



S7-300 / 400 PLC 编程设计与应用

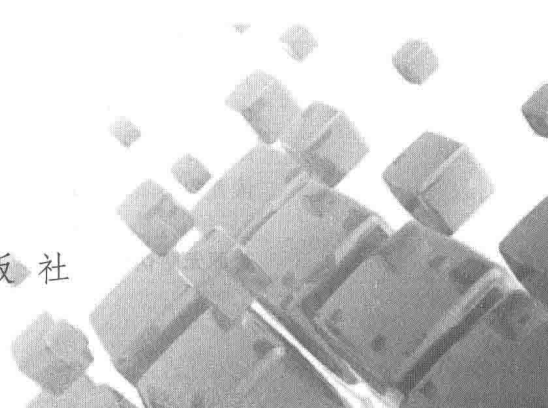
朱文杰 编著

S7-300/400 PLC 编程 设计与应用

朱文杰 编 著



机械工业出版社



本书以西门子公司的 S7-300/400 PLC 为主要叙述对象,介绍了 PLC 的原理、应用及控制系统设计。本书的主要内容有 PLC 的基础知识, S7-300/400 PLC 控制系统硬件特性与组态, S7-300/400 PLC 的指令系统及编程, 编程软件 STEP 7 的应用, 以及 S7-300/400 PLC 的通信网络等。书中进行指令讲解时穿插给出了编程举例, 并在最后一章介绍了 5 个 S7-300/400 PLC 工程应用案例, 供读者参考。

本书遵循教学规律, 内容阐述循序渐进、深入本质、切中要害, 结构合理、严谨, 概念准确, 易读易懂。

本书可作为电气类相关专业高专、本科生的课程教材以及毕业设计教材, 也可供相关工程技术人员、电气工程师参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

S7-300/400 PLC 编程设计与应用/朱文杰编著. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2017. 8

ISBN 978-7-111-57564-1

I. ①S… II. ①朱… III. ①PLC 技术-程序设计 IV. ①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 183125 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: 任 鑫 责任编辑: 任 鑫 责任校对: 张 薇

责任印制: 李 昂

河北鑫兆源印刷有限公司印刷

2017 年 10 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·17.5 印张·424 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-57564-1

定价: 49.00 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

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

前言

随着科学技术的进步和微电子技术的迅猛发展，可编程序控制器（PLC）技术已广泛应用于各种自动化控制领域，在现代工矿企业的生产、加工与制造过程中，起到了十分重要的作用。随着 PLC 功能的不断提升，以及其可靠性高、操作简便等特点，使其应用成了一种工业发展的趋势。特别是随着工业控制网络化进程的发展，使得 PLC 与现场总线技术获得了更加完美的结合，具有网络功能的 PLC 系统越发显示出了在先进工业控制中的作用与优势。目前，PLC、计算机辅助设计/计算机辅助制造（CAD/CAM）、机器人（Robot）和数控（NC）技术已发展成为工业自动化的支柱技术。因此熟悉和掌握先进的控制手段与方法，学习 PLC 技术已成为高等院校相关专业和工程自动化技术人员的一项迫切任务。本书以西门子公司的 S7-300/400 PLC 为主要叙述对象，在作者多年教学与科研工作的基础上，借鉴相关领域专家学者的研究成果最终撰写成稿。本书的主要内容有 PLC 的基础知识，S7-300/400 PLC 的硬件特性与组态、S7-300/400 PLC 的指令系统及编程，编程软件 STEP 7 的应用，以及 S7-300/400 PLC 的通信网络等。最后一章介绍了 5 个 S7-300/400 PLC 工程应用案例，供读者学习参考。

本书注重硬件特性和指令系统的叙述和讲解，注重编程基础，并配以应用性示例，使读者容易理解和掌握。

由于作者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，请广大读者批评指正。

朱文杰 于长沙

2017 年 4 月

前 言

第 1 章	PLC 的基础知识	1
1.1	概述	1
1.1.1	PLC 的产生和定义	1
1.1.2	PLC 的主要功能与性能指标	1
1.2	PLC 的基本结构和各部分的作用	3
1.2.1	中央处理单元	3
1.2.2	存储器单元	3
1.2.3	电源单元	4
1.2.4	输入/输出单元	5
1.2.5	接口单元	5
1.2.6	外部设备	6
1.3	PLC 的工作原理	6
1.3.1	PLC 对继电器控制系统的仿真	6
1.3.2	PLC 的循环扫描工作方式	7
1.4	PLC 的软件基础	10
1.4.1	系统监控程序	10
1.4.2	用户程序	11
1.4.3	PLC 的编程语言	12
1.4.4	PLC 控制系统设计的一般步骤	13
第 2 章	S7-300/400 PLC 的硬件特性与组态	14
2.1	S7-300 PLC 的硬件组成	14
2.1.1	S7-300 PLC 概述	14
2.1.2	S7-300 PLC 的 CPU 模块	19
2.1.3	S7-300 PLC 的 I/O 模块及其他模块	25
2.1.4	S7-300 PLC 的配置与组态	40

2.2	S7-400 PLC 的硬件组成	43
2.2.1	S7-400 PLC 的基本结构与特点	43
2.2.2	机架与接口模块	45
2.2.3	S7-400 PLC 的 CPU 模块和电源模块	46
2.2.4	S7-400 PLC 的输入/输出模块及其他模块	52
第 3 章	S7-300/400 PLC 的指令系统及编程	56
3.1	S7-300/400 PLC 的编程基础	56
3.2	S7-300/400 PLC 的基本指令与编程	64
3.2.1	位逻辑指令	64
3.2.2	定时器指令	74
3.2.3	计数器指令	82
3.3	S7-300/400 PLC 的功能指令及编程	87
3.3.1	装载与传输指令	88
3.3.2	比较指令	91
3.3.3	数据转换指令	93
3.3.4	移位和循环移位指令	99
3.3.5	运算指令	105
3.3.6	控制指令	112
3.3.7	累加器指令	119
3.3.8	数据块指令	121
3.3.9	S7-300/400 PLC 功能块简介	122
3.4	梯形图编程规则	126
3.4.1	继电器线路与程序梯形图的转换	126
3.4.2	梯形图的优化	130
第 4 章	编程软件 STEP 7 的应用	132
4.1	STEP 7 介绍	132
4.1.1	关于 STEP 7	132
4.1.2	STEP 7 标准软件包	134
4.1.3	STEP 7 V5.4 中的内容	136
4.1.4	STEP 7 标准软件包的扩展应用	137
4.2	编程软件 STEP 7 的安装与卸载	139
4.3	设计自动化解决方案	140
4.3.1	设计自动化项目的一般步骤	140
4.3.2	设计油压装置自动化示例	140
4.4	用户程序结构基础	145
4.4.1	数据块及其数据结构	146

4.4.2	数组	148
4.4.3	结构	149
4.4.4	用户数据类型	150
4.5	功能块编程及调用	151
4.5.1	符号表与变量声明表（局域数据）	152
4.5.2	逻辑块局部数据的类型	155
4.5.3	块调用过程及内存分配	157
4.5.4	参数传递的限制	159
4.5.5	时间标记冲突与一致性检查	160
4.5.6	功能块编程与调用举例	161
4.6	组织块 OB 与中断优先级	168
4.6.1	中断过程	168
4.6.2	组织块的分类	169
4.6.3	组织块优先级	188
4.6.4	中断控制	190
4.6.5	其他组织块	192
4.7	PLC 控制系统的可靠性设计	192
4.7.1	影响 PLC 控制系统可靠性的因素	193
4.7.2	PLC 控制系统工程应用的抗干扰设计	194
4.7.3	提高 PLC 控制系统可靠性的硬件措施	194
4.7.4	提高 PLC 控制系统可靠性的软件措施	198
第 5 章	S7-300/400 PLC 的通信网络	203
5.1	现场总线与 S7-300/400 PLC 集成通信网络	203
5.1.1	现场总线	203
5.1.2	S7-300/400 PLC 的集成通信网络	206
5.2	MPI 网络与全局数据通信	209
5.2.1	MPI 网络	209
5.2.2	MPI 的通信及组态	211
5.3	AS-I 接口网络	218
5.3.1	AS-I 的网络结构及技术指标	218
5.3.2	AS-I 的主站模块	221
5.4	工业以太网	230
5.4.1	工业以太网概述	230
5.4.2	工业以太网的连接	231
5.4.3	工业以太网交换技术	233
5.4.4	工业以太网的网卡与通信处理器	234
5.4.5	工业以太网的通信	235

第 6 章	S7-300/400 PLC 控制系统案例解析	239
6.1	S7-300 PLC 与 S7-200 PLC 实现自由口无线通信	239
6.1.1	自由口无线通信项目简介	239
6.1.2	监控系统的硬件及网络结构	239
6.1.3	通信功能的实现	239
6.1.4	数传电台选型和故障判断	246
6.1.5	小结	246
6.2	S7-300 PLC 在变电站中的应用	246
6.2.1	硬件系统构成	247
6.2.2	监控系统软件	247
6.2.3	小结	253
6.3	S7-300 PLC 在断路器极限电流测试系统中的应用	253
6.3.1	极限电流测试系统介绍	254
6.3.2	串行通信的实现	254
6.3.3	控制系统完成的功能	255
6.3.4	小结	257
6.4	S7-300 PLC 与 DCS 串行通信	257
6.4.1	系统连接	257
6.4.2	CP 341 模块应用简述	258
6.4.3	软件组态	259
6.4.4	实施过程中的注意事项	260
6.4.5	小结	260
6.5	S7-300/400 PLC 在永久船闸系统中的应用	261
6.5.1	船闸控制系统的组成与运行	261
6.5.2	船闸控制系统的基本配置	262
6.5.3	西门子 PLC 在船闸系统中的控制特点	263
6.5.4	小结	266
附录	S7-300/400 PLC 指令一览表	267
参考文献		272

第 1 章

PLC 的基础知识

可编程序控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 是以传统的顺序控制器为基础, 综合计算机技术、微电子技术、自控技术、数字技术和通信网络技术而形成的一代新型通用工业自动控制装置, 用以取代继电器, 完成逻辑、定时/计数等顺序控制功能, 建立柔性程控系统。

1.1 概述

1.1.1 PLC 的产生和定义

1. PLC 的产生

1836 年开始用导线将继电器与开关器件巧妙地连接, 构成用途各异的逻辑控制或顺序控制, 成为 PLC 问世前工业控制领域中的主导。但其存在体积大、耗电多、可靠性差、寿命短、运行速度不高等缺点, 尤其对多变生产工艺适应性差。

1968 年美国通用汽车 (GM) 公司提出研制新型工业控制装置来替代继电器控制装置, 拟定十项招标技术要求。1969 年美国数字设备 (DEG) 公司研制出世界上第一台型号为 PDP-14 的 PLC 并试用成功, 此程序化新型控制技术开创了工业控制的新纪元。1970 年美国 084 控制器、1971 年日本 DCS-8 PLC、1973~1974 年德法跟进, 1977 年我国以 MC14500 为核心的 PLC 应用于工业。

2. PLC 的定义

早期 PLC 用于替代继电器控制, 只有逻辑运算、定时/计数等开关量控制功能, 后来增加了模拟量闭环控制、运动位置控制及网络通信等功能。1980 年美国电气制造商协会 (NEMA) 的定义为: PLC 是一种数字式的自动化控制装置, 带有指令存储器、数字的或模拟的输入/输出接口, 以位运算为主, 能完成逻辑运算、顺序控制、定时/计数和算术运算等功能, 用于控制机器或生产过程。

1.1.2 PLC 的主要功能与性能指标

1. PLC 的主要功能

(1) 顺序逻辑控制功能

使用“与”“或”“非”等逻辑控制（或称位处理）替代继电器进行开关控制，完成触点串、并联，是 PLC 的基本功能。逻辑位状态可无限次使用，逻辑关系的修改、变更十分方便。

（2）定时/计数控制功能

PLC 提供若干定时器与计数器。定时器替代时间继电器，定时时间可编程设定、修改。计数器计数到编程设定、修改的设定值时产生状态变化，完成对某个工作过程的计数控制。高频率信号计数，可选择高速计数器。

（3）步进控制功能

步进电动机输出角位移或直线位移与输入脉冲数成正比，转速或线速度与脉冲频率成正比，通常作为定位控制和定速控制，广泛应用于数控机床、打印机等控制系统中。控制步进脉冲的个数或频率，可对电动机精确定位或调速。

（4）运动控制功能

运动控制是指对直线或圆周运动的控制，也称位置控制，世界上各主要 PLC 几乎都具有该功能，包括脉冲输出、模拟量输出等，广泛用于各种机械、机床、机器人、电梯等场合。

（5）过程控制功能

过程控制是指工业生产过程中对温度、压力、流量、液位等连续变化的物理量（即模拟量）的闭环控制。PLC 采用相应 A-D 和 D-A 转换模块及编制各种控制算法程序，处理模拟量，完成闭环控制。简单而优秀的 PID 调节，PID 模块、PID 子程序，在冶金、化工、热处理、锅炉等过程控制场合应用非常广泛。

（6）数据处理功能

现代 PLC 具有数学运算（含矩阵、函数、逻辑运算）、数据传送、移位、数制转换、排序、查表、位操作、编码和译码等功能，完成数据的采集、分析及处理。数据处理一般用于大型过程控制系统，如无人柔性制造系统。

（7）通信联网功能

PLC 具有通信联网的功能，使 PLC 间、PLC 与 PC 及其他智能设备间能够交换信息，形成一个统一整体，实现分散集中控制。

（8）其他功能

PLC 设置了较强的监控功能，为调试和维护提供极大的方便。此外，PLC 还有一个停电记忆功能。

2. PLC 的性能指标

（1）硬件指标

硬件指标包括一般指标、输入特性和输出特性。一般指标包括环境温度、环境湿度、使用环境、抗振、抗冲击、抗噪声、抗干扰和耐压等。输入特性包括输入电路的隔离程度、输入灵敏度、响应时间和所需电源等。输出特性包括回路构成（指继电器输出、晶体管输出或晶闸管输出）、回路隔离、最大负载、最小负载、响应时间和外部电源等。

（2）软件指标

软件指标包括程序容量、编程语言、通信功能、运行速度、指令类型、元件种类和数量等。

3. PLC 的分类

PLC 种类繁多, 为有利于选型, 可多方位对 PLC 进行分类。一是按控制规模大小; 二是按性能高低; 三是按结构特点。另外, 还可按流派、产地、厂商分类。

1.2 PLC 的基本结构和各部分的作用

PLC 是微机技术和继电器控制概念相结合的产物, 比计算机有更强的 I/O 接口、更简单的编程语言、更好的抗干扰性能, 由硬件系统和软件系统两大部分组成。硬件系统包括 CPU、存储器、电源、I/O 单元、接口单元及外部设备等, 如图 1-1 所示。

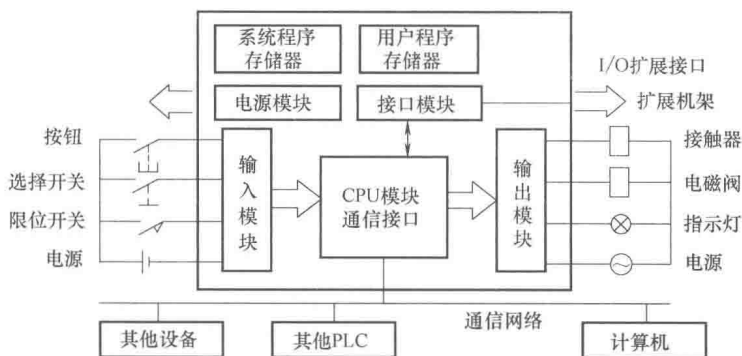


图 1-1 PLC 的组成

1.2.1 中央处理单元

与通用微机一样, 中央处理单元 (Central Processing Unit, CPU) 又称为微处理机, 是 PLC 的核心部分、控制中枢, 按系统程序赋予的功能, 指挥 PLC 有条不紊地进行工作。

CPU 由微处理器和控制接口电路组成, 包括有三个部分: 时序控制电路、算术逻辑运算器、记忆体。CPU 中的记忆体指的是暂存器 (Register), 而不是 RAM 或 ROM。CPU 接至外部的线路有控制、地址、数据三种, CPU 处理来自输入单元的资料, 完毕后再交由输出单元。CPU 风扇用来散热, 增加 CPU 的执行效率。

控制接口电路是微处理器与主机内部其他单元进行联系的部件, 主要有数据缓冲、单元选择、信号匹配、中断管理等功能。微处理器通过它来实现与各个内部单元之间的可靠信息交换和最佳时序配合。

暂存器 (Register): 设于 CPU 内部的记忆体, 用来暂存资料的; 累加器: 用来存放运算的结果; 程式计数器: 用来存放下一个要执行指令的位置; 指令暂存器: 用来暂存由记忆体提取的运算码, 以便送进解码器; 旗标暂存器: 用来显示 CPU 的状态或运算结果; 记忆体位址暂存器: 用以储存要存取的指令或资料的位置; 记忆体资料暂存器: 用以储存刚由主记忆体存入或取出的资料。

1.2.2 存储器单元

存储器 (内存) 一般采用半导体存储器单元 (Memory Unit), 参数有存储容量和存取时

间，用于存放系统程序、用户程序及工作数据。按照物理性能分为随机存储器（Random Access Memory, RAM）和只读存储器（Read Only Memory, ROM）。

随机存储器（读/写）最为重要，存取速度最快，由一系列寄存器组成，每位寄存器代表一个二进制数。在刚开始工作时，它的状态是随机的，只有经过置“1”或清“0”的操作后，它的状态才确定；若关断电源，则状态丢失。这种存储器可进行读、写操作，主要用来存储 I/O 状态和计数器、定时器以及系统组态的参数。为防止断电后数据丢失，可由锂电池支持进行数据保护，一般可存储 5 年，电池电压降低时欠电压指示灯发光，提醒用户更换电池。

只读存储器是一种只能读取而不能写入资料的记忆体，一般永久存放基本程序和数据，即使机器掉电，数据也不丢失。只读存储器有两种：一种是不可擦除 ROM，只能写入一次、不能改写；另一种是可擦除并重写 ROM，紫外线照射 EPROM 芯片透明窗口，能擦除其全部内容，E²PROM 也称为 EEPROM 可实现系统电擦除和写入。

铁电存储器独一无二，兼容 RAM 的一切功能，并和 ROM 一样是一种非易失性存储器，在两类存储类型间搭起了一座跨越沟壑的桥梁，是一种非易失性 RAM。

各种 PLC 的最大寻址空间是不同的，但 PLC 存储空间按用途都可分为三个区域。

1. 系统程序存储区

系统程序存储区中存放系统监控程序，包括系统管理程序、用户指令解释程序、可调用的标准程序模块、功能子程序、系统诊断子程序以及各种系统参数等，固化于 EPROM 中，用户不能直接存取。系统程序相当于 PC 的操作系统，与硬件一起决定 PLC 的性能。

2. 系统 RAM 存储区

系统 RAM 存储区包括 I/O 映像区、参数区以及系统各类软设备，如逻辑线圈、数据寄存器、定时器、计数器、变址寄存器、累加器等存储区。

1) I/O 映像区：存储单元（RAM）中存放 I/O 状态和数据的区域称作 I/O 映像区，一个开关量或模拟量 I/O 分别占用存储单元中的一个位（bit）或一个字（16bit）。

2) 参数区：存放 CPU 的组态数据，如果在编程软件或其他编程工具上未进行 CPU 的组态，则系统以默认值进行自动配置。

3) 系统软设备存储区：PLC 内部各类软设备如逻辑线圈、数据寄存器、定时器、计数器、变址寄存器、累加器等存储区，分为具有失电保持存储区和无失电保持存储区。

逻辑线圈与开关输出一样，每个逻辑线圈占用系统 RAM 存储区中的一个位，但不能直接驱动外设，只供用户在编程中使用，类似于继电控制中的中间继电器。数据寄存器与模拟量 I/O 一样，每个数据寄存器占用系统 RAM 存储区中的一个字（16bit）。

3. 用户程序存储区

用户程序存储区存放用户编写的应用程序。为调试、修改方便，程序先存放在随机存储器 RAM 中，经运行考核、修改完善，达到设计要求后，再固化到 EPROM 中。

1.2.3 电源单元

电源单元（Supply Unit）是 PLC 的电源供给部分，把外部供应的电源变换成系统内部各单元所需的电源。一般交流电压波动在 +10%（+15%）范围内，可以不采取其他措施（如 UPS）而将 PLC 直接连接到交流电网上。电源的交流输入端一般都设有脉冲 RC 吸收电

路或二极管吸收电路,交流输入电压范围一般比较宽,抗干扰能力比较强。

PLC 还需要直流电源。一般直流 5V 供 PLC 内部使用,直流 24V 供输入输出端和各种传感器使用,有的还向开关量输入单元连接的现场无源开关提供直流电源,设计选择时应注意保证直流电源不过载。

电源单元还应包括掉电保护电路(配有大容量电容)和后备电池电源,以保持 RAM 在外部电源断电后存储的内容还可保持 50h。

1.2.4 输入/输出单元

输入/输出单元(Input/Output Unit)由输入模块、输出模块和功能模块构成,是 PLC 的 CPU 与现场输入、输出装置或其他外部设备之间的连接接口部件。PLC 通过输入模块把工业设备或生产过程的状态或信息读入 CPU,通过用户程序的运算与操作,把结果通过输出模块输出给执行单元。PLC 提供了各种操作电平与驱动能力的 I/O 模块,以及各种用途的 I/O 组件:I/O 电平转换、电气隔离、串/并行转换、数据传送、A-D 转换、D-A 转换、误码校验等。I/O 模块可与 CPU 放在一起,也可远程放置,具有状态显示和 I/O 接线端子排。主要类型有数字量输入、数字量输出、模拟量输入、模拟量输出等。

输入模块将现场的输入信号,经滤波、光隔离、电平转换等,变换为 CPU 能接收和识别的低电压信号并信号锁存,送交 CPU 进行运算。输出模块则将 CPU 输出的低电压信号变换、光耦合、放大为能为控制器件接收的电压、电流信号,以驱动信号灯、电磁阀、电磁开关等。I/O 电压一般为 1.6~5V,低电压能解决耗电过大和发热过高的问题,是节能降耗的本质所在;光隔离能提高 PLC 的抗干扰能力。

通常 PLC 输入模块类型有直流、交流、交直流三种方式;PLC 输出模块类型有继电器、晶体管、双向晶闸管三种方式。继电器输出的价格便宜,既用于驱动交流负载,又用于直流负载,适用的电压大小范围较宽、导通电压降小,同时承受瞬时过电压和过电流的能力较强,但属于有触点元件,动作速度较慢(驱动感性负载时触点动作频率不得超过 1kHz)、寿命较短、可靠性较差,只能适用于不频繁通断的场合;对于频繁通断的负载,应选用晶闸管输出或晶体管输出,它们属于无触点元件,晶闸管输出只能用于交流负载,而晶体管输出只能用于直流负载。

此外,PLC 提供的功能模块实际上是一些智能型 I/O 模块,如温度检测、位置检测、位置控制、PID 控制、高速计数、运动控制、中断控制等模块,它们有自己独立的 CPU、系统程序、存储器,通过总线在 PLC 的协调管理下独立工作。CPU 与 I/O 模块的连接是由输入接口和输出接口完成的。

1.2.5 接口单元

接口单元包括扩展接口、存储器接口、编程与通信接口。

扩展接口是用于扩展 I/O 模块,使 PLC 系统配置得更加灵活。扩展接口实际上为总线形式,可配置开关量 I/O 模块,也可配置模拟量、高速计数等特殊 I/O 模块及通信适配器等。

存储器接口是为了扩展存储区而设置的,用于扩展用户程序存储区和用户数据参数存储区,它的内部也是接到总线上。

编程接口用于连接编程器或 PC，由于 PLC 本身不带编程器或编程软件，为实现编程、监控和通信，在 PLC 上专门设置了编程接口，有的还设置了与专用编程器连接的并行数据接口。

通信接口可使 PLC 与 PC，与另外的 PLC 或其他智能设备之间可以建立通信。外设 I/O 接口一般是 RS-232C 或 RS-422A 串行通信接口，可进行串行/并行数据的转换、通信格式的识别、数据传输的出错检验、信号电平的转换等。

1.2.6 外部设备

通过外设 I/O 接口，外部设备已发展成为 PLC 系统的不可缺少的部分。

1. 编程设备

编程器或 PC 可编辑、调试 PLC 用户程序，还可对系统作一些设定，以确定 PLC 控制方式或工作方式，同时还能监控 PLC 以及 PLC 控制系统的工作状况等。

简易编程器多为助记符编程，个别的也可图形编程（如东芝 EX 型 PLC 带的编程器）；复杂一点的图形编程器，可用梯形图编程；目前多采用编程软件在个人计算机上操作，可用其他高级语编程。

2. 监控设备

小的有数据监视器，可监视数据；大的有图形监视器，可通过画面监视数据。除了不能改变 PLC 的用户程序，编程器能做的它都能做，是使用 PLC 很好的界面。

3. 存储设备

它用于永久性地存储用户数据，使用户程序不丢失。这些设备有存储卡、存储磁带、软磁盘或只读存储器。为实现存储，相应要有存卡器、磁带机、软驱或 ROM 写入器及接口部件。

4. 输入输出设备

用于接收信号或输出信号，便于与 PLC 进行人机对话。输入设备有条码读入器、输入模拟量的电位器等；输出设备有打印机、文本显示器等。

1.3 PLC 的工作原理

PLC 是一种专门用于工业控制的计算机，其工作原理与计算机控制系统基本相同。PLC 采用周期循环扫描的工作方式，CPU 连续执行用户程序、任务的循环序列称为扫描。

1.3.1 PLC 对继电器控制系统的仿真

1. 模拟继电器控制的编程方法

电气控制系统可明显划分出主电路和辅助电路。PLC 的出现不是要“消灭”继电器，而是用它替代辅助电路中的起控制、保护、信号作用的那些继电器（主电路部分基本保持不变），达到节能降耗的目的。

对于控制、保护、信号等辅助电路等构成的电气控制系统可以分解为图 1-2 所示的三个组成部分，即输入部分、逻辑控制部分和输出部分。

PLC 控制系统也大致分为图 1-3 所示的三部分，即输入部分、控制部分和输出部分。

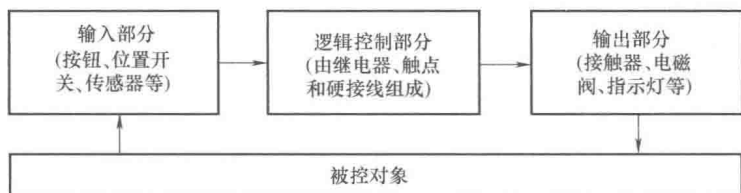


图 1-2 电气控制系统的组成

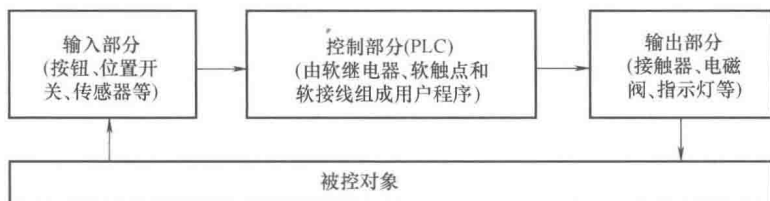


图 1-3 PLC 控制系统的组成

PLC 控制系统和电气控制系统的 I/O 部分基本相同，只是多了 I/O 模块，增加了光电耦合、电平转换、功率放大等功能。控制部分由微处理器、存储器组成，是“可编程”的控制器，而不是继电器网络，软件替代硬件，在控制方式、控制速度、延时控制等方面存在差异。PLC 以变更程序实现控制功能变化，从根本上解决了继电器控制难于改变的问题以及其他问题（如触点烧灼），另外还具有数值运算及过程控制等复杂功能，是对电气控制系统的崭新超越。

2. 接线程序控制、存储程序控制与建立 PLC 的 I/O 映像区

接线程序控制就是按电气控制电路接线的程序反复不断地依次检查各个输入开关的状态，根据接线的程序进行逻辑推算，把结果赋值给输出。1946 年“计算机之父”美籍匈牙利数学家冯·诺伊曼（John von Neumann，1903~1957 年）提出“存储程序控制”原理，奠定了现代电子计算机的基本结构和工作方式，开创了程序设计的新时代。

PLC 的工作原理与接线程序控制十分相近，不同的是 PLC 控制由与计算机一样的“存储程序”来实现。PLC 存储器内开辟有 I/O 映像区，大小与控制规模有关，系统每一个 I/O 点的编号号与 I/O 映像区的映像寄存器地址号（位）相对应。

PLC 工作时，将采集到的输入信号状态存放在输入映像区的对应位上，供用户程序执行时采用，不必直接与外部设备发生关系，而后将程序运算结果存放到输出映像区的对应位上，以作为输出。这种隔离方式不仅加速了程序的执行，而且提高了 PLC 控制的抗干扰能力。

1.3.2 PLC 的循环扫描工作方式

PLC 循环扫描工作方式有周期扫描方式、定时中断方式、输入中断方式、通信方式等，最主要的工作方式是周期扫描方式。PLC 采用“顺序扫描、不断循环”的方式进行工作，每次扫描过程还需对输入信号采样以及对输出状态刷新。

1. PLC 的工作过程

PLC 上电后，在 CPU 系统程序监控下，周而复始地按一定的顺序对系统内部的各种任

务进行查询、判断和执行，这个过程就是按顺序循环扫描。执行一个循环扫描过程所需的时间称为扫描周期，一般为 0.1~100ms。PLC 的工作过程如图 1-4 所示。

2. 用户程序的循环扫描过程

PLC 的工作过程，与 CPU 的操作方式（STOP 与 RUN）有关，下面讨论 RUN 方式下执行用户程序的过程。

当 PLC 运行时，通过执行用户程序来完成控制任务，但 CPU 不是同时去执行（不讨论多 CPU 并行），而是按分时操作（串行工作）方式，从第一条程序开始，在无中断或跳转控制的情况下，按程序存储顺序的先后，逐条执行，这种串行工作过程即为 PLC 的扫描工作方式。程序结束后又从头开始扫描执行，周而复始重复运行。由于 CPU 的运算处理速度很快，因而从宏观上来看，PLC 外部出现的结果似乎是同时（并行）完成的。

PLC 对用户程序进行循环扫描可划分为三个阶段，即输入采样阶段、程序执行阶段和输出刷新阶段，如图 1-5 所示。

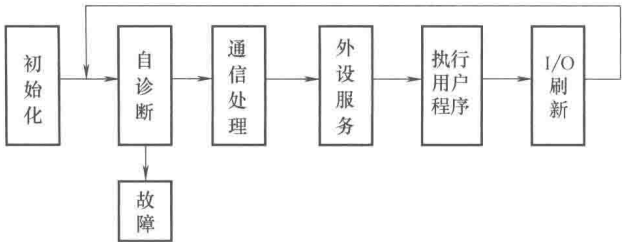


图 1-4 PLC 的工作过程

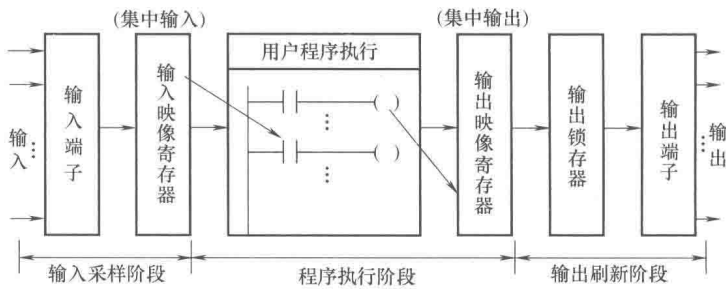


图 1-5 PLC 用户程序的工作过程

集中采样与集中输出的工作方式是 PLC 的又一特点，在采样期间，将所有输入信号（不论该信号当时是否要用）一起读入，此后在整个程序处理过程中 PLC 系统与外界隔离，直至输出控制信号。此时，外界输入信号状态的变化要到下一个工作周期的采样阶段才能被读入，这从根本上提高了系统的抗干扰能力，提高了系统的可靠性。

3. PLC 的 I/O 延迟响应问题

(1) I/O 延迟响应

由于 PLC 采用循环扫描的工作方式，即对信息的串行处理方式，导致了 I/O 延迟响应。当 PLC 的输入端有一个输入信号发生变化到 PLC 输出端对该输入变化做出反应，需要一段时间，这种现象称为 I/O 延迟响应或滞后现象，这段时间就称为响应时间或滞后时间。

因 PLC 循环扫描工作方式等因素会产生 I/O 延迟响应，在编程中，语句的安排也会影响响应时间。对于一般的工业控制，这种 PLC 的 I/O 响应滞后是完全允许的。但是对那些要求响应时间小于扫描周期的控制系统则不能满足，这时可以使用智能 I/O 单元（如快速响应 I/O 模块）或专门的指令（如立即 I/O 指令），通过与扫描周期脱离的方式来解决。

(2) 响应时间

响应时间或滞后时间是设计 PLC 应用控制系统时应注意把握的一个重要参数，它与以下因素有关：①输入延迟时间（由 RC 输入滤波电路的时间常数决定，改变时间常数可调整输入延迟时间）；②输出延迟时间（由输出电路的输出方式决定，继电器输出方式的延迟时间约 10ms，双向晶闸管输出方式在接通负载时延迟时间约为 1ms、切断负载时延迟时间小于 10ms，晶体管输出方式的延迟时间小于 1ms）；③PLC 循环扫描的工作方式；④PLC 对输入采样、输出刷新的集中处理方式；⑤用户程序中的语句安排。

这些因素中有的目前不能改变，有的可以通过恰当选型、合理编程得到改善。例如选用晶闸管输出方式或晶体管输出方式，则可以加快响应速度等。

如果 PLC 在一个扫描周期刚结束之前收到一个输入信号，在下一个扫描周期进入输入采样阶段，这个输入信号就被采样，使输入更新，这时响应时间最短。

最短响应时间 = 输入延迟时间 + 1 个扫描周期 + 输出延迟时间（见图 1-6）

如果收到一个输入信号经输入延迟后，刚好错过 I/O 刷新时间，在该扫描周期内这个输入信号无效，要等下一个扫描周期输入采样阶段才被读入、使输入更新，这时响应时间最长。

最长响应时间 = 输入延迟时间 + 2 个扫描周期 + 输出延迟时间（见图 1-6）

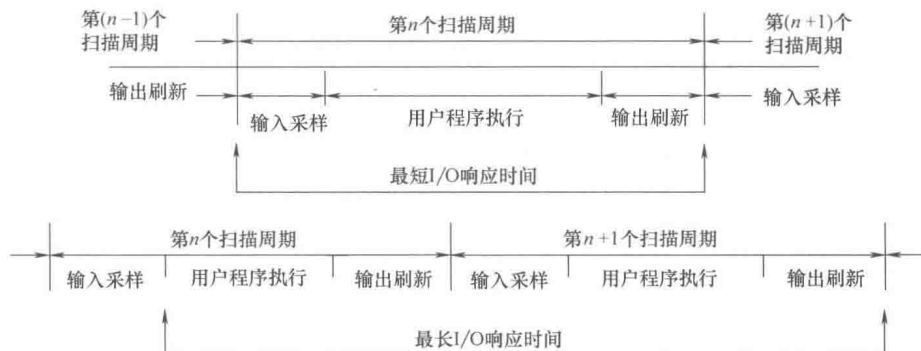


图 1-6 最短、最长 I/O 响应时间

输入信号如刚好错过 I/O 刷新时间，至少应持续一个扫描周期的时间或设置窄脉冲捕捉功能，才能保证被系统捕捉到。PLC 总的响应延迟时间一般不大，对一般系统无关紧要，而要求输入与输出信号间的滞后时间尽量短的系统，可选扫描速度快的 PLC 或采取其他措施。

(3) PLC 对 I/O 的处理规则

用户程序执行时，对 I/O 的处理遵循以下规则：输入映像寄存器的内容，由上一扫描周期输入端子状态决定；输出映像寄存器的状态，由程序执行期间输出指令执行结果决定；输出锁存器的状态，由上次输出刷新期间输出映像寄存器状态决定；输出端子上各输出端的状态，由输出锁存器来确定；执行程序时所用 I/O 状态值，取用 I/O 映像寄存器状态。

尽管 PLC 采用周期性循环扫描的工作方式会产生 I/O 延迟响应的现象，但只要使一个扫描周期足够短，采样频率足够高，就足以保证输入变量条件不变，即如果在第一个扫描周期内对某一输入变量的状态没有捕捉到，保证在第二个扫描周期执行程序时使其存在。这样