第 1 章　概 述

可编程控制器(Programmable Controller ,简称 PC) 是在传统的顺序控制器的基础上，为满足不断发展的大规模工业生产柔性控制的要求而逐步发展起来的。最早用于取代继电器控制线路，其功能基本限于开关量逻辑控制，仅执行逻辑运算、定时、计数等顺序控制功能，所以当时称为可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller,简称 PLC)。但随着微电子技术和计算机技术的飞速发展， PLC 的功能已大大超出了原先的逻辑运算，只是为了与个人电脑(Personal Computer)的简称 PC 相区别，我们如今仍简称可编程控制器为 PLC。

国际电工委员会（IEC）公布的对可编程控制器定义如下：“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。”由此可见，可编程控制器是专门为工业环境下应用而设计的数字运算操作的电子装置。

本章将简单介绍顺序控制系统的基础知识和可编程控制器的发展过程、应用特点等。

1.1　顺序控制系统

1.1.1　顺序控制概述

过程控制系统按照给定量的不同可分为定值控制系统（给定值恒定）、随动控制系统（给定值随机变化）和顺序控制系统。顺序控制系统的给定值是按事先设定好的时间程序变化的。在被控变量为离散值的控制系统中，大都采用顺序控制（又称为程序控制）。顺序控制系统按照程序完成的逻辑功能不同又可分为时间顺序控制系统、逻辑顺序控制系统和条件顺序控制系统。

在时间顺序控制系统中，程序规定好了每个被控对象（设备）运行、停止的时间。例如，交通灯控制系统中，所有信号灯按预先设定的时间长短点亮和熄灭。逻辑顺序控制系统中，程序规定好了设备先后运行的逻辑关系。例如，在液位控制系统中，液位 A 未达到设定值（$A=$“0”),进料阀打开($B=$“0”),物料进入 液位达到设定值($A=$“1”)，进料阀关闭($B=$“1”),搅拌加热至设定温度。可见，液位 A、进料阀 B、加热器 C 之间满足一定的逻辑关系（$C=A\cdot B$)。条件顺序控制系统中，程序规定好了设备是以条件满足与否决定其工作状态。例如，在电梯自动控制系统中，电梯上与下必须是在有乘客按了“上”或“下”的按钮这个条件下进行的。

1.1.2 顺序控制的基本组成

顺序控制系统的基本组成包含六部分 控制器、执行器、测量变送装置、输入／输出接口、被控对象，如图 1.1 所示。

控制器：它接受输入信号与反馈信号，按一定控制算法运算后，输出控制信号驱动执行器，相当于“大脑”。

执行器：它自动根据控制器送来的信号值来改变被控对象的值，相当于“手”。例如，很多控制阀就是这样。

被控对象 系统要控制的物理量，如温度、压力、流量等。

测量变送装置：它用于测量被控对象的状态信息，并转换为统一的特定的输出信号（如电信号或气压信号等），相当于“眼”。

输入接口：实现控制器输入信号的电平转换。

输出接口：实现控制器输出信号的功率转换。

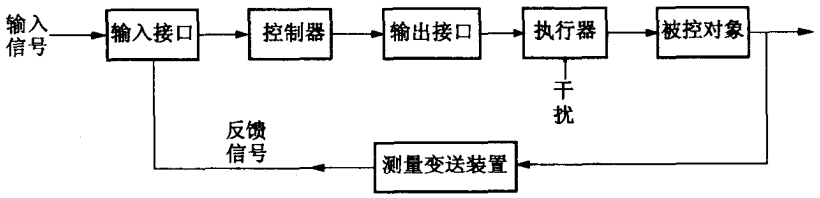


图 1.1 顺序控制系统的基本组成

1.1.3 顺序控制的实现

顺序控制广泛应用于工业控制之中，如化工、纺织、机械、冶金等。系统实现方案可以采用继电器-接触器、晶体管或晶闸管等无触点开关、可编程控制器和计算机等作为控制器。

继电器-接触器组成的顺序控制系统，是依靠控制线路中各种常开／常闭、瞬动／延时触点的“开”或“关”的状态的不同组合来完成逻辑功能的。例如，电机的起停控制。相比之下，晶体管或晶闸管组成的顺序控制系统把有触点的可动的“物理”开关换成了无触点的静态开关，无噪声，无火花，无电弧，速度快，寿命长。这两种系统都是用物理硬件来完成逻辑功能的。

可编程控制器是以微处理器为基础，综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术，用软件完成逻辑功能，执行修改功能时只需改动存储器中的软件，不用改变硬接线，其灵活性大大增强。计算机组成的顺序控制系统多用在集散控制系统或工控机中，往往与连续量控制相结合，其功能是最强大的，同样也是用软件实现的。

1.1.4 顺序控制在工业生产过程控制中的应用

由于计算机技术、通信技术、半导体技术的发展，工业生产过程的自动控制得到了飞速的发展，顺序控制被广泛应用在工业生产不同领域、不同场合之中。

①流水线作业。这是目前电子等制造行业采用的生产方式，其中一部分操作是按时间先后次序进行的，而大部分操作则是按逻辑顺序进行的。例如，传输带、机械手的控制。

②家用电器。目前家用电器都朝着“数字化”、“智能化”方向发展，实际上是广泛应用了顺序控制系统，只需按“开关”，其余功能由机器自动完成，整个过程实现“无人化”操作。如全

自动洗衣机等。

③批量控制系统。在批量控制系统中，对不同批号的产品有不同的生产顺序、不同的配方和控制条件，对程序更改有较多的要求，通常采用软件的实现方式。

④信号报警联锁系统。在高温、高压、易燃、易爆等危险的工业环境中，为了保证安全生产，必须设置防止事故发生的控制系统，严格控制某些过程参数。

⑤逻辑控制。在一些较大的控制系统中，往往把其中的逻辑控制功能单独分出来，交由一个专门的顺序控制系统来完成。如数控机床、柔性制造系统，它们内部的逻辑控制功能多由可编程控制器完成。

1.2 PLC 的历史与发展

1.2.1 GM10 条与 PLC 的产生

众所周知，20 世纪 60 年代末美国的汽车制造业巨头——通用汽车公司（GM 公司）的生产装配线发生了翻天覆地的变化：用可编程控制器取代了传统的继电器控制盘。从此掀开了 PLC 辉煌历史的第一页。

早期的工业电气控制普遍使用继电接触控制系统，但随着工业生产的迅速发展，它的缺点变得日益突出，并成为制约生产发展的瓶颈，这是因为继电接触控制系统体积大、可靠性低、线路复杂、维修困难，尤其当更新工艺时，需要重新设计和安装，十分费时、费工、费料，甚至阻碍了更新周期的缩短。为了改变这一现状，美国通用汽车公司在 1968 年公开招标，试图寻找一种新的控制装置取代继电器控制装置，使之尽可能减少重新设计线路的工作量和系统硬接线数量，以降低生产成本，缩短新产品开发周期，有效提高生产效率。当时，计算机已开始发展，于是他们想到了将继电接触控制系统简单易懂、操作方便、价格便宜的长处与计算机灵活通用的优点结合起来制造这种新装置，所以对外公开招标并提出了十项指标，即 GM10 条：

①编程方便，现场可修改程序。

②维修方便，采用模块化结构。

③可靠性高于继电器控制装置。

④体积小于继电器控制装置。

⑤数据可直接送入管理计算机。

⑥ 成本可与继电器控制装置竞争。

⑦ 输入为交流 115 V(美国标准系列电压值)。

⑧ 输出为交流 115 V，2 A 以上，能直接驱动电磁阀、接触器等。

⑨ 在扩展时，原系统只要很小变更。

⑩ 用户程序存储器容量至少能扩展到 4K。

1969 年，美国数字设备公司(DEC) 研制出第一台可编程控制器 PDP－14，在美国通用汽车自动装配线上试用，获得了成功，并很快地在美国其他工业领域推广应用。到 1971 年，已经成功地应用于食品、饮料、冶金和造纸等工业。这一新型工业控制装置的出现，也受到了世界其他国家的高度重视。 1971 日本从美国引进了这项新技术，很快研制出了日本第一台可编程控制器 DSC－8。1973 年，西欧国家也研制出它们的第一台可编程控制器。我国从 1974 年开

始研制，并于 1977 年开始工业应用。

1.2.2 我国 PLC 的发展

我国 PLC产品的研制、生产，大体上经历了从顺序控制器到 1 位处理器为主体的工业控制器,再到 8 位微处理器为主体的可编程控制器的三个发展阶段。

1974 年，国内一些高校、科研单位开始研制顺序控制器，大多使用分立元件。由于元件使用量大、功能板多、连线多、产品体积大、可靠性差，加之价格高，因此使用规模小，主要控制方式是开关量控制。

随着我国改革开放政策的落实，同时国外 PLC 大量进入我国市场，一部分随成套设备进口，一部分直接引进中小型 PLC 产品（大多为 GE 公司、西门子公司、三菱公司、立石公司等），开始进入以 8 位微处理器为核心的 PLC时代。

近年来,通过技术引进、消化吸收、仿制和国产化,我国的 PLC 产品有了一定的发展，主要以 I/O 点为 128 点以下的小型机，大型机的研制至今在国内还是空白。

目前，可编程控制器已广泛应用于各个工业领域，并取得了明显的效益。主要表现出以下特点：使用低档机型多，中、高档机型少；使用国外进口机型多，国产机型少；使用在经济发达地区多，在经济落后地区少；用于单个设备或生产线的多，大批量产品配套的少。因此，国产化 PLC 的前景是令人鼓舞的，我们必须加快 PLC 国产化步伐，进一步推广 PLC 应用技术，努力培养相关专业技术人员。

1.2.3 PLC 的发展趋势

随着 PLC 应用领域不断扩大， PLC 的品种、型号、数量以异乎寻常的速度发展，表现为功能越来越强，性能越来越可靠，集成度越来越高，使用越来越方便。

1) 向高速度、大容量 方向发展

为提高处理能力，要求 PLC有更快的响应速度和更大的存储容量。目前大、中型 PLC 的速度可达到 0.2 ms/k 步左右。例如，三菱公司 FX_{2N}的运算速度可达 0.08 μs/k 步。 PLC 的存储容量不断扩大，西门子公司的磁泡存储器容量达 256 KB,硬盘也已用作 PLC 的外部存储器。

2) 向智能化方向发展

为适应市场日益增长的各种需求， PLC 的指令功能不断增强，且各种智能模块不断推出。例如，高速计数模块、温度控制模块、远程 I/O模块、通信模块及人机接口模块等。这些智能模块以微处理器为基础，它可以与 PLC 的主 CPU 并行工作，占用主 CPU 时间很少，有利于 PLC 的扫描速度且进一步提高 PLC 处理信息的能力和控制功能。

3) 产品向大、小两个方向发展

PLC 向大型化方向发展的主要表现：为适应大规模控制系统的需要，处理器从 1 位机,向 8位、16 位、32 位、64 位发展；运算速度大大提高，晶振频率从几 MHz 到几十 MHz、几百 MHz 发展 ;从单 CPU 向多 CPU 并行处理发展；存储器容量从几 K 到几百 K 甚至上兆字节发展；I/O点数也不断增加，从几千到上万点；与 DCS(集散控制系统）相互渗透，同时向 CIMS(现代集成制造系统）发展，成为它们的一个分支；功能上从单一的逻辑运算扩展到数学运算、数据处理、图形显示、网络通信等，几乎可以满足所有用户需求。

为了减小体积，降低成本，PLC 同时还向小型化方向发展，以适应单机控制和机电一体化的要求。在 20 世纪 80 年代初，超小型和小型机相继问世，并迅速发展。目前超小型 PLC 的需求日益增多，尤其在机电一体化产品中，更是随处可见。各国 PLC 制造商不断推出高机能的整体型超小型机，产品体积越来越小，功能越来越强，柔性越来越大。当输入输出点数增加时，可根据需求采用灵活的组合方式进行配套，完成所需控制功能。例如，三菱公司 FX 系列中体积最小的是 100 mm×80 mm×47 mm，却具有高速计数、中断、脉宽调制、联网通信等功能，还具有模拟量输入、输出及各种智能模块，扩大了应用范围。

4）编程工具、编程语言的多样化、标准化

PLC 的编程工具丰富多样，使用比较广泛的主要有：便携式编程器，它体积小、重量轻，价格低，使用方便，多用于小型机编程和现场调试、监控；图形编程器，它可以直接用梯形图编程且显示在屏幕上，而且还可与打印机、绘图仪等设备连接，适用于中、大型 PLC 的编程要求，具有很强的文件管理功能；个人计算机，由于它可用多种语言编程（梯形图、指令清单、C 等高级语言等），仿真、通信联网、打印输出等监控功能也很强大，所以使用日渐普及。此外，不少厂家近年来开发了各种智能编程器，可进行在线或离线编程。

随着网络技术的迅猛发展，PLC 的联网也成为必然之势，它能进一步实现整个生产过程自动化，实现计算机辅助设计和制造。PLC 的联网包括有 PLC 之间的联网和 PLC 与计算机之间的联网。各个公司都在使自己的产品与 MAP（自动化通信协议标准）兼容，以使不同厂家的产品能相互通信。

1.3 PLC 的特点及应用领域

1.3.1 PLC 的特点

可编程控制器为了适应在工业环境中使用，主要有如下特点。

1）高可靠性

工业生产一般对控制设备的可靠性提出很高的要求，应具有较强的抗干扰能力，能在恶劣的环境中可靠地工作，平均无故障时间高，故障恢复时间短。为增加 PLC 的可靠性，在硬件、软件设计上采取了很多措施：

① 所有的 I/O 接口电路均采用光电隔离，使工业现场的外电路与 PLC 内部电路之间电气上隔离。

②各输入端均采用 RC 滤波器，其滤波时间常数一般为 10～20 ms。

③各模块均采用屏蔽措施，以防止辐射干扰。

④采用性能优良的开关电源。

⑤对采用的器件进行严格的筛选。

⑥ 良好的自诊断功能，一旦电源或其他软、硬件发生异常情况，CPU 立即采用有效措施，以防止故障扩大。

⑦ 简化编程语言，对信息进行保护和恢复，设置警戒时钟 WDT。

⑧ 大型 PLC 还可以采用由双 CPU 构成冗余系统或有三 CPU 构成表决系统，使可靠性更进一步提高。

⑨ 对程序和动态数据进行电池后备。

2)丰富的 I/O 接口模块

PLC 针对不同的工业现场信号，如交流或直流、开关量或模拟量、电压或电流、脉冲或电位、强电或弱电等,都有相应的 I/O 模块与工业现场的器件或设备。如按钮、行程开关、接近开关、传感器及变送器、电磁线圈、控制阀等直接连接。

另外，为了提高操作性能，它还有多种人-机对话的接口模块；为了组成工业局部网络，它还有多种通信联网的接口模块，等等。

3 采用模块化结构

为了适应各种工业控制需要，除了单元式的小型 PLC 以外，绝大多数 PLC 均采用模块化结构。PLC 的各个部件,包括 CPU、电源、I/O 等均采用模块化设计，由机架及电缆将各模块连接起来，系统的规模和功能可根据用户的需要自行组合且扩充方便、组合灵活。

4) 编程简单易学、手段多

PLC 的编程大多采用类似于继电器控制线路形式的梯形图编程，形象直观，对使用者来说，不需要具备计算机的专门知识，因此很容易被一般工程技术人员所理解和掌握。一般只需要五六天的训练课程即能学会编程和使用。现在许多 PLC 还提供功能很强的其他编程手段，以满足各种不同的需要。另外，当生产流程改变时，可以现场改变程序，使用非常方便、灵活。

5) 安装简单、维修方便

PLC 不需要专门的机房，可以在各种工业环境下直接运行。使用时只需将现场的各种设备与 PLC 相应的 I/O 端相连接，即可投入运行。各种模块上均有运行和故障指示装置，便于用户了解运行情况和查找故障。由于采用模块化结构，因此一旦某模块发生故障，用户可以通过更换模块的方法，使系统迅速恢复运行。

6) 体积小、重量轻、速度快,是‘机电一体化’特有的产品

由于 PLC 是专为工业控制而设计的专用计算机，其结构紧密、坚固、小巧、抗干扰能力强，易于装入机械设备内部，因而成为“机电一体化”较理想的控制设备，广泛用于当今数控、机器人、过程流程控制等领域。而且,PLC 采用软件控制，其控制速度取决于内部 CPU 运行速度和扫描周期（一般小于 100 ms），比继电器的动作快得多。

1.3.2 PLC 的应用领域

PLC 的主要功能和应用如下：

①逻辑和顺序控制。 PLC 最基本的功能是实现开关量的逻辑运算、定时、计数等，可实现对机床、机械手、自动流水线的逻辑顺序控制，常用来取代传统的继电器控制系统，如注塑机、印刷机、组合机床、包装生产线等。

②过程控制。过程控制是指对压力、流量等模拟量的闭环控制。作为工业控制计算机，PLC 能编制各种各样的控制算法程序，完成闭环控制。其中 PID 调节是一般闭环控制系统中较常用的调节方法。大中型 PLC 都有 PID 模块，目前许多小型 PLC 也具有 PID 功能。过程控制在冶金、化工、热处理、锅炉控制等场合也有非常广泛的应用。

③运动及位置控制。 PLC 可用于圆周运动或直线运动的控制。从控制机构配置来说，早期直接用开关量 I/O 模块连接位置传感器和执行机构，现在一般使用专用的位置运动模块，

如可驱动步进电机或伺服电机的单轴或多轴位置控制模块，它比计算机数值控制（CNC）装置体积更小，价格更低，速度更快，操作更方便，所以广泛地应用于各种机械、机床、机器人、电梯等场合。

④数据处理。现代 PLC 具有数学运算（含矩阵运算、函数运算、逻辑运算）、数据传送、数据排序、查表、位操作等功能，可以完成数据的采集、分析及处理。这些数据可以与储存在存储器中的参考值比较，也可以利用通信功能传送到别的智能装置，或将它们打印制表。数据处理一般用于大型控制系统，如无人控制的柔性制造系统；也可以用于过程控制系统，如造纸、冶金、食品工业中的一些大型控制系统。

⑤通信联网。 PLC 通信包括 PLC 间的通信及 PLC 与上位计算机和其他智能设备间的通信。随着计算机控制的发展，工厂自动化网络发展得很快，各 PLC 厂商都十分重视 PLC 的通信功能，纷纷推出各自的网络系统。新近生产的 PLC都具有通信接口，通信非常方便。目前 PLC 之间的通信网络是各厂家专用的，而 PLC 与计算机之间的通信一般采用工业标准总线，并向标准通信协议靠拢。

⑥ 特殊功能。如定位、显示等。

并不是所有 PLC 都具有上述的全部功能，有的小型 PLC 只具有上述的部分功能。

1.4 PLC 控制系统与其他控制系统的比较

1.4.1 PLC 控制系统与继电器控制系统的比较

PLC 控制系统与继电器控制系统的比较，见表 1.1。从表中可以看出，PLC 控制系统具有继电器控制系统无法比拟的优点，因此传统的继电器控制系统将逐渐被 PLC 控制系统所取代是大势所趋。

表 1.1 PLC 控制系统与继电器控制系统的比较

比较项目	继电器控制系统	PLC 控制系统
控制功能的实现	由许多继电器，采用接线的方式来完成控制功能	各种控制功能是通过编制的程序来实现的
对生产工艺过程变更的适应性	适应性差，需要重新设计，改变继电器和接线	适应性强，只需对程序进行修改
控制速度	低，靠机械动作实现	极快，靠微处理器进行处理
计数及其他特殊功能	一般没有	有
安装，施工	连线多，施工繁	安装容易，施工方便
可靠性	差，触点多，故障多	高，因元器件采取了筛选和抗老化等可靠性措施
寿命	短	长
可扩展性	困难	容易
维护	工作量大，故障不易查找	有自诊能力，维护工作量小

1.4.2 PLC控制系统与无触点式逻辑控制系统的比较

无触点的控制系统是指采用晶体管作为无触点开关的顺序逻辑控制系统。在国内，较多的应用产品是德国 PAUL HILDEBRANDT 公司的 HIMA 产品等，它由各种功能卡件组成。国内已仿制了多种卡件，称为 JLB—200 系统。该类产品的特点是采用功能卡件的结构。各种功能卡件有标准的外形尺寸，按照所需的功能，用晶体管、集成电路和其他元器件组成。常用的功能卡件有八类：信号器单元、时间单元、放大单元、逻辑单元、转换计算单元、测量和试验单元、电源和监控单元及中央控制单元等。它具有积木式的结构，应用时根据过程控制的要求，选择合适的功能卡件，通过适当的硬接线，完成所需控制功能。与继电器控制系统比较，无触点式控制系统的主要特点如下：

①可靠性提高。为了提高可靠性，该系统采取了一系列提高可靠性的措施。例如，采用低功耗的 CMOS 集成电路、钽电容等可靠性较高的器件；元器件经过严格筛选和抗老化处理；功能卡件采用先进的流水线生产；接插部件镀金等。

②对环境的适应性增强。对噪声干扰的容限很大，达 6 V 以上。此外，该系统有防爆型的卡件可用于需要防爆的场合。

③互换性好、设计和维修较方便。由于系统由根据控制要求选择的一系列功能卡件组成，故具有较方便的组合和互换性，系统设计的时间可大大减少，在需要更改控制系统功能时，较继电器控制系统要简单。由于采用可靠性较高的元器件，加上可活动的部件减少，因而维修的工作量也较少。

与此比较，可编程控制器系统的可靠性更高，它的可活动部件少，抗干扰的能力强，功能多，编程的灵活性大，在硬件更改较少的情况下，能适应工艺过程的更改要求。它的通信功能使得系统与其他的控制系统，如集散控制系统(DCS)和上位机，能建立通信联系。它的体积更小，安装和维修更方便，设计和投运的时间较短，但价格上还较高，尤其在小规模的应用场合。

1.4.3 PLC控制系统与计算机控制系统的比较

计算机控制系统在工业控制领域中，其主机一般采用能够在恶劣工业环境下可靠运行的工控机。工控机由通用微机应用发展而来，在硬件结构方面，总线标准化程度高，品种兼容性强，软件资源丰富，能提供实时操作系统的支持，故对要求快速、实时性强、模型复杂的工业对象的控制占有优势。但是，它的使用和维护要求工作人员应具有一定的专业知识，技术水平较高，且工控机在整机水平上尚不能适应恶劣的工作环境。可编程控制器对此进行了改进，变通用为专用，有利于降低成本，缩小体积，提高可靠性等特性，更适合工业过程控制的要求，但是它的标准化程度较低，各厂家的产品不通用，因此在开发上不如工控机那样有基础。 PLC 控制系统与通用计算机系统的比较见表 1.2。

表 1.2 PLC 控制系统与通用计算机系统的比较

比较项目	通用计算机系统	PLC 控制系统
工作目的	科学计算,数据管理等	工业自动控制
工作环境	对工作环境的要求较高	对环境要求低,可在恶劣的工业现场工作

（续表）

比较项目	通用计算机系统	PLC 控制系统
工作方式	中断处理方式	循环扫描方式
系统软件	需配备功能较强的系统软件	一般只需简单的监控程序
采用的特殊措施	掉电保护等一般性措施	采用多种抗干扰措施，自诊断，断电保护，可在线维修
编程语言	汇编语言，高级语言，如 BASIC，C 等	梯形图，助记符语言，SFC 标准化语言
对操作人员的要求	需专门培训，并具有一定的计算机基础	一般的技术人员，稍加培训即可操作使用
对内存的要求	容量大	容量小
价格	价格高	价格较低
其他	若用于控制，一般需自行设计	机种多，模块种类多，易于集成系统

一般情况下，在工业自动化工程中多采用 PLC，但计算机在信息处理方面优于 PLC，所以在一些自动化控制系统中，常常将两者结合起来，PLC 做下位机进行现场控制，计算机做上位机进行信息处理。

1.4.4 PLC 控制系统与集散控制系统的比较

集散控制系统（Distributed Control System ）是专门为工业过程控制设计的过程控制装置，由回路仪表控制系统发展而来，它的主要应用场合是连续量的模拟控制，而可编程控制器的主要应用场合是开关量的逻辑控制。因此，在设计思想上有一定的区别。

可编程控制器是按扫描方式工作的。集散控制系统是按用户的程序指令工作的。因此，可编程控制器对每个采样点的采样速度是相同的，而在集散控制系统中，可根据被检测对象的特性采用不同的采样速度。例如，对流量点的采样周期是 1 s，对温度点的采样周期是 20 s 等。此外，在集散控制系统中，可有多级优先级中断的设置，而可编程控制器通常不采用中断方式。在存储器的容量上，可编程控制器的存储器容量较小，而集散控制系统需进行大量的数字运算，存储器容量较大。在运算速度上，模拟量的运算速度可较低，而开关量的运算需要有较高的速度。在抗干扰和运算精度等性能上也有所不同。例如，对开关量的抗干扰性较对模拟量的抗干扰性要差，运算精度方面，模拟量要求较高等。

除了部分集散过程控制装置安装在现场，需要按现场的工作环境设计外，集散控制系统是按照安装在控制室设计的。而可编程控制器是按照在现场工作环境的要求设计的。因此，对元器件的可靠性方面有专门的考虑。在可靠性方面，两者都有较高的要求。

另外，不论是 PLC 控制系统还是集散控制系统，在发展过程中，始终是互相渗透，互为补充的。新一代的 PLC 增强了模拟量控制功能，可配备各种智能模块，具有了 PID 调节功能和构成网络系统、组成分级控制的功能。集散控制系统既有单向回路控制功能，也有多回路控制功能，同时也具有顺序控制功能。因此，现今的 PLC 控制系统与集散控制系统的发展越来越接近，很多生产过程的控制既可用 PLC 控制系统实现，也可用集散控制系统来实现。

小　结

PLC 是当今工业领域使用最广泛的一种新型自动控制元器件。本章主要介绍了 PLC 的一些基础知识。

1. PLC 是一种专门为工业环境下应用而设计的数字运算操作的电子装置。

2. 顺序控制系统按照程序完成的逻辑功能不同可分为时间顺序控制系统、逻辑顺序控制系统和条件顺序控制系统。 PLC是根据顺序逻辑控制的要求逐步发展起来的，顺序控制系统的给定值是按事先设定好的时间程序变化的，在被控变量为离散值的控制系统中，大都采用顺序控制（又称为程序控制）。

3. 20 世纪 60年代 DEC公司根据 GM10 条研制出世界上第一台 PLC,从此 PLC便广泛应用于工业控制领域。我国 PLC 产品的研制、生产，大体上经历了从顺序控制器到 1 位处理器为主体的工业控制器，再到 8 位微处理器为主体的可编程控制器的三个发展阶段。随着 PLC 应用领域不断扩大，PLC 的品种、型号、数量以异乎寻常的速度发展，表现为功能越来越强，性能越来越可靠，集成度越来越高，使用越来越方便。

4. PLC 的主要特点是高可靠性、丰富的 I/O 接口模块、采用模块化结构、编程简单易学、安装简单、维修方便、体积小、重量轻、速度快等。目前主要应用于逻辑和顺序控制、过程控制、运动及位置控制、数据处理、通信联网以及实现其他一些特殊功能。

5. 实际的 PLC 控制系统往往融合了多种控制系统，了解 PLC 与继电器控制系统、无触点式逻辑控制、计算机控制系统以及与集散控制系统的区别与联系对于学习使用 PLC 是十分必要的。

思考与练习

1. 什么叫可编程控制器（PLC)?
2. 顺序控制系统一般由哪几部分组成？各部分的作用是什么？
3. 可编程控制器的发展方向是什么？
4. 可编程控制器有哪些特点？
5. 可编程控制器主要应用在哪些领域？
6. 比较可编程控制器系统与继电器控制系统、计算机控制系统的异同点。

第 2 章　PLC 的原理

PLC 在工业生产各个领域得到了越来越广泛的应用。而要正确地应用 PLC 去完成各种不同的控制任务，首先须从了解它的结构特点和工作原理开始。

本章首先介绍 PLC 的基本结构（软件结构和硬件结构）和工作原理，其中引出 PLC 与常规控制器不同的扫描执行程序的新概念和输入、输出（即 I/O)响应滞后的新问题,然后对 PLC 的分类及性能指标、日本三菱公司 FX 系列 PLC 进行简单介绍，以了解 PLC适应于各种不同工业控制要求的结构原理和性能特点，为应用中正确选型时参考。

2.1　PLC 的结构

和普通计算机一样，可编程控制器由硬件及软件构成。硬件方面，可编程控制器的输入输出口是为方便与工业控制系统接口专门设计的。 PLC 的应用软件是由使用者编制、用梯形图或指令表表达的专用软件，在工作时采用应用软件的逐行扫描执行方式，指令采用串行工作方式。

2.1.1　PLC 的硬件系统

PLC 的硬件系统主要由主机、输入输出扩展单元、外部设备组成，各部分之间通过总线连接。其中主机主要由中央处理单元（CPU)、存储器、输入输出电路、外部设备接口、电源几大部分组成，如图 2.1 所示。

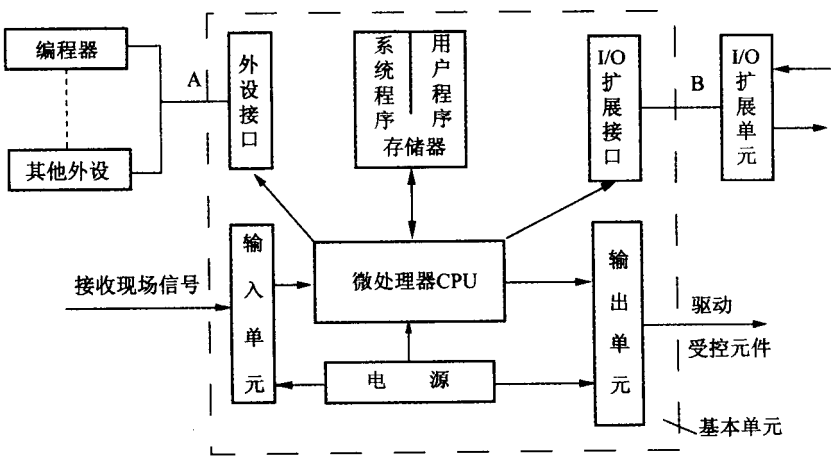


图 2.1　PLC 的硬件系统组成框图

1）中央处理单元（CPU）

中央处理单元(CPU)是 PLC的控制中枢。它按照 PLC 系统程序赋予的功能接收并存储从编程器键入的用户程序和数据；检查电源、存储器、I/O 以及警戒定时器的状态，并能诊断用户程序中的语法错误。当 PLC 投入运行时，首先它以扫描的方式接收现场各输入装置的状态和数据，并分别存入存储器中的输入映像区，然后从用户程序存储器中逐条读取用户程序，经过命令解释后按指令的规定执行逻辑或算术运算，将运算的结果送入输出映像区或数据寄存器内。等所有的用户程序执行完毕之后，最后将输出映像区的各输出状态或输出寄存器内的数据传送到相应的输出装置，如此循环，直到停止运行。

为了进一步提高 PLC 的可靠性，近年来对大型 PLC 还采用双 CPU 构成冗余系统，或采用三 CPU 的表决式系统。这样，即使某个 CPU 出现故障，整个系统仍能正常运行。

PLC 所采用的 CPU 随机型不同而有所不同，通常有三种：① 通用微处理器，大多为 8 位和 16 位,如 8086,80286,80386 等。② 单片机，如 8031,8051,8096。③ 位片式微处理器，如 AMD2900，AMD2903 等，它的最大优点为高速高效，位片式微处理器以位为单位，用几个位片进行“级联”，可以组成任意位的微处理系统，采用微程序设计，指令系统可以被重新定义。PLC 档次越高，CPU 位数越长，运算速度越快，如三菱 FX_2 系列，CPU 采用 16 位 8096 单片机，还另配有一片专用逻辑处理器用于处理高速指令和中断等。

2）存储器

存储器用于存放程序和数据。存放系统软件的存储器称为系统程序存储器，一般由 ROM构成，在使用过程中只能读出，不能写入。存放应用软件的存储器称为用户程序存储器，一般由 RAM 构成，在使用过程中可以随机读出和写入。采用锂电池作为后备电源，停电后 RAM 中数据可以保存 1～5 年。

PLC 常用的存储器类型：

① RAM(Random Assess Memory)。这是一种读／写存储器（随机存储器），其存取速度最快，为避免掉电后数据丢失，由锂电池支持。

② EPROM(Erasable Programmable Read Only Memory)。这是一种可擦除的只读存储器，在断电情况下，存储器内的所有内容保持不变（在紫外线连续照射下可擦除存储器内容）。

③ EEPROM(Electrical Erasable Programmable Read Only Memory)。这是一种电可擦除的只读存储器。使用编程器就能很容易地对其所存储的内容进行修改。

3）输入／输出(I/O)单元

输入输出单元是可编程控制器和工业控制现场进行连接的桥梁。输入单元用来接受生产过程中的各种参数和各类控制信号。输出口用来送出可编程控制器运算后得出的控制信息，并通过机外的执行机构完成工业现场的各类控制。由于可编程控制器在工业生产现场工作，对输入输出单元有两个主要要求，一是接口有良好的抗干扰能力，二是接口能满足工业现场各类信号的匹配要求。因此，在输入输出单元中，一般均配有电平变换、光电隔离和阻容滤波等电路，以实现外部现场的各个信号与系统内部统一信号的匹配和信号的正确传递。可编程控制器为不同的接口需求设计了不同的接口单元。主要有以下几种：

(1) 开关量输入单元

它的作用是把现场的开关量信号变成可编程控制器内部处理的标准信号。开关量输入单元根据可接纳的外信号电源的类型不同分为直流输入单元和交流输入单元。如图 2.2,图

2.3,图 2.4 所示。

从图中可以看出，输入单元中都有滤波电路及耦合隔离电路。滤波电路有抗干扰的作用，耦合电路有抗干扰及产生标准信号的作用。图中的电源部分都画在了输入单元外（虚线框外），这是分体式输入单元的画法，而在一般单元式可编程控制器中输入单元都使用本机的直流电源供电，不再需要外接电源。

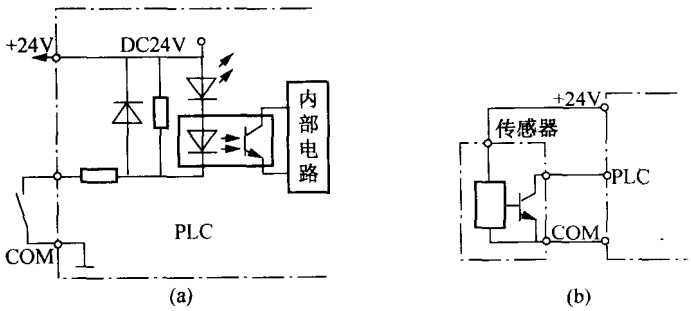


图 2.2 直流输入电路

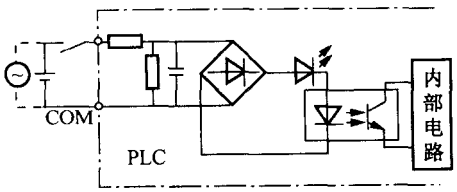


图 2.3 交流／直流输入电路

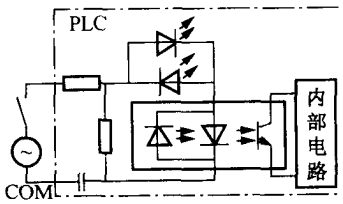


图 2.4 交流输入电路

(2) 开关量输出单元

它的作用是把可编程控制器内部的标准信号转换成现场执行机构所需的开关信号。开关量输出单元按可编程控制器机内使用的器件可分为继电器型、晶体管型及晶闸管型，这要求现场执行机构采用的驱动电源类型有所不同。内部参考电路图如图 2.5所示。

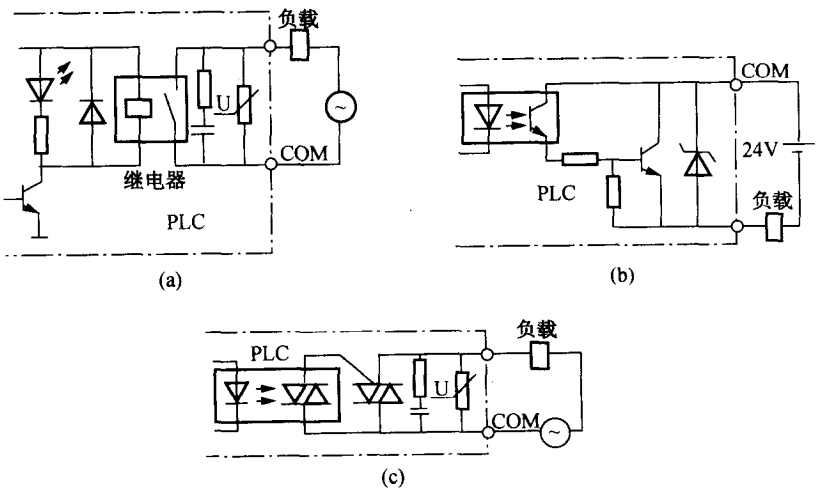


图 2.5 开关量输出电路

从图中可以看出，各类输出单元中也都具有隔离耦合电路。这里特别要指出的是，输出单

元本身都不带电源，在考虑外加驱动电源时，还需考虑输出器件的类型。继电器式的输出单元可用于交流及直流两种电源，可靠性最好，但开关频率最低；晶体管式的输出单元有较高的开关频率，但只适用于直流驱动的场合；晶闸管型的输出单元仅适用于交流驱动场合。

(3) 模拟量输入单元

它的作用是把现场连续变化的模拟量标准信号转换成适合可编程控制器内部处理的由若干位二进制表示数字的信号。模拟量输入单元接受标准模拟电压或电流信号，是符合国际标准的通用交互用电压电流信号值，如4～20 mA的直流电流信号，1～10 V的直流电压信号等。生产过程的模拟信号是多种多样的，类型和参数大小也不同，变化范围一般是不标准的，在送入模拟量单元时一般都需经变送处理才能使用。图 2.6 是模拟量输入单元的内部电路框图。

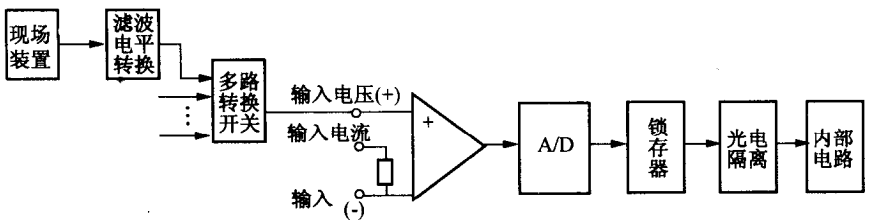


图 2.6　模拟量输入单元的内部电路框图

模拟量输入单元一般由信号变换、A/D(模数)转换、光电隔离等部分组成。输入信号通过运算放大器的放大和量程变换，转换成 A/D 转换能够接受的电压范围，经过 A/D 转换后的数字量信号，再经过光电耦合隔离后进入可编程控制器的内部电路。根据 A/D 转换的分辨率不同，模拟量输入单元能提供 8 位、10 位、12 位或 16 位等精度的各种位数数字量信号，传送给可编程控制器进行处理。如果输入信号为电流信号时，要把输入电压端（十）和输入电流端（+）短接，使电流信号转换成标准的电压信号。模拟量的输入点数可以是 2 点到 8 点。对多通道的模拟量输入单元，通常，设置多路转换开关进行通道的切换。

(4) 模拟量输出单元

它的作用是将可编程控制器运算处理后的若干位数字信号转换成相应的模拟量信号输出，以满足生产过程现场连续控制信号的需求。模拟量输出单元一般由光电隔离、D/A 转换和信号驱动等环节组成。其原理框图如图 2.7 所示。

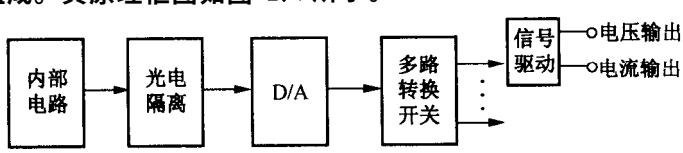


图 2.7　模拟量输出单元

可编程控制器输出的若干位数字信号由内部电路送到光耦合器的输入端，再经过数模转换器 D/A，转换后的模拟量直流电压信号经运算放大器放大后驱动输出。通常，模拟量输出单元设有直流电流信号输出端，供用户选用。所以，D/A 输出的电压信号还送到电压／电流转换器变成电流输出。模拟量输出单元用 D/A 转换器有 8 位、10 位、12 位等几种不同的精度，模拟量输出单元的输出电压一般为 1～5 V 或 1～10 V 直流电压信号，输出电流一般为 4～20 mA 直流电流等标准信号。模拟量输入输出单元一般安装在专门的模拟量工作单元上。

(5) 智能输入输出单元

为了适应较复杂的控制工作的需要，可编程控制器还有一些智能控制单元。如 PID 工作单元、高速计数器工作单元、温度控制单元等。这类单元大多是独立的工作单元。它们和普通输入输出单元的区别在于一般带有单独的 CPU. 也是由中央处理单元、存储器、输入输出单元和外部设备接口单元等部分通过内部系统总线连接组成，有专门的处理能力。在工作时，智能输入输出单元在自身的系统程序管理下，对工业过程现场的信号进行检测、处理和控制，并通过外部设备接口与可编程控制器主机的输入输出扩展单元的连接来实现与主机的通信。每个扫描周期智能单元和主机的 CPU 交换一次信息，共同完成控制任务。智能输入输出单元不依赖主机的运行方式而独立运行，这一方面使可编程控制器能通过智能输入输出单元来处理快速变化的现场信号，另一方面也使可编程控制器能处理更多的任务。从近期的发展来看，不少新型的可编程控制器本身也带有 PID 功能及高速计数器单元，但它们的功能一般比专用单元的功能弱。

4) 外部设备接口

外部设备接口(包括 I/O 扩展单元接口) 是可编程控制器主机实现人-机对话、机-机对话的通道。通过它，可编程控制器可以和编程器、彩色图形显示器、打印机、 I/() 扩展单元等相连，也可以与其他可编程控制器或上位计算机连接。外部设备接口一般是 RS—232C 或 RS—422A(或 RS—485)串行通信接口。该接口的功能是串行／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。对于一些小型可编程控制器，外部设备接口中还有与专用的编程器连接的并行数据接口。

5 电源

可编程控制器都包含一个稳压电源，用于把外部供应的电源变换成系统内部各单元所需的电源。有的电源还向外提供 24 V 隔离直流电源，给开关量输入单元连接的现场无电源开关使用。电源单元还包括掉电保护电路和后备电池电源，以保持 RAM 在外部电源断电后存储的内容不丢失。可编程控制器的电源一般采用开关式电源，其特点是输入电压范围宽，体积小,重量轻,效率高,抗干扰性能好。

6) 输入输出扩展单元

输入输出扩展单元是可编程控制器输入输出单元的扩展部件。当用户所需的输入输出点数或类型超出主机上输入输出单元所允许的点数或类型时，可以通过加接输入输出扩展机来解决。输入输出扩展机与主机的输入输出扩展接口相连，有两种类型：简单型和智能型。简单型的输入输出扩展机本身不带中央处理单元，对外部现场信号输入输出处理过程完全由主机的中央处理单元管理，依赖于主机的程序扫描过程。通常，它通过并行接口与主机通信，并安装在主机旁，在小型可编程控制器的输入输出扩展时常被采用。智能型的输入输出扩展机本身带有中央处理单元，它对生产过程现场信号的输入输出处理由本身的中央处理单元管理，而不依赖于主机的程序扫描过程。通常，它采用串行通信接口与主机通信，可以远离主机安装，多用于大中型可编程控制器的输入输出扩展。

7) 外部设备

可编程控制器的外部设备主要是编程器、彩色图形显示器、打印机等。

(1) 编程器

它是编制、调试和监控用户程序的外部设备，是入机交互的窗口。通过编程器还可以对可

编程控制器的工作状态和参数进行监视和跟踪，是调试和试运行用户程序时必不可少的。编程器分为简易型和智能型两类。前者只能用指令清单联机编程，一般由简易键盘和发光二极管矩阵或液晶显示器组成。而后者可以联机，也可以脱机使用，可以采用指令清单、梯形图等多种编程语言。近年来，智能型编程器一般采用微型计算机加上相应的应用软件构成，它既可用于编制调试用户程序，又可完成彩色图形显示、通信联网、打印输出控制和事务管理等多项功能。

(2) 彩色图形显示器

大中型可编程控制器通常配接彩色图形显示器，用以显示模拟生产过程的流程图、实时过程参数、趋势参数及报警参数等过程信息，使得现场控制情况一目了然。

(3)打印机

可编程控制器也可以配接打印机等外部设备，用以打印、记录过程参数、系统参数以及报警事故记录表等。

可编程控制器还可以配置其他外部设备。例如，配置盒式磁带机或磁盘驱动器，用于存储用户的应用程序和数据；配置 EPROM 写入器，用于将程序写入到 EPROM 中。

2.1.2 PLC 的软件系统

可编程控制器的软件系统由系统程序（又称系统软件）和用户程序（又称应用软件）两大部分组成。

1) 系统程序

系统程序由可编程控制器的制造厂编制，固化在 ROM 中，安装在可编程控制器上，随产品提供给用户。系统程序包括系统管理程序、用户指令解释程序和供系统调用的标准程序模块等。

(1) 系统管理程序

它主要完成时间分配的运行管理，即控制可编程控制器输入、输出、运算、自检及通信的时序；存储空间的分配管理，即生成用户环境、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及物理存放地址；系统的自检，即对系统进行出错检验、用户程序语法检验、句法检验、警戒时钟运行等。

(2) 用户指令解释程序

它是将用户用各种编程语言（梯形图、语句表等）编制的应用程序翻译成中央处理单元能执行的机器指令。

(3) 供系统调用的标准程序模块

它是由许多独立的程序块组成，各自完成包括输入、输出、特殊运算等不同的功能。

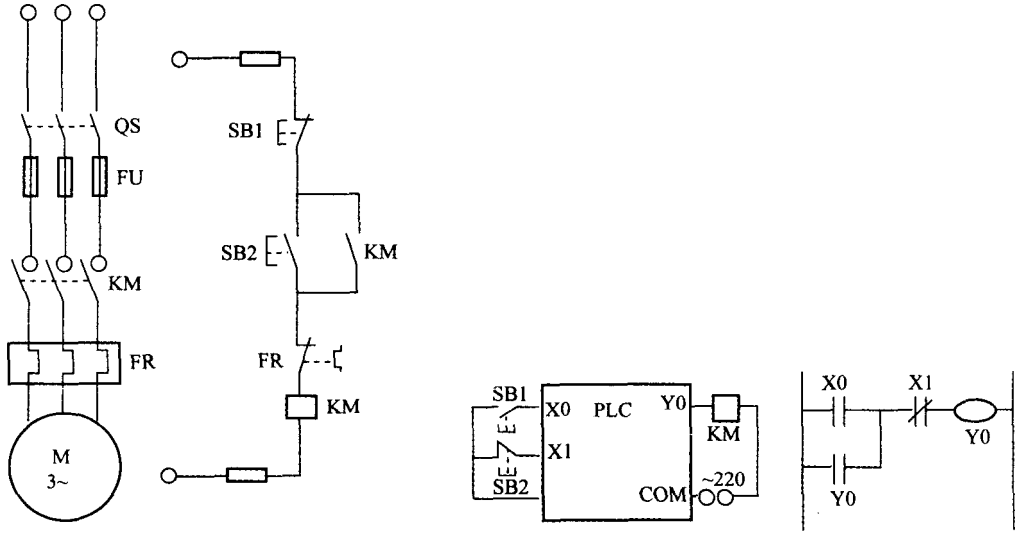
2 用户程序

用户程序是根据生产过程控制的要求由用户使用制造厂商提供的编程语言自行编制的应用程序。传统的继电器控制系统是通过导线的连接确定控制器件之间的逻辑关系，这种方式称为接线逻辑；PLC 却是用应用软件（也叫用户程序）实现控制功能，这种方式称为存储逻辑。用户程序的编制需要使用可编程控制器生产厂家提供的编程语言。目前尚没有一种通用的编程语言适用于各种可编程控制器，但相互之间差别不大，常见的几种编程语言是：梯形图(Ladder Diagram)、指令表(Instruction List)、顺序功能图(Sequential Function Chart)、功能块图(Functional Block Diagram)、结构文本(Structured Text)。

2.2 PLC的工作原理

2.2.1 PLC 的工作过程

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接线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那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串行运行方式 . 即如果一个逻辑线圈被接通或断开，该线圈的程序中所有的触点（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。而用户程序最常用的编程语言就是梯形图，梯形图是从继电器控制电路图演变而来，以图形符号及其之间的相互关系表示相互关系，图 2.8 为一个三相异步电动机的继电器控制电路和 PLC 控制方案，从中可以看出，两者的图形符号相似，逻辑含义一样。我们可以把可编程控制器中参与逻辑组合的元件看成和继电器一样的器件，具有线圈和常开、常闭触点，线圈得电，触点动作，线圈失电，触点复位；再用母线代替电源线，用能量流概念代替电流概念（这将在后续章节讲解）。另外，我们称 PLC 中的编程元件为“软继电器”，因为它不是实际的物理继电器，而是存储器中一定的位，所谓接通或关断只是该位为“1”或“0”。表 2.1 中给出了两者的对照关系。



(a) 继电器控制电路　　(b) PLC控制方案

图 2.8　三相异步电动机的继电器控制电路和 PLC 控制方案

可编程控制器运行时，在系统程序的监控下，按规定顺序对系统内部的各个任务进行查询、判断和执行，CPU 每一个时刻只能执行一个操作，随着时间延伸，一个动作接一个动作顺序执行，这种分时操作过程称为扫描。扫描过程周而复始地不断循环。一个循环扫描过程称为扫描周期。在一个扫描周期内，前面执行的任务结果，马上就可被后面将要执行的任务所用，并可以通过设定一个监视定时器 WDT(Watch-dog Timer) 来监视每个扫描周期的时间是