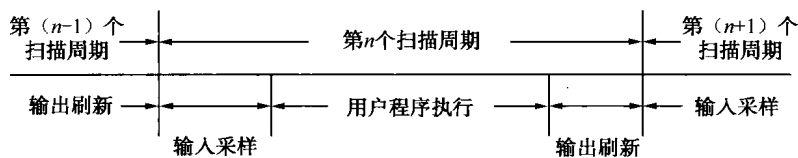


图 1-2 PLC 工作过程

(1) 输入采样阶段。在输入采样阶段，PLC 以扫描方式依次读入所有输入状态和数据，并将它们存入 I/O 映象区中的相应单元内。输入采样结束后转入用户程序执行和输出刷新阶段。在这两个阶段中，即使输入状态和数据发生变化，I/O 映象区中相应单元的状态和数据也不会改变。因此，如果输入是脉冲信号，则该脉冲信号的宽度必须大于一个扫描周期，才能保证在任何情况下，该输入均能被读入。

(2) 用户程序执行阶段。在用户程序执行阶段，PLC 总是按由上而下的顺序依次扫描用户程序（梯形图）。在扫描每一条梯形图时，又总是先扫描梯形图左边的由各触点构成的控制线路，并按先左后右、先上后下的顺序对由触点构成的控制线路进行逻辑运算，然后根据逻辑运算的结果，刷新该逻辑线圈在系统 RAM 存储区中对应位的状态；或者刷新该输出线圈在 I/O 映象区中对应位的状态；或者确定是否要执行该梯形图所规定的特殊功能指令。即在用户程序执行过程中，只有输入点在 I/O 映象区内的状态和数据不会发生变化，而其他输出点和软设备在 I/O 映象区或系统 RAM 存储区内的状态和数据都有可能发生变化，而且排在上面的梯形图，其程序执行结果会对排在下面的梯形图起作用；相反，排在下面的梯形图，其被刷新的逻辑线圈的状态或数据只能到下一个扫描周期才能对排在其上面的程序起作用。

(3) 输出刷新阶段。当扫描用户程序结束后，PLC 就进入输出刷新阶段。在此期间，CPU 按照 I/O 映象区内对应的状态和数据刷新所有的输出锁存电路，再经输出电路驱动相应的外设。这时，才是 PLC 的真正输出。

一般来说，PLC 的扫描周期包括自诊断、通信等，即一个扫描周期等于自诊断、通信、输入采样、用户程序执行、输出刷新等所有时间的总和。因此，PLC 在一个扫描周期内，对输入状态的采样只在输入采样阶段进行。当 PLC 进入程序执行阶段后输入端将被封锁，直到下一个扫描周期的输入采样阶段才对输入状态进行重新采样。这种方式称为集中采样，即在一个扫描周期内，集中一段时间对输入状态进行采样。

在用户程序中如果对输出结果多次赋值，则最后一次有效。在一个扫描周期内，只在输出刷新阶段才将输出状态从输出映象寄存器中输出，对输出接口进行刷新。在其他阶段，输出状态一直保存在输出映象寄存器中。这种方式称为集中输出。

对于小型 PLC，其 I/O 点数较少，用户程序较短，一般采用集中采样、集中输出的工作方式，虽然在一定程度上降低了系统的响应速度，但使 PLC 工作时大多数时间与外部输入/输出设备隔离，从根本上提高了系统的抗干扰能力，增强了系统的可靠性；而对于大中型 PLC，其 I/O 点数较多，控制功能强，用户程序较长，为提高系统响应速度，可以采用定期采样、定期输出，或中断输入/输出方式，以及采用智能 I/O 接口等多种方式。



1.4 编程语言和编程软件

程序是整个自动控制系统的“心脏”，程序编制的好坏直接影响到整个自动控制系统的运行。编程器及编程软件有些厂家要求额外购买，并且价格不菲，这一点也需考虑在内。

1. 编程方法

一种是使用厂家提供的专用编程器，也分各种规格型号。大型编程器功能完备，适合各型号 PLC，价格高；小型编程器结构小巧，便于携带，价格低，但功能简单，适应性差。另一种是使用依托个人计算机应用平台的编程软件，现已被大多数生产厂家采用。各生产厂家由于各自的产品不同，往往只研制出适合于自己产品的编程软件，而编程软件的风格、界面、应用平台、灵活性、适应性、易于编程等都只有在用户亲自操作之后才能给予评价。

2. 编程语言

最常用的两种编程语言，一是梯形图，二是助记符语言表。梯形图编程直观易懂，但需要一台个人计算机及相应的编程软件；助记符语言表只需要一台简易编程器，不必用昂贵的图形编程器或计算机来编程。

虽然一些高档的 PLC 还具有与计算机兼容的 C 语言、BASIC 语言、专用的高级语言（如西门子公司的 GRAPH5、三菱公司的 MELSAP），还有用布尔逻辑语言、通用计算机兼容的汇编语言等。但是，各厂家的编程语言都只能适用于本厂的产品。

编程语言多种多样，看似相同，却不通用。最常用的可以划分为以下五类编程语言：

（1）梯形图。梯形图语言是在传统电器控制系统中常用的接触器、继电器等图形表达符号的基础上演变而来的。它与电器控制线路图相似，继承了传统电器控制逻辑中使用的框架结构、逻辑运算方式和输入输出形式，具有形象、直观、实用的特点。因此，这种编程语言为广大电气技术人员所熟知，是应用最广泛的 PLC 编程语言，是 PLC 的第一编程语言。

（2）顺序功能图。它提供了总的结构，并与状态定位处理或机器控制应用相互协调。

（3）功能块图。它提供了一个有效的开发环境，并且特别适用于过程控制应用。

（4）结构化文本。这是一种类似用于计算机的编程语言，它适用于对复杂算法及数据的处理。

（5）语句表语言。这种编程语言是一种与汇编语言类似的助记符编程表达方式。在 PLC 应用中，经常采用简易编程器，而这种编程器中没有 CRT 屏幕显示，或没有较大的液晶屏幕显示。因此，就用一系列 PLC 操作命令组成的语句表将梯形图描述出来，再通过简易编程器输入到 PLC 中。虽然各个 PLC 生产厂家的语句表形式不尽相同，但基本功能相差无几。

厂家提供的编程软件中一般包括一种或几种编程语言，如 Concept 编程软件可以使用五种编程语言，依次为梯形图、顺序功能图、功能块图、结构化文本、语句表语言。同一编程软件下的编程语言大多数可以互换，一般选择自己比较熟悉的编程语言。

3. 指令系统

指令是了解与使用 PLC 的重要方面。不懂 PLC 指令无法编程，目前 PLC 的指令越来越多，越来越丰富，综合多种作用的指令日见增多。



PLC 的指令繁多，主要有以下几种类型：

- 1) 基本逻辑指令。用于处理逻辑关系，以实现逻辑控制。
- 2) 数据处理指令。用于处理数据，如译码、编码、传送、移位等。
- 3) 数据运算指令。用于数据的运算，如+、-、×、/等，可进行整数计算，有的还可进行浮点数运算；也可进行逻辑量运算等。
- 4) 流程控制指令。用以控制程序运行流程。PLC 的用户程序一般从零地址的指令开始执行，按顺序推进。但遇到流程控制指令也可作相应改变。流程控制指令较多，较好的运用可使程序简练，便于调试和阅读。
- 5) 状态监控指令。用以监视及记录 PLC 及其控制系统的工作状态，对提高 PLC 控制系统的可靠性大有帮助。

当然，并不是所有的 PLC 都有上述各类指令。以上只是让读者明白要从哪几个方面了解 PLC 指令，从中也可大致看出指令的多少及功能将怎样影响 PLC 的性能。

4. 编程软件

编程器是 PLC 重要的编程设备，它不仅可以用来编写程序，还可以用来输入数据，以及检查和监控 PLC 的运行。一般情况下，编程器只在 PLC 编程和检查时使用，在 PLC 正式运行后就把编程器卸掉。

随着计算机技术的发展，PLC 生产厂家越来越倾向于设计一些满足某些 PLC 编程、监控和设计要求的编程软件，这类编程软件可以在专用的编程器上运行，也可以在普通的个人计算机上运行。这类编程软件利用了计算机屏幕大，输入/输出信息量多的优势，使 PLC 的编程环境更加完美。在很多情况下，装有编程软件的计算机在 PLC 正式运行后还可以挂在系统上，作为 PLC 的监控设备使用。目前，有如下几类编程软件：

- 1) OMRON 公司设计的 CX-P 编程软件可以为 OMRON C 系列 PLC 提供良好的编程环境。
- 2) 松下电工设计的 FPWin_GR 编程软件可以为 FP 系列 PLC 提供良好的编程环境和仿真。
- 3) 西门子公司设计的 STEP 7 Micro/WIN 32 编程软件可以为 S7-200 系列 PLC 提供编程环境。
- 4) 西门子公司设计的 SIMATIC Manager 编程软件可以为 S7-300/400 系列 PLC 提供编程环境。

编程软件在使用前一定要把其装入满足条件的计算机中，同时要用专用的通信电缆把计算机和 PLC 连接好，在确认通信无误的情况下才能运行编程软件。

在编程环境中，可以打开编程窗口、监控程序运行窗口、保存程序窗口和设定系统数据窗口，并进行相应的操作。

5. 仿真软件

随着计算机技术的发展，PLC 的编程环境越来越完善。很多 PLC 生产厂家不仅设计了方便的编程软件，而且设计了相应的仿真软件。只要把仿真软件嵌入到编程软件当中，就可以在没有具体 PLC 的情况下利用仿真软件直接运行和修改 PLC 程序，使 PLC 的学习、设计和调试更方便、快捷。西门子公司设计的 S7_PLCSIM_V5_0_SP1 仿真软件就是专门为



S7-300/400 PLC 设计的仿真软件，S7_200SIM 是专门为 S7-200 PLC 设计的仿真软件，利用这些仿真软件可以直接运行 S7-200 和 S7-300/400 的 PLC 程序。

1.5 PLC 的性能指标与发展趋势

1. PLC 的性能指标

(1) 存储容量

存储容量是指用户程序存储器的容量。用户程序存储器的容量大，可以编制出复杂的程序。一般来说，小型 PLC 的用户存储器容量为几千字，而大型 PLC 的用户存储器容量为几万字。

(2) I/O 点数

输入/输出 (I/O) 点数是 PLC 可以接受的输入信号和输出信号的总和，是衡量 PLC 性能的重要指标。I/O 点数越多，外部可接的输入设备和输出设备就越多，控制规模就越大。

(3) 扫描速度

扫描速度是指 PLC 执行用户程序的速度，是衡量 PLC 性能的重要指标。一般以扫描 1KB 字用户程序所需的时间来衡量扫描速度，通常以 ms/KB 为单位。PLC 用户手册一般给出执行各条指令所用的时间，可以通过比较各种 PLC 执行相同的操作所用的时间来衡量扫描速度的快慢。

(4) 指令的功能与数量

指令功能的强弱、数量的多少也是衡量 PLC 性能的重要指标。编程指令的功能越强、数量越多，PLC 的处理能力和控制能力也越强，用户编程也越简单和方便，越容易完成复杂的控制任务。

(5) 内部元件的种类与数量

在编制 PLC 程序时，需要用到大量的内部元件来存放变量、中间结果、保持元件数据、定时计数、模块设置和各种标志位等信息。这些元件的种类与数量越多，表示 PLC 的存储和处理各种信息的能力越强。

(6) 特殊功能单元

特殊功能单元种类的多少与功能的强弱是衡量 PLC 产品的一个重要指标。近年来各 PLC 厂商非常重视特殊功能单元的开发，特殊功能单元种类日益增多，功能越来越强，使 PLC 的控制功能日益扩大。

(7) 可扩展能力

PLC 的可扩展能力包括 I/O 点数的扩展、存储容量的扩展、联网功能的扩展、各种功能模块的扩展等。在选择 PLC 时，经常需要考虑 PLC 的可扩展能力。



2. PLC 的发展趋势

(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/KB 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泡存储器或硬盘。

(2) 向超大型、超小型两个方向发展

当前中小型 PLC 比较多, 为了适应市场的多种需要, 今后 PLC 要向多品种方向发展, 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 14 336 点的超大型 PLC, 其使用 32 位微处理器, 多 CPU 并行工作和拥有大容量存储器, 功能强大。

小型 PLC 由整体结构向小型模块化结构发展, 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 α 系列 PLC。

(3) PLC 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 模块扩展了 PLC 功能, 使用灵活方便, 扩大了 PLC 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 之间联网通信, 各 PLC 生产厂家都有自己的专有联网手段; 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 占 5%, I/O 接口占 15%, 输入设备占 45%, 输出设备占 30%, 线路占 5%。前两项共 20% 故障属于 PLC 的内部故障, 它可通过 PLC 本身的软、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 生产厂家都致力于研制、发展用于检测外部故障的专用智能模块, 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 未来的发展趋势。