

第 1 章 PLC 概述

1.1 PLC 的产生与发展

PLC 是可编程序控制器的简称，它是一种数字运算电子系统，是以微处理器为基础，综合计算机技术、自动控制技术和通信技术发展而来的一种新型工业控制装置。它具有结构简单、编程方便、可靠性高等优点，已广泛应用于工业过程的自动控制中。

PLC 的概念于 1968 年由美国最大的汽车制造商通用汽车公司（GM 公司）提出，其目的是适应生产工艺不断更新的需求，设计一种新型的工业控制器取代继电器控制装置，并要求把计算机控制的优点（功能完备，灵活性、通用性好）和继电器控制的优点（简单易懂、使用方便、价格便宜）结合起来，设想将继电器控制的硬接线逻辑转变为计算机的软件逻辑编程，且要求编程简单，使不熟悉计算机的人员也能很快掌握其使用技术。

1969 年，美国数字设备公司（DEC 公司）研制出第一台可编程序控制器，并在美国通用汽车公司的自动装配线上试用成功，取得满意的效果，可编程序控制器自此诞生。

可编程序控制器英文名为 Programmable Logic Controller，简称 PLC，但并不意味 PLC 只具有逻辑功能。它是一种新型、通用的自动控制装置，是“专为在工业环境下应用而设计”的计算机。这种工业计算机采用“面向用户的指令”，因此编程方便，能完成逻辑运算、顺序控制、运动控制、过程控制等功能，还具有“数字量或模拟量的输入/输出控制”等能力。

PLC 的定义有许多种，国际电工委员会（IEC）对 PLC 的定义：可编程序控制器是一种专为在工业环境下应用而设计的数字运算操作的电子装置。它采用可编程序的存储器，用于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，并通过数字的或模拟的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。可编程序控制器及其有关的外围设备，都应按易于与工业控制系统形成一个整体、易于扩展其功能的原则设计。

PLC 自问世以来，经过几十年的快速发展，其功能越来越强大，应用范围也越来越广泛，现已形成了完整的产品系列，强大的软、硬件功能已接近或达到计算机功能。目前，世界著名的电气自动化生产厂家几乎都生产 PLC，产品种类繁多。PLC 产品在工业控制领域中无处不在，并扩展到楼宇自动化、家庭自动化、商业、公共事业、测试设备和农业等领域。

但，目前 PLC 的应用主要集中在自动化领域，不同的企业对自动化程度的要求不相

同。不仅需要发展适合大、中型企业的高水准的 PLC 网络系统，而且也要发展适合小型企业、性价比高的小型 PLC 控制系统。所以 PLC 控制系统将朝着两个方向发展：一是向小型化、微型化方向发展；二是向大型化、网络化、高性能、多功能、智能化方向发展，使之能与计算机组成分布式控制系统，实现大规模、复杂系统的数据共享和综合控制。

PLC 具有通用性强、使用方便、适应面广、可靠性高、抗干扰能力强和编程简单等特点，已成为当前工业自动化领域使用量最多的控制设备，并跃居工业自动化三大支柱（PLC、机器人和 CAD/CAM）的首位。

1.2 PLC 的特点与应用

1. PLC 的特点

(1) 抗干扰能力强、可靠性高

在工业现场存在电磁干扰、电源波动、机械振动、温度和湿度的变化等因素，这些因素都会影响计算机的正常工作。而 PLC 从硬件和软件两个方面都采取了一系列的抗干扰措施，使其能够安全、可靠地工作在恶劣的工业环境中。

在硬件方面，PLC 采用大规模和超大规模的集成电路，采用隔离、滤波、屏蔽、接地等抗干扰措施，并采取耐热、防潮、防尘、抗震等措施；在软件上，PLC 采用周期扫描工作方式，减少由于外界环境干扰引起的故障，系统程序中设有故障检测和自诊断程序，能对系统硬件电路等故障实现检测和判断，并采用数字滤波等抗干扰和故障诊断措施。以上这些使 PLC 具有较高的抗干扰能力和可靠性。

(2) 接口丰富、使用方便

PLC 针对不同的工业现场信号，如交流或直流、开关量或模拟量等，提供相应的 I/O 模块进行连接；为提高操作性能，它还有多种人机对话的接口模块；针对工业网络构建，它还有多种通信联网的接口模块等。通过丰富的接口模块，可以快速、方便地组建功能多样的控制系统。

同时，PLC 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 端口相连即可投入运行。各种模块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。

(3) 编程方式灵活、简单易学

PLC 的编程语言目前有梯形图（LAD）、指令表（IL）、顺序功能图（SFC）、功能块图（FBD）和结构化控制语言（SCL）5 种，其中梯形图、顺序功能图、功能块图是图形化编程语言，指令表、结构化文本是文字语言，用户可根据 PLC 支持的语言类型和个人掌握知识灵活选择。尤其是编程语言中的梯形图，它是从继电接触器电路图直接演变过来的，也

是 PLC 使用最多的一种编程语言，这种编程语言形象直观、上手容易、编程方便，技术人员无须深入学习即可掌握使用。

(4) 功能强大、通用性好

PLC 内部有大量可供用户使用的编程元件，具有很强的功能，可以实现非常复杂的控制功能。另外，PLC 的产品已经标准化、系列化、模块化，配备品种齐全的各种硬件装置供用户使用，用户能灵活方便地进行系统配置，组成不同功能、不同规模的控制系統。

2. PLC 的应用

随着 PLC 技术的发展，PLC 的应用领域已经从最初的单机、逻辑控制，发展到能够联网的、功能丰富的控制。目前，PLC 已广泛应用于钢铁、石油、化工、电力、建材、机械制造、汽车、轻纺、交通运输、环保及文化娱乐等各个行业。

(1) 逻辑控制

通过开关量“与”“或”“非”等逻辑指令的组合，以取代传统的继电器控制电路，实现逻辑控制、定时控制与顺序控制，既可用于单台设备的控制，也可用于多机群控及自动化流水线控制。这也是 PLC 最基本、最广泛的应用领域和最初能完成的基本功能，例如，印刷机、注塑机、机床、电镀流水线和电梯等的控制。

(2) 运动控制

运动控制通常采用数字控制技术 (NC)，这是 20 世纪 50 年代诞生于美国的基于计算机的控制技术。目前，先进国家的金属切削机床，数控化的比率已达 40%~80%。PLC 可通过高速脉冲输出和脉冲接收功能，配合强大的数据处理及运算能力，通过 NC 技术实现各种运动控制功能。

PLC 可以使用专用的运动控制模块，对步进电机或伺服电机的单轴或多轴的位置进行控制。PLC 把描述位置的数据传送给模块，其输出信号驱动设备移动一轴或多轴到目标位置。每个轴移动时，位置控制模块保持适当的速度和加速度，确保运动平滑，如各种机械、机床、机器人和电梯等场合。

(3) 过程控制

过程控制是指对温度、压力、流量等模拟量的控制。对于温度、压力、流量等模拟量，PLC 提供了配套的模数 (A/D) 和数模 (D/A) 转换模块，使 PLC 可以很方便地处理这些模拟量。作为工业控制计算机，PLC 能编制各种各样的控制算法程序，可以很方便地进行闭环控制，从而实现较高精度的过程控制。PID 调节是一般闭环控制系统中用得较多的调节方法，大、中型 PLC 都有 PID 模块，目前许多小型 PLC 也具有此功能模块。PID 处理模块一般是运行专用的 PID 子程序。过程控制在冶金、化工、热处理、锅炉控制等场合都有非常广泛的应用。

(4) 联网和通信功能

PLC 具有很强的联网和通信能力，PLC 能与计算机、智能仪表、智能执行装置联成网络，适应了当今计算机集成制造系统 (CIMS) 及智能化工厂发展的需要。使设备级的控制、生产线的控制、工厂管理层的控制连成一个整体，形成控制自动化与管理自动化的有机集成，从而创造更高的企业效益。

1.3 PLC 的分类与主要产品

1. PLC 的分类

PLC 可以按以下两种方法分类。

(1) 按 PLC 的点数分类

根据 PLC 可扩展的输入/输出点数，可以将 PLC 分为小型、中型和大型。小型 PLC 的输入/输出点数在 256 点以下，适合于单机控制或小型系统的控制；中型 PLC 的输入/输出点数为 256~2048 个点，控制功能比较丰富，可控制较为复杂的连续生产过程，还可以对多个下一级的可编程序控制器进行监控，它适合中型或大型控制系统；大型 PLC 的输入/输出点数在 2048 点以上，不仅能完成较复杂的算术运算还能进行复杂的矩阵运算，可用于对设备进行直接控制，还可以对多个下一级的可编程序控制器进行监控。

(2) 按 PLC 的结构分类

按 PLC 的结构分类，PLC 可分为整体式和模块式。整体式 PLC 将电源、CPU、存储器、I/O 系统都集中在一个小箱体内，小型 PLC 多为整体式 PLC，如图 1-1 所示；模块式 PLC 按功能分成若干模块，如电源模块、CPU 模块、输入模块、输出模块、连接模块等，再根据系统要求，组合不同的模块，形成不同用途的 PLC 系统，大、中型的 PLC 多为模块式 PLC，如图 1-2 所示。



(a) 西门子S7-200系列

(b) 西门子S7-1200系列

图 1-1 整体式 PLC



(a) 西门子S7-300系列

(b) 西门子S7-1500系列

图 1-2 模块式 PLC

2. PLC 的主要产品

目前，全球 PLC 生产厂家有 200 多家，比较著名的有美国的 AB、通用（GE）；日本的三菱（MITSUBISHI）、欧姆龙（OMRON）、富士电机（FUJI）、松下电工；德国的西门子（SIEMENS）；法国的 TE（Telemecanique）、施耐德（SCHNEIDER）；韩国的三星（SUMSUNG）与 LG 等。

我国 PLC 产品研制、生产和应用发展也很快。20 世纪 70 年代末和 80 年代初，我国引进了不少国外的 PLC 成套设备。此后，在传统设备改造和新设备设计中，PLC 的应用逐年增多，并取得显著的经济效益。我国从 20 世纪 90 年代开始生产 PLC，也拥有较多的 PLC 品牌，如台湾永宏、台达，深圳汇川、无锡信捷等。目前应用较广的 PLC 生产厂家及主要产品见表 1-1。

表 1-1 目前应用较广的 PLC 生产厂家及主要产品

国家	公司	产品型号
美国	通用 GE	90-30、90-70、VersaMax、PACSystems
日本	三菱 MITSUBISHI	FX _{2N} 、FX _{3U} 、FX _{5U} 、A 系列、Q 系列
德国	西门子 SIEMENS	S7-200 SMART、S7-1200、S7-300、S7-400、S7-1500
法国	施耐德 SCHNEIDER	M258、M340、Premium、Quantum
中国	深圳汇川	H2U、H3U、AM600、AM610
中国	无锡信捷	XC 系列、XD2、XD3、XD5、XDM

1.4 PLC 的基本结构及工作原理

1.4.1 PLC 的基本结构

各种 PLC 的组成结构基本相同，主要由 CPU、电源、存储器和输入/输出接口单元等组成。PLC 的基本结构如图 1-3 所示。

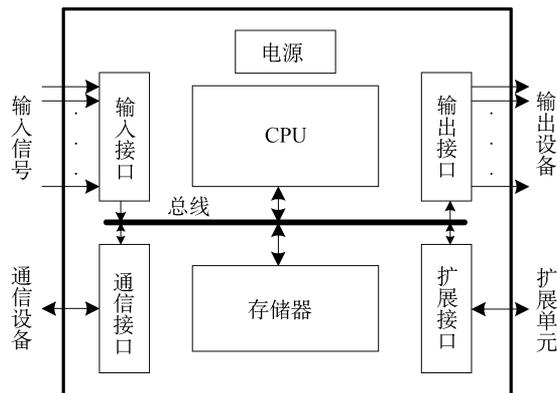


图 1-3 PLC 的基本结构

1. 中央处理单元 (CPU)

中央处理器单元 (CPU) 是 PLC 的核心部件, 一般由控制器、运算器和寄存器组成。CPU 通过地址总线、数据总线、控制总线与存储单元、输入/输出接口、通信接口、扩展接口相连。它不断地采集输入信号, 执行用户程序, 刷新系统的输出。

2. 存储器

PLC 的存储器包括系统存储器和用户存储器两种。系统存储器用于存放 PLC 厂家编写的系统程序, 用于开机自检、程序解释等功能, 用户不能访问和修改, 一般固化在只读存储器 ROM 中; 用户存储器用于存放 PLC 的用户程序, 设计和调试时需要不断修改, 一般存放在读写存储器 RAM 中。如用户调试的程序需要长期使用, 也可选择将其写入可电擦除的 E²PROM 存储卡中, 实现长期保存。

3. 输入/输出 (I/O) 接口单元

PLC 的输入/输出 (I/O) 接口单元是 CPU 与外部设备连接的桥梁, 通过 I/O 接口, PLC 可实现对工业设备或生产过程的参数检测和过程控制。PLC 的输入接口电路的作用是将按钮、行程开关或传感器等产生的信号送入 CPU; PLC 的输出接口电路的作用是将 CPU 向外输出的信号转换成可以驱动外部执行元件的信号, 以便控制线圈、指示灯、电控阀等外部器件。PLC 的输入/输出接口电路一般采用光电耦合隔离技术, 可以有效保护内部电路。

(1) 输入接口电路

PLC 的输入接口电路可分为直流输入电路和交流输入电路。直流输入电路的延迟时间比较短, 可以直接与接近开关、光电开关等电子输入装置连接; 交流输入电路适合在油雾、粉尘等恶劣环境下使用。

直流输入电路如图 1-4 所示, 图中只画出了 PLC 其中一路的直流输入电路, 方框内为 PLC 输入的内部电路, 方框外为 PLC 的外部信号输入电路。当外部开关接通时, 输入信号为“1”, 直流 24V 电压经限流电阻、RC 滤波电路和光电耦合电路后传送到 PLC 内部。

交流输入电路与直流输入电路类似, 外接的输入电源为 220V 交流电源。

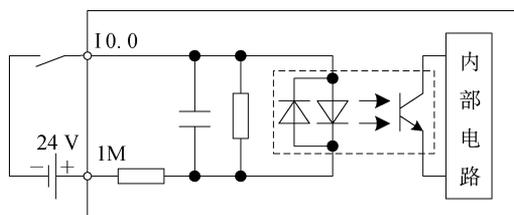


图 1-4 直流输入电路

(2) 输出接口电路

输出接口电路通常有 3 种类型: 继电器输出、晶体管输出和晶闸管输出。

继电器输出的优点是电压范围宽、导通压降小、价格便宜, 既可以控制直流负载, 也可以控制交流负载; 缺点是触点寿命短, 转换频率低。

晶体管输出的优点是寿命长、无噪声、可靠性高、转换速度快, 可驱动直流负载; 缺点是价格高, 过载能力较差。

晶闸管输出的优点是寿命长、无噪声、可靠性高，可驱动交流负载；缺点是价格高，过载能力较差。

继电器输出电路如图 1-5 所示，图中只画出了 PLC 其中一路的继电器输出电路，方框内为 PLC 输出接口内部电路，方框外为 PLC 的外部负载控制电路。当输出为“1”时，接通内部继电器线圈 J，触点闭合，从而控制外部电路导通，负载动作。

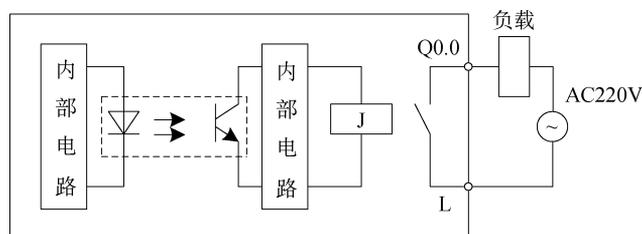


图 1-5 继电器输出电路

晶体管输出、晶闸管输出和继电器输出的电路类似，只是用晶体管或晶闸管代替继电器控制外部负载。

4. 扩展接口和通信接口

PLC 的扩展接口的作用是将扩展模块与基本单元相连，使 PLC 的配置更加灵活，控制功能更为丰富，以满足不同控制系统的需要；通信接口的功能是通过这些通信接口可以和人机界面（HMI）、驱动器、其他的 PLC 或计算机相连，从而实现“人—机”或“机—机”之间的对话。

5. 电源

PLC 一般使用外部 220V 交流电源或 24V 直流电源驱动，PLC 的内部电源为中央处理器 CPU、存储器等电路提供 5V、12V、24V 的直流电源。

1.4.2 PLC 的工作原理

PLC 有两种工作方式，即 RUN（运行）和 STOP（停止）。在 RUN 方式中，CPU 执行用户程序，并输出运算结果；在 STOP 方式中，CPU 不执行用户程序，但可将用户程序和硬件配置信息下载到 PLC 中。

PLC 控制系统与继电器控制系统在运行方式上存在本质的区别。继电器控制系统采用“并行运行”方式，各条支路同时上电，当一个继电器的线圈通电或者断电，该继电器的所有触点都会立即同时动作；而 PLC 采用“周期循环扫描”工作方式，CPU 通过逐行扫描并执行用户程序，即如果一个逻辑线圈接通或断开，该线圈的所有触点并不会立即动作，必须等到扫描执行该触点时才会动作。

一般来说，当 PLC 运行后，其工作过程可分为输入采样阶段、程序执行阶段和输出刷新阶段。完成上述三个阶段即称为一个扫描周期。

在整个运行期间，PLC 的 CPU 以一定的扫描速度重复执行上述三个阶段。PLC 的周期扫描工作过程如图 1-6 所示。在图 1-6 中，输入映像寄存器是指在 PLC 的存储器中设置一

块用来存放输入信号的存储区域，而输出映像寄存器是用来存放输出信号的存储区域；元件映像存储器是包括输入映像寄存器和输出映像寄存器在内的所有 PLC 梯形图中的编程元件的映像存储区域的统称。

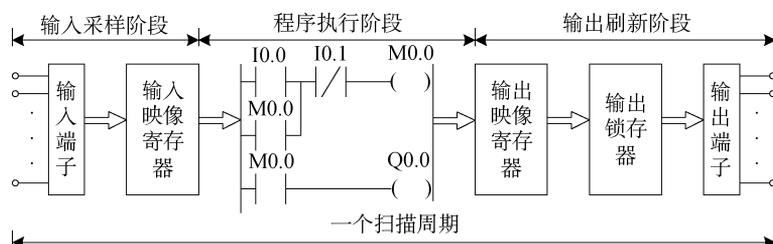


图 1-6 PLC 的周期扫描工作过程

1. 输入采样阶段

PLC 将各输入状态存入对应的输入映像寄存器中，此时，输入映像寄存器被刷新，接着进入程序执行阶段。在程序执行阶段或输出刷新阶段，输入元件映像寄存器与外界隔绝，无论输入端子信号怎么变化，其内容保持不变，直到下一个扫描周期的输入采样阶段才将输入端子的新内容重新写入。

2. 程序执行阶段

PLC 根据最新读入的输入信号，以先左后右、先上后下的顺序逐行扫描，执行一次程序，结果存入输出映像寄存器中。对于输出元件映像寄存器，每个元件（除输入映像寄存器外）的状态会随着程序的执行而变化。

3. 输出刷新阶段

在所有指令执行完毕后，输出映像寄存器中所有输出继电器接触器的状态（“1”或“0”）在输出刷新阶段统一转存到输出锁存器中，并通过输出端子输出以驱动外部负载。

1.4.3 PLC 控制系统与继电器控制系统的比较

继电器控制系统是采用硬件和接线实现的，它通过选择合适的分立元件（接触器、主令电器、各类继电器接触器等），按照控制要求采用导线将触点相互连接，从而形成并实现既定的逻辑控制；如控制要求改变，硬件构成及接线都需进行相应地调整。

而 PLC 控制系统采用程序存储器控制，其控制逻辑以程序方式存储在内存中，系统要完成的控制任务是通过执行存放在存储器中的程序实现的；如控制要求改变，硬件电路连接可不用调整或简单改动，主要通过程序调整实现，这种方式也称“软接线”。

星-三角降压启动继电器控制方式如图 1-7 所示，主电路、控制电路由导线相互连接分立元件的各端子构成，其控制逻辑包含在控制电路中，通过连线体现。

星-三角降压启动 PLC 控制方式如图 1-8 所示，其主电路不变，控制电路由 PLC 接线图和程序两部分实现；而控制逻辑通过软件，即编写相应程序实现。

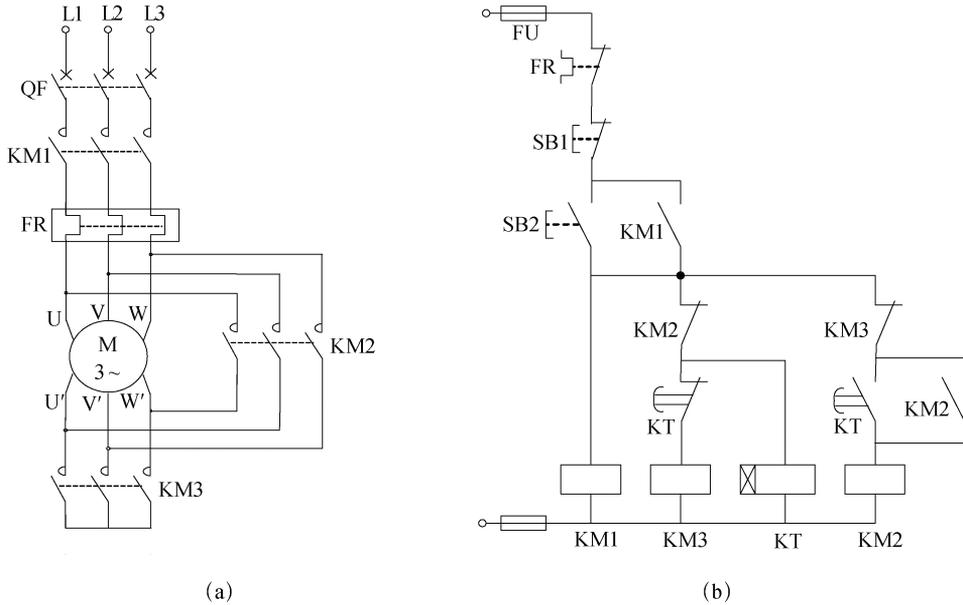


图 1-7 星-三角降压启动继电器接触器控制方式

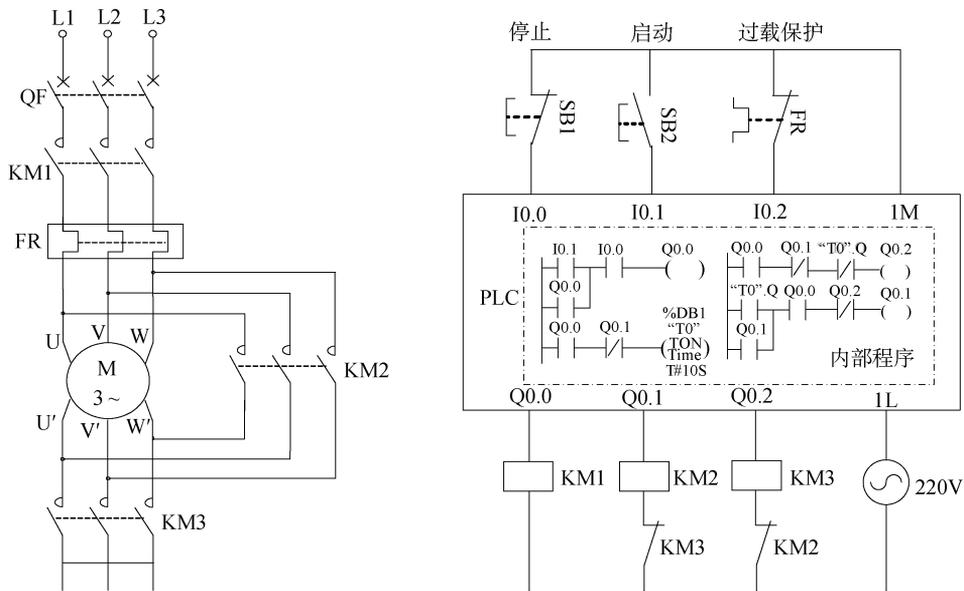


图 1-8 星-三角降压启动 PLC 控制方式

比较 PLC 控制与继电器接触器控制两种控制方式。

- ① PLC 控制系统与继电器接触器控制系统的输入、输出部分基本相同，输入部分都是由按钮、开关、传感器等组成的；输出部分都是由接触器、执行器、电磁阀等部件构成的。
- ② PLC 控制采用软件编程取代继电器接触器控制系统中大量的中间继电器、时间继电器、计数器等器件，使控制系统体积、安装、接线工作量大大减少，可以有效减少系统维修工作量和提高工作可靠性。
- ③ PLC 控制系统不仅可以替代继电器接触器控制系统，而且当生产工艺、控制要求发生

简单调整时，不需要重新连线，只需要相应修改程序或配合程序对硬件接线做很少的变动就可以。

④ PLC 控制系统除了具有传统继电器控制系统所具有的功能外，还具有模拟量控制、高速计数、开环或闭环过程控制及通信联网等功能。

习题 1

1. PLC 产生的背景是什么？
2. PLC 具有哪些特点？主要应用在哪些方面？
3. PLC 与工业 PC 机的主要区别有哪些？
4. PLC 按 I/O 点数可分为哪几类？各自适合于什么系统控制？
5. 整体式 PLC 与模块式 PLC 各有什么特点？
6. PLC 主要由_____、_____、_____和_____组成。
7. PLC 按硬件结构分为_____和_____两种。
8. PLC 输出接口电路一般有_____、_____和_____等类型，其中_____既可驱动交流负载又可驱动直流负载。
9. PLC 常用的存储器有_____、_____、_____。其中_____和_____用来存放用户程序，_____用来存放系统程序。
10. 简述 PLC 的扫描工作过程。
11. PLC 控制系统与继电器控制系统在运行方式上有何不同？