

# 第1章 可编程控制器概述

可编程控制器（Programmable Controller，简称 PLC 或 PC），是随着现代社会生产的发展和科技进步，现代工业生产自动化水平的日益提高及微电子技术的飞速发展，在继电器控制的基础上产生的一种新型的工业控制装置，是将 3C（Computer，Control，Communication）技术，即微型计算机技术、控制技术及通信技术融为一体，应用到工业控制领域的一种高可靠性控制器，是当代工业生产自动化的重要支柱。

在本章中，主要介绍以下内容：

- PLC 的产生、定义、分类及应用现状；
- PLC 的一般特点；
- PLC 与继电器逻辑控制系统的比较；
- PLC 与其他通用控制器（DCS、PID、工业 PC）的比较；
- PLC 的主要功能；
- PLC 的编程语言；
- PLC 的性能指标；
- PLC 的发展趋势。

本章的重点是掌握 PLC 的特点和主要功能，梯形图与继电器控制线路图的联系和差别，PLC 与其他通用控制器的异同及适用范围，理解评价 PLC 性能的主要指标，了解 PLC 的发展趋势。

## 1.1 PLC 的产生、定义、分类及应用现状

### 1.1.1 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。

在可编程控制器产生以前，以各种继电器为主要元件的电气控制线路，承担着生产过程自动控制的艰巨任务，可能由成百上千个各种继电器构成复杂的控制系统，需要用成千上万根导线连接起来，安装这些继电器需要大量的继电器控制柜，且占据大量的空间。当这些继电器运行时，又产生大量的噪声，消耗大量的电能。为保证控制系统的正常运行，需安排大量的电气技术人员进行维护，有时某个继电器的损坏，甚至某个继电器的触点接触不良，都会影响整个系统的正常运行。如果系统出现故障，要进行检查和排除故障又是非常困难的，全靠现场电气技术人员长期积累的经验。尤其是在生产工艺发生变化时，可能需要增加很多的继电器或继电器控制柜，重新接线或改线的工作量极大，甚至可能需要重新设计控制系统。尽管如此，这种控制系统的功能也仅仅局限在能实现具有粗略定时、计数功能的顺序逻辑控制。因此，人们迫切需要一种新的工业控制装置来取代传统的继电器控制系统，使电气控制系统工作更可靠、更容易维修、更能适应经常变化的生产工艺要求。

1968 年，美国最大的汽车制造商——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,要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 公司提出了著名的十条技术指标在社会上招标,要求控制设备制造商为其装配线提供一种新型的通用工业控制器,它应具有以下特点:

- ① 编程简单,可在现场方便地编辑及修改程序。
- ② 价格便宜,其性能价格比要高于继电器控制系统。
- ③ 体积要明显小于继电器控制柜。
- ④ 可靠性要明显高于继电器控制系统。
- ⑤ 具有数据通信功能。
- ⑥ 输入可以是 AC115V。
- ⑦ 输出为 AC115V, 2A 以上。
- ⑧ 硬件维护方便,最好是插件式结构。
- ⑨ 扩展时,原有系统只需做很小改动。
- ⑩ 用户程序存储器容量至少可以扩展到 4KB。

1969 年,美国数字设备公司(DEC)根据上述要求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)。

可编程控制器这一新技术的出现,受到国内外工程技术界的极大关注,纷纷投入力量研制。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。

早期的 PLC 主要由分立式电子元件和小规模集成电路组成,它采用了一些计算机的技术,指令系统简单,一般只具有逻辑运算的功能,但它简化了计算机的内部结构,使之能够很好地适应恶劣的工业现场环境。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 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 PLC 更多地具有了计算机的功能。目前世界上著名的电气设备制造厂商几乎都生产 PLC 系列产品,并且使 PLC 作为一个独立的工业设备成为主导的通用工业控制器。

可编程控制器从产生到现在,尽管只有四十几年的时间,由于其编程简单、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、电力等部门得到了广泛的应用。

### 1.1.2 PLC 的定义

1980 年,美国电气制造商协会(National Electronic Manufacture Association,简称 NEMA)将可编程控制器正式命名为 Programmable Controller,简称为 PLC 或 PC。

关于可编程控制器的定义,1980 年,NEMA 将可编程控制器定义为:“可编程控制器是一种带有指令存储器,数字的或模拟的输入/输出接口,以位运算为主,能完成逻辑、顺序、定时、计数和算术运算等功能,用于控制机器或生产过程的自动控制装置。”

1985年1月,国际电工委员会(International Electro-technical Commission,简称IEC)在颁布可编程控制器标准草案第二稿时,又对PLC作了明确定义:“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按易于与工业控制系统连成一个整体和具有扩充功能。”

该定义强调了可编程控制器是“数字运算操作的电子系统”,它是一种计算机,它是“专为工业环境下应用而设计”的工业控制计算机。

虽然可编程控制器的简称为PC,但它与近年来人们熟知的个人计算机(Personal Computer,也简称为PC)是完全不同的概念。为加以区别,国内外很多杂志,以及在工业现场的工程技术人员,仍然把可编程控制器称为PLC。为了照顾到这种习惯,在本书中,我们仍称可编程控制器为PLC。

### 1.1.3 PLC的分类

可编程控制器具有多种分类方式,了解这些分类方式有助于PLC的选型及应用。

#### 1. 根据控制规模分类

PLC的控制规模是以所配置的输入/输出点数来衡量的。PLC的输入/输出点数表明了PLC可从外部接收多少个输入信号和向外部发出多少个输出信号,实际上也就是PLC的输入、输出端子数。根据I/O点数的多少可将PLC分为小型机、中型机和大型机。一般来说,点数多的PLC,功能也相应较强。

##### (1) 小型机

I/O点数(总数)在256点以下的,称为小型机,一般只具有逻辑运算、定时、计数和移位等功能,适用于小规模开关量的控制,可用它实现条件控制、顺序控制等。有些小型PLC(例如立石的C系列,三菱的F1系列,西门子的S5-100U,S7-200系列等),也增加了一些算术运算和模拟量处理等功能,能适应更广泛的需要。目前的小型PLC一般也具有数据通信等功能。

小型机的特点是价格低,体积小,适用于控制自动化单机设备,开发机电一体化产品。

##### (2) 中型机

I/O点数在256~1024点之间的,称为中型机。它除了具备逻辑运算功能,还增加了模拟量输入/输出、算术运算、数据传送、数据通信等功能,可完成既有开关量又有模拟量的复杂控制。中型机的软件比小型机丰富,在已固化的程序内,一般还有PID(比例、积分、微分)调节,整数/浮点运算等功能模板。

中型机的特点是功能强,配置灵活,适用于具有诸如温度、压力、流量、速度、角度、位置等模拟量控制和大量开关量控制的复杂机械,以及连续生产过程控制场合。

##### (3) 大型机

I/O点数在1024点以上的,称为大型机。大型PLC的功能更加完善,具有数据运算、模拟调节、联网通信、监视记录、打印等功能。大型机的内存容量超过640KB,监控系统采用CRT显示,能够表示生产过程的工艺流程,各种记录曲线,PID调节参数选择图等。能进行中断控制、智能控制、远程控制等。

大型机的特点是 I/O 点数特别多，控制规模宏大，组网能力强，可用于大规模的生产过程控制，构成分布式控制系统，或者整个工厂的集散控制系统。

## 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 3 种形式。

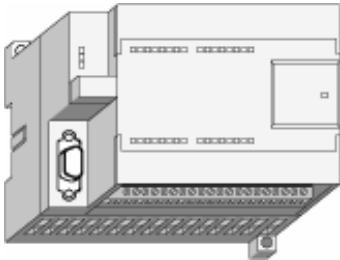


图 1-1 S7-200 外观结构图

### (1) 整体式

一般的小型机多为整体式结构。这种结构 PLC 的电源，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 1-1 所示为 SIEMENS 公司的 S7-200 型整体式 PLC 结构。

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

### (2) 模板式

图 1-2 所示为 SIEMENS 公司的 S7-300 型模板式 PLC 结构。

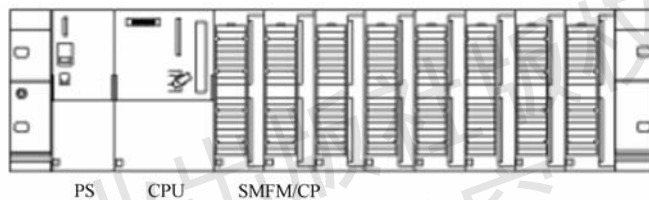


图 1-2 S7-300 的外观结构图

这种形式的 PLC 各部分以单独的模板分开设置，如电源模板 PS、CPU 模板、输入 / 输出模板 SM、功能模板 FM 及通信模板 CP 等。这种 PLC 一般设有机架底板（也有的 PLC 为串行联结，没有底板），在底板上有若干插座，使用时，各种模板直接插入机架底板即可。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。一般大、中型 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

所谓分散式的结构就是将可编程控制器的 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。

以上 3 种形式的可编程控制器的外观结构示意图如图 1-3 所示。

## 3. 根据用途分类

### (1) 用于顺序逻辑控制

早期的可编程控制器主要用于取代继电器控制电路，完成如顺序、连锁、定时和计数等开关量的控制，因此顺序逻辑控制是可编程控制器的最基本的控制功能，也是可编程控制器应用最多的场合。比较典型的应用如自动电梯的控制、自动化仓库的自动存取、各种管道上的电磁阀的自动开启和关闭、皮带运输机的顺序启动，或者自动化生产线的多机控制等，这些都是顺序逻辑控制。要完成这类控制，不要求可编程控制器有太多的功能，只要有足够数量的 I/O 回路即可，因此可选用低档的可编程控制器。

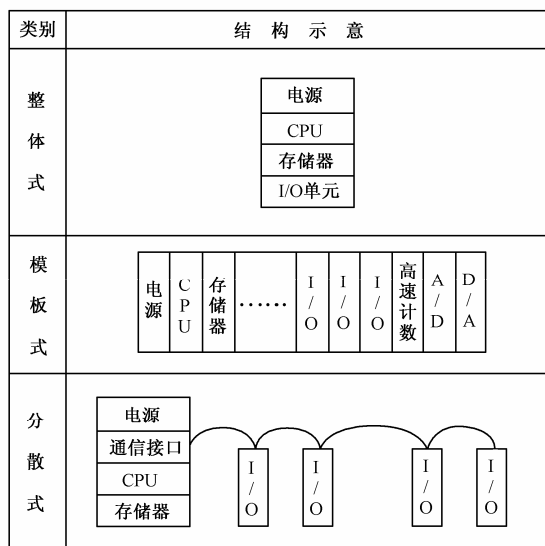


图 1-3 可编程控制器外观结构示意图

### (2) 用于闭环过程控制

对于闭环控制系统，除了要用开关量 I/O 点实现顺序逻辑控制外，还要有模拟量的 I/O 回路，以供采样输入和调节输出，实现过程控制中的 PID 调节，形成闭环过程控制系统。而中期的可编程控制器由于具有数值运算和处理模拟量信号的功能，可以设计出各种 PID 控制器。现在随着可编程控制器控制规模的增大，PLC 可控制的回路数已从几个增加到几十个甚至几百个，因此可实现比较复杂的闭环控制系统，实现对温度、压力、流量、位置、速度等物理量的连续调节。比较典型的应用，如连轧机的速度和位置控制、锅炉的自动给水、加热炉的温度控制等。要完成这类控制，不仅要求可编程控制器有足够数量的 I/O 点，还要有模拟量的处理能力，因此对 PLC 的功能要求高，根据能处理的模拟量的多少，至少应选用中档的可编程控制器。

### (3) 用于多级分布式和集散控制系统

在多级分布式和集散控制系统中，除了要求所选用的可编程控制器具有上述功能外，还要求具有较强的通信功能，以实现各工作站之间的通信、上位机与下位机的通信，最终实现全厂自动化，形成通信网络。由于近期的 PLC 都具有很强的通信和联网功能，建立一个自动化工厂已成为可能。显然，能胜任这种工作的可编程控制器为高档 PLC。

### (4) 用于机械加工的数控和机器人控制

机械加工行业也是 PLC 广泛应用的领域，可编程控制器与 CNC (Computer Number Control, 计算机数值控制) 技术有机地结合起来，可以进行数值控制。由于 PLC 的处理速度不断提高和存储器容量的不断扩大，使 CNC 的软件不断丰富，用户对机械加工程序编制越来越方便。随着人工视觉等高科技技术的不断完善，各种性能的机器人相继问世，很多机器人制造公司也选用 PLC 作为机器人的控制器，因此 PLC 在这个领域的应用也将越来越多。在这类应用中，除了要有足够的开关量 I/O、模拟量 I/O 外，还要有一些特殊功能的模板，如速度控制、运动控制、位置控制、步进电机控制、伺服电机控制、单轴控制、多轴控制等特殊功能模板，以适应特殊工作需要。

#### 4. 根据生产厂家分类

PLC 的生产厂家很多, 每个厂家生产的 PLC, 其点数、容量、功能各有差异, 但都自成系列, 指令及外设向上兼容, 因此在选择 PLC 时若选择同一系列的产品, 则可以使系统构成容易、操作人员使用方便, 备品配件的通用性及兼容性好。比较有代表性的有: 日本立石 (OMRON) 公司的 C 系列, 三菱 (MITSUBISHI) 公司的 F 系列, 东芝 (TOSHIBA) 公司的 EX 系列, 美国哥德 (GOULD) 公司的 M84 系列, 美国通用电气 (GE) 公司的 GE 系列, 美国 A-B 公司的 PLC-5 系列, 德国西门子 (SIEMENS) 公司的 S5 系列、S7 系列等。

#### 1.1.4 可编程控制器的应用现状

##### 1. 可编程控制器的市场状况

可编程控制器是“专为工业环境下应用而设计的”工业控制计算机, 由于其具有很强的抗干扰能力, 很高的可靠性, 能在恶劣环境下工作的大量的 I/O 接口, 因此, 伴随着新产品、新技术的不断涌现, 始终保持着旺盛的市场生命力。

##### (1) 国际市场

目前世界上 PLC 产品可按地域分成三大流派: 一个流派是美国产品, 一个流派是欧洲产品, 一个流派是日本产品。美国和欧洲的 PLC 技术是在相互隔离情况下独立研究开发的, 因此美国和欧洲的 PLC 产品有明显的差异性。而日本的 PLC 技术是从美国引进的, 对美国的 PLC 产品有一定的继承性, 但日本的主推产品定位在小型 PLC 上, 以小型 PLC 著称。而美国和欧洲以大中型 PLC 而闻名。

① 美国 PLC 产品。美国是 PLC 生产大国, 有 100 多家 PLC 厂商, 著名的有 A-B 公司、通用电气 (GE) 公司、莫迪康 (Modicon) 公司 (现为法国施耐德电气下属子公司)、德州仪器 (Texas Instruments, TI) 公司等。其中 A-B 公司是美国最大的 PLC 制造商, 其产品约占美国 PLC 市场的一半。

② 欧洲 PLC 产品。德国的西门子 (SIEMENS) 公司、AEG 公司、法国的 TE 公司是欧洲著名的 PLC 制造商。德国西门子的电子产品以性能精良而久负盛名。在中、大型 PLC 产品领域与美国的 A-B 公司齐名。

西门子 PLC 主要产品是 S5、S7 系列。在 S5 系列中, S5-90U、S5-95U 属于微型整体式 PLC; S5-100U 是小型模块式 PLC; S5-115U 是中型 PLC; S5-155U 为大型机。而 S7 系列是西门子公司在 S5 系列 PLC 基础上近年推出的新产品, 其性能价格比高, 其中 S7-200 系列属于微型 PLC; S7-300 系列属于中小型 PLC; S7-400 系列属于中高性能的大型 PLC。

③ 日本 PLC 产品。日本的小型 PLC 最具特色, 在小型机领域中颇负盛名, 某些用欧美的中型机或大型机才能实现的控制, 日本的小型机就可以解决。在开发较复杂的控制系统方面明显优于欧美的小型机, 所以格外受用户欢迎。日本有许多 PLC 制造商, 如三菱、欧姆龙、松下、富士、日立、东芝等, 在世界小型 PLC 市场上, 日本产品约占占有 70% 的份额。

##### (2) 国内市场

我国对可编程控制器的研制始于 1974 年, 当时上海、北京、西安等一些科研院校都在研制, 但是始终未能走出实验室, 更未能进入工业化生产。20 世纪 80 年代中期, 又掀起研制热潮, 目前全国有几十个生产厂家, 但生产的产品大多为 128 个开关量 I/O 点以下的小型机, 年产量超过 1000 台的只有几家。

从 20 世纪 90 年代初期开始, 由于可编程序控制器应用的不断深入, 国内又掀起了自主研

制开发可编程序控制器的高潮，虽然多为小型可编程序控制器，批量亦不大，但其功能、质量和可靠性已有明显的提高，代表产品如南京嘉华的 JH200，I/O 为 12 到 120 点，有高速计数器和模拟量功能；杭州新箭公司的 D20P，其 I/O 为 12/8 点，D100 的 I/O 可从 40 点扩展到 120 点；兰州全志的 RD100、RD200，前者 I/O 为 9/4 点，2 点模入，后者 I/O 为 20~40 点，扩展的功能有编码盘测速、热电偶测温 and 模拟量 I/O、能联网 32 台 RD200 以及与 PC 机进行实时通信。同时，中大规模的可编程序控制器在国内也开始出现，交通部上海船舶运输研究所的 STI2000，I/O 为 256 点，多台联网时 I/O 可达 4096 点；北京和利时公司研制生产的可编程序控制器 Hollias-PLC，其中典型的产品为数字量 I/O 达 1024 点，模拟量 I/O 达 256 点，内置 TCP/IP 通信接口，很容易接入管理网，配有 PROFIBUS-DP 现场总线的主站，从站和远程 I/O，并与合作伙伴一起推出了 InterControl G3 小型可编程序控制器系统。在国外产品强手如林的情况下，这些产品已具有和国外同类产品进行竞争的能力，充分说明国产可编程序控制器发展已进入了一个新的阶段。

2006 年中国 PLC 市场规模为 44.3 亿元，到 2010 年中国 PLC 市场规模达到了 68.4 亿元，相比 2009 年 50 亿元的市场规模，同比增长 36.8%。2006 年至 2010 年 PLC 市场规模的复合增长率为 9.08%。随着“十二五”提升装备自动化的提出，业内预计 PLC 市场将处于持续增长状态。根据中国机械研究院机电市场研究所 2010 年的调研报告，2006—2013 年中国 PLC 市场规模及预测如表 1-1 所示。

表 1-1 2006—2013 中国 PLC 市场规模及预测

年份	市场规模 (单位: 百万)	同比增长率
2006	4420	13.60%
2007	5000	12.96%
2008	5380	7.6%
2009	5000	-7.10%
2010	6840	36.8%
2011F	7536	10.2%
2012F	8260	9.6%
2013F	9025	9.3%

目前的国内市场几乎被国外的 PLC 产品占领，在大、中型 PLC 中，几乎 100% 是国外产品。主要以前面所提到的 5 家公司中的前 3 家为主，而小型 PLC 则由日本的三菱 (MITSUBISHI) 公司和 OMRON 公司占据主要地位。近年来 SIEMENS 公司的小型 PLC 在国内市场的占有率迅速上升，后来居上，企图抢占日本公司的产品市场。

## 2. 可编程控制器应用范围

可编程控制器作为一种通用的工业控制器，它可用于所有的工业领域。当前国内外已广泛地将可编程控制器成功地应用到机械、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、家电等各个领域，并且取得了相当可观的技术经济效益。

可编程控制器的应用领域及范围，可以用 4 个字来描述：无所不在。

PLC 控制技术代表了当今电气控制技术的世界先进水平，它已与数控技术、CAD/CAM 技术、工业机器人技术并列为工业自动化技术的四大支柱。

## 1.2 可编程控制器的特点及主要功能

### 1.2.1 可编程控制器的一般特点

可编程控制器的种类虽然千差万别，但为了在恶劣的工业环境中使用，它们都有许多共同的特点。

#### 1. 抗干扰能力强，可靠性极高

工业生产对电气控制设备的可靠性的要求是非常高的，它应具有很强的抗干扰能力，能在很恶劣的环境下（如温度高、湿度大、金属粉尘多、距离高压设备近、有较强的高频电磁干扰等）长期连续可靠地工作，平均无故障时间（MTBF）长，故障修复时间短。而 PLC 是专为工业控制设计的，能适应工业现场的恶劣环境。可以说，没有任何一种工业控制设备能够达到可编程控制器的可靠性。在 PLC 的设计和制造过程中，采取了精选元器件及多层次抗干扰等措施，使 PLC 的平均无故障时间 MTBF 通常在 10 万小时以上，有些 PLC 的平均无故障时间可以达到几十万小时以上，如三菱公司的 F1、F2 系列的 MTBF 可达到 30 万小时，有些高档机的 MTBF 还要高得多，这是其他电气设备根本做不到的。

绝大多数的用户都将可靠性作为选取控制装置的首要条件，因此 PLC 在硬件和软件方面均采取了一系列的抗干扰措施。

在硬件方面，首先是选用优质器件，采用合理的系统结构，加固简化安装，使它能抗振动冲击。对印制电路板的设计、加工及焊接都采取了极为严格的工艺措施。对于工业生产中最常见的瞬间强干扰，采取的措施主要是采用隔离和滤波技术。PLC 的输入和输出电路一般都用光电耦合器传递信号，做到电浮空，使 CPU 与外部电路完全切断了电的联系，有效地抑制了外部干扰对 PLC 的影响。在 PLC 的电源电路和 I/O 接口中，还设置多种滤波电路，除了采用常规的模拟滤波器（如 LC 滤波和  $\pi$  型滤波）外，还加上了数字滤波，以消除和抑制高频干扰信号，同时也削弱了各种模板之间的相互干扰。用集成电压调整器对微处理器的 +5V 电源进行调整，以适应交流电网的波动和过电压、欠电压的影响。在 PLC 内部还采用了电磁屏蔽措施，对电源变压器、CPU、存储器、编程器等主要部件采用导电、导磁良好的材料进行屏蔽，以防外界干扰。

在软件方面，PLC 也采取了很多特殊措施，设置了警戒时钟 WDT（Watching Dog Timer），系统运行时对 WDT 定时刷新，一旦程序出现死循环，使之能立即跳出，重新启动并发出报警信号。还设置了故障检测及诊断程序，用以检测系统硬件是否正常，用户程序是否正确，便于自动地作出相应的处理，如报警、封锁输出、保护数据等。当 PLC 检测到故障时，立即将现场信息存入存储器，由系统软件配合对存储器进行封闭，禁止对存储器的任何操作，以防存储信息被破坏。这样，一旦检测到外界环境正常后，便可恢复到故障发生前的状态，继续原来的程序工作。

另外，PLC 特有的循环扫描的工作方式，有效地屏蔽了绝大多数的干扰信号。

这些有效的措施，保证了可编程控制器的高可靠性。

#### 2. 编程方便

可编程控制器的设计是面向工业企业中一般电气工程技术人员，它采用易于理解和掌握的梯形图语言，以及面向工业控制的简单指令。这种梯形图语言既继承了传统继电器控制线路的表达形式（如线圈、触点、动合、动断），又考虑到工业企业中的电气技术人员的看图习惯



和微机应用水平。因此，梯形图语言对于企业中熟悉继电器控制线路图的电气工程技术人员是非常亲切的，它形象、直观，简单、易学，尤其是对于小型 PLC 而言，几乎不需要专门的计算机知识，只要进行短暂几天甚至几小时的培训，就能基本掌握编程方法。因此，无论是在生产线的设计中，还是在传统设备的改造中，电气工程技术人员都特别欢迎和愿意使用 PLC。

### 3. 使用方便

虽然 PLC 种类繁多，由于其产品的系列化和模板化，并且配有品种齐全的各种软件，用户可灵活组合成各种规模和要求不同的控制系统，用户在硬件设计方面，只是确定 PLC 的硬件配置和 I/O 通道的外部接线。在 PLC 构成的控制系统中，只需在 PLC 的端子上接入相应的输入、输出信号即可，不需要诸如继电器之类的固体电子器件和大量繁杂的硬接线电路。在生产工艺流程改变，或生产线设备更新，或系统控制要求改变，需要变更控制系统的功能时，一般不必改变或很少改变 I/O 通道的外部接线，只要改变存储器中的控制程序即可，这在传统的继电器控制时是很难想象的。PLC 的输入、输出端子可直接与 220VAC，24VDC 等强电相连，并具有较强的带负载能力。

在 PLC 运行过程中，在 PLC 的面板上（或显示器上）可以显示生产过程中用户感兴趣的各种状态和数据，使操作人员做到心中有数，即使在出现故障甚至发生事故时，也能及时处理。

### 4. 维护方便

PLC 的控制程序可通过编程器输入 PLC 的用户程序存储器中。编程器不仅能对 PLC 控制程序进行写入、读出、检测、修改，还能对 PLC 的工作进行监控，使得 PLC 的操作及维护都很方便。PLC 还具有很强的自诊断能力，能随时检查出自身的故障，并显示给操作人员，如 I/O 通道的状态、RAM 的后备电池的状态、数据通信的异常、PLC 内部电路的异常等信息。正是通过 PLC 的这种完善的诊断和显示能力，当 PLC 主机或外部的输入装置及执行机构发生故障时，使操作人员能迅速检查、判断故障原因，确定故障位置，以便采取迅速有效的措施。如果是 PLC 本身故障，在维修时只需要更换插入式模板或其他易损件即可完成，既方便又减少了影响生产的时间。

有人曾预言，将来自动化工厂的电气工人，将一手拿着螺丝刀，一手拿着编程器。这也是可编程控制器得以迅速发展和广泛应用的重要因素之一。

### 5. 设计、施工、调试周期短

用可编程控制器完成一项控制工程时，由于其硬、软件齐全，设计和施工可同时进行。由于用软件编程取代了继电器硬接线实现控制功能，使得控制柜的设计及安装接线工作量大为减少，缩短了施工周期。同时，由于用户程序大都可以在实验室模拟调试，模拟调试好后再将 PLC 控制系统在生产现场进行联机统调，使得调试方便、快速、安全，因此大大缩短了设计和投运周期。

### 6. 易于实现机电一体化

因为可编程控制器的结构紧凑，体积小，重量轻，可靠性高，抗震防潮和耐热能力强，使之易于安装在机器设备内部，制造出机电一体化产品。随着集成电路制造水平的不断提高，可编程控制器体积将进一步缩小，而功能却进一步增强，与机械设备有机地结合起来，在 CNC 和机器人的应用中必将更加普遍，以 PLC 作为控制器的 CNC 设备和机器人装置将成为典型的机电一体化产品。

## 1.2.2 可编程控制器与继电器逻辑控制系统的比较

在可编程控制器出现以前，继电器硬接线电路是逻辑控制、顺序控制的唯一执行者，它结构简单，价格低廉，一直被广泛应用。但它与 PLC 控制相比有许多缺点，如表 1-2 所示。

表 1-2 PLC 与继电器逻辑控制系统的比较

比较项目	继电器逻辑	可编程控制器
控制逻辑	接线逻辑，体积大，接线复杂，修改困难	存储逻辑，体积小、接线少，控制灵活，易于扩展
控制速度	通过触点的开闭实现控制作用。动作速度为几十毫秒，易出现触点抖动	由半导体电路实现控制作用，每条指令执行时间在微秒级，不会出现触点抖动
限时控制	由时间继电器实现，精度差，易受环境、温度影响	用半导体集成电路实现，精度高，时间设置方便，不受环境、温度影响
触点数量	4~8 对，易磨损	任意多个，永不磨损
工作方式	并行工作	串行循环扫描
设计与施工	设计、施工、调试必须顺序进行，周期长，修改困难	在系统设计后，现场施工与程序设计可同时进行，周期短，调试、修改方便
可靠性与可维护性	寿命短，可靠性与可维护性差	寿命长，可靠性高，有自诊断功能，易于维护
价格	使用机械开关、继电器及接触器等，价格便宜	使用大规模集成电路，初期投资较高

## 1.2.3 可编程控制器与其他工业控制器的比较

自从微型计算机诞生以后，工程技术人员就一直努力将微型计算机技术应用到工业控制领域，这样，在工业控制领域就产生了几种有代表性的工业控制器，如前面曾经提到的：可编程控制器（PLC）、PID 控制器（又称 PID 调节器）、集散控制系统（DCS）、工业控制计算机（工业 PC）。由于 PID 控制器一般只适用于过程控制中的模拟量控制，并且，目前的 PLC 或 DCS 中均具有 PID 的功能，所以，只需要对可编程控制器与通用的微型计算机、与集散控制系统、与工业控制计算机分别做一下比较。

### 1. 可编程控制器与通用的微型计算机的比较

采用微电子技术制作的作为工业控制器的可编程控制器，它也是由 CPU、RAM、ROM、I/O 接口等构成的，与微机有相似的构造，但又不同于一般的微机，特别是它采用了特殊的抗干扰技术，有着很强的接口能力，使它更能适用于工业控制。

PLC 与微机各自的特点如表 1-3 所示。

表 1-3 PLC 与微型计算机的比较

比较项目	可编程控制器	微型计算机
应用范围	工业控制	科学计算、数据处理、通信等
使用环境	工业现场	具有一定温度、湿度的机房
输入 / 输出	控制强电设备，有光电隔离，有大量的 I/O 口	与主机采用弱电联系，没有光电隔离，没有专用的 I/O 口
程序设计	一般为梯形图语言，易于学习和掌握	程序语言丰富，汇编、FORTRAN, BASIC, C 及 COBOL 等。语句复杂，需专门计算机的硬件和软件知识

续表

比较项目	可编程控制器	微型计算机
系统功能	自诊断、监控等	配有较强的操作系统
工作方式	循环扫描方式及中断方式	中断方式
可靠性	极高，抗干扰能力强，长期运行	抗干扰能力差，不能长期运行
体积与结构	结构紧凑，体积小。外壳坚固，密封	结构松散，体积大，密封性差。键盘大，显示器大

## 2. 可编程控制器与集散控制系统的比较

可编程控制器与集散控制系统都是用于工业现场的自动控制设备，都是以微型计算机为基础的，都可以完成工业生产中大量的控制任务。但是，它们之间又有一些不同。

### (1) 发展基础不同

可编程控制器是由继电器逻辑控制系统发展而来，所以它在开关量处理，顺序控制方面具有自己的绝对优势，发展初期主要侧重于顺序逻辑控制方面。集散控制系统是由仪表过程控制系统发展而来，所以它在模拟量处理、回路调节方面具有一定的优势，发展初期主要侧重于回路调节功能。

### (2) 扩展方向不同

随着微型计算机的发展，可编程控制器在初期逻辑运算功能的基础上，增加了数值运算及闭环调节功能。运算速度不断提高，控制规模越来越大，并开始与网络或上位机相连，构成了以 PLC 为核心部件的分布式控制系统。集散控制系统自 20 世纪 70 年代问世后，也逐渐地把顺序控制装置，数据采集装置，回路控制仪表，过程监控装置有机地结合在一起，构成了能满足各种不同控制要求的集散控制系统。

### (3) 由小型计算机构成的中小型 DCS 将被 PLC 构成的 DCS 所替代

PLC 与 DCS 从各自的基础出发，在发展过程中互相渗透，互为补偿，两者的功能越来越接近，颇有殊途同归之感。目前，很多工业生产过程既可以用 PLC 实现控制，也可以用 DCS 实现控制。但是，由于 PLC 是专为工业环境下应用而设计的，其可靠性要比一般的小型计算机高得多，所以，以 PLC 为控制器的 DCS 必将逐步占领以小型计算机为控制器的中小型 DCS 市场。

## 3. 可编程控制器与工业控制计算机的比较

可编程控制器与工业控制计算机（简称工业 PC）都是用来进行工业控制，但是工业 PC 与 PLC 相比，仍有一些不同。

### (1) 硬件方面

工业 PC 是由通用微型计算机推广应用发展起来的，通常由微型计算机生产厂家开发生产，在硬件方面具有标准化总线结构，各种机型间兼容性强。而 PLC 则是针对工业顺序控制，由电气控制厂家研制发展起来的，其硬件结构专用，各个厂家产品不通用，标准化程度较差。但是 PLC 的信号采集和控制输出的功率强，可不必再加信号变换和功率驱动环节，而直接和现场的测量信号及执行机构对接；在结构上，PLC 采取整体密封模板组合形式；在工艺上，对印刷板、插座、机架都有严密的处理；在电路上，又有一系列的抗干扰措施。因此，PLC 的可靠性更能满足工业现场环境下的要求。

### (2) 软件方面

工业 PC 可借用通用微型计算机丰富的软件资源，对算法复杂，实时性强的控制任务能较好地适应。PLC 在顺序控制的基础上，增加了 PID 等控制算法，它的编程采用梯形图语言，

易于被熟悉电气控制线路而不太熟悉微机软件的工厂电气技术人员所掌握。但是，一些微型计算机的通用软件还不能直接在 PLC 上应用，还要经过二次开发。

任何一种控制设备都有自己最适合的应用领域。熟悉、了解 PLC 与通用微型计算机、集散控制系统、工业 PC 的异同，将有助于我们根据控制任务和应用环境来恰当地选用最合适的控制设备，最好地发挥其效用。

## 1.2.4 可编程控制器的主要功能

PLC 是采用微电子技术来完成各种控制功能的自动化设备，可以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。其主要功能如下。

### 1. 顺序逻辑控制

这是 PLC 最基本最广泛的应用领域，用来取代继电器控制系统，实现逻辑控制和顺序控制。它既可用于单机控制或多机控制，又可用于自动化生产线的控制。PLC 根据操作按钮、限位开关及其他现场给出的指令信号和传感器信号，控制机械运动部件进行相应的操作。

### 2. 运动控制

在机械加工行业，可编程控制器与计算机数控（CNC）集成在一起，用以完成机床的运动控制。很多 PLC 制造厂家已提供了拖动步进电机或伺服电机的单轴或多轴的位置控制模板。在多数情况下，PLC 把描述目标位置的数据送给模板，模板移动一轴或数轴到目标位置。当每个轴移动时，位置控制模板保持适当的速度和加速度，确保运动平滑。目前已用于控制无心磨削、冲压、复杂零件分段冲裁、滚削、磨削等应用中。

### 3. 定时控制

PLC 为用户提供了一定数量的定时器，并设置了定时器指令，如 OMRON 公司的 CPM1A，每个定时器可实现 0.1~999.9s 或 0.01~99.99s 的定时控制，SIEMENS 公司的 S7-200 系列可提供时基单位为 0.1s，0.01s 及 0.001s 的定时器，实现从 0.001s 到 3276.7s 的定时控制。也可按一定方式进行定时时间的扩展。定时精度高，定时设定方便、灵活。同时 PLC 还提供了高精度的时钟脉冲，用于准确的实时控制。

### 4. 计数控制

PLC 为用户提供的计数器分为普通计数器、可逆计数器（增减计数器）、高速计数器等，用来完成不同用途的计数控制。当计数器的当前计数值等于计数器的设定值，或在某一数值范围时，发出控制命令。计数器的计数值可以在运行中被读出，也可以在运行中进行修改。

### 5. 步进控制

PLC 为用户提供了一定数量的移位寄存器，用移位寄存器可方便地完成步进控制功能。在一道工序完成之后，自动进行下一道工序。一个工作周期结束后，自动进入下一个工作周期。有些 PLC 还专门设有步进控制指令，使得步进控制更为方便。

### 6. 数据处理

大部分 PLC 都具有不同程度的数据处理功能，如 F2 系列、C 系列、S7 系列 PLC 等，能完成数据运算如：加、减、乘、除、乘方、开方等，逻辑运算如：字与、字或、字异或、求反等，移位、数据比较和传送及数值的转换等操作。

### 7. 模数和数模转换

在过程控制或闭环控制系统中，存在温度、压力、流量、速度、位移、电流、电压等连续变化的物理量（或称模拟量）。过去，由于 PLC 长于逻辑运算控制，对于这些模拟量的控制主

要靠仪表控制（如果回路数较少）或分布式控制系统 DCS（如果回路数较多）。目前，不但大、中型 PLC 都具有模拟量处理功能，甚至很多小型 PLC 也具有模拟量处理功能，而且编程和使用都很方便。

## 8. 通信及联网

目前绝大多数 PLC 都具备了通信能力，能够实现 PLC 与计算机，PLC 与 PLC 之间的通信。通过这些通信技术，使 PLC 更容易构成工厂自动化（FA）系统。也可与打印机、监视器等外部设备相连，记录和监视有关数据。

### 1.2.5 可编程控制器的软件及编程语言

可编程控制器是微型计算机技术在工业控制领域的重要应用，而计算机是离不开软件的。可编程控制器的软件也可分为系统软件和应用软件。

#### 1. 系统软件

所谓可编程控制器的系统软件就是 PLC 的系统监控程序，也有人称之为可编程控制器的操作系统。它是每台可编程控制器都必须包括的部分，是由 PLC 的制造厂家编制的，用于控制可编程控制器本身的运行，一般来说，系统软件对用户是不透明的。

系统监控程序通常可分为 3 个部分。

##### (1) 系统管理程序

系统管理程序是监控程序中最重要的一部分，它要完成如下任务。

① 负责系统的运行管理，控制可编程控制器何时输入、何时输出、何时运算、何时自检、何时通信等，进行时间上的分配管理。

② 负责存储空间的管理，即生成用户环境，由它规定各种参数、程序的存放地址，将用户使用的数据参数存储地址转化为实际的数据格式，以及物理存放地址。它将有限的资源变为用户可直接使用的很方便的编程元件。例如，它将有限个数的 CTC 扩展为几十个、上百个用户时钟（定时器）和计数器。通过这部分程序，用户看到的就不是实际机器存储地址和 PIO，CTC 的地址，而是按照用户数据结构排列的元件空间和程序存储空间。

③ 负责系统自检，包括系统出错检验、用户程序语法检验、句法检验、警戒时钟运行等。有了系统管理程序，整个可编程控制器就能在其管理控制下，有条不紊地进行各种工作。

##### (2) 用户指令解释程序

任何一台计算机，无论应用何种语言，最终只能执行机器语言，而用机器语言编程无疑是一件枯燥，麻烦且令人生畏的工作。为此，在可编程控制器中采用梯形图语言编程，再通过用户指令解释程序，将梯形图语言一条条地翻译成一串串的机器语言。这样，因为 PLC 在执行指令的过程中需要逐条予以解释，所以降低了程序的执行速度。由于 PLC 所控制的对象多数是机电控制设备，这些滞后的时间（一般是微秒或毫秒级的）完全可以忽略不计。尤其是当前 PLC 的主频越来越高，这种时间上的延迟将越来越小。

##### (3) 标准程序模块和系统调用

这部分是由许多独立的程序块组成的，各自能完成不同的功能，如输入、输出、运算或特殊运算等。可编程控制器的各种具体工作都是由这部分程序完成的，这部分程序的多少，决定了可编程控制器性能的强弱。

整个系统监控程序是一个整体，它质量的好坏，很大程度上决定了可编程控制器的性能。

如果能够改进系统的监控程序，就可以在不增加任何硬件设备的条件下，大大改善可编程控制器的性能。

## 2. 应用软件

可编程控制器的应用软件是指用户根据自己的控制要求编写的用户程序。由于可编程控制器的应用场合是工业现场，它的主要用户是电气技术人员，所以其编程语言，与通用的计算机相比，具有明显的特点，它既不同于高级语言，又不同于汇编语言，它要满足易于编写和易于调试的要求，还要考虑现场电气技术人员的接受水平和应用习惯。因此，可编程控制器通常使用梯形图语言，又叫继电器语言，更有人称之为电工语言。另外，为满足各种不同形式的编程需要，根据不同的编程器和支持软件，还可以采用语句表、逻辑功能图、顺序功能图、流程图及高级语言进行编程。

# 1.3 PLC 的编程语言

## 1.3.1 梯形图

梯形图是一种图形编程语言，是面向控制过程的一种“自然语言”，它沿用继电器的触点（触点在梯形图中又常称为接点）、线圈、串并联等术语和图形符号，同时也增加了一些继电器—接触器控制系统中没有的特殊功能符号。梯形图语言比较形象、直观，对于熟悉继电器控制线路的电气技术人员来说，很容易被接受，且不需要学习专门的计算机知识，因此，在 PLC 应用中，是使用的最基本、最普遍的编程语言。但这种编程方式只能用图形编程器直接编程。

PLC 的梯形图虽然是从继电器控制线路图发展而来的，但与其又有一些本质的区别。

① PLC 梯形图中的某些编程元件沿用了继电器这一名称，如输入继电器、输出继电器、中间继电器等。但是，这些继电器并不是真实的物理继电器，而是“软继电器”。这些继电器中的每一个，都与 PLC 用户程序存储器中的数据存储器中的元件映像寄存器的一个具体存储单元相对应。如果某个存储单元为“1”状态，则表示与这个存储单元相对应的那个继电器的“线圈得电”。反之，如果某个存储单元为“0”状态，则表示与这个存储单元相对应的那个继电器的“线圈断电”。这样，我们就能根据数据存储器中某个存储单元的状态是“1”还是“0”，判断与之对应的那个继电器的线圈是否“得电”。

② PLC 梯形图中仍然保留了动合触点（常开点）和动断触点（常闭点）的名称，这些触点的接通或断开，取决于其线圈是否得电（对于熟悉继电器控制线路的电气技术人员来说，这是最基本的概念）。在梯形图中，当程序扫描到某个继电器触点时，就去检查其线圈是否“得电”，即去检查与之对应的那个存储单元的状态是“1”还是“0”。如果该触点是动合触点，就取它的原状态；如果该触点是动断触点，就取它的反状态。例如：如果对应输出继电器 Q0.0 的存储单元中的状态是“1”（表示线圈得电），当程序扫描到 Q0.0 的动合触点时，就取它的原状态“1”（表示动合触点接通），当程序扫描到 Q0.0 的动断触点时，就取它的反状态“0”（表示动断触点断开）。反之亦然。

③ PLC 梯形图中的各种继电器触点的串并联连接，实质上是将对应这些基本单元的状态依次取出来，进行“逻辑与”、“逻辑或”等逻辑运算。而计算机对进行这些逻辑运算的次数是没有限制的，因此，可在编制程序时无限次使用各种继电器的触点，且可根据需要采用动合（常开）或动断（常闭）的形式。

注意，在梯形图程序中同一个继电器号的线圈一般只能使用一次。

④ 在继电器控制线路图中，左、右两侧的母线为电源线，在电源线中间的几个支路上都加有电压，当某个或某些支路满足接通条件时，就会有电流流过触点和线圈。而在 PLC 梯形图，左侧（或两侧）的垂线为逻辑母线，每一个支路均从逻辑母线开始，到线圈或其他输出功能结束。在梯形图中，其逻辑母线上不加什么电源，元件和连线之间也并不存在电流，但它确实在传递信息。为形象化起见，我们说，在梯形图中是有信息流或假想电流在流通，即在梯形图中流过的电流不是物理电流，而是“能流”，是用户程序表达方式中满足输出执行条件的形象表达方式，“能流”只能从左向右流动。

⑤ 在继电器控制线路图中，各个并联电路是同时加电压，并行工作的，由于实际元件动作的机械惯性，可能会发生触点竞争现象。在梯形图中，各个编程元件的动作顺序是按扫描顺序依次执行的，或者说是按串行的方式工作的，在执行梯形图程序时，是自上而下，从左到右，串行扫描，不会发生触点竞争现象。

⑥ PLC 梯形图中的输出线圈只对应存储器中的输出映像区的相应位，不能用该编程元件（如中间继电器的线圈、定时器、计数器等）直接驱动现场机构，必须通过指定的输出继电器，经 I/O 接口上对应的输出单元（或输出端子）才能驱动现场执行机构。

### 1.3.2 语句表

指令语句就是用助记符来表达 PLC 的各种功能。它类似于计算机的汇编语言，但比汇编语言通俗易懂，因此也是应用很广泛的一种编程语言。这种编程语言可使用简易编程器编程，尤其是在未能配置图形编程器时，就只能将已编好的梯形图程序转换成语句表的形式，再通过简易编程器将用户程序逐条地输入 PLC 的存储器中进行编程。通常每条指令由地址、操作码（指令）和操作数（数据或器件编号）3 部分组成。编程设备简单，逻辑紧凑、系统化，连接范围不受限制，但比较抽象，一般与梯形图语言配合使用，互为补充。目前，大多数 PLC 都有指令语句编程功能。

### 1.3.3 逻辑功能图

这是一种由逻辑功能符号组成的功能块图来表达命令的图形语言，这种编程语言基本上沿用了半导体逻辑电路的逻辑方块图。对每一种功能都使用一个运算方块，其运算功能由方块内的符号确定。常用“与”、“或”、“非”等逻辑功能表达控制逻辑。和功能方块有关的输入画在方块的左边，输出画在方块的右边。采用这种编程语言，不仅能简单明确地表现逻辑功能，还能通过对各种功能块的组合，实现加法、乘法、比较等高级功能，所以，它也是一种功能较强的图形编程语言。对于熟悉逻辑电路和具有逻辑代数基础的人来说，是非常方便的。

图 1-4 为实现三相异步电动机启停控制的 3 种编程语言的表达方式。

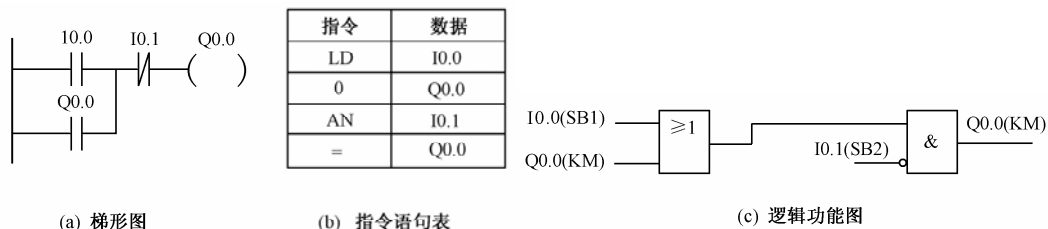


图 1-4 3 种编程语言举例

### 1.3.4 顺序功能图

顺序功能图（SFC）编程方式采用画工艺流程图的方法编程，只要在每一个工艺方框的输入和输出端，标上特定的符号即可。对于在工厂中搞工艺设计的人来说，用这种方法编程，不需要很多的电气知识，非常方便。

不少 PLC 的新产品采用了顺序功能图，有的公司已生产出系列的，可供不同的 PLC 使用的 SFC 编程器，原来十几页的梯形图程序，SFC 只用一页就可完成。另外，由于这种编程语言最适合从事工艺设计的工程技术人员，因此，它是一种效果显著、深受欢迎、前途光明的编程语言。

### 1.3.5 高级语言

在一些大型 PLC 中，为了完成一些较为复杂的控制，采用功能很强的微处理器和大容量存储器，将逻辑控制、模拟控制、数值计算与通信功能结合在一起，配备 BASIC、Pascal、C 等计算机语言，从而可像使用通用计算机那样进行结构化编程，使 PLC 具有更强的功能。

目前，各种类型的 PLC 基本上都同时具备两种以上的编程语言。其中，以同时使用梯形图和语句表的占大多数。不同厂家、不同型号的 PLC，其梯形图及语句表达都有些差异，使用符号也不尽相同，配置的功能各有千秋。因此，各个厂家不同系列，不同型号的可编程控制器是互不兼容的，但编程的思想方法和原理是一致的。

## 1.4 可编程控制器的性能指标

性能指标是用户评价和选购机型的依据。目前，市场上销售的可编程控制器和我国工业企业中所使用的可编程控制器，绝大多数是国外生产的产品（这些产品有的是随引进设备进口，有的是设计选用）。各种机型种类繁多，各个厂家在说明其性能指标时，主要技术项目也不完全相同。如何评价一台可编程控制器的档次高低，规模大小，适用场所，至今还没有一个统一的衡量标准。但是当用户在进行 PLC 的选型时，可以参照生产厂商提供的技术指标，从以下几个方面来考虑。

### 1. 处理器技术指标

处理器技术指标是可编程控制器各项性能指标中最重要的性能指标，在这部分技术指标中，应反映出 CPU 的类型、用户程序存储器容量、可连接的 I/O 总点数（开关量多少点，模拟量多少路）、指令长度、指令条数、扫描速度（ms/千字）。有的 PLC 还给出了其内部的各个通道配置，如内部的辅助继电器，特殊辅助继电器，暂存器，保持继电器，数据存储区，定时器/计数器及高速计数器的配置情况，以及存储器的后备电池寿命、自诊断功能等。

### 2. I/O 模板技术指标

对于开关量输入模板，要反映出输入点数 / 块、电源类型、工作电压等级，以及 COM 端、输入电路等情况。有的 PLC 还给出了其他有关参数，如输入模板供应的电源情况，输入电阻，以及动作延时情况。

对于开关量输出模板，要反映出输出点数 / 块、电源类型、工作电压等级，以及 COM 端、输出的电路情况。一般可编程控制器的输出形式有继电器输出、晶体管输出、双向晶闸管输出 3 种，要根据不同的负载性质选择 PLC 机输出电路的形式。有的 PLC 还给出了其他有关参数，



如工作电流、带载能力、动作延迟时间等。

对于模拟量 I/O 模板，要反映出它的输入 / 输出路数、信号范围、分辨率、精度、转换时间、外部输入或输出阻抗、输出码、通道数、端子连接、绝缘方式、内部电源等情况。

### 3. 编程器及编程软件

反映这部分性能指标有编程器的形式（简易编程器、图形编程器或通用计算机）、运行环境（DOS 或 Windows）、编程软件及是否支持高级语言等。

### 4. 通信功能

随着 PLC 控制功能的不断增强和控制规模的不断增大，使得通信和联网的能力成为衡量现代 PLC 的重要指标。反映这部分指标主要有通信接口、通信模块、通信协议及通信指令等。PLC 的通信可分为两类：一类是通过专用的通信设备和通信协议，在同一生产厂家的各个 PLC 之间进行的通信，另一类是通过通用的通信口和通信协议，在 PLC 与上位计算机或其他智能设备之间进行的通信。

### 5. 扩展性

PLC 的可扩展性是指 PLC 的主机配置扩展模板的能力，它体现在两个方面，一个是 I/O（数字量 I/O 或模拟量 I/O）的扩展能力，用于扩展系统的输入 / 输出点数；另一个是 CPU 模板的扩展能力，用于扩展各种智能模板，如温度控制模板、高速计数器模板、闭环控制模板等，实现多个 CPU 的协调控制和信息交换。

如果只是一般性地了解可编程控制器的性能，可简单地用以下 5 个指标来评价：CPU 芯片、编程语言、用户程序存储量、I/O 总数、扫描速度。显然，CPU 档次高、编程语言完善、用户程序存储量大、I/O 点数多、扫描速度快，这台可编程控制器的性能就好，功能也强，价格当然也高。

## 1.5 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

每个生产 PLC 的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。要形成自己的系列化产品，以便与其他 PLC 生产厂家竞争，就必然要开发各种模板，使系统的构成更加灵活、方便。一般的 PLC 可分为主机模板、扩展模板、I/O 模板以及各种智能模板等，每种模板的体积都较小，相互连接方便，使用更简单，通用性更强。

### 2. 小型机功能强化

从可编程控制器出现以来，小型机的发展速度大大高于中、大型 PLC。随着微电子技术的进一步发展，PLC 的结构必将更为紧凑，体积更小，而安装和使用更为方便。有的小型机只有手掌大小，很容易用其制成机电一体化产品。有的小型机的 I/O 可以以点为单位由用户配置、更换或维修。很多小型机不仅有开关量 I/O，还有模拟量 I/O，可实现高速计数，高速脉冲输出、PWM 输出、中断控制、PID 控制等。一般都有通信功能，可联网运行。

### 3. 中、大型机高速度、高功能、大容量

随着自动化水平的不断提高，对中、大型机处理数据的速度要求也越来越高，在三菱公司 AnA 系列的 32 位微处理器 M887788 中，在一块芯片上实现了 PLC 的全部功能，它将扫描时

间缩短为每条基本指令  $0.15\mu\text{s}$ 。OMRON 公司的 CV 系列, 每条基本指令的扫描时间为  $0.125\mu\text{s}$ 。而 SIEMENS 公司的 TI555 采用了多微处理器, 每条基本指令的扫描时间为  $0.068\mu\text{s}$ 。

在存储器的容量上, OMRON 公司的 CV 系列 PLC 的用户存储器容量为 64KB, 数据存储器容量为 24KB, 文件存储器容量为 1MB。

所谓高功能是指具有: 函数运算和浮点运算, 数据处理和文字处理, 队列、矩阵运算, PID 运算及超前、滞后补偿, 多段斜坡曲线生成, 处方、配方、批处理, 菜单组合的报警模板, 故障搜索、自诊断等功能。

美国公司的 Controlview 软件, 支持 Windows 系统, 能以彩色图形动态模拟工厂的运行情况, 允许用户用 C 语言开发程序。

#### 4. 功能高度集成

##### (1) PLC 与 PC 的集成

近些年来, 随着 PLC 网络的普及和应用, PLC 与 PC 集成型产品的市场增长率很快。PLC/PC 集成型的 PLC 机, 一般不直接控制工艺设备, 而是作为沟通 PLC 局域网与工厂级网络的桥梁。

##### (2) PLC 与 DCS 的集成

PLC/DCS 集成型的 PLC, 将继电器控制与仪表控制结合起来, 将 PLC 的逻辑控制功能与多回路控制功能融合在一起, 使 PLC 具有模拟量 I/O 和 PID 运算功能。

##### (3) PLC 与 CNC 的集成

PLC/CNC 集成型的 PLC, 除了要有足够的开关量 I/O、模拟量 I/O 外, 还要有一些特殊功能的模板, 如速度控制、运动控制、位置控制、步进电机控制、伺服电机控制、单轴控制、多轴控制等特殊功能模板, 可以完成铣削、车削、磨削、冲压及激光的加工。

#### 5. 分散型 I/O 子系统、智能型 I/O、现场总线 I/O

随着 PLC 通信技术的发展, 分散型 I/O 子系统 (分散式 PLC) 和智能 I/O 使得过去由一台大型处理器完成的工作交给较小的 PLC 网络, 或者分散到 I/O 设备中。

##### (1) 分散型 I/O

分散型 I/O 子系统的特点是: CPU 与远程 I/O 通过一对双绞线实现高速通信, 且具有自诊断功能。

##### (2) 智能型 I/O

智能型 I/O 主要有: PID 回路控制, 运动控制, 中断控制, 热电偶 / 热电阻控制, 条码控制, 光电码盘, 模糊控制, 冗余控制等。智能型 I/O 可以安装在远程 I/O 机架内, 可连接自己的操作员接口, 即使 CPU 出现故障, 智能 I/O 仍能继续工作。

在这类应用中, 除了要有足够的开关量 I/O, 模拟量 I/O 外, 还要有一些特殊功能的模板, 如速度控制、运动控制、位置控制、步进电机控制、伺服电机控制、单轴控制、多轴控制等特殊功能模板, 以适应特殊工作需要。

##### (3) 现场总线 I/O

现场总线 I/O 集检测, 数据处理和通信为一体, 现场总线 I/O 可以和 PLC 构成非常廉价的 DCS 系统, 可代替如变送器、调节阀、记录仪等  $4\sim 20\text{mA}$  的单变量单向传输的模拟量仪表。

#### 6. 低成本

随着新型器件的不断涌现, 主要部件成本的不断下降, 在大幅度提高 PLC 功能的同时, 也大幅度降低了 PLC 的成本。同时, 价格的不断降低, 也使 PLC 真正成为继电器的替代物。

## 7. 多功能

PLC 的功能进一步加强, 以适应各种控制需要。同时, 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。智能 I/O 组件也将进一步发展, 用来完成各种专门的任务, 如位置控制、温度控制、中断控制、PID 调节、远程通信、音响输出等。

## 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, 是标准的工业控制器, 它集 3C (Control: 控制、Computer: 计算机、Communication: 通信) 技术于一体, 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四大支柱之一。

① PLC 的产生是计算机技术与继电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, 并有向微型和巨型 PLC 发展之势。

③ 可用多种形式的编程语言编写 PLC 的应用程序, 梯形图是 PLC 最常用的编程语言, 要注意梯形图与继电器控制线路最根本的区别: 梯形图是编程语言, 是软件, 是存储逻辑, 是存储器中编程元件各种逻辑关系的组合; 继电器控制线路是各种物理继电器与导线的连接, 是硬件, 是接线逻辑。

④ 4 种通用控制器 (PLC、DCS、PID、工业 PC), 任何一种控制设备都有自己最适合的应用领域。要了解每种控制器的特点, 根据控制任务和应用环境来恰当地选用最合适的控制设备, 以便最好地发挥其效用。

⑤ PLC 产品的优劣用性能指标来衡量, PLC 的性能指标是 PLC 选型的重要依据, 要根据控制任务的要求, 综合评价各项性能指标。

⑥ PLC 总的发展趋势是: 高功能, 高速度, 高集成度, 容量大, 体积小, 成本低, 通信组网能力强。

## 习 题 1

- 1-1 可编程控制器是如何产生的?
- 1-2 整体式 PLC 与模板式 PLC 各有什么特点?
- 1-3 可编程控制器如何分类?
- 1-4 说明 PLC 控制与继电器控制的优缺点。
- 1-5 说明 PLC 与其他通用控制器的适用范围。
- 1-6 评价 PLC 的性能的主要指标是什么?
- 1-7 PLC 最常用的编程语言是什么?
- 1-8 梯形图与继电器控制线路图的差别是什么?
- 1-9 说明当代可编程控制器的发展趋势是什么?

## 第 2 章 可编程控制器的结构和工作原理

从可编程控制器的定义可知，PLC 也是一种计算机，它有着与通用计算机相类似的结构，即可编程控制器也是由中央处理器（CPU）、存储器（MEMORY）、输入 / 输出（I/O）接口及电源组成的。只不过它比一般的通用计算机具有更强的与工业过程相连的接口和更直接的适应控制要求的编程语言。

在本章中，主要介绍以下内容：

- PLC 的基本结构；
- PLC 的各个组成部分的功能；
- PLC 的等效工作电路；
- PLC 的工作过程；
- PLC 对 I/O 的处理规则；
- PLC 的扫描周期及滞后响应。

本章的重点是掌握 PLC 的硬件组成及其作用，掌握 PLC 的等效工作电路，掌握 PLC 工作过程的两个显著特点：周期性顺序扫描和集中批处理。

### 2.1 可编程控制器的硬件组成

#### 2.1.1 PLC 的基本结构

尽管可编程控制器的种类繁多，可以有各种不同的结构，为简化问题起见，以小型可编程控制器为例来说明 PLC 的硬件组成。

PLC 的基本结构如图 2-1 所示。由图 2-1 可知，用可编程控制器作为控制器的自动控制系统，就是工业计算机控制系统，它既可进行开关量的控制，也可实现模拟量的控制。

由于 PLC 的中央处理器是由微处理器（通用或专用）、单片机或位片式计算机组成的，且具有各种功能的 I/O 接口及存储器，所以也可将 PLC 的结构用微型计算机控制系统常用的单总线结构形式来表示，如图 2-2 所示。

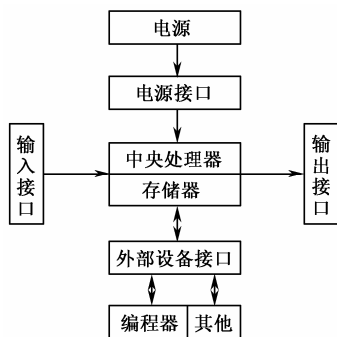


图 2-1 PLC 的基本结构

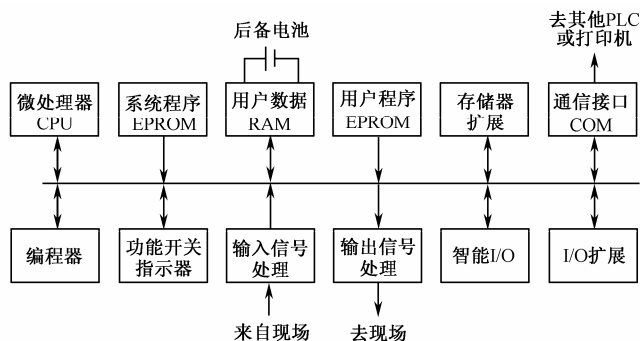


图 2-2 可编程控制器的单总线结构图

## 2.1.2 可编程控制器的各个组成部分的功能

下面结合图 2-1、图 2-2 分别说明 PLC 各个组成部分的功能。

### 1. 中央处理器（CPU）

众所周知，CPU 是计算机的核心，因此它也是 PLC 的核心。它按照系统程序赋予的功能完成的主要任务是：

- ① 接收与存储用户由编程器输入的用户程序和数据；
- ② 检查编程过程中的语法错误，诊断电源及 PLC 内部的工作故障；
- ③ 用扫描方式工作，接收来自现场的输入信号，并输入到输入映像寄存器和数据存储器中；
- ④ 在进入运行方式后，从存储器中逐条读取并执行用户程序，完成用户程序所规定的逻辑运算、算术运算及数据处理等操作；
- ⑤ 根据运算结果，更新有关标志位的状态，刷新输出映像寄存器的内容，再经输出部件实现输出控制、打印制表或数据通信等功能。

在模板式 PLC 中，CPU 是一个专用模板，一般 PLC 的 CPU 模板上还有存放系统程序的 ROM 或 EPROM、存放用户程序或少量数据的 RAM，以及译码电路、通信接口和编程器接口等。

在整体式 PLC 中，CPU 是一块集成电路芯片，通常是通用的 8 位或 16 位的微处理器，如 Z80，Z80A，8085，6800 等。采用通用的微处理器（如 Z80A）作 CPU，其好处是这些微处理器及其配套的芯片普及、通用、价廉，有独立的 I/O 指令，且指令格式短，有利于译码及缩短扫描周期。

随着大规模集成电路的发展，PLC 采用单片机作 CPU 的越来越多，在小型 PLC 中，尤其以 Intel 公司的 MCS-51，MCS-96 系列作 CPU 的居多，它以高集成度、高可靠性、高性能、高速度及低价格的优势，正在占领小型 PLC 的市场。

目前，小型 PLC 均为单 CPU 系统，而大、中型 PLC 通常是双 CPU 或多 CPU 系统。所谓双 CPU 系统，是在 CPU 模板上装有两个 CPU 芯片，一个作为字处理器，一个作为位处理器。字处理器是主处理器，它执行所有的编程器接口的功能，监视内部定时器（WDT）及扫描时间，完成字节指令的处理，并对系统总线和微处理器进行控制。位处理器是从处理器，它主要完成对位指令的处理，以减轻字处理器的负担，提高位指令的处理速度，并将面向控制过程的编程语言（如梯形图、流程图）转换成机器语言。

在高档的 PLC 中，常采用位片式微处理器（如 AM2900，AM2901，AM2903）作 CPU。由于位片式微处理器采用双极型工艺，所以比一般的 MOS 型微处理器在速度上快一个数量级。位片的宽度有 2 位、4 位、8 位等，用几个位片进行“级联”，可以组成任意字长的微机。另外在位片式微处理器中，都采用微程序设计，只要改变微程序存储器中的内容，就可以改变机器的指令系统，因此，其灵活性很强。位片式微处理器易于实现“流水线”操作，即重叠操作，能更有效地发挥其快速的特点。

### 2. 存储器

可编程控制器存储器中配有两种存储系统，即用于存放系统程序的系统程序存储器和存放用户程序的用户程序存储器。

系统程序存储器主要用来存储可编程控制器内部的各种信息。在大型可编程控制器中，又

可分为寄存器存储器、内部存储器和高速缓存存储器。在中、小型可编程控制器中，常把这3种功能的存储器混合在一起，统称为功能存储器，简称存储器。

一般系统程序是由 PLC 生产厂家编写的系统监控程序，不能由用户直接存取。系统监控程序主要由有关系统管理、解释指令、标准程序及系统调用等程序组成。系统程序存储器一般用 PROM 或 EPROM 构成。

由用户编写的程序称为用户程序。用户程序存放在用户程序存储器中，用户程序存储器的容量不大，主要存储可编程控制器内部的输入/输出信息，以及内部继电器、移位寄存器、累加寄存器、数据寄存器、定时器和计数器的动作状态。小型可编程控制器的存储容量一般不超过 8KB，中型可编程控制器的存储容量为 2~64KB，大型可编程控制器的存储容量可达到几百 KB 以上。我们一般讲 PLC 的内存大小，是指用户程序存储器的容量，用户程序存储器常用 RAM 构成。为防止电源掉电时 RAM 中的信息丢失，常采用锂电池做后备保护。若用户程序已完全调试好，且一段时期内不需要改变功能，也可将其固化到 EPROM 中。但是用户程序存储器中必须有部分 RAM，用以存放一些必要的动态数据。

用户程序存储器一般分为两个区，程序存储区和数据存储区。程序存储区用来存储由用户编写的、通过编程器输入的程序。而数据存储区用来存储通过输入端子读取的输入信号的状态、准备通过输出端子输出的输出信号的状态、PLC 中各个内部器件的状态，以及特殊功能要求的有关数据。

PLC 存储器的存储结构如表 2-1 所示。

表 2-1 PLC 存储器的存储结构

存储器	存储内容	
系统程序存储器	系统监控程序	
用户程序存储器	程序存储区	用户程序（如梯形图，语句表等）
	数据存储区	I/O 及内部器件的状态

当用户程序很长或需存储的数据较多时，PLC 基本组成中的存储器容量可能不够用，这时可考虑选用较大容量的存储器或进行存储器扩展。很多 PLC 都提供了存储器扩展功能，用户可将新增加的存储器扩展模板直接插入 CPU 模板中，也有的 PLC 机是将存储器扩展模板插在中央基板上。在存储器扩展模板上通常装有可充电的锂电池（或超级电容），如果在系统运行过程中突然停电，RAM 立即改由锂电池（或超级电容）供电，使 RAM 中的信息不因停电而丢失，从而保证复电后系统可从掉电状态开始恢复工作。

目前，常用的存储器有 CMOS-SRAM，EPROM 和 EEPROM。

#### (1) CMOS-SRAM 可读/写存储器

CMOS-SRAM 是以 CMOS 技术制造的静态可读/写存储器，用以存放数据。读/写时间小于 200ns，几乎不消耗电流。用锂电池作后备电源，停电后可保存数据 3~5 年不变。静态存储器 SRAM 的可靠性比动态存储器 DRAM 高，因为 SRAM 不必周而复始地刷新，只有在片选信号（脉冲）有效、写操作有效时，从数据总线进入的干扰信号才能破坏其存储的内容，而这种概率是非常小的。

#### (2) EPROM 只读存储器

EPROM 是一种可用紫外光擦除、在电压为 25V 的供电状态下写入的只读存储器。使用时，写入脚悬空或接+5V（窗口盖上不透光的薄箔），其内容可长期保存。这类存储器可根据不同需要与

各种微处理器兼容，并且可以和 MCS-51 系列单片机直接兼容。EPROM 一个突出的优点是把输出元件控制 (OE) 和片选控制 (CE) 分开，保证了良好的接口特性，使其在微机应用系统中的存储器部分修改、增删设计工作量最小。由于 EPROM 采用单一+5V 电源、可在静态维持方式下工作以及快速编程等特点，使 EPROM 在存储系统设计中，具有快速、方便和经济等一系列优点。

使用 EPROM 芯片时，要注意器件的擦除特性，当把芯片放在波长约为 4000 埃的光线下曝光时，就开始擦除。阳光和某些荧光灯含有 3000~4000 埃的波长，EPROM 器件暴露在照明日光下，约需 3 年才能擦除，而在直射日光下，约一周就可擦除，这些特性在使用中要特别注意。为延长 EPROM 芯片的使用寿命，必须用不透明的薄箔，贴在其窗口上，防止无意识擦除。如果真正需要对 EPROM 芯片进行擦除操作时，必须将芯片放在波长为 2537 埃的短波紫外线灯下曝光，擦除的总光量（紫外光光强×曝光时间）必须大于  $15\text{W} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ 。用  $12\ 000\mu\text{W}/\text{cm}^2$  紫外线灯，擦除的时间约为 15~20min，擦除操作时，需把芯片靠近灯管约 1 英寸处。有些灯在管内放有滤色片，擦除前需把滤色片取出，才能进行擦除。

EPROM 用来固化完善的程序，写入速度为毫秒级。固化是通过与 PLC 配套的专用写入器进行的，不适宜多次反复的擦写。

### (3) EEPROM 电可擦除可编程的只读存储器

EEPROM 是近年来被广泛重视的一种只读存储器，它的主要优点是能在 PLC 工作时“在线改写”，既可以按字节进行擦除和全新编程，也可进行整片擦除，且不需要专门的写入设备，写入速度也比 EPROM 快，写入的内容能在断电情况下保持不变，而不需要保护电源。它具有与 RAM 相似的高度适应性，又保留了 ROM 不易失的特点。

一些 PLC 出厂时配有 EEPROM 芯片，供用户研制调试程序时使用，内容可多次反复修改。EEPROM 的擦写电压约为 20V，此电压可由 PLC 供给，也可由 EEPROM 芯片自身提供，使用很方便。但从保存数据的长期性、可靠性来看，不如 EPROM。

## 3. 数字量（或开关量）输入部件及接口

来自现场的主令元件、检测元件的信号经输入接口进入 PLC。主令元件的信号是指由用户在控制键盘（或控制台、操作台）上发出的控制信号（如开机、关机、转换、调整、急停等信号）。检测元件的信号是指用检测元件（如各种传感器、继电器的触点，限位开关、行程开关等元件的触点）对生产过程中的参数（如压力、流量、温度、速度、位置、行程、电流、电压等）进行检测时产生的信号。这些信号有的是开关（或数字）量，有的是模拟量，有的是直流信号，有的是交流信号，要根据输入信号的类型选择合适的输入接口。

为提高系统的抗干扰能力，各种输入接口均采取了抗干扰措施，如在输入接口内带有光电耦合电路，使 PLC 与外部输入信号进行隔离。为消除信号噪声，在输入接口内还设置了多种滤波电路。为便于 PLC 的信号处理，输入接口内有电平转换及信号锁存电路。为便于与现场信号的连接，在输入接口的外部设有接线端子排。

### (1) 数字量（或开关量）输入模板的外部接线方式

数字量（或开关量）输入模板与外部用户输入设备的接线方式可分为汇点式输入和隔离式输入两种基本接线形式。

#### ① 汇点式输入接线。汇点式输入接线方式如图 2-3 所示。

在汇点式输入接线方式中，各个输入回路有一个公共端 (COM)。可以是全部输入点为一组，共用一个电源和公共端，如图 2-3 (a) 所示；也可以将全部输入点分为几组，每组有一个单独的电源和公共端，如图 2-3 (b) 所示。

汇点式输入接线方式，可用于直流输入模板，也可以用于交流输入模板。直流输入模板的电源一般可由 PLC 内部的 24VDC 电源提供；交流输入模板的电源则应由用户提供。

② 隔离式输入接线方式。隔离式输入接线方式如图 2-4 所示。

在隔离式输入接线方式中，每一个输入回路有两个接线端子，由单独的一个电源供电。相对于电源来说，各个输入点之间是相互隔离的。

隔离式输入接线方式一般用于交流输入模板，其电源也应由用户提供。

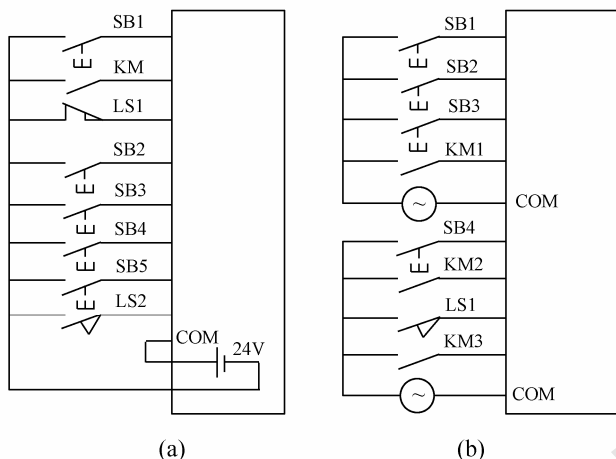


图 2-3 汇点式输入接线方式

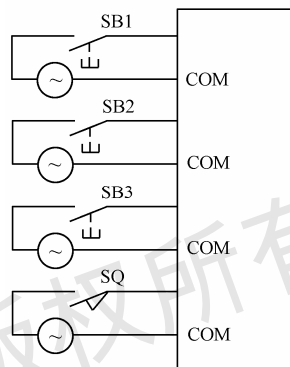


图 2-4 隔离式输入接线方式

## (2) 数字量输入模板的接口电路

数字量输入模板是将现场送来的开关信号（如按钮信号、各种行程开关信号、继电器触点的闭合或打开信号等），经光电隔离后，将电平转换成 CPU 可处理的 TTL 电平。根据所送来的信号电压的类型，数字量输入模板可分为直流输入模板（通常是 24V）和交流输入模板（通常是 220V）两种类型。

### ① 直流数字量输入模板。

常见的直流输入数字量模板有+24V 和+48V 电压两种形式，但这两种形式模板的基本结构是一样的，只是个别元件的参数有所不同。图 2-5 为直流数字量输入模板的原理图，从图中可见，它主要由输入信号处理、光电隔离、信号锁存、口地址译码和控制逻辑等电路组成。

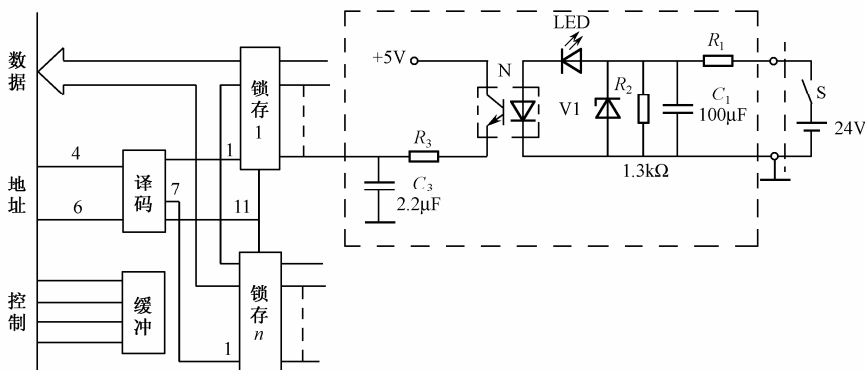


图 2-5 直流数字量输入模板原理图



- 输入信号处理电路。这部分电路有电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、稳压管  $V1$  和电容  $C$  组成。其中电阻  $R_1$  起 3 个作用：限制输入信号  $V_i$  的输入电流的大小；与  $V1$  一起构成稳压电路（稳压值在 3V），既可以防止输入的  $V_i$  过压，又可稳定给光电耦合器的驱动电压，还可以防止输入电压  $V_i$  极性接反而击穿光电耦合器；又与  $C_1$  一起组成一个 RC 低通滤波器，以抑制输入  $V_i$  中的高频干扰。电阻  $R_2$  是滤波电容  $C_1$  上电荷的泄放电阻，当  $V_i$  是一个开关或触点送来的+24V 直流电压时，在开关或触点打开后， $V_i$  呈开路状态，此时  $C_1$  上的电荷通过  $R_2$  泄放掉。

- 光电隔离电路。由发光二极管 LED、光电耦合器 N、电阻  $R_3$  和电容  $C_3$  组成光电隔离电路。当输入  $V_i$  为+24V（或+48V）时，稳压管  $V1$  两端稳压值为 3V，此电压使 LED 发光，并使光电耦合器的原边侧点燃（原边侧发光二极管导通），LED 的点燃发光是指示此电路输入是高电平（即开关 S 闭合）；光电耦合器原边点燃，导致它的副边侧产生电流，使电阻  $R_3$  上的电压近似为 5V。该电压经过由  $R_3$  和  $C_3$  组成的滤波器（也是为了抑制高频干扰），送到下一级数字信号锁存器的输入端。当  $V_i$  为 0 时（即开关 S 打开），LED 熄灭，指示该电路输入为低电平，光电耦合器不导通，所以送到下一级锁存器输入端的信号为 0。

- 信号锁存器。这部分电路常由若干片（取决于该模板上的输入端口数）8D 锁存器组成。其主要作用有两个：一个作用是在 CPU 送来的选通信号控制下，将光电耦合器送来的开关量信号存入锁存器；另一个作用是在 CPU 模板需要读取端口信号时，按译码器确定的端口送出有关端口的数据。

- 端口地址译码及控制逻辑。这部分电路由组合信号译码器、信号驱动器及有关的总线信号组成。它要完成两项工作：一是产生将端口信号由光电耦合器输出送入锁存器的选通信号；二是 CPU 模板在读取端口信号时，按 CPU 模板给出的地址确定相应的锁存器，并将寻址到的锁存器中的数据送到数据总线上。

## ② 交流数字量输入模板。

交流数字量输入模板的电路与直流数字量输入模板是很相似的，唯一不同之处是输入信号处理电路，如图 2-6 所示。

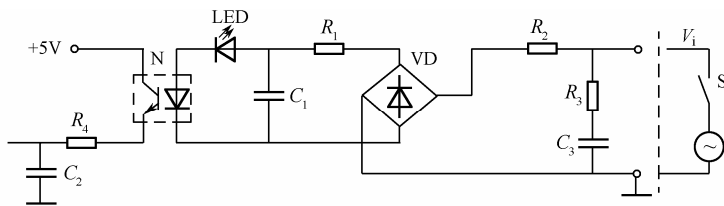


图 2-6 交流数字量输入模板的输入信号处理电路

交流输入信号经过整流桥 VD 整流后，所得直流信号作为发光二极管 LED 和光电耦合器 N 的工作电压。电阻  $R_1$  和电容  $C_1$  是直流滤波电路。由于交流信号不存在极性，故施加到光电耦合器上的直流电压仅与整流桥的方向有关。电阻  $R_2$  是降压电阻（限制施加到光电耦合器上的电压幅值）。电阻  $R_3$  和电容  $C_3$  是交流输入信号 220V 的交流滤波电路，用以滤除其中的高频或尖峰脉冲干扰信号。

## 4. 数字量（开关量）输出部件及接口

由 PLC 产生的各种输出控制信号经输出接口去控制和驱动负载（如指示灯的亮或灭、电动机的启动、停止或正反转、设备的转动、平移、升降、阀门的开闭等）。因为 PLC 的直接输

出带负载能力有限，所以 PLC 输出接口所带的负载，通常是接触器的线圈、电磁阀的线圈、信号指示灯等。

同输入接口一样，输出接口的负载有的是直流量，有的是交流量，要根据负载性质选择合适的输出接口。

### (1) 数字量输出模板的接线方式

数字量输出模板与外部用户输出设备的接线方式，可分为汇点式输出接线和隔离式输出接线两种形式。

#### ① 汇点式输出接线方式。汇点式输出接线方式如图 2-7 所示。

汇点式输出接线方式，各个输出回路有一个公共端（COM），可以是全部输出点为一组，共用一个公共端和一个电源，如图 2-7（a）所示。也可以将全部输出点分为几组，每组有一个公共端和一个单独的电源，如图 2-7（b）所示。

负载电源可以是直流，也可以是交流，它必须由用户提供。汇点式输出接线既可用于直流输出模板，也可以用于交流输出模板。

#### ② 隔离式输出接线方式。隔离式输出接线方式如图 2-8 所示。

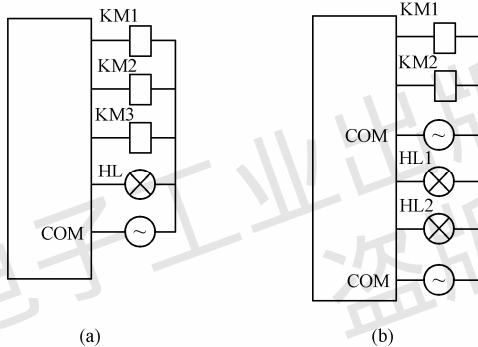


图 2-7 数字量的汇点式输出接线方式

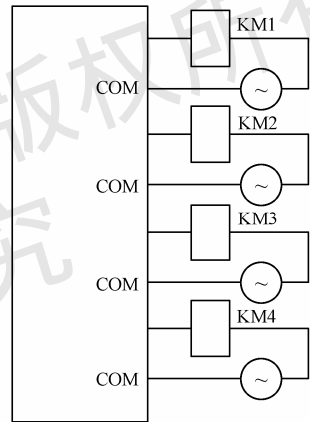


图 2-8 数字量隔离式输出接线方式

在隔离式输出模板中，每个输出回路有两个接线端子，由单独一个电源供电。相对于电源来说，每个输出点之间是相互隔离的。

### (2) 数字量输出接口的输出方式

对数字量输出接口，其输出方式分为晶体管输出型，双向晶闸管输出型及继电器输出型。晶体管输出型适用直流负载或 TTL 电路，双向晶闸管输出型适用于交流负载，而继电器输出型，既可用于直流负载，又可用于交流负载。使用时，只要外接一个与负载要求相符的电源即可，因而采用继电器输出型，对用户显得方便和灵活，但由于它是有触点输出，所以它的工作频率不能很高，工作寿命不如无触点的半导体元件长。

同样，为保证工作的可靠性，提高抗干扰能力，在输出接口内也要采用相应的隔离措施，如光电隔离和电磁隔离或隔离放大器等措施。

#### ① 直流数字量输出接口模板（晶体管输出型）。

直流数字量输出+24V，+48V 电压的两种模板的基本结构相同，其典型电路如图 2-9 所示。

此电路可分为译码、控制逻辑、输出锁存、光电隔离和输出驱动 5 个部分。其中前 4 个部分与直流数字量输入模板电路非常相似，所不同之处主要有 3 点：输出锁存器输入和输出的方

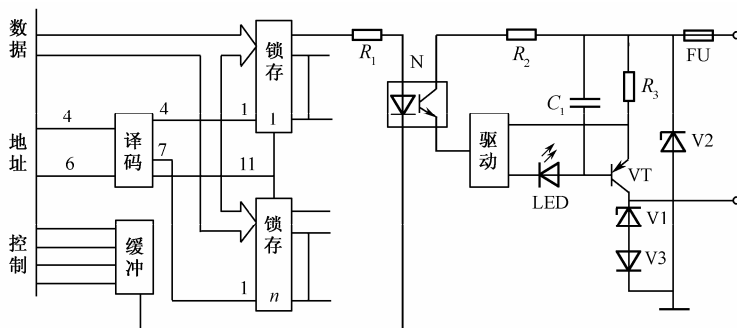


图 2-9 直流数字量输出接口模板原理图

向相反；数据流向相反；光电耦合器原边由标准 TTL 电平驱动，因此驱动电路简单。输出和输入模板的最大不同在于输出驱动电路，它也是输出模板的主要部分。

输出驱动电路的核心元件是作开关用的功率管 VT（可以是功率三极管，也可以是功率场效应管或双极型功率管），其主要作用是作电流放大和电平转换。光电耦合器副边侧提供功率管的基极电流。由于光电耦合器输出的电流较小，因此增加一级中间前置放大器，同时还起了相位上的调整作用。在光电耦合器 N 导通时，功率管 VT 也饱和导通，发光二极管点燃发光，指示此端口输出高电平。电阻  $R_2$  是光电耦合器的限流电阻，电阻  $R_3$  是功率管 VT 的限流电阻，同时在 VT 截止时，对其静态漏电流起负反馈作用，以确保 VT 的可靠截止。熔断器在输出短路或过流时熔断，以保护 VT 不被损坏。稳压管 V2 是防止端子上+24V 电压极性接反，同时也可防止+24V 误接到高电压上或交流电源上而损坏。V1 和 V3 是防止当负载为感性负载时，在电感中电流断开瞬间产生反向高压而击穿 VT，它们同时也可防止在多路输出且又共地的情况下产生负载电流混流现象。

当输出锁存器输出为高电平时，光电耦合器驱动功率管 VT，使它饱和导通。VT 的集电极电压（即输出电压）近似为+24V，负载所需要的大电流也由 VT 的集电极提供，当锁存器输出为低电平时，光电耦合器的副边侧不输出电流，VT 因没有基极电流而自动截止，这时负载上既无电压，也无电流，即端子上的输出为 0。

晶体管输出型每个输出点的最大带负载能力（因 PLC 的型号而异）约为 0.75A，但是因为温度上升的限制，每 4 点输出总电流不得大于 2A（每点平均 0.5A）。

晶体管输出型的接口，其响应速度较快，从光电耦合器动作（或关断）到晶体管导通的时间为  $15\mu\text{s}$  以下。

### ② 交流数字量输出接口模板（双向晶闸管或双向可控硅）。

交流输出模板的电路大部分与直流输出接口模板相同，只有输出驱动电路不同，如图 2-10 所示。它的主要开关元件是双向晶闸管 VT，可看做两个普通晶闸管的反并联（但其驱动信号是单极性的），只要门极 G 为高电平，就使 VT 双向导通，从而接通 220V 交流电源向负载供电。

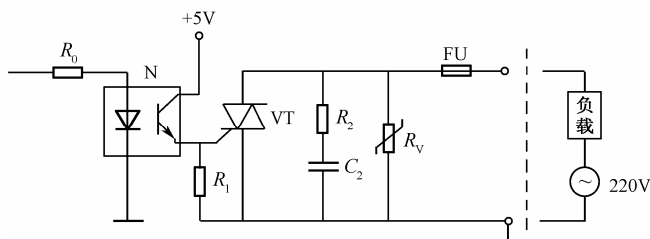


图 2-10 交流数字量输出接口模板的输出驱动电路

图 2-10 中，电容  $C_2$  是作为高频滤波电容，可抑制高尖峰电压击穿 VT。串接电阻  $R_2$  是限制 VT 由截止转为导通的瞬间，因电容的高速放电产生过大的  $di/dt$ 。 $R_V$  是压敏电阻，用它来吸收浪涌电压，以限制 VT 两端电压始终不超过一定限度。熔断器 FU 是作为短路或过电流保护而设置的。电阻  $R_1$  是将光电耦合器副边侧的电流信号转换成电压信号，用以驱动 VT 的门极。光电耦合器副边电流如不足以驱动 VT 正常导通时，可增加一级电流放大电路。

双向晶闸管输出型：每点最大带负载能力为 0.5~1A，每 4 点输出总电流不得大于 1.6~4A。

### ③ 继电器输出接口模板。

如果采用输出继电器来接通或断开，作为数字量的输出，则更为自由和方便，而且它的适用场合更普遍。因此，在对动作时间和动作频率要求不高的情况下，常常采用继电器输出方式。

继电器输出接口模板的控制部分也与直流输出接口模板相同，只是输出驱动电路不同。如图 2-11 所示为一种典型的继电器输出驱动电路。

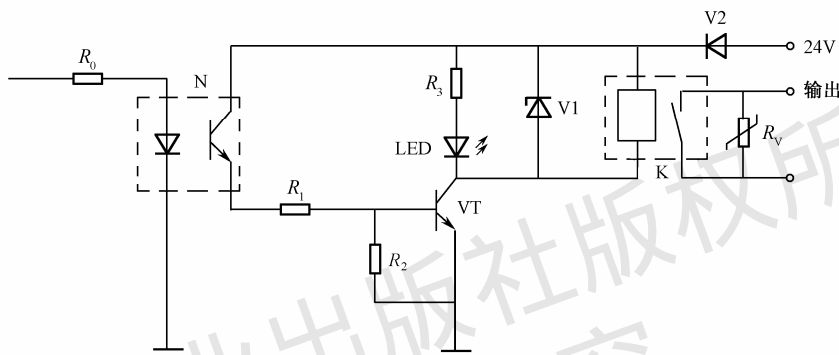


图 2-11 继电器输出接口模板的输出驱动电路

图 2-11 中，光电耦合器 N 的副边电流作为三极管 VT 的基极驱动电流，从而使 VT 饱和导通，继电器 K 吸合，发光二极管 LED 点燃并指示现在输出是高电平。 $R_1$  是基极限流电阻， $R_2$  是 VT 基极区电荷释放电阻，以加速 VT 截止。同时， $R_1$  与  $R_2$  组成分压电路，以免基极过电压。 $R_3$  是 LED 的限流电阻（LED 正常点燃时，电流约 3~5mA）。稳压管 V1 既可防止继电器线圈过电压，同时可以抑制 VT 截止瞬间使继电器线圈上产生反向高压，从而保护 VT 以免反向击穿。二极管 V2 用来防止电源电压的极性接反。压敏电阻  $R_V$  并联在继电器的触点上，用来防止触点之间电压过高，避免触点打开时电感性负载产生高电压使触点“粘接”。供电电源必须与继电器线圈额定工作电压相同，它只作为输出模板的负载的自用电源，而与 PLC 的输出能力无关。PLC 的输出能力是取决于输出继电器输出触点的额定电压与电流参数，即继电器触点闭合时可通过的最大电流和触点打开时可承受的最高电压。

继电器输出型接口在 250VAC 以下电路，可驱动的负载能力为：2A/1 点；但是公共端输出电流的总和为：6A/(3~4)点，8A/5 点。

继电器输出型接口响应时间最慢，从输出继电器的线圈得电（或断电）到输出触点 ON（或 OFF）的响应时间均为 10ms。

## 5. 模拟量输入 / 输出接口模板

小型 PLC 一般没有模拟量输入 / 输出接口模板，或者只有通道数有限的 8 位 A/D，D/A 模板。大、中型 PLC 可以配置成百上千的模拟量通道，它们的 A/D，D/A 转换器一般是 10 位或 12 位的。

模拟量 I/O 接口模板的模拟输入信号或模拟输出信号可以是电压，也可以是电流。可以是单极性的，如 0~5V，0~10V，1~5V，4~20mA，也可以是双极性的，如 ±50mV，±5V，±10V，±20mA。

一个模拟量 I/O 接口模板的通道数，可能有 2，4，8，16 个。也有的模板既有输入通道，也有输出通道。

在一些高精度和高抗干扰的 PLC 控制系统中，模拟量 I/O 接口模板也需要有光电隔离措施。由于模拟信号的隔离问题远比数字信号隔离困难，因此常在模拟量 I/O 模板上只配置若干具有隔离措施的端口，以降低系统的复杂度和成本。在模拟量 I/O 接口模板中，一般不能用光电耦合器作隔离，因为它不能保证良好的线性度，所以往往采用成本较高的隔离放大器来实现隔离作用。在模拟量 I/O 接口模板中的数字逻辑部分可以采用光电耦合器来隔离。

### (1) 模拟量输入接口模板

模拟量输入接口模板的任务是把现场中被测的模拟量信号转变成 PLC 可以处理的数字量信号。通常生产现场可能有多路模拟量信号需要采集，各模拟量的类型和参数都可能不同，这就需要在进入模板前，对模拟量信号进行转换和预处理，把它们变换成输入模板能统一处理的电信号，经多路转换开关进行多中选一，再将已选中的那路信号进行 A/D 转换，转换结束进行必要处理后，送入数据总线供 CPU 存取，或存入中间寄存器备用，如图 2-12 所示。

预处理部分主要完成信号滤波、电平变换等功能，先把现场的被测模拟量都规范化后，变成适于 A/D 转换的电压信号，再经过多路转换开关八中选一，进入模板的输入端。

判断识别单元的主要任务是判断输入模拟信号的真伪，避免由于输入通道上断线一类故障而造成输入伪信号。识别的方法是在正常测量前，由输入模板向被测试的通道端口反向输出一个恒值电流，并在端子上形成一个对应的定值电压，将此电压进行 A/D 转换，如果转换结果不符，则给出显示标志，并不再对此通道进行检测。如果通道接线完好，判断识别结果正常，这时才可以对该通道进行正常测量。

A/D 转换器是模拟量输入模板的关键器件，它完成模拟量到数字量的转换。转换时间一般为 10~100μs，A/D 转换器是在控制单元的控制下，完成启动 A/D 转换，读取转换结果等工作过程。通常，A/D 转换的结果是以带符号的二进制形式出现的。

数码转换单元的作用是将 A/D 转换的结果按运算要求进行码制转换，例如转换成补码或 BCD 码。转换后的数据经光电隔离，再经数据驱动器，送入中间寄存器。当 CPU 需要读取本通道输入信号时，再由中间寄存器取出，经总线驱动后送入数据总线。经数据线驱动的输出数据也可以不经中间寄存器而直接进入总线驱动，供 CPU 立即读取。

控制单元完成模板上各单元的指挥协调任务，它首先根据 CPU 送来的地址信号确认是否选通本模板，如果确实是选通本模板，则根据 CPU 送来的端口地址，使多路开关选中相应的输入通道；控制判断识别单元完成信号真伪识别，当确认输入通道正常，信号真实后，再启动 A/D，对所选通道的输入信号进行 A/D 转换，转换结束后，将转换数据经光电隔离器送到中间寄存器或是直接由总线驱动，输出到数据总线。所以，模板的选通、转换、传送都是在控制单元的统一指挥下进行的。

### (2) 模拟量输出接口模板

模拟量输出模板的任务是将 CPU 模板送来的数字量转换成模拟量，用以驱动执行机构，实现对生产过程或装置的闭环控制。

模拟量输出模板的结构框图如图 2-13 所示。

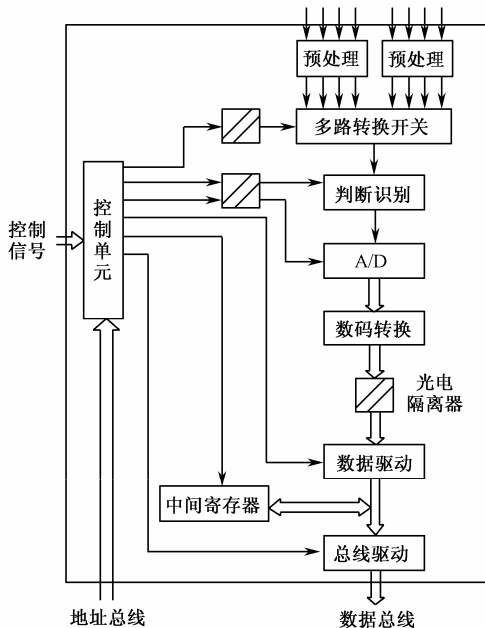


图 2-12 模拟量输入模板的结构图

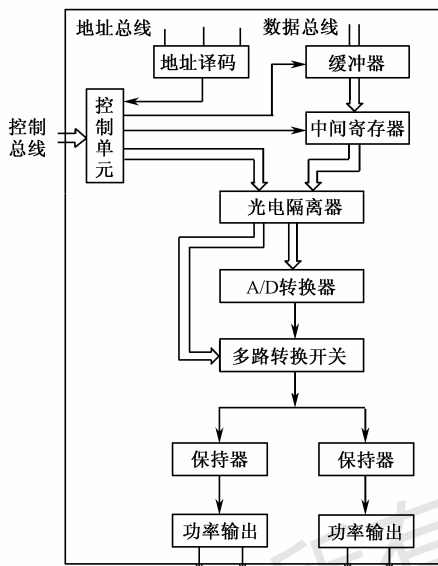


图 2-13 模拟量输出模板的结构框图

CPU 对某一控制回路经采样、计算，得出一个输出信号。在模拟量输出模板的控制单元的指挥下，这个输出信号以数字量形式由数据总线经缓冲器存入中间寄存器。这个数字量再经光电耦合器送给 D/A 转换器。D/A 转换器是模拟量输出模板的核心器件，它决定着该模板的工作精度和速度。经 D/A 转换后，控制信号已变为模拟量。通常，一个模拟量输出模板控制多个回路，即模板具有多个输出通道，经 D/A 转换后的信号要送到哪个通道，由 CPU 控制多路开关来实现这一选择。这里的多路选择开关与模拟量输入模板上的多路开关在使用方向上相反，那里是多中选一，这里是一选多。D/A 输出的信号经多路开关进入所选中的通道，此信号由保持器保持，以便在新的输出信号到来之前，能维持已有的输出信号不变，从而使执行机构驱动信号得到保持。保持器的输出信号经功率放大后送到执行机构，控制执行机构按要求的控制规律动作。如果执行机构是要求电流驱动的，则在功率放大后还要增加  $V/I$  变换环节。

控制单元指挥着模板上的各单元工作，它首先根据 CPU 送来的地址信号确认是否选中本模板，如果选中了本模板，则先选通缓冲器和中间寄存器，写入并锁存数据，再启动 D/A 芯片完成数字量到模拟量的转换，然后根据 CPU 送来的通道号，控制多路开关完成选择，将 D/A 输出的模拟信号送到指定的通道上，进行功率放大与变换。

## 6. 智能 I/O 接口

为适应和满足更加复杂控制功能的需要，PLC 生产厂家均生产了各种不同功能的智能 I/O 接口，这些 I/O 接口板上一般都有独立的微处理器和控制软件，可以独立地工作，以便减少 CPU 模板的压力。

在众多的智能 I/O 接口中，常见的有满足位置控制需要的位置闭环控制接口模块；有快速 PID 调节器的闭环控制接口模板；有满足计数频率高达 100kHz 甚至兆赫兹以上的高速计数器接口模板。用户可根据控制系统的特殊要求，选择相应的智能 I/O 接口。

## 7. 扩展接口

PLC 的扩展接口现在有两个含义：一个是单纯的 I/O（数字量 I/O 或模拟量 I/O）扩展接

口，它是为弥补原系统中 I/O 口有限而设置的，用于扩展输入、输出点数，当用户的 PLC 控制系统所需的输入、输出点数超过主机的输入、输出点数时，就要通过 I/O 扩展接口将主机与 I/O 扩展单元连接起来。另一个含义是 CPU 模板的扩充，它是在原系统中只有一块 CPU 模板而无法满足系统工作要求时使用的。这个接口的功能是实现扩充 CPU 模板与原系统 CPU 模板，以及扩充 CPU 模板之间（多个 CPU 模板扩充）的相互控制和信息交换。

## 8. 通信接口

通信接口是专用于数据通信的一种智能模板，它主要用于“人机”对话或“机机”对话。PLC 通过通信接口可以与打印机、监视器相连，也可与其他的 PLC 或上位计算机相连，构成多机局部网络系统或多级分布式控制系统，或实现管理与控制相结合的综合系统。

通信接口有串行接口和并行接口两种，它们都在专用系统软件的控制下，遵循国际上多种规范的通信协议来工作。用户应根据不同的设备要求选择相应的通信方式并配置合适的通信接口。

## 9. 编程器

编程器用于用户程序的输入、编辑、调试和监视，还可以通过其键盘去调用和显示 PLC 的一些内部继电器状态和系统参数。它经过编程器接口与 CPU 联系，完成“人机”对话。可编程控制器的编程器一般由 PLC 生产厂家提供，它们只能用于某一生产厂家的某些 PLC 产品，可分为简易编程器和智能编程器。

### (1) 简易编程器

简易编程器一般由简易键盘、发光二极管阵列或液晶显示器 (LCD) 等组成。它的体积小，价格便宜，可以直接插在 PLC 的编程器插座上，或者用电缆与 PLC 相连。它不能直接输入和编辑梯形图程序，只能通过联机编程的方式，将用户的梯形图语言程序转化成机器语言的助记符（语句表）的形式，再用键盘将语句表程序一条一条地写入 PLC 的存储器中。当用户程序已正确输入 PLC 后，可将编程器的工作方式选择为运行状态 (RUN) 或监控状态 (MONITOR)，也可将简易编程器从主机上拿下来，这样在 PLC 送电后，直接进入运行状态。

### (2) 智能编程器

智能编程器又称图形编程器，一般由微处理器、键盘、显示器及总线接口组成，它可以直接生成和编辑梯形图程序。图形编程器可分为液晶显示的图形编程器和用 CRT 作显示器的图形编程器。

液晶显示的图形编程器一般是手持式的，它有一个大型的点阵式液晶显示屏，可以显示梯形图或语句表程序，它一般还能提供盒式磁带录音机接口和打印机接口。

用 CRT 作显示器的图形编程器是一种台式编程器，它实际上是一台专用计算机，它的显示屏一般比液晶显示屏要大得多，功能也强得多，使用起来很方便。

用 CRT 作显示器的编程器既可联机在线编程，也可以离线编程，并将用户程序存储在编程器自己的存储器中。它既可以用梯形图编程，也可用助记符编程（有的也可以用高级语言编程），可通过屏幕进行人机对话。程序可以很方便地与 PLC 的 CPU 模板互传，也可以将程序写入 EPROM，并提供磁带录音机接口和磁盘驱动器接口，有的编程器本身就带有磁盘驱动器。它还有打印机接口，能快速清楚地打印梯形图，包括图中的英文注释，也可以打印出语句表程序清单和编程元件表等。这些文件对程序的调试和维修是非常有用的。

智能编程器体积大、成本高，适用于在实验室或大型 PLC 控制系统中，对应用程序进行开发和研制。

### (3) 用 PC 作编程器

由 PLC 生产厂家生产的专用编程器使用范围有限, 价格一般也较高。在个人计算机不断更新换代的今天, 出现了使用以个人计算机 (IBM PC/AT 及其兼容机) 为基础的编程系统。PLC 的生产厂家可能把工业标准的个人计算机作为程序开发系统的硬件提供给用户, 大多数厂家只向用户提供编程软件, 而个人计算机则由用户自己选择。由 PLC 生产厂家提供的个人计算机做了改装, 以适应工业现场相当恶劣的环境, 如对键盘和机箱加以密封, 并采用密封型的磁盘驱动器, 以防止外部脏物进入计算机, 使敏感的电子元件失效。这样, 被改装的 PC 就可以工作在较高的温度和湿度条件下, 能够在类似于 PLC 的运行环境中长期可靠地工作。

这种方法的主要优点是使用了价格较便宜的、功能很强的通用的个人计算机, 有的用户还可以使用现有的个人计算机, 因此, 以用最少的投资获取高性能的 PLC 程序开发系统。对于不同厂家和型号的 PLC, 只需要更换编程软件即可。这种系统的另一个优点是可以使用一台个人计算机为所有的工业智能控制设备编程, 还可以作为 CNC、机器人、工业电视系统和各种智能分析仪器的软件开发工具。

个人计算机的 PLC 程序开发系统的软件一般包括以下几个部分。

① 编程软件。这是最基本的软件, 它允许用户生成、编辑、存储和打印梯形图程序及其他形式的程序。

② 文件编制软件。它与程序生成软件一起, 可以对梯形图中的每一个触点和线圈加上文字注释 (英文或中文), 指出它们在程序中的作用, 并能在梯形图中提供附加的注释, 解释某一段程序的功能, 使程序容易阅读和理解。

③ 数据采集和分析软件。在工业控制计算机中, 这一部分软件功能已相当普遍。个人计算机可以从 PLC 控制系统中采集数据, 并可用各种方法分析这些数据。然后将结果用条形统计图或扇形统计图的形式显示在 CRT 上, 这种分析处理过程是非常快的, 几乎是实时的。

④ 实时操作员接口软件。这一类软件对个人计算机提供实时操作的人机接口装置, 使个人计算机被用来作为系统的监控装置, 通过 CRT 告诉操作人员系统的状况和可能发生的各种报警信息。操作员可以通过操作员接口键盘 (有时也可能直接用个人计算机的键盘) 输入各种控制指令, 处理系统中出现的各种问题。

⑤ 仿真软件。它允许工业控制计算机对工厂生产过程做系统仿真, 过去这一功能只有大型计算机系统才有。它可以对现有的系统有效地检测、分析和调试, 也允许系统的设计者在实际系统建立之前, 反复地对系统仿真, 用这个方法, 及时发现系统中存在的问题, 并加以修改。还可以缩短系统设计、安装和调试的总工期, 避免不必要的浪费和因设计不当造成的损失。

## 10. 电源

PLC 的外部工作电源一般为单相 85~260V 50/60Hz AC 电源, 也有采用 24~26V DC 电源的。使用单相交流电源的 PLC, 往往还能同时提供 24V 直流电源, 供直流输入使用。PLC 对其外部工作电源的稳定度要求不高, 一般可允许  $\pm 15\%$  左右。

对于在 PLC 的输出端子上接的负载所需的负载工作电源, 必须由用户提供。

PLC 的内部电源系统一般有 3 类: 第一类是供 PLC 中的 TTL 芯片和集成运算放大器使用的基本电源 (+5V 和  $\pm 15\text{VDC}$  电源); 第二类电源是供输出接口使用的高压大电流的功率电源; 第三类电源是锂电池及其充电电源。考虑到系统的可靠性及光电隔离器的使用, 不同类电源具有不同的地线。此外, 根据 PLC 的规模及所允许扩展的接口模板数, 各种 PLC 的电源种类和容量往往是不同的。



## 11. 总线

总线是沟通 PLC 中各个功能模板的信息通道，它的含义并不单是各个模板插脚之间的连线，还包括驱动总线的驱动器及其保证总线正常工作的控制逻辑电路。

对于一种型号的 PLC 而言，总线上各个插脚都有特定的功能和含义，但对不同型号的 PLC 而言，总线上各个插脚的含义不完全相同（到目前为止，国际上尚没有统一的标准）。

总线上的数据都是以并行方式传送的，传送的速度和驱动能力与 CPU 模板上的驱动器有关。

## 12. PLC 的外部设备

PLC 控制系统的设计者可根据需要配置一些外部设备。

### (1) 人机接口装置 (HMI)

人机接口又叫操作员接口，用于实现操作人员与 PLC 控制系统的对话和相互作用。

人机接口最简单、最基本和最普遍的形式是由安装在控制台上的按钮、转换开关、拨码开关、指示灯、LED 数字显示器和声光报警等元件组成。它们用来指示 PLC 的 I/O 系统状态及各种信息，通过合理的程序设计，PLC 控制系统可以接收并执行操作员的命令。小型 PLC 一般采用这种人机接口。

在大中型 PLC 控制系统中，常用带有智能型的人机接口，可长期安装在操作台和控制柜的面板上，也可放在主控制室里，使用彩色的或单色的 CRT 显示器，有自己的微处理器和存储器。它通过通信接口与 PLC 相连，以接收和显示外部的信息，并能与操作人员快速地交换信息。

### (2) 外存储器

PLC 的 CPU 模板内的半导体存储器称为内存，可用来存放系统程序和用户程序。有时将用户程序存储在盒式磁带机的磁带或磁盘驱动器的磁盘中，作为程序备份或改变生产工艺流程时调用。磁带和磁盘称为外存，如果 PLC 内存中的用户程序被破坏或丢失，可再次将存储在外存中的程序重新装入。在可以离线开发用户程序的编程器中，外存特别有用，被开发的用户程序一般存储在磁带或磁盘中。

### (3) 打印机

打印机在用户程序编制阶段用来打印带注解的梯形图程序或语句表程序，这些程序对用户的维修及系统的改造或扩展是非常有价值的。在系统的实时运行过程中，打印机用来提供运行过程中发生事件的硬记录，例如用于记录系统运行过程中报警的时间和类型。这对于分析事故原因和系统改进是非常重要的。在日常管理中，打印机可以定时或非定时打印各种生产报表。

### (4) EPROM 写入器

EPROM 写入器用于将用户程序写入 EPROM 中。它提供了一个非易失性的用户程序的保存方法。同一 PLC 系统的各种不同应用场合的用户程序可以分别写入几片 EPROM 中，在改变系统的工作方式时，只需要更换 EPROM 芯片即可。

## 2.2 PLC 的基本工作原理

可编程控制器是一种专用的工业控制计算机，因此，其工作原理是建立在计算机控制系统工作原理的基础上。但为了可靠地应用在工业环境下，便于现场电气技术人员的使用和维护，它有着大量的接口器件，特定的监控软件，专用的编程器件。所以，不但其外观不像计算机，它的操作使用方法、编程语言及工作过程与计算机控制系统也是有区别的。

## 2.2.1 PLC 控制系统的等效工作电路

PLC 控制系统的等效工作电路可分为 3 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电路的功能。其等效工作电路如图 2-14 所示。

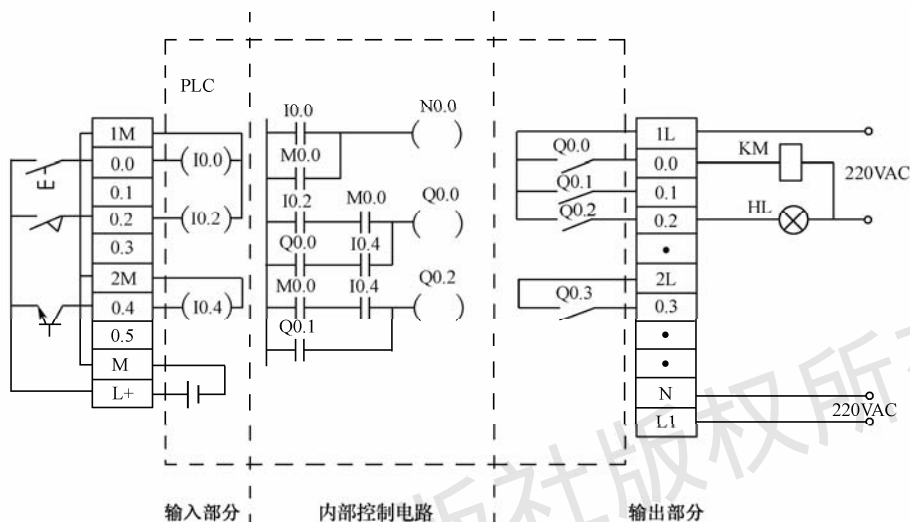


图 2-14 PLC 的等效工作电路

### 1. 输入部分

输入部分由外部输入电路、PLC 输入接线端子和输入继电器组成。外部输入信号经 PLC 输入接线端子去驱动输入继电器的线圈。每个输入端子与其相同编号的输入继电器有着唯一确定的对应关系。当外部的输入元件处于接通状态时，对应的输入继电器线圈“得电”（注意：这个输入继电器是 PLC 内部的“软继电器”，就是在前面介绍过的存储器中的某一位，它可以提供任意多个动合触点或动断触点供 PLC 内部控制电路编程使用）。

为使输入继电器的线圈“得电”，即让外部输入元件的接通状态写入与其对应的基本单元中，输入回路要有电源。输入回路所使用的电源，可以用 PLC 内部提供的 24V 直流电源（其带负载能力有限），也可由 PLC 外部的独立的交流或直流电源供电。

需要强调的是，输入继电器的线圈只能是由来自现场的输入元件（如控制按钮、行程开关的触点、晶体管的基极-发射极电压、各种检测及保护器件的触点或动作信号等）的驱动，而不能用编程的方式去控制。因此，在梯形图程序中，只能使用输入继电器的触点，不能使用输入继电器的线圈。

### 2. 内部控制电路

所谓内部控制电路是由用户程序形成的用“软继电器”来代替硬继电器的控制逻辑。它的作用是按照用户程序规定的逻辑关系，对输入信号和输出信号的状态进行检测、判断、运算和处理，然后得到相应的输出。

一般用户程序是用梯形图语言编制的，它看起来很像继电器控制线路图。在继电器控制线路中，继电器的触点可瞬时动作，也可延时动作，而 PLC 梯形图中的触点是瞬时动作的。如果需要延时，可由 PLC 提供的定时器来完成。延时时间可根据需要在编程时设定，其定时精

度及范围远远高于时间继电器。在 PLC 中还提供了计数器、辅助继电器（相当于继电器控制线路中的中间继电器）及某些特殊功能的继电器。PLC 的这些器件所提供的逻辑控制功能，可在编程时根据需要选用，且只能在 PLC 的内部控制电路中使用。

### 3. 输出部分（以继电器输出型 PLC 为例）

输出部分是由在 PLC 内部且与内部控制电路隔离的输出继电器的外部动合触点、输出接线端子和外部驱动电路组成，用来驱动外部负载。

PLC 的内部控制电路中有许多输出继电器，每个输出继电器除了有为内部控制电路提供编程用的任意多个动合、动断触点外，还为外部输出电路提供了一个实际的动合触点与输出接线端子相连。

驱动外部负载电路的电源必须由外部电源提供，电源种类及规格可根据负载要求去配备，只要在 PLC 允许的电压范围内工作即可。

综上所述，我们可对 PLC 的等效电路做进一步简化而深刻的理解，即将输入等效为一个继电器的线圈，将输出等效为继电器的一个动合触点。

## 2.2.2 可编程控制器的工作过程

虽然可编程控制器的基本组成及工作原理与一般微型计算机相同，但它的工作过程与微型计算机有很大差异（这主要是由操作系统和系统软件的差异造成的）。

小型 PLC 的工作过程有两个显著特点：一个是周期性顺序扫描，一个是集中批处理。

周期性顺序扫描是可编程控制器特有的工作方式，PLC 在运行过程中，总是处在不断循环的顺序扫描过程中。每次扫描所用的时间称为扫描时间，又称为扫描周期或工作周期。

由于可编程控制器的 I/O 点数较多，采用集中批处理的方法，可以简化操作过程，便于控制，提高系统可靠性。因此可编程控制器的另一个主要特点就是对输入采样、执行用户程序、输出刷新实施集中批处理。这同样是为了提高系统的可靠性。

当 PLC 启动后，先进行初始化操作，包括对工作内存的初始化、复位所有的定时器、将输入 / 输出继电器清零，检查 I/O 单元连接是否完好，如有异常则发出报警信号。初始化之后，PLC 就进入周期性扫描过程。

小型 PLC 的工作过程流程图如图 2-15 所示。根据图 2-15，可将 PLC 的工作过程（周期性扫描过程）分为 4 个扫描阶段。

### 1. 公共处理扫描阶段

公共处理包括 PLC 自检、执行来自外设命令、对警戒时钟又称监视定时器或看门狗定时器 WDT (Watch Dog Timer) 清零等。

PLC 自检就是 CPU 检测 PLC 各器件的状态，如出现异常再进行诊断，并给出故障信号，或自行进行相应处理，这将有助于及时发现或提前预报系统的故障，提高系统的可靠性。

在 CPU 对 PLC 自检结束后，就检查是否有外设请求，如是否需要进入编程状态，是否需要通信服务，是否需要启动磁带机或打印机等。

采用 WDT 技术也是提高系统可靠性的一个有效措施，它是在 PLC 内部设置一个监视定时器。这是一个硬件时钟，是为了监视 PLC 的每次扫描时间而设置的，对它预先设定好规定时间，每个扫描周期都要监视扫描时间是否超过规定值。如果程序运行正常，则在每次扫描周期的公共处理阶段对 WDT 进行清零（复位），避免由于 PLC 在执行程序的过程中进入死循环，或者由于 PLC 执行非预定的程序而造成系统故障，从而导致系统瘫痪。如果程序

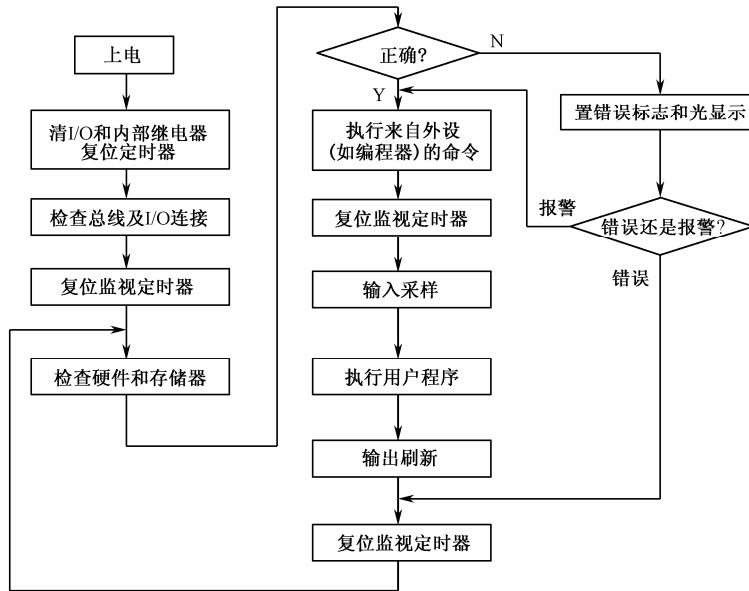


图 2-15 小型 PLC 的工作过程流程图

运行失常进入死循环，则 WDT 得不到按时清零而造成超时溢出，从而给出报警信号或停止 PLC 工作。

## 2. 输入采样扫描阶段

这是第一个集中批处理过程。在这个阶段中，PLC 按顺序逐个采集所有输入端子上的信号，不论输入端子上是否接线，CPU 顺序读取全部输入端，将所有采集到的一批输入信号写到输入映像寄存器中。在当前的扫描周期内，用户程序依据的输入信号的状态(ON 或 OFF)，均从输入映像寄存器中去读取，而不管此时外部输入信号的状态是否变化。即使此时外部输入信号的状态发生了变化，也只能在下一个扫描周期的输入采样扫描阶段去读取。对于这种采集输入信号的批处理，虽然严格上说每个信号被采集的时间有先有后，但由于 PLC 的扫描周期很短，这个差异对一般工程应用可忽略，所以可认为这些采集到的输入信息是同时的。

## 3. 执行用户程序扫描阶段

这是第二个集中批处理过程。在执行用户程序阶段，CPU 对用户程序按顺序进行扫描。如果程序用梯形图表示，则总是按先上后下、从左至右的顺序进行扫描。每扫描到一条指令，所需要的输入信息的状态均从输入映像寄存器中去读取，而不是直接使用现场的立即输入信号。对其他信息，则是从 PLC 的元件映像寄存器中读取。在执行用户程序中，每一次运算的中间结果都立即写入元件映像寄存器中，这样该元素的状态马上就可以被后面将要扫描到的指令所利用。对输出继电器的扫描结果，也不是马上去驱动外部负载，而是将其结果写入元件映像寄存器中的输出映像寄存器中，待输出刷新阶段集中进行批处理，所以执行用户程序阶段也是集中批处理过程。

在这个阶段，除了输入映像寄存器外，各个元件映像寄存器的内容是随着程序的执行而不断地变化。

## 4. 输出刷新扫描阶段

这是第三个集中批处理过程。当 CPU 对全部用户程序扫描结束后，元件映像寄存器中各输出继电器的状态同时送到输出锁存器中，再由输出锁存器经输出端子去驱动各输出继电器所

带的负载。

在输出刷新阶段结束后，CPU 进入下一个扫描周期。

上述的 3 个批处理过程如图 2-16 所示。

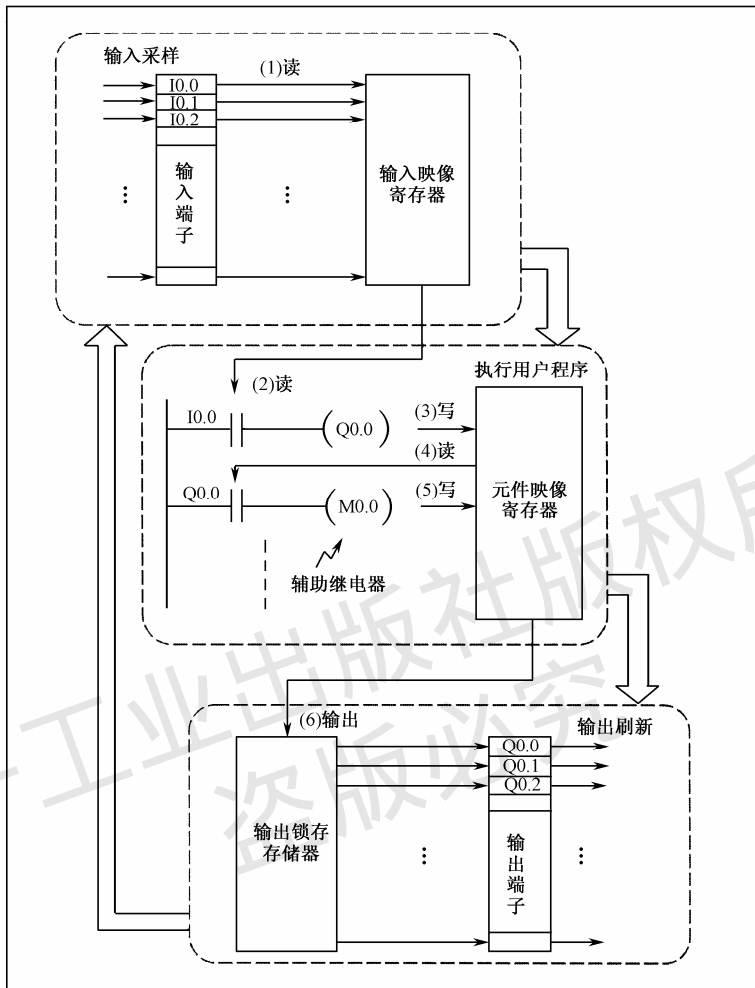


图 2-16 小型 PLC 的 3 个批处理过程

### 2.2.3 PLC 对输入 / 输出的处理规则

通过对 PLC 的用户程序执行过程的分析，可总结出 PLC 对输入 / 输出的处理规则，如图 2-17 所示。

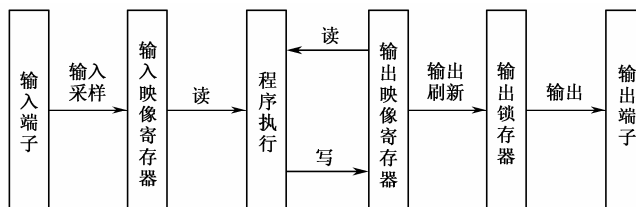


图 2-17 PLC 对输入 / 输出的处理规则

① 输入映像寄存器中的数据,是在输入采样阶段扫描到的输入信号的状态集中写进去的,在本扫描周期中,它不随外部输入信号的变化而变化。

② 输出映像寄存器(它包含在元件映像寄存器中)的状态,是由用户程序中输出指令的执行结果来决定的。

③ 输出锁存器中的数据是在输出刷新阶段,从输出映像寄存器中集中写进去的。

④ 输出端子的输出状态,是由输出锁存器中的数据确定的。

⑤ 执行用户程序时所需的输入、输出状态,是从输入映像寄存器和输出映像寄存器中读出的。

## 2.2.4 PLC 的扫描周期及滞后响应

PLC 的扫描周期与 PLC 的时钟频率、用户程序的长短及系统配置有关。一般 PLC 的扫描时间为几十毫秒,在输入采样和输出刷新阶段只需 1~2ms。做公共处理也是在瞬间完成的,所以扫描时间的长短主要由用户程序来决定。

从 PLC 的输入端有一个输入信号发生变化到 PLC 的输出端对该输入变化作出反应,需要一段时间,这段时间称为响应时间或滞后时间。这种输出对输入在时间上的滞后现象,严格地说,影响了控制的实时性,但对于一般的工业控制,这种滞后是完全允许的。如果需要快速响应,可选用快速响应模板、高速计数模板及采用中断处理功能来缩短滞后时间。

响应时间的快慢与以下因素有关。

### 1. 输入滤波器的时间常数(输入延迟)

因为 PLC 的输入滤波器是一个积分环节,因此,输入滤波器的输出电压(即 CPU 模板的输入信号)相对现场实际输入元件的变化信号,有一个时间延迟,这就导致了实际输入信号在进入输入映像寄存器前就有一个滞后时间。另外,如果输入导线很长,由于分布参数的影响,也会产生一个“隐形”滤波器的效果。在对实时性要求很高的情况下,可考虑采用快速响应输入模板。

### 2. 输出继电器的机械滞后(输出延迟)

因为 PLC 的数字量输出经常采用继电器触点的形式输出,由于继电器固有的动作时间,导致继电器的实际动作相对线圈的输入电压的滞后效应。如果采用双向可控硅(双向晶闸管)或晶体管的输出方式,则可减少滞后时间。

### 3. PLC 的循环扫描工作方式

这是由 PLC 的工作方式决定的,要想减少程序扫描时间,必须优化程序结构,在可能的情况下,应采用跳转指令。

### 4. PLC 对输入采样、输出刷新的集中批处理方式

这也是由 PLC 的工作方式决定的。为加快响应,目前有的 PLC 的工作方式采取直接控制方式,这种工作方式的特点是:遇到输入便立即读取进行处理,遇到输出则把结果予以输出。还有的 PLC 采取混合工作方式,这种工作方式的特点是:它只是在输入采样阶段,进行集中读取(批处理),而在执行程序时,遇到输出时便直接输出。这种方式由于对输入采用的是集中读取,所以在一个扫描周期内,同一个输入即使在程序中有多处出现,也不会像直接控制方式那样,可能出现不同的值;又由于这种方式的程序执行与输出采用直接控制方式,所以又具有直接控制方式输出响应快的优点。

为便于比较,将以上几种输入/输出控制方式用图 2-18 表示。

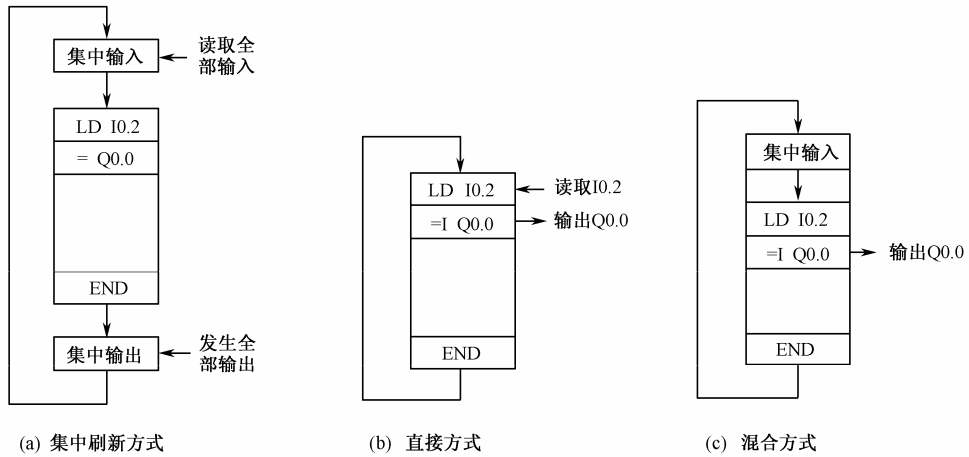


图 2-18 输入 / 输出控制方式

### 5. 用户程序中语句顺序安排不当

在图 2-19 (a) 中，假定在当前的扫描周期内，I0.0 的闭合信号已经在输入采样阶段送到了输入映像寄存器，在程序执行时，M0.0 为“1”，M0.1 也为“1”，而 Q0.0 则要等到下一个扫描周期才变为“1”。相对于 I0.0 的闭合信号，滞后了一个扫描周期。如果 I0.0 的闭合信号是在当前扫描周期的输入采样阶段后发出的，则 M0.0，M0.1 都要等到下一个扫描周期才变为“1”，而 Q0.0 还要等一个扫描周期后才能变为“1”。相对于 I0.0 的闭合信号，滞后了两个扫描周期。

在图 2-19 (b) 中，只是把图 2-19 (a) 中的第一行与第二行交换位置，就可使 M0.0，M0.1，Q0.0 在同一个扫描周期内同时为“1”。

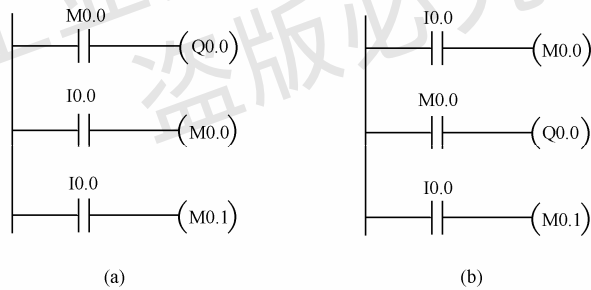


图 2-19 语句顺序安排不当导致响应滞后的示例

由于 PLC 是循环扫描工作方式，因此响应时间与收到输入信号的时刻有关。这里对采用 3 个批处理工作方式的 PLC，分析一下最短响应时间和最长响应时间。

① 最短响应时间：在一个扫描周期刚结束时就收到了有关输入信号的变化状态，则下一扫描周期一开始这个变化信号就可以被采样到，使输入更新，这时响应时间最短，如图 2-20 所示。

由图 2-20 可见，最短响应时间为

$$\text{最短响应时间} = \text{输入延迟时间} + 1 \text{ 个扫描周期} + \text{输出延迟时间}$$

② 最长响应时间：如果在 1 个扫描周期刚开始收到一个输入信号的变化状态，由于存在输入延迟，则在当前扫描周期内这个输入信号对输出不会起作用，要到下一个扫描周期快结束时的输出刷新阶段，输出才会作出反应，这个响应时间最长，如图 2-21 所示。

由图 2-21 可见，最长响应时间为

最长响应时间=输入延迟时间 + 两个扫描周期 + 输出延迟时间  
 如果用户程序中的指令语句安排得不合理，则响应时间还要增大。

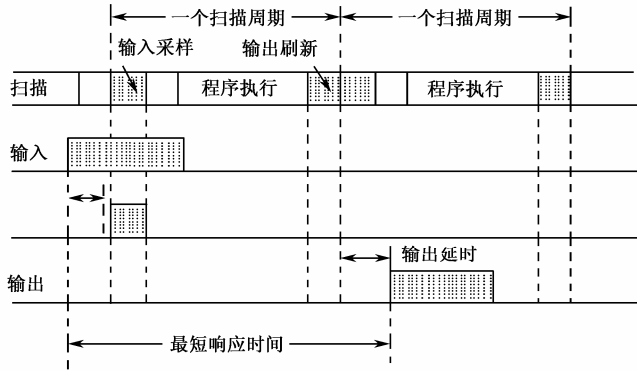


图 2-20 PLC 的最短响应时间

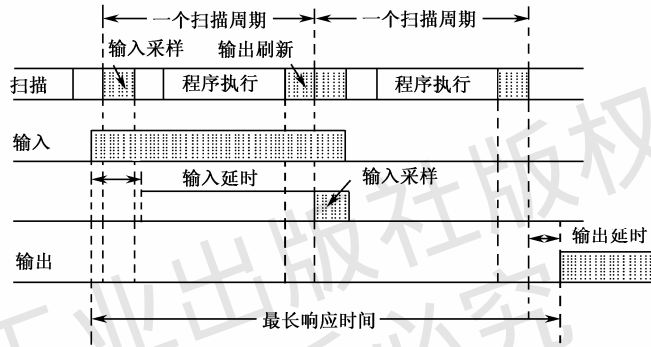


图 2-21 PLC 的最长响应时间

## 小 结

可编程控制器的基本组成与通用的计算机是完全一致的，但是它的结构和工作过程却与通用的计算机有很大差异。

① PLC 的基本组成：中央处理器 CPU、存储器 MEMORY、输入/输出接口 I/O。

② PLC 为适应恶劣的工业现场环境，满足各种控制任务，有大量的各种形式的输入 / 输出接口，并且采用了电气隔离技术。

③ 对 PLC 的等效工作电路的正确理解是，将输入等效为一个继电器的线圈，将输出等效为继电器的一个动合触点。输入继电器的线圈只能由来自工业现场的输入信号驱动。

④ 周期性循环扫描和集中批处理是 PLC 工作过程中的最突出的特点，在分析和设计 PLC 的应用程序时，必须考虑到这个特点。

⑤ 输入采样阶段扫描到的输入信号存放到输入映像寄存器，每条输出指令执行的结果存放到输出映像寄存器。执行用户程序时所需要的输入、输出状态，是从输入映像寄存器和输出映像寄存器中读出的。

⑥ 采用不同的输入 / 输出控制方式，将影响 PLC 控制系统的响应速度。为减少响应滞后时间，要正确安排语句顺序。



## 习 题 2

- 2-1 可编程控制器由哪几部分组成？各部分的作用及功能是什么？
- 2-2 可编程控制器的数字量输出有几种输出形式？各有什么特点？都适用于什么场合？
- 2-3 什么是扫描周期？它主要受什么影响？
- 2-4 可编程控制器的等效工作电路由哪几部分组成？试与继电器控制系统进行比较。
- 2-5 可编程控制器的工作过程有什么显著特点？
- 2-6 试说明可编程控制器的工作过程。
- 2-7 可编程控制器对输入 / 输出的处理规则是什么？
- 2-8 可编程控制器的输出滞后现象是怎样产生的？
- 2-9 试举例说明由于用户程序指令语句安排不当可使响应滞后时间为 3 个扫描周期。

电子工业出版社版权所有  
盗版必究

## 第3章 可编程控制器 S7-200 概述

德国的西门子（SIEMENS）公司是世界上著名的，也是欧洲最大的电气设备制造商，是世界上研制、开发 PLC 较早的少数几个公司之一，欧洲第一台可编程控制器就是西门子公司于 1973 年研制成功的。1975 年推出 SIMATIC S3 系列 PLC，1979 年推出 SIMATIC S5 系列 PLC，20 世纪末推出了 SIMATIC S7 系列 PLC。

西门子公司 PLC 在我国应用得十分普遍，尤其是大、中型 PLC，由于其可靠性高，在自动化控制领域中久负盛名。西门子公司的小型 and 微型 PLC，其功能也是相当强的。

SIMATIC 的产品目前较先进的共有 S7、M7 及 C7 这 3 个系列。S7 系列的可编程控制器根据控制系统规模的不同，分成 3 个子系列：S7-200、S7-300、S7-400，分别对应小型、中型、大型 PLC。近年来，西门子公司又推出了 S7-1200 和 S7-1500 系列的 PLC，意欲以 TIA（全集成自动化）统一起来。对于 S7-200 系列，又推出了 S7-200 SMART 小型 PLC。基于 SIMATIC 系列 PLC 的各种功能模板、人机界面、工业网络、工业软件及控制方案地迅速发展，使 PLC 控制系统的功能更加强大，而系统的设计和操作却越来越简便。

在本章中，主要介绍以下内容：

- S7-200 的系统基本构成；
- S7-200 的主要技术性能指标；
- S7-200 的基本功能及特点；
- S7-200 的编程元件的寻址及 CPU 组态；
- S7-200 的编程语言及程序结构。

本章的重点是从工程应用的角度了解 S7-200 系统的构成方法，掌握 CPU 对 I/O 的组态及编程元件的地址编写方法（即寻址）。

### 3.1 S7-200 的系统组成

#### 3.1.1 S7-200 的系统基本构成

S7-200 是整体式结构的、具有很高的性价比的小型可编程控制器，根据控制规模的大小（即输入 / 输出点数的多少），可以选择相应 CPU 的主机。除了 CPU221 主机以外，其他 CPU 主机均可进行系统扩展。

同其他的 PLC 一样，S7-200 的系统基本组成也是由主机单元加编程器。在需要进行系统扩展时，系统组成中还可包括：数字量扩展单元模板、模拟量扩展单元模板、通信模板、网络设备、人机界面 HMI 等。S7-200 的基本构成如图 3-1 所示。

#### 3.1.2 主机单元

S7-200 的主机单元的 CPU 共有两个系列：CPU21X 及 CPU22X。CPU21X 系列包括 CPU212，CPU214，CPU215，CPU216；CPU22X 系列包括 CPU221，CPU222，CPU224，

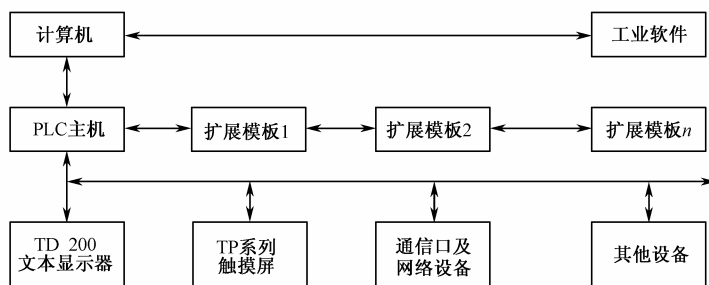


图 3-1 S7-200 PLC 系统的基本构成

CPU224XP, CPU226, CPU226XM。由于 CPU21X 系列属于 S7-200 的第一代产品, 不再做具体介绍。

### 1. CPU221

- 6 输入 / 4 输出共 10 个数字量 I/O 点。
- 无 I/O 扩展能力。
- 6KB 的程序和数据存储区空间。
- 4 个独立的 30kHz 的高速计数器, 2 路独立的 20kHz 的高速脉冲输出。
- 1 个 RS-485 通信 / 编程口。
- 具有多点接口 MPI (Multi Point Interface) 通信协议。
- 具有点对点接口 PPI (Point to Point Interface) 通信协议。
- 具有自由通信口。

### 2. CPU222

- 8 输入 / 6 输出共 14 个数字量 I/O 点。
- 可连接 2 个扩展模板单元, 最大可扩展至 78 个数字量 I/O 点或 10 路模拟量 I/O。
- 6KB 的程序和数据存储区空间。
- 4 个独立的 30kHz 的高速计数器, 2 路独立的 20kHz 的高速脉冲输出。
- 具有 PID 控制器。
- 1 个 RS-485 通信 / 编程口。
- 具有多点接口 MPI (Multi Point Interface) 通信协议。
- 具有点对点接口 PPI (Point to Point Interface) 通信协议。
- 具有自由通信口。

### 3. CPU224

- 14 输入 / 10 输出共 24 个数字量 I/O 点。
- 可连接 7 个扩展模板单元, 最大可扩展至 168 个数字量 I/O 点或 35 路模拟量 I/O。
- 13KB 的程序和数据存储区空间。
- 6 个独立的 30kHz 的高速计数器, 2 路独立的 20kHz 的高速脉冲输出。
- 具有 PID 控制器。
- 1 个 RS-485 通信 / 编程口。
- 具有多点接口 MPI (Multi Point Interface) 通信协议。
- 具有点对点接口 PPI (Point to Point Interface) 通信协议。
- 具有自由通信口。

- I/O 端子排可以很容易地整体拆卸。

#### 4. CPU224XP

在 CPU224 的基础上，又增加了新的功能，如内置模拟量 I/O（2 路模拟量输入，1 路模拟量输出），位控特性，自整定 PID 功能，线性斜坡脉冲指令，诊断 LED，数据记录及配方功能等。是具有模拟量 I/O 和强大控制能力的新型 CPU。

#### 5. CPU226

- 24 输入 / 16 输出共 40 个数字量 I/O 点。
- 可连接 7 个扩展模板单元，最大可扩展至 248 个数字量 I/O 点或 35 路模拟量 I/O。
- 13KB 的程序和数据存储区空间。
- 6 个独立的 30kHz 的高速计数器，2 路独立的 20kHz 的高速脉冲输出。
- 具有 PID 控制器。
- 2 个 RS-485 通信 / 编程口。
- 具有多点接口 MPI（Multi Point Interface）通信协议。
- 具有点对点接口 PPI（Point to Point Interface）通信协议。
- 具有自由通信口。
- I/O 端子排可以很容易地整体拆卸。

#### 6. CPU226XM

与 CPU226 相比，除了程序和数据存储区空间由 13KB 增加到 26KB 外，其余功能不变。

### 3.1.3 数字量扩展模板

S7-200 系列目前可以提供 3 大类共 9 种数字量输入/输出扩展模板。

① EM221，数字量输入（DI）扩展模板，具有 8 点 DC 输入，光电耦合器隔离。

② EM222，数字量输出（DO）扩展模板，有 2 种输出类型：

- 8 点 24VDC 输出型。
- 8 点继电器输出型。

③ EM223，数字量混合输入 / 输出（DI/DO）扩展模板，有 6 种输出类型：

- 24VDC 输入 4 点 / 输出 4 点。
- 24VDC 输入 4 点 / 继电器输出 4 点。
- 24VDC 输入 8 点 / 输出 8 点。
- 24VDC 输入 8 点 / 继电器输出 8 点。
- 24VDC 输入 16 点 / 输出 16 点。
- 24VDC 输入 16 点 / 继电器输出 16 点。

### 3.1.4 模拟量扩展单元模板

① EM231，4 路 12 位模拟量输入（AI）模板

- 差分输入，输入范围：电压：0~10V，0~5V，±2.5V，±5V。  
电流：0~20mA。
- 转换时间 < 250μs。
- 最大输入电压 30VDC，最大输入电流 32mA。

## ② EM232, 2 路 12 位模拟量输出 (AO) 模板

- 输出范围: 电压  $\pm 10\text{V}$ , 电流  $0\sim 20\text{mA}$ 。
- 数据字格式: 电压  $-32\ 000\sim +32\ 000$ , 电流  $0\sim +32\ 000$ 。
- 分辨率: 电压 12 位, 电流 11 位。

## ③ EM235, 模拟量混合输入 / 输出 (AI/AO) 模板

- 模拟量输入 4 路, 模拟量输出 1 路。
- 差分输入, 电压:  $0\sim 10\text{V}$ ,  $0\sim 5\text{V}$ ,  $0\sim 1\text{V}$ ,  $0\sim 500\text{mV}$ ,  $0\sim 100\text{mV}$ ,  $0\sim 50\text{mV}$ ,  $\pm 10\text{V}$ ,  $\pm 5\text{V}$ ,  $\pm 2.5\text{V}$ ,  $\pm 1\text{V}$ ,  $\pm 500\text{mV}$ ,  $\pm 250\text{mV}$ ,  $\pm 100\text{mV}$ ,  $\pm 50\text{mV}$ ,  $\pm 25\text{mV}$ 。

电流:  $0\sim 20\text{mA}$ 。

- 转换时间:  $< 250\mu\text{s}$ 。
- 稳定时间: 电压  $100\mu\text{s}$ , 电流  $2\text{ms}$ 。

### 3.1.5 智能模板

#### 1. 通信处理器 EM277

EM277 是连接 SIMATIC 现场总线 PROFIBUS-DP 从站的通信模板, 使用 EM277 可以将 S7-200 CPU 作为现场总线 PROFIBUS-DP 的从站接到网络中。有关现场总线的内容, 请参考相关书籍。

- 在 EM277 中, 有一个 RS-485 接口, 传输速率从 9.6, 19.2, 45.45, 93.75, 187.5, 500kbps  $\sim$  1Mbps, 1.5, 3, 6, 12Mbps, 可自动设置。
- 连接电缆长度: 93.75kbps 以下为 1200m; 187.5kbps 为 1000m; 500kbps 为 400m; (1  $\sim$  1.5) Mbps 为 200m; (3  $\sim$  6) Mbps 为 100m。
- 网络能力: 站地址设定  $0\sim 99$  (由旋转开关设定); 每个段最多可连接的站数为 32 个; 每个网络最多可连接的站数为 126 个, 最大到 99 个 EM277 站; 共有 6 个 MPI (Multi Point Interface, 多点通信接口), 其中 2 个预留 (1 个为 PG, 1 个为 OP)。

#### 2. 通信处理器 CP243-2

CP243-2 是 S7-200 (CPU 22X) 的 AS-I 主站, 通过连接 AS-I 可显著地增加 S7-200 的数字量输入 / 输出点数。每个主站最多可连接 31 个 AS-I 从站。S7-200 同时可以处理最多 2 个 CP243-2, 每个 CP243-2 的 AS-I 上最大有 124 DI/124 DO。

有关 AS-I 的内容, 请参考相关书籍。

### 3.1.6 其他设备

#### 1. 编程设备 (PG)

编程器是任何一台 PLC 不可缺少的设备, 一般是由制造厂专门提供的。S7-200 的编程器可以是简易的手持编程器 PG702, 也可以是昂贵的图形编程器, 如 PG740 II, PG760 II 等。为降低编程设备的成本, 目前广泛采用个人计算机作为编程设备, 但需配置制造厂提供的专用编程软件。S7-200 的编程软件为 STEP 7-Micro/WIN 32 V 3.1, 通过一条 PC/PPI 电缆将用户程序送入 PLC 中。

#### 2. 人机操作界面 HMI (Human Machine Interface)

##### (1) 文本显示器 TD200

TD200 是 S7-200 的操作员界面, 其功能如下:

- 显示文本信息。通过选择项确认的方法可显示最多 80 条信息, 每条信息最多可包含 4

个变量。可显示中文。

- 设定实时时钟。
- 提供强制 I/O 点诊断功能。
- 可显示过程参数并可通过输入键进行设定或修改。
- 具有可编程的 8 个功能键，可以替代普通的控制按钮，从而可以节省 8 个输入点。
- 具有密码保护功能。

TD200 不需要单独的电源，只需将它的连接电缆接到 CPU22X 的 PPI 接口上，用 STEP 7-Micro/WIN 软件进行编程。

(2) 触摸屏 TP070, TP170A, TP170B 及 TP7, TP27

TP070, TP170A, TP170B 为具有较强功能且价格适中的触摸屏，其特点是：

- 在 Windows 环境下工作；
- 可通过 MPI 及 PROFIBUS-DP 与 S7-200 连接；
- 背光管寿命达 50 000 小时，可连续工作 6 年；
- 利用 STEP 7-Micro/WIN (Pro) 和 SIMATIC ProTool/Lite V5.2 进行组态。

TP 7, TP 27 触摸屏主要是用于进行机床操作和监控。

### 3.1.7 S7-200 的主要技术性能指标

PLC 的技术性能指标是衡量其功能的直接反映，是设备选型的重要依据。S7-200 的 CPU 22X 系列的主要技术性能指标见表 3-1。

表 3-1 CPU 22X 系列的主要技术性能指标

指 标	CPU221	CPU222	CPU224	CPU224XP	CPU226
外形尺寸 (mm×mm)	90×80×62	90×80×62	120.5×80×62	140×80×62	190×80×62
存储器					
用户程序	2048 字	2048 字	4096 字	6144 字	4096 字
用户数据	1024 字	1024 字	2560 字	5120 字	2560 字
数据后备 (电容)	50h	50h	50h	100h	50h
输入 / 输出					
本机 I/O	6DI/4DO	8DI/6DO	14DI/10DO	14DI/10DO 2AI/1AO	24DI/16DO
扩展模板数量	无	2 个	7 个	7 个	7 个
数字量 I/O 映像区	256	256	256	256	256
模拟量 I/O 映像区	无	16 入/16 出	32 入/32 出	32 入/32 出	32 入/32 出
指令系统					
布尔指令执行速度	0.22μs/指令	0.22μs/指令	0.22μs/指令	0.22μs/指令	0.22μs/指令
FOR/NEXT 循环	有	有	有	有	有
整数指令	有	有	有	有	有
实数指令	有	有	有	有	有

续表

指 标	CPU221	CPU222	CPU224	CPU224XP	CPU226
主要内部继电器					
I/O 映像寄存器	128I/128Q	128I/128Q	128I/128Q	128I/128Q	128I/128Q
内部通用继电器	256	256	256	256	256
定时器 / 计数器	256/256	256/256	256/256	256/256	256/256
字入 / 字出	无	16/16	32/32	32/32	32/32
顺序控制继电器	256	256	256	256	256
附加功能					
内置高速计数器	4H/W(20kHz)	4H/W(20kHz)	6H/W(20kHz)	4H/W(30kHz) 2H/W(20kHz)	6H/W(20kHz)
模拟电位器	1	1	2	2	2
脉冲输出	2(20kHz DC)	2(20kHz DC)	2(20kHz DC)	2(100kHz DC)	2(20kHz DC)
通信中断	1 发送/2 接收	1 发送/2 接收	1 发送/2 接收	3 发送/3 接收	2 发送/4 接收
硬件输入中断	4, 输入滤波器	4, 输入滤波器	4, 输入滤波器	4, 输入滤波器	4, 输入滤波器
定时中断	2 (1~255ms)	2 (1~255ms)	2 (1~255ms)	2 (1~255ms)	2 (1~255ms)
实时时钟	有(时钟卡)	有(时钟卡)	有(内置)	有(内置)	有(内置)
口令保护	有	有	有	有	有
通信功能					
通信口数量	1 (RS-485)	1 (RS-485)	1 (RS-485)	2 (RS-485)	2 (RS-485)
支持协议	PPI, DP/T	PPI, DP/T	PPI, DP/T	PPI, DP/T	PPI, DP/T
0 号口	自由口	自由口	自由口	自由口	自由口
1 号口	无	无	无	同 0 号口	同 0 号口
PROFIBUS 点对点	NETR/NETW	NETR/NETW	NETR/NETW	NETR/NETW	NETR/NETW

## 3.2 S7-200 的基本功能及特点

### 3.2.1 S7-200 的输入 / 输出系统

PLC 通过输入 / 输出点与现场设备构成一个完整的 PLC 控制系统, 因此要综合考虑现场设备的性质及 PLC 的输入 / 输出特性, 才能更好地利用 PLC 的功能。

#### 1. 输出特性

在 S7-200 中, 输出信号有两种类型: 继电器输出型和 DC 输出(晶体管输出)型, CPU22X 的输出信号类型见表 3-2。

在表 3-2 中, 电源电压是 PLC 的工作电压; 输出电压是由用户提供的负载工作电压; 每组点数是指全部输出端子可以分成几个隔离组, 每个隔离组中有几个输出端子, 例如: CPU226 中, 4/5/7 表示共有 16 个输出端子分成 3 个隔离组, 每个隔离组中的输出端子数为 4 个, 5 个, 7 个, 由于每个隔离组中有一个公共端, 所以每个隔离组可以单独施加不同的负载工作电压。如果所有输出的负载工作电压相同, 可将这些公共端连接起来。

表 3-2 S7-200 的输出特性

CPU	类 型	电 源 电 压	输 出 电 压	输 出 点 数	每 组 点 数	输 出 电 流
CPU221	晶体管	24VDC	24VDC	4	4	0.75A
	继电器	85~264VAC	24VDC, 24~230VAC	4	1/3	2A
CPU222	晶体管	24VDC	24VDC	6	6	0.75A
	继电器	85~264VAC	24VDC, 24~230VAC	6	3/3	2A
CPU224	晶体管	24VDC	24VDC	10	5/5	0.75A
	继电器	85~264VAC	24VDC, 24~230VAC	10	4/3/3	2A
CPU224XP	晶体管	24VDC	24VDC	10	5/5	0.75A
	继电器	85~264VAC	24VDC, 24~230VAC	10	4/3/3	2A
CPU226	晶体管	24VDC	24VDC	16	8/8	0.75A
	继电器	85~264VAC	24VDC, 24~230VAC	16	4/5/7	2A

## 2. 输入特性

在 S7-200 中，对数字量输入信号的电压要求均为 24VDC，“1”信号为 15~35V，“0”信号为 0~5V，经过光电耦合器隔离后进入 PLC 中。输入特性见表 3-3。

表 3-3 S7-200 的输入特性

CPU	输入滤波	中 断 输 入	高 速 计 数 器 输 入	每 组 点 数	电 缆 长 度
CPU221	0.2~12.8ms	10.0~10.3	10.0~10.5	2, 4	非屏蔽输入 300m, 屏蔽输入 500m 屏蔽中断输入及高速计数器 50m
CPU222				4, 4	
CPU224				8, 6	
CPU224XP				8, 6	
CPU226				13, 11	

## 3. 输入 / 输出扩展能力

当主机单元模板上的 I/O 点数不够时，或者涉及模拟量控制时，除了 CPU221 外，可以通过增加扩展单元模板的方法，对输入 / 输出点数进行扩展。

在进行 I/O 扩展时，要考虑以下几个因素：

- ① CPU 主机模板所能连接的扩展模板数；
- ② CPU 主机模板的映像寄存器的数量；
- ③ CPU 主机模板在 5VDC 下所能提供的最大扩展电流。

S7-200 的 CPU22X 系列的扩展能力见表 3-4。

表 3-4 S7-200 的扩展能力

CPU	最多扩展模板数	映像寄存器的数量	最大扩展电流
CPU221	无	数字量：256，模拟量：无	0
CPU222	2	数字量：256，模拟量：16 入/16 出	340mA
CPU224	7	数字量：256，模拟量：32 入/32 出	660mA
CPU224XP	7	数字量：256，模拟量：32 入/32 出	660mA
CPU226	7	数字量：256，模拟量：32 入/32 出	1000mA



S7-200 的 CPU22X 系列的扩展模板在 5VDC 下所消耗的电流见表 3-5。

表 3-5 S7-200 扩展模板的消耗电流

序号	型号	功能	消耗电流/mA
1	EM221	数字量输入：8 点，晶体管输出	30
2	EM222	数字量输出：8 点，晶体管输出	50
3	EM222	数字量输出：8 点，继电器输出	40
4	EM223	数字量输入：4 点、输出：4 点，晶体管输出	40
5	EM223	数字量输入：4 点、输出：4 点，继电器输出	40
6	EM223	数字量输入：8 点、输出：8 点，晶体管输出	80
7	EM223	数字量输入：8 点、输出：8 点，继电器输出	80
8	EM223	数字量输入：16 点、输出：16 点，晶体管输出	160
9	EM223	数字量输入：16 点、输出：16 点，继电器输出	150
10	EM231	模拟量输入：4 路，12 位	20
11	EM231	模拟量输入：热电偶，4 路	60
12	EM231	模拟量输入：热电阻，4 路	60
13	EM232	模拟量输出：2 路，12 位	20
14	EM235	模拟量输入：4 路、输出 1 路，12 位	30
15	EM277	连接 PROFIBUS-DP	150

例如，CPU224 提供的扩展电流为 660mA，可以有几种扩展方案。

① 4 个 EM233，DI16/DO16 晶体管 / 继电器模板和 2 个 EM221 DI8 晶体管模板，消耗的电流为  $4 \times 150 + 2 \times 30 = 660\text{mA}$ 。

② 4 个 EM233，DI16/DO16 晶体管 / 继电器输出模板，1 个 EM222 DO8 晶体管模板，消耗的电流为  $4 \times 150 + 1 \times 40 = 640\text{mA}$ 。

③ 4 个 EM233，DI16/DO16 晶体管输出模板，消耗的电流为  $4 \times 160 = 640\text{mA}$ 。

#### 4. 快速响应功能

S7-200 的快速响应功能如下。

##### (1) 脉冲捕捉功能

利用脉冲捕捉功能，使得 PLC 可以使用普通端子捕捉到小于一个 CPU 扫描周期的短脉冲信号。

##### (2) 中断输入

利用中断输入功能，使得 PLC 可以极快的速度对信号的上升沿作出响应。

##### (3) 高速计数器

S7-200 中有 4~6 个可编程的 30kHz 高速计数器，多个独立的输入端允许进行加减计数，可以连接相位差为  $90^\circ$  的 A/B 相增量的编码器。

##### (4) 高速脉冲输出

可利用 S7-200 的高速脉冲输出功能，驱动步进电机或伺服电机，实现精确定位。

##### (5) 模拟电位器

模拟电位器的功能是可用来改变某些特殊寄存器中的数值，这些特殊寄存器中的参数可以是定时器 / 计数器的设定值，或者是某些过程变量的控制参数。可以利用模拟电位器在程序运

行时，可随时更改这些参数，且不占用 PLC 的输入点。

### 5. 实时时钟

S7-200 的实时时钟用于记录机器的运行时间，或对过程进行时间控制，以及对信息加注时间标记。

## 3.2.2 存储系统及功能

### 1. 存储系统

S7 系列 PLC 中 CPU 的存储区组成如图 3-2 所示，各个存储区的功能如下。

#### (1) 系统存储区

系统存储区
工作存储区
暂时局部存储区
程序存储区
累加器 AC
地址寄存器

系统存储区（CPU 中的 RAM）用来存放操作数据，这些操作数据包括输入映像寄存器存储区的数据、输出映像寄存器存储区的数据、辅助继电器存储区的数据、定时器存储区的数据和计数器存储区的数据。

- 输入映像寄存器存储区用来存放输入状态值；
- 输出映像寄存器存储区用来存放经过程序处理的输出数据；
- 辅助继电器存储区用来存放程序运行的中间结果；
- 定时器存储区用来存放计时单元；
- 计数器存储区用来存放计数单元。

#### (2) 工作存储区

图 3-2 S7 系列 CPU 的存储区组成

工作存储区（CPU 中的 RAM）用来存放 CPU 所执行的程序单元的复制件（逻辑块和数据块）。还有为执行块调用指令而安排的暂时的局部变量存储区，该局部变量寄存器在块工作时一直保持，将块中的数据写入 L 堆栈中，数据只在块工作时有效，当调用新块时，L 堆栈重新分配。

#### (3) 程序存储区

程序存储区可分成动态程序存储区（CPU 中的 RAM）和可选的固定程序存储区（EEPROM），用来存放用户程序。

#### (4) 累加器 AC

有 4 个 32 位的 AC 累加器（AC0~AC3），用来执行装载、传送、移位、算术运算等操作。

#### (5) 地址寄存器

用来存放寄存器间接寻址的指针。

S7-200 的存储系统是由 RAM 和 EEPROM 组成的。在 CPU 模块内，配置了一定容量的 RAM 和 EEPROM，S7-200 的 CPU22X 的存储容量见表 3-6。

表 3-6 S7-200 的存储容量

CPU 类型	用户程序存储区容量	用户数据存储区容量	用户存储器类型
CPU221	2048 字	1024 字	EEPROM
CPU222	2048 字	1024 字	EEPROM
CPU224	4096 字	2560 字	EEPROM
CPU224XP	6144 字	5120 字	EEPROM
CPU226	4096 字	5120 字	EEPROM