

高等学校教材

小型

可编程控制器 实用技术

上海大学自动化学院 王兆义 编著

机械工业出版社

71352.3

W352.3

高等学校教材

小型可编程控制器实用技术

上海大学自动化学院 王兆义 编著



机械工业出版社

可编程控制器(PLC)是采用微机技术的通用控制器。本书从实际应用出发,系统地介绍了小型PLC的基础知识,控制指令、应用设计的各种方法和PLC的选型,并用较大篇幅介绍了一些有特色的应用实例和实验。

本书侧重于PLC的实际应用技术,实用性强,可作为大专院校工业自动化、电气技术、自动控制、应用电子、计算机应用、机电一体化及其它相关专业的教材,也可供PLC用户培训班使用和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

小型可编程控制器实用技术/王兆义编著. —北京:机械工业出版社,
1997.7

ISBN 7-111-05478-4

I. 小… II. 王… III. 可编程序控制器-计算机应用-技术-高等学校-教材 IV. TP332.3

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第24008号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)

责任编辑:贡克勤 版式设计:冉晓华 责任校对:罗莉华

封面设计:郭景云 责任印制:卢子祥

北京交通印务实业公司印刷·新华书店北京发行所发行

1997年8月第1版第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·16印张·392千字

0 001—2 500册

定价:22.50元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

可编程控制器 (PLC) 是采用微机技术的通用工业自动化装置, 近几年来, 在国内已得到迅速推广普及。PLC 正改变着工厂自动控制的面貌, 对传统产业的技术改造、发展新型工业具有重大的实际意义。为适应社会需要, 由作者主编的《可编程控制器教程》自 1993 年由机械工业出版社出版后, 不少院校用来作为教材。但 PLC 技术发展很快, 国外 PLC 产品更新换代更是如此。小型可编程控制器实用技术就是作者收集大量最新资料, 并结合作者近几年开展的 PLC 教学和科研成果基础上编写而成的, 其原则是更新机型、技术实用。

本书从实际应用出发, 对小型 PLC 的特点、编程语言和系统配置作了详细说明, 对控制指令, 特别是近几年应用较多的功能指令作了系统、详细的介绍。编程器的使用介绍, 特殊功能模块的引入, 给 PLC 用户带来了方便。

全书共分九章和一个附录。内容包括 PLC 的产生、特点和分类; PLC 的工作原理和编程语言; 以三菱 FX 系列 PLC 为蓝本, 对小型 PLC 的系统配置加以说明; PLC 的基本指令和步进指令; 功能指令; FX-20P 简易编程器的使用说明; 详细介绍了一些特殊功能模块; 对 PLC 的系统设计、选型、应用程序设计进行了详细论述, 并列举了一些有特色的应用实例。附录中有 PLC 的实验指导书, 以帮助读者尽快地掌握 PLC 技术。

本书可作为大专院校工业自动化、电气技术、自动控制、应用电子、机电一体化、计算机应用等专业的教学用书, 也可作为电大、职大相近专业的教学用书及 PLC 用户的培训教材, 对广大的工程技术人员来讲又是一本更新知识结构的参考读物。

本书的编写得到了全国高等学校电气技术专业教学指导委员会的支持和帮助, 本书的出版得到菱电国际有限公司机电控制设备部的热情帮助, 作者在此一并表示感谢。

因作者水平有限, 书中难免存在缺点和错误, 恳请读者批评指正。

王兆义
1996 年 8 月

目 录

前 言

第一章 可编程控制器概述	1
第一节 可编程控制器的产生	1
第二节 可编程控制器的特点	2
第三节 可编程控制器的分类	3
第四节 可编程控制器的应用和发展	4
习题及思考题	4
第二章 可编程控制器的组成与工作原理	5
第一节 可编程控制器的组成	5
第二节 可编程控制器的编程语言	7
第三节 可编程控制器的工作原理	9
习题及思考题	19
第三章 三菱小型可编程控制器	20
第一节 概述	20
第二节 FX 系列可编程控制器的系统配置	21
习题及思考题	29
第四章 基本指令	30
第一节 基本指令简介	30
第二节 可编程控制器梯形图编程规则	37
习题及思考题	39
第五章 步进指令	40
第一节 状态转移图	40
第二节 步进指令简介	42
第三节 步进指令的应用	45
习题及思考题	48
第六章 功能指令	50
第一节 功能指令的基本格式	50
第二节 功能指令简介	52
第三节 功能指令汇总表	119
习题及思考题	123

第七章 编程器及其使用	125
第一节 概述	125
第二节 简易编程器	125
第三节 简易编程器的联机操作	128
第四节 简易编程器的脱机操作	141
第五节 编程器的功能和信息表	143
习题及思考题	146
第八章 特殊功能模块	147
第一节 模拟量输入输出模块	147
第二节 定位控制单元模块	155
第三节 数据通信功能模块	160
第四节 人机界面特殊模块	163
习题及思考题	164
第九章 可编程控制器的应用	165
第一节 可编程控制器的系统设计	165
第二节 可编程控制器的选型	166
第三节 可编程控制器应用程序的设计方法	167
第四节 可编程控制器使用中的几个问题	175
第五节 可编程控制器应用实例	179
习题及思考题	207
附录	208
附录 A 实验指导书	208
附录 B FX 系列 PLC 主要指标、指令汇总、特殊元件及系统配置	219
附录 C F1 系列 PLC 的主要指标、编程元件和指令汇总	232
附录 D A 系列 PLC 的主要指标和系统设备配置	237
参考文献	251

第一章 可编程控制器概述

第一节 可编程控制器的产生

可编程控制器是 60 年代末在美国首先出现的,当时叫可编程逻辑控制器 PLC (Programmable Logic Controller),目的是用来取代继电器,以执行逻辑判断、计时、计数等顺序控制功能。提出 PLC 概念的是美国通用汽车公司。当时,根据汽车制造生产线的需要,希望用电子化的新型控制器替代继电器控制柜,以减少汽车改型时,重新设计制造继电器控制盘的成本和时间。通用汽车公司对新型控制器提出 10 点具体要求:

- ①编程简单,可在现场修改程序;
- ②维护方便,采用插件式结构;
- ③可靠性高于继电器控制柜;
- ④体积小于继电器控制柜;
- ⑤成本可与继电器控制柜竞争;
- ⑥可将数据直接送入计算机;
- ⑦可直接用 115V 交流输入;
- ⑧输出采用交流 115V,能直接驱动电磁阀、交流接触器等;
- ⑨通用性强,扩展时很方便;
- ⑩程序要能存储,存储器容量可扩展到 4K 字节。

这 10 点要求几乎成为当时各自动化仪表厂商生产 PLC 的基本规范。概括起来,PLC 的基本设计思想是把计算机功能完善、灵活、通用等优点和继电器控制系统的简单易懂、操作方便、价格便宜等优点结合起来,控制器的硬件是标准的、通用的。根据实际应用对象,将控制内容编成软件写入控制器的用户程序存储器内。控制器和被控对象连接方便。

随着半导体技术,尤其是微处理器和微型计算机技术的发展,到 70 年代中期以后,PLC 已广泛地使用微处理器作为中央处理器,输入输出模块和外围电路也都采用了中、大规模甚至超大规模的集成电路,这时的 PLC 已不再是仅有逻辑 (Logic) 判断功能,还同时具有数据处理、PID 调节和数据通信功能。

国际电工委员会 (IEC) 颁布的可编程控制器标准草案中对可编程控制器作了如下的定义: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。它采用了可编程序的存储器,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,并通过数字式和模拟式的输入和输出,控制各种类型的机械或生产过程。可编程控制器及其有关外围设备,易于与工业控制系统联成一个整体,易于扩充其功能的设计。

可编程控制器对用户来说,是一种无触点设备,改变程序即可改变生产工艺,因此可在初步设计阶段选用可编程控制器,在实施阶段再确定工艺过程。另一方面,从制造生产可编程控制器的厂商角度看,在制造阶段不需要根据用户的订货要求专门设计控制器,适合批量

生产。由于这些特点，可编程控制器问世以后很快受到工业控制界的欢迎，并得到迅速的发展。目前，可编程控制器已成为工厂自动化的强有力工具，得到了广泛的普及推广应用。

第二节 可编程控制器的特点

可编程控制器是面向用户的专用工业控制计算机，具有许多明显的特点。

可靠性高，抗干扰能力强：可编程控制器是专为工业控制而设计的，除了对器件的严格筛选和老化外，在硬件和软件两个方面还采用了屏蔽、滤波、隔离、故障论断和自动恢复等措施，使可编程控制器具有很强的抗干扰能力，使其平均无故障时间达到 $(3\sim 5) \times 10^4 \text{h}$ 以上。

编程直观、简单：可编程控制器是面向用户、面向现场，考虑到大多数电气技术人员熟悉电气控制线路的特点，它没有采用微机控制中常用的汇编语言，而是采用了一种面向控制过程的梯形图语言。梯形图语言与继电器原理图相类似，形象直观，易学易懂。电气工程师和具有一定知识的电工、工艺人员都可以在短时间内学会，使用起来得心应手。计算机技术和传统的继电器控制技术之间的隔阂在可编程控制器上完全不存在。世界上许多国家的公司生产的可编程控制器把梯形图语言作为第一用户语言。

适应性好：可编程控制器是通过程序实现控制的。当控制要求发生改变时，只要修改程序即可。由于可编程控制器产品已标准化，系列化、模块化，因此能灵活方便地进行系统配置，组成规模不同、功能不同的控制系统，适应能力非常强，故既可控制一台单机，一条生产线，又可控制一个复杂的群控系统，既可以现场控制，又可以远距离控制。

功能完善，接口功能强：目前的可编程控制器具有数字量和模拟量的输入输出、逻辑和算术运算、定时、计数、顺序控制、通信、人机对话、自检、记录和显示等功能，使设备控制水平大大提高。接口功率驱动极大地方便了用户，常用的数字量输入输出接口，就电源而言有 110V、220V 交流和 5V、24V、48V 直流等多种；负载能力可在 $(0.5\sim 5\text{A})$ 的范围内变化；模拟量的输入输出有 $\pm 50\text{mV}$ 、 $\pm 10\text{V}$ 和 $(0\sim 10)\text{mA}$ 、 $(4\sim 20)\text{mA}$ 等多种规格。可以很方便地将可编程控制器与各种不同的现场控制设备顺利连接，组成应用系统。例如，输入接口可直接与各种开关量和传感器进行连接，输出接口在多数情况下也可直接与各种传统的继电器、接触器及电磁阀等相连接。

表 1-1 是 PLC、继电器控制系统、微机控制系统比较表。

表 1-1 PLC、继电器控制系统、微机控制比较表

项 目	PLC	继电器控制系统	微机控制系统
功 能	用程序可以实现各种复杂控制	用大量继电器布线逻辑实现顺序控制	用程序实现各种复杂控制，功能最强
改变控制内容	修改程序较简单容易	改变硬件接线逻辑、工作量大	修改程序，技术难度较大
可 靠 性	平均无故障工作时间长	受机械触点寿命限制	一般比 PLC 差
工作方式	顺序扫描	顺序控制	中断处理，响应最快
接 口	直接与生产设备连接	直接与生产设备连接	要设计专门的接口

(续)

项 目	PLC	继电器控制系统	微机控制系统
环境适应性	可适应一般工业生产现场环境	环境差, 会降低可靠性和寿命	要求有较好的环境, 如机房、实验室、办公室
抗干扰性	一般不用专门考虑抗干扰问题	能抗一般电磁干扰	要专门设计抗干扰措施, 否则易受干扰影响
维 护	现场检查、维修方便	定期更换继电器, 维修费时	技术难度较高
系统开发	设计容易、安装简单、调试周期短	图样多、安装接线工作量大、调试周期长	系统设计较复杂、调试技术难度大, 需要有系统的计算机知识
通 用 性	较好, 适应面广	一般是专用	要进行软、硬件改造才能作其它用
硬件成本	比微机控制系统高	少于 30 个继电器的系统最低	一般比 PLC 低

第三节 可编程控制器的分类

目前市场上能买到的可编程控制器, 按照输入 (Input) 和输出 (Output) (简称 I/O) 点数多少可分为表 1-2 所示的五种类型。这个分类界线不是固定不变的, 它会随可编程控制器的发展而改变。

表 1-2 可编程控制器规模分类表

类 型	I/O 点数	存储器容量 (KB)	机 型 举 例
超 小 型	64 以下	1~2	三菱 FX0、欧姆龙 SP20
小 型	64~128	2~4	三菱 F1-60、欧姆龙 C60H
中 型	128~512	4~16	三菱 A 系列、欧姆龙 C1000H
大 型	512~8192	16~64	莫迪康 984A、西门子 SU-135
超 大 型	大于 8192	64~128	莫迪康 984B、西门子 SU-155

可编程控制器按结构形式分类可分为整体式和模块式两种。整体式又称单元式或箱体式。整体式可编程控制器是将电源、CPU、I/O 部件都集中装在一个机箱内, 其结构紧凑, 体积小价格低。一般小型可编程控制器采用这种结构, 它由不同 I/O 点数的基本单元和扩展单元组成。基本单元内有 CPU、I/O 和电源, 扩展单元内只有 I/O 和电源。基本单元和扩展单元之间一般用扁平电缆连接。整体式可编程控制器一般配备有特殊功能单元, 如模拟量单元、位置控制单元等, 使机器的功能得以加强。

模块式结构是将可编程控制器各部分分成若干个单独的模块, 如 CPU 模块、I/O 模块、电源模块和各种功能模块。模块式可编程控制器由框架和各种模块组成, 模块插在框架的插座上。有的可编程控制器没有框架, 各种模块安装在底板上。模块式结构, 其配置灵活, 装配方便, 便于扩展和维修。一般大中型可编程控制器都采用模块式结构, 有的小型可编程控制器也采用这种结构。

有的可编程控制器将整体式和模块式结合起来,称为叠装式可编程控制器。它除基本单元和扩展单元外,还有扩展模块和特殊功能模块,配置更加灵活。

第四节 可编程控制器的应用和发展

可编程控制器在国内外已广泛应用于钢铁、石化、机械制造、汽车装配、电力、轻纺等各行各业。目前典型的 PLC 功能有下面几点。

顺序控制:这是可编程控制器最广泛应用的领域,取代了传统的继电器顺序控制,例如注塑机、印刷机械、订书机械,切纸机、组合机床、磨床、装配生产线,包装生产线,电镀流水线及电梯控制等。

过程控制:在工业生产过程中,有许多连续变化的量,如温度、压力、流量、液位、速度、电流和电压等,称为模拟量。可编程控制器有 A/D 和 D/A 转换模块,这样,可编程控制器可以作模拟量控制用于过程控制。

数据处理:一般可编程控制器都设有四则运算指令,可以很方便地对生产过程中的数据进行处理。用 PLC 可以构成监控系统,进行数据采集和处理、监控生产过程。较高档次的可编程控制器都有位置控制模块,用于控制步进电动机或伺服电动机,实现对各种机械的位置控制。

通信联网和显示打印:某些控制系统需要多台 PLC 连接起来使用或者由一台计算机与多台 PLC 组成分布式控制系统。可编程控制器的通信模块可以满足这些通信联网要求。可编程控制器还可以连接显示终端和打印机等外围设备,从而实现显示和打印功能。

可编程控制器的更新很快:可编程控制器的技术发展特点为高速度、大容量、系列化、模块化、多品种。可编程控制器的编程语言、编程工具多样化,通信联网能力越来越强。可编程控制器的联网和通信可分为两类:一类是可编程控制器之间的联网通信,各制造厂商都有自己的专有联网手段;另一类是可编程控制器与计算机之间的联网通信,一般可编程控制器都有通信模块用于与计算机通信。在网络中要有通用的通信标准,否则在一个网络中不能连接许多厂商的产品。美国通用汽车公司在 1983 年提出的制造自动化协议(MAP——Manufacture Automation Protocol)是众多通信标准中发展最快的一个。MAP 的主要特点是提供以开放性为基础的局部网络,使来自许多厂商的设备可以通过相同的通信协议而相互连接。由于 MAP 的出现,推动了通信标准化的进程。

习 题 及 思 考 题

- 1-1 可编程控制器是怎样诞生的?
- 1-2 可编程控制器的定义是什么?为什么说可编程控制器是一种数字运算的电子系统?
- 1-3 可编程控制器的特点是什么?
- 1-4 试对可编程控制器、继电器控制系统、微机控制进行比较。
- 1-5 可编程控制器的规模一般是如何分类的?
- 1-6 可编程控制器有哪几方面的应用?

第二章 可编程控制器的组成与工作原理

可编程控制器的结构多种多样，但其组成的一般原理基本相同，都是以微处理器为核心的结构，其功能的实现不仅基于硬件的作用，更要靠软件的支持，实际上可编程控制器就是一种新型的工业控制计算机。

第一节 可编程控制器的组成

可编程控制器主要由中央处理单元（CPU）、存储器（RAM、ROM）、输入输出单元（I/O）、电源和编程器等几部分组成，其结构框图如图 2-1 所示。

一、中央处理单元（CPU）

可编程控制器中常用的 CPU 主要采用通用微处理器、单片机和双极型位片式微处理器三种类型。通用微处理器（如 8080、8086、80286、80386 等）、单片机（如 8031、8096 等）、位片式微处理器（如 AM2900、AM2901、AM2903 等）。可编程控制器的档次越高，CPU 的位数也越多，运算速度也越快，功能指令越强，FX2 系列可编程控制器使用的微处理器是 16 位的 8096 单片机。

二、存储器

可编程控制器配有两种存储器：系统存储器和用户存储器。系统存储器存放系统管理程序。用户存储器存放用户编制的控制程序。小型可编程控制器的存储器容量一般在 8K 字节以下。

常用的存储器有 CMOS RAM 和 EPROM、EEPROM。CMOS RAM 是一种可进行读写操作的随机存储器存放用户程序，生成用户数据区，存放在 RAM 中的用户程序可方便地修改。CMOS RAM 存储器是一种高密度、低功耗、价格便宜的半导体存储器，可用锂电池作备用电源。掉电时，可以有效地保持存储的信息。锂电池的寿命一般为（5~10）年，若经常带负载可维持（2~5）年。EPROM、EEPROM 都是只读存储器。往往用这些类型存储器固化系统管理程序和用户程序。EEPROM 存储器又可写成 E²PRO，它是一种电可擦除可编程的只读存储器，既可按字节进行擦除，又有可整片擦除的功能。

三、输入输出单元（I/O 单元）

实际生产过程中的信号电平是多种多样的，外部执行机构所需的电平也是千差万别的，而可编程控制器的 CPU 所处理的信号只能是标准电平，正是通过输入输出单元实现了这些信号

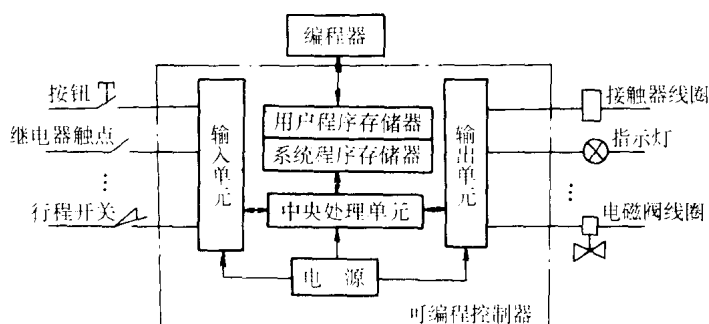


图 2-1 小型可编程控制器结构框图

电平的转换。I/O 单元实际上是 PLC 与被控对象间传递输入输出信号的接口部件。I/O 单元有良好的电隔离和滤波作用。接到 PLC 输入接口的输入器件是各种开关、按钮、传感器等。PLC 的各种输出控制器件往往是电磁阀、接触器、继电器，而继电器有交流型和直流型，高电压型和低电压型、电压型和电流型之分。

(一) 输入接口电路

各种 PLC 的输入电路大都相同，通常有三种类型。一种是直流 (12~24) V 输入，另一种是交流 (100~120) V、(200~240) V 输入，第三种是交直流 (12~24) V 输入。

外界输入器件可以是无源触点或者有源传感器的集电极开路的晶体管，这些外部输入器件是通过 PLC 输入端子与 PLC 相连的。

PLC 输入电路中有光耦合器隔离，并设有 RC 滤波器，用以消除输入触点的抖动和外部噪声干扰。当输入开关闭合时，一次电路中流过电流，输入指示灯亮，光耦合器被激励，三极管从截止状态变为饱和导通状态，这是一个数据输入过程。图 2-2 是一个直流输入端内部接线图。

(二) 输出接口电路

PLC 的输出有三种形式：继电器输出、晶体管输出、晶闸管输出。图 2-3 给出了 PLC 的输出电路图。

继电器输出型最常用。当 CPU 有输出时，接通或断开输出电路中继电器的线圈，继电器的接点闭合或断开，通过该接点控制外部负载电路的通断。很显然，继电器输出是利用了继电器的接点和线圈将 PLC 的内部电路与外部负载电路进行了电气隔离。晶体管输出型是通过光耦合使晶体管截止或饱和以控制外部负载电路，并同时 PLC 内部电路和输出晶体管电路进行了电气隔离。第三种是双向晶闸管输出型，采用了光触发双向晶闸管。三种输出形式以继电器型响应最慢。

输出电路的负载电源由外部提供。负载电流一般不超过 2A。实际应用中，输出电流额定值与负载性质有关。例如 FX2 型 PLC 继电器输出的负载能力，电源电压在 250V AC 以下时，对电阻负载为 2A/点；对感性负载为 $80V \cdot A$ ；对灯负载为 100W。

通常，PLC 的制造厂商为用户提供多种用途的 I/O 单元。从数据类型上看有开关量和模

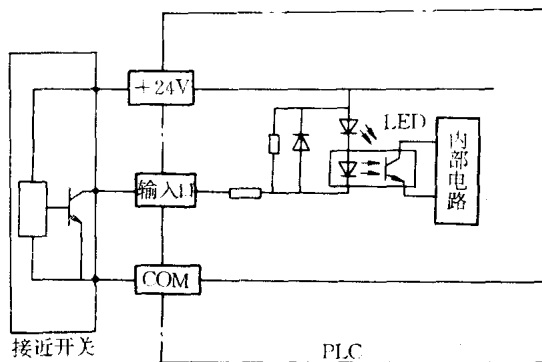


图 2-2 直流输入端内部接线图

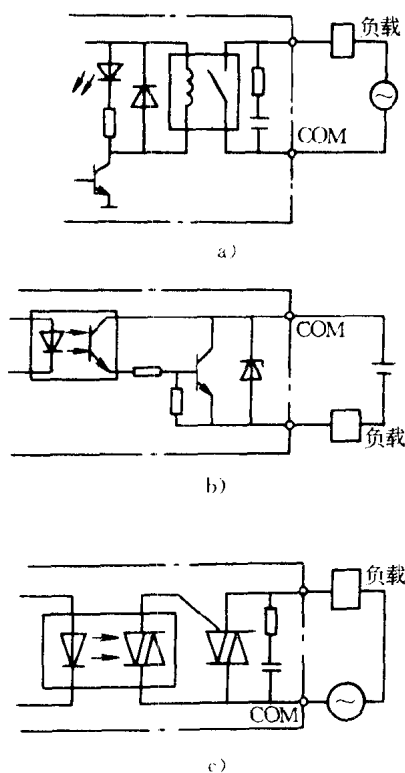


图 2-3 PLC 的输出电路图

a) 继电器输出 b) 晶体管输出 c) 晶闸管输出

拟量；从电压等级上看有直流和交流；从速度上看有低速和高速，从点数上看有多种类型；从距离上看可分为本地 I/O 和远程 I/O。远程 I/O 单元通电电缆与 CPU 单元连接，可放在距 CPU 单元数百米远的地方。

四、电源单元

PLC 的供电电源是一般市电，也有用直流 24V 供电的。PLC 对电源稳定度要求不高，一般允许电源电压额定值在 $+10\% \sim -15\%$ 的范围内波动。PLC 内有一个稳压电源用于对 PLC 的 CPU 单元和 I/O 单元供电，小型 PLC 电源往往和 CPU 单元合为一体，中大型 PLC 都有专门电源单元。有些 PLC 电源部分还有 24V DC 输出，用于对外部传感器供电，但电流往往是毫安级。

五、编程器

编程器是 PLC 的最重要外围设备。利用编程器将用户程序送入 PLC 的存储器，还可以用编程器检查程序。修改程序；利用编程器还可以监视 PLC 的工作状态。编程器一般分简易型编程器和智能型编程器。小型 PLC 常用简易型编程器，大中型 PLC 多用智能型 CRT 编程器。除此以外，在个人计算机上添加适当的硬件接口和软件包，即可用个人计算机对 PLC 编程。利用微机作为编程器，可以直接编制并显示梯形图。

第二节 可编程控制器的编程语言

PLC 是一种工业控制计算机，不光有硬件，软件也必不可少。一提到软件就必然和编程语言相联系。不同厂家，甚至不同型号的 PLC 的编程语言只能适应自己的产品。目前 PLC 常用的编程语言有四种，梯形图编程语言、指令语句表编程语言、功能图编程语言、高级编程语言。

梯形图编程语言形象直观，类似电气控制系统继电器控制电路图，逻辑关系明显；指令语句表编程语言虽然不如梯形图编程语言直观，但有键入方便的优点；功能图编程语言和高级编程语言需要比较多的硬件设备。

一、梯形图编程语言

该语言习惯上叫梯形图。梯形图沿袭了继电器控制电路的形式，也可以说，梯形图编程语言是在电气控制系统中常用的继电器、接触器逻辑控制基础上简化了符号演变而来的，形象、直观、实用，电气技术人员容易接受，是目前用得最多的一种 PLC 编程语言。

继电器接触器电气控制电路图和 PLC 梯形图示于图 2-4 中，由图可见两种控制电路图逻辑含义是一样的，但具体表达方法却有本质区别。PLC 梯形图中的继电器、定时器、计数器不是物理继电器、物理定时器、物理计数器，这些器件实际上是存储器中的存储位，因此称为软器件。相应位为“1”状态，表示继电器线圈通电或常开接点闭合或常闭接点断开。

PLC 的梯形图是形象化的编程语言，梯形图左右两端的母线是不接任何电源的。梯形图

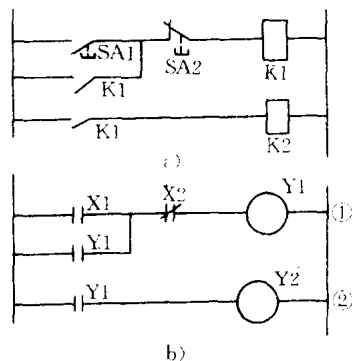


图 2-4 两种控制图
a) 电气控制电路图 b) PLC 梯形图

中并没有真实的物理电流流动，而仅仅是概念电流（虚电流），或称为假想电流。把 PLC 梯形图中左边母线假想为电源相线，而把右边母线假想为电源地线。假想电流只能从左向右流动，层次改变只能先上后下。假想电流是执行用户程序时满足输出执行条件的形象理解。

PLC 梯形图中每个网络由多个梯级组成，每个梯级由一个或多个支路组成，并由一个输出元件构成，但右边的元件必须是输出元件。例如图 2-4b 中梯形图由两个梯级组成，梯级①中有 4 个编程元件（X1、X2、Y1 和 Y1），最右边的 Y1 是输出元件。

梯形图中每个编程元件应按一定的规则加标字母数字串，不同编程元件常用不同的字母符号和一定的数字串来表示，不同厂家的 PLC 使用的符号和数字串往往是不一样的。

二、指令语句表编程语言

这种编程语言是一种与计算机汇编语言相类似的助记符编程方式，用一系列操作指令组成的语句表将控制流程描述出来，并通过编程器送到 PLC 中去。需要指出的是，不同厂家的 PLC 指令语句表使用的助记符并不相同，因此，一个相同功能的梯形图，书写的语句表并不相同。表 2-1 是三菱电机公司 FX 型 PLC 指令语句完成图 2-4b 功能编写的程序。

表 2-1 三菱电机 FX 型 PLC 语句表

步序	操作码（助记符）	操作数（参数）	说 明
1	LD	X1	逻辑行开始，输入 X1 常开接点
2	OR	Y1	并联 Y1 的自保接点
3	ANI	X2	串联 X2 的常闭接点
4	OUT	Y1	输出 Y1 逻辑行结束
5	LD	Y1	输入 Y1 常开接点逻辑行开始
6	OUT	Y2	输出 Y2 逻辑行结束

指令语句表是由若干条语句组成的程序。语句是程序的最小独立单元。每个操作功能由一条或几条语句来执行。PLC 的语句表达形式与微机的语句表达式相类似，也是由操作码和操作数两部分组成。操作码用助记符表示（如 LD 表示取、OR 表示或等），用来执行要执行的功能，告诉 CPU 该进行什么操作，例如逻辑运算的与、或、非；算术运算的加、减、乘、除；时间或条件控制中的计时、计数、移位等功能。

操作数一般由标识符和参数组成。标识符表示操作数的类别，例如表明是输入继电器、输出继电器、定时器、计数器、数据寄存器等。参数表明操作数的地址或一个预先设定值。

三、功能图编程语言

这是一种较新的编程方法。它是用像控制系统流程图一样的功能图表达一个控制过程，目前国际电工协会（IEC）正在实施发展这种新式的编程标准。不同厂家的 PLC 对这种编程语言所用的符号和名称也不一样。三菱 PLC 叫功能图编程语言，而西门子 PLC 叫控制系统流程图编程语言。图 2-5 是一个先“与”后“或”操作的功能图编程语言图。

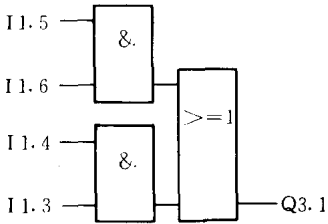


图 2-5 先“与”后“或”操作的功能图编程语言图

四、高级语言编程

近几年推出的 PLC，尤其是大型 PLC，已开始用高级语言进行编程。有的 PLC 采用类似 PASCAL 语言的专用语言，系统软件具有这种专用语言的自动编译程序。采用高级语言编程

后，用户可以像使用普通微型计算机一样操作 PLC。除了完成逻辑功能外，还可以进行 PID 调节、数据采集和处理以及与上位机通信等。

第三节 可编程控制器的工作原理

一、PLC 的编程器件概述

PLC 内部有许多具有不同功能的器件，实际上这些器件是由电子电路和存储器组成的。例如输入继电器 X 是由输入电路和映像输入接点的存储器组成；输出继电器 Y 是由输出电路和映像输出接点的存储器组成；定时器 T、计数器 C、辅助继电器 M、状态器 S、数据寄存器 D、变址寄存器 V/Z 等都是由存储器组成的。为了把它们与通常的硬器件区分开，我们通常把上面的器件称为软器件，是等效概念抽象模拟的器件，并非实际的物理器件。从工作过程看，我们只注重器件的功能，按器件的功能给名称，例如输入继电器 X、输出继电器 Y 等，而且每个器件都有确定的地址编号，这对编程十分重要。

需要特别指出的是，不同厂家、甚至同一厂家的不同型号的 PLC 编程器件的数量和种类都不一样，下面我们以 FX₂ 小型 PLC 为蓝本，介绍编程器件。

二、FX₂ 系列 PLC 编程器件

(一) 输入继电器 (X0~X177)

输入继电器与 PLC 的输入端相连，是 PLC 接收外部开关信号的接口。与输入端子连接的输入继电器是光电隔离的电子继电器，其线圈、常开接点、常闭接点与传统硬继电器表示方法一样，如图 2-6 左边所示。这里常开接点、常闭接点的使用次数不限，这些接点在 PLC 内可以自由使用。FX₂ 型 PLC 输入继电器采用八进制地址编号，X0~X177 最多可达 128 点。输入继电器必须有外部信号来驱动，不能用程序驱动。

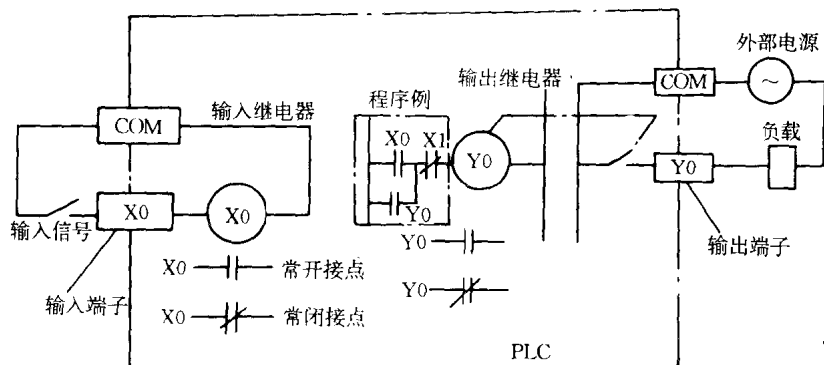


图 2-6 输入、输出继电器示意图

(二) 输出继电器 Y0~Y177

输出继电器的外部输出接点连接到 PLC 的输出端子上，输出继电器是 PLC 是用来传送信号到外部负载的元件，如图 2-6 右边所示。每一个输出继电器有一个外部输出的常开接点。而内部的软接点，不管是常开还是常闭，都可以无限次的自由使用。输出继电器的地址编号也是八进制，Y0~Y177，最多可达 128 点。

(三) 辅助继电器 M

PLC 内部有很多辅助继电器,它的常开常闭接点在 PLC 内部编程时可以无限次的自由使用。但是这些接点不能直接驱动外部负载,外部负载必须由输出继电器的外部接点来驱动。

在逻辑运算中经常需要一些中间继电器作为辅助运算用,这些器件往往用作状态暂存、移位等运算。另外,辅助继电器还具有一些特殊功能。下面是几种常见的辅助继电器。

1. 通用辅助继电器 M0~M499

通用辅助继电器按十进制地址编号 M0~M499 共 500 点(在 FX 型 PLC 中除了输入输出继电器外,其它所有器件都是十进制编号)。

2. 断电保持辅助继电器 M500~M1023 (524 点)

PLC 在运行中若发生停电,输出继电器和通用辅助继电器全部成为断开状态。上电后,除了 PLC 运行时被外部输入信号接通的以外,其它仍断开。不少控制系统要求保持断电瞬间状态。断电保持辅助继电器就是用于此场合,断电保持是由 PLC 内装锂电池支持的。

3. 特殊辅助继电器 M8000~8255 (256 点)

PLC 内有 256 个特殊辅助继电器,这些特殊辅助继电器各自具有特定的功能。通常分为下面两大类。

①只能利用其接点的特殊辅助继电器。线圈由 PLC 自动驱动,用户只可以利用其接点。例如:

M8000 为运行监控用,PLC 运行时 M8000 接通。

M8002 为仅在运行开始瞬间接通的初始脉冲特殊辅助继电器。

M8012 为产生 100ms 时钟脉冲的特殊辅助继电器。

②可驱动线圈型特殊辅助继电器,用户激励线圈后,PLC 作特定动作,例如:

M8030 为锂电池电压指示灯特殊辅助继电器,当锂电池电压跌落时,M8030 动作,指示灯亮,提醒 PLC 维修人员,需要赶快调换锂电池了。

M8033 为 PLC 停止时输出保持特殊辅助继电器。

M8034 为禁止全部输出特殊辅助继电器。

M8039 为定时扫描特殊辅助继电器。

需要说明的是未定义的特殊辅助继电器不可在用户程序中使用。

辅助继电器的常开常闭接点在 PLC 内部可无限次的自由使用。

(四) 状态器 S

状态器 S 是构成状态转移图的重要软器件,它与后述的步进顺控指令配合使用。通常状态器软器件有下面五种类型:

①初始状态器 S0~S9 共 10 点。

②回零状态器 S10~S19 共 10 点。

③通用状态器 S20~S499 共 480 点。

④保持状态器 S500~S899 共 400 点。

⑤报警用状态器 S900~S999 共 100 点。这 100 个状态器器件可用作外部故障诊断输出。

状态器的常开和常闭接点在 PLC 内可以自由使用,且使用次数不限。不用步进顺控指令时,状态器 S 可以作为辅助继电器 M 在程序中使用。

(五) 定时器 T

定时器在 PLC 中的作用相当于一个时间继电器,它有一个设定值寄存器(一个字长),一

个当前值寄存器（一个字长）以及无限个接点（一个位）。对于每一个定时器，这三个量使用同一地址编号名称，但使用场合不一样，其所指也不一样。通常在一个 PLC 中有几十至数百个定时器 T。

1. 定时器的动作及地址编号

在 PLC 内定时器是根据时钟脉冲累积计时的，时钟脉冲有 1ms、10ms、100ms 三档，当所计时间到达设定值时，输出接点动作。定时器可以用用户程序存储器内的常数 K 作为设定值，也可以用后述的数据寄存器 D 的内容作为设定值。这里使用的数据寄存器应有断电功能。定时器的地址编号、设定值是这样规定的：

(1) 常规定时器 T0~T245

100ms 定时器 T0~T199 共 200 点，每个设定值范围为 0.1~3276.7s；10ms 定时器 T200~T245 共 46 点，每个设定值范围 (0.01~327.67)s。图 2-7 是定时器的工作原理图。当驱动输入 X0 接通时，地址编号为 T200 的当前值计数器对 10ms 时钟脉冲进行累积计数，当该值与设定值 K123 相等时，定时器的输出接点就接通，即输出接点是在驱动线圈后的 $123 \times 0.01s = 1.23s$ 时动作。驱动输入 X0 断开或发生断电时，计数器就复位，输出接点也复位。

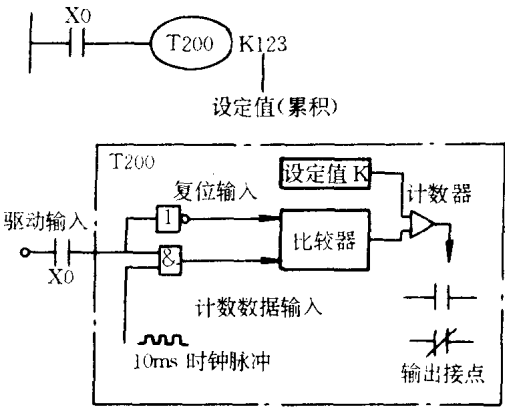


图 2-7 定时器的工作原理

(2) 积算定时器 T246~T255

1ms 积算定时器 T246~T249 共 4 点，每点设定值范围为 (0.001~32.767)s；100ms 积算定时器 T250~T255 共 6 点，每点设定值范围 (0.1~3276.7)s。图 2-8 是积算定时器工作原理图。当定时器线圈 250 的驱动输入 X1 接通时，T250 的当前值计数器开始累积 100ms 的时钟脉冲的个数，当该值与设定值 K345 相等时，定时器的输出接点接通。当计数中间驱动输入 X1 断开或停电时，当前值可保持。输入 X1 再接通或复电时，计数继续进行，当累积时间为 $(0.1 \times 345)s = 34.5s$ 时，输出接点动作。

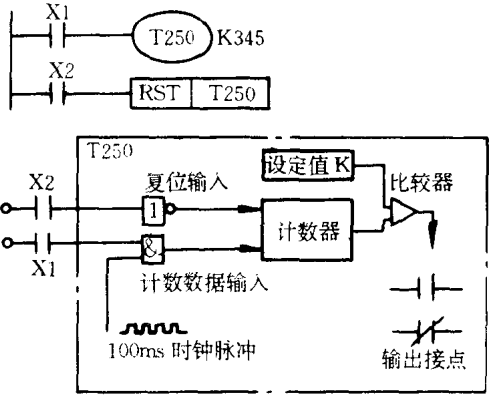


图 2-8 积算定时器工作原理

2. 接点的动作时序

接点动作次序如图 2-9 所示。定时器在其线圈被驱动后开始计时，到达设定值后，在执行第一个线圈指令时，其输出接点动作。从驱动定时器线圈到其接点动作称为定时器接点动作精度时间 t ， $t = T + T_0 - \alpha$ 。

式中， T 为定时器设定时间，单位为 s； T_0 为扫描周期，单位为 s； α 为定时器的时钟周期，1ms、10ms、100ms 的定时器对应为 0.001、0.01、0.1，单位为 s。

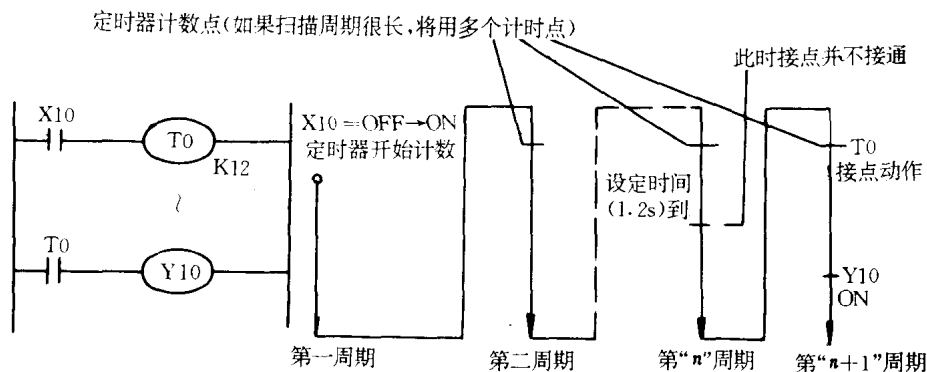


图 2-9 接点动作次序示意图

如果编程时定时器接点指令写在线圈指令之前，在最坏的情况下，定时器输出接点动作误差为 $+2T_0$ 。

当定时器的设定值为零时，在下一扫描周期执行线圈指令时输出接点动作。另外，1ms 定时器在执行线圈指令后，以中断方式对 1ms 时钟脉冲计数。

(六) 计数器 C

1. 内部信号计数器

内部信号计数器是在执行扫描操作时对内部器件（如 X、Y、M、S、T 和 C）的信号进行计数的计数器，其接通时间和断开时间应比 PLC 的扫描周期稍长。

① 16 位递增计数器，设定值为 $1 \sim 32767$ 。其中，C0~C99 共 100 点是通用型，C100~C199 共 100 点是断电保持型。图 2-10 表示了递增计数器的动作过程。图 2-10a 是梯形图，图 2-10b 是时序表。X11 是计数输入，每当 X11 接通一次，计数器当前值加 1。当计数器的当前值为 10

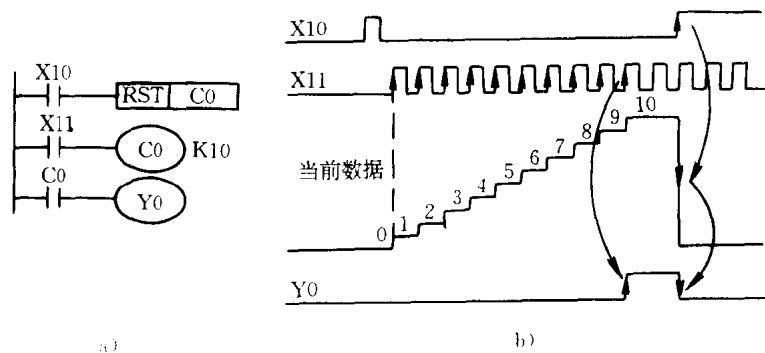


图 2-10 加计数器的动作过程

时（也就是说计数输入达到第十次时），计数器 C0 的输出接点接通。之后即使输入 X11 再接通，计数器的当前值也保持不变。当复位输入 X10 接通时，执行 RST 复位指令，计数器当前值复位为 0，输出接点也断开。计数器的设定值，除了可由常数 K 设定外，还可间接通过指定数据寄存器来设定。

② 32 位双向计数器，设定值为 $-2147483648 \sim +2147483647$ ，其中 C200~C219 共 20 点是通用型，C220~C234 共 15 点是断电保持型计数器。

32 位双向计数器是递增型还是递减型计数由特殊辅助继电器 M8200~M8234 设定。特