

229
701571 6-4
222

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

可编程控制器技术

(电气运行与控制专业)

主 编 张林国 王淑英
责任主审 吴锡龙
审 稿 周兆敏 程君实

高等教育出版社

内容简介

本书是根据教育部 2001 年颁发的《中等职业学校电气运行与控制专业教学指导方案》中主干课程《可编程控制器技术教学基本要求》,并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准编写的中等职业教育国家规划教材。

本书主要内容有:可编程控制器的构成和工作原理、FX2 系列可编程控制器的指令系统、可编程控制器的功能指令、程序设计、应用控制系统的设计和 PLC 的应用及实验指导等。

本书可作为中等职业学校电气运行与控制专业及相关专业教材,也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

可编程控制器技术/张林国,王淑英主编. —北京:
高等教育出版社,2002.6

中等职业学校电气运行与控制专业教材

ISBN 7-04-010933-6

I. 可... II. ①张... ②王... III. 可编程控制器
—专业学校—教材 IV. TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 044975 号

可编程控制器技术
张林国 王淑英 主编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号
邮政编码 100009
传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 廊坊石油管道印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 9
字 数 210 000

版 次 2002 年 7 月第 1 版
印 次 2002 年 7 月第 1 次印刷
定 价 11.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成[2001]1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

前 言

本书是中等职业教育国家规划教材,是根据教育部 2001 年颁发的《中等职业学校电气运行与控制专业教学指导方案》中主干课程《可编程控制器技术教学基本要求》,并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准编写的。

可编程控制器(PLC)是以微处理器为核心,综合了计算机技术、自动控制技术和通讯技术而发展起来的一种新型、通用的微电脑自动控制装置。它具有结构简单、设计紧凑、易于编程、性能优越、可靠性高、灵活通用和使用方便等一系列优点,在工业生产自动控制过程中得到越来越广泛的应用,被誉为当代工业生产自动化的三大支柱之一。随着工业经济全球化、网络化和信息化的不断推进和自动化程度的日益提高,在工业生产控制领域里,PLC 控制技术的应用必将成为重要支柱之一。

本教材从实际应用出发,根据当前中等职业技术教育发展需要,突出以专业能力为本位的教学主线,由浅入深,循序渐进,突出实际应用的主题。本书比较详细地介绍了国内使用较多的三菱公司的 FX2 系列 PLC 的性能指标和硬件组成,重点阐述了 FX2 系列的基本逻辑指令、功能指令和步进指令的书写格式、使用方法和应用实例,并选配供学生进行基础训练的思考题和实验实习内容,让学生通过实践,加深对理论知识的理解和再认识,提高学生的操作应用能力和专业能力。

本教材的重点是介绍开量控制系统的梯形图设计方法、功能表图为基础的顺序控制设计方法和应用基本逻辑指令的编程方法,有许多编程方法是编者在多年教学实践中总结和开发的,极易被学生接受和掌握。本教材还介绍了 PLC 在应用中的实际问题,如 PLC 的型号选择和确定 PLC 的硬件配置的原则,PLC 控制系统的设计调试步骤,PLC 控制系统的可靠性和性能价格比的提高,工业 PLC 的应用和编程方法等。

本教材第一、二、六章由宜昌市电子工业学校张林国编写,第三章由河北机电学校王淑英编写,第四、五章由宜昌市电子工业学校黄中玉编写,全书由宜昌市电子工业学校孔繁华制图和排版,教材最后由张林国、王淑英统一定稿。在教材编写过程中得到三峡大学胡翔勇教授、宜昌市电子工业学校教师朱沙、常熟市教学仪器厂施春辉经理等大力支持,在此表示衷心感谢。

本书通过全国中等职业教育教材审定委员会审定,由上海大学吴锡龙教授担任责任主审,上海大学周兆敏教授和程君实教授审稿。他们对书稿提出了很多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

因编者水平有限,时间仓促,书中难免有错漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2002 年 1 月

目 录

第一章 可编程控制器概述	1	第四章 可编程控制器的程序设计	60
第一节 PLC 基础知识	1	第一节 梯形图的特点及绘制原则	60
第二节 PLC 的组成及硬件配置	3	第二节 典型电路梯形图	62
第三节 PLC 的工作原理	5	第三节 PLC 程序设计的方法	65
第四节 PLC 的特点及应用	8	第四节 PLC 在工业控制系统中的	
第五节 PLC 与其他工业控制系统		典型应用实例	74
的比较	10	思考题与习题	81
思考题与习题	11	第五章 可编程控制器应用控制系统	
第二章 可编程控制器的指令系统	12	的设计	85
第一节 PLC 常用编程语言	12	第一节 PLC 应用控制系统的设计	
第二节 PLC 的功能图与步进梯		方法	85
形图	13	第二节 PLC 型号的选择	85
第三节 FX2 系列 PLC 性能简介	15	第三节 PLC 成本控制的主要措施	87
第四节 FX2 系列 PLC 内部各类		第四节 PLC 控制系统安装的基本	
继电器的编号及功能	19	要求	89
第五节 FX2 系列 PLC 的基本逻辑		第五节 PLC 的维护和故障诊断	92
指令及其编程方法	21	思考题与习题	93
第六节 FX2 系列 PLC 步进指令		第六章 可编程控制器实验指导	94
STL/RET 及编程方法	29	第一节 FX-20P-E 编程器的操作	
思考题与习题	33	说明	94
第三章 可编程控制器的功能指令	34	第二节 实验指导书	107
第一节 功能指令简介	34	附录 FX2 应用指令	133
第二节 功能指令的编程方法	37	参考文献	137
思考题与习题	59		

第一章 可编程控制器概述

第一节 PLC 基础知识

一、可编程控制器的涵义

可编程控制器是美国在 20 世纪 60 年代末首先研制成功的,它主要是在传统的顺序控制器的基础上引入了微电子技术和计算机技术,形成的一种新型工业控制装置。可编程控制器 (Programmable Controller) 简称 PC,为了不与简称 PC 的个人计算机 (Personal Computer) 相混淆,把可编程控制器也称为 PLC (Programmable Logic Controller),其主要功能是取代传统继电器,执行逻辑、计时和计数等顺序控制功能,建立一种柔性的程序控制系统。随着计算机技术应用领域的扩大和微处理器的出现,使 PLC 的功能得到更进一步提高和完善。1976 年美国电器制造商协会 NEMA (National Electrical Manufacturers Association) 经过 4 年的调查和论证,于 1980 年将可编程控制器正式命名为 Programmable Controller (本教材仍将可编程控制器称为 PLC),具体意义为“PC 是一个数字式的电子装置,它使用了可编程序的记忆体存储指令,用来执行诸如逻辑、顺序、计时、计数与运算等功能,并通过数字或模拟的输入和输出,以控制各种机械或生产过程。一部数字电子计算机若是用来执行 PC 之功能,也被视同为 PC,但不包括鼓式或机械式顺序控制器。”

1982 年 11 月,国际电工委员会 (IEC) 曾颁发了可编程控制器标准草案第一稿,1985 年 1 月又发表了第二稿,1987 年 2 月发表了第三稿。在第三稿草案中对可编程控制器重新定义为“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,控制各种类型机械的生产过程。可编程控制器及其有关外围设备都按易于与工业系统联成一个整体、易于扩充其功能的原则设计。”

PLC 从诞生至今不过 30 余年的历史,由于它直接应用于工业环境,具有很强的抗干扰能力、广泛的适应能力和应用范围,目前已广泛应用于冶金、化工、矿业、机械、轻工、电力和通信等领域,成为现代工业自动化控制的重要支柱之一。

二、可编程控制器的产生

20 世纪 60 年代,在世界工业技术改造浪潮的冲击下,各工业发达国家都在寻找一种比继电器更可靠、功能更齐全、响应速度更快捷的新型工业控制装置。起初曾试图用小型计算机代替较复杂的继电器控制系统,但因成本高、I/O 电路匹配和编程技术复杂等原因,一直未能得到推广应用。直到 1968 年,美国通用汽车公司 (GM) 以用户的身份提出新一代控制器应具备十大条件后,再度掀起了开发热潮。这十大条件是:

- (1) 编程简单, 可在现场修改程序;
- (2) 维护方便, 最好是插件式;
- (3) 可靠性高于继电器控制柜;
- (4) 体积小于继电器控制柜;
- (5) 可将数据直接送入管理计算机;
- (6) 在成本上可与继电器控制器竞争;
- (7) 输入可以是交流 115 V;
- (8) 输出为交流 115 V/2 A 以上, 能直接驱动电磁阀;
- (9) 在扩展时, 原有系统只要很小变更;
- (10) 用户程序存储器容量至少能扩展到 4 K 字节。

由此可见, 美国通用汽车公司在寻找一种新型控制装置, 它尽可能减少重新设计控制系统和接线, 降低生产成本, 缩短时间, 设想把计算机功能完备、灵活、通用等优点和继电器控制系统的简单易懂、操作方便、价格便宜等优点有机地结合起来, 制造成一种通用控制装置, 并把计算机的编程方法和程序输入方式加以简化, 用面向控制对象、面向控制过程、面向用户的“自然语言”编写独特的控制程序, 使不熟悉计算机的人员也能方便地使用。

1969 年美国数字设备公司 (DEC 公司) 成功研制出世界上第一台可编程控制器 PDP-14, 并在 GM 公司的汽车自动装配线上首次使用并获得成功。接着, 美国 MODICON 公司也研制出 084 控制器, 从此, 这项新技术迅速在世界各国得到推广应用。1971 年日本从美国引进了这项新技术, 很快研制出日本第一台可编程控制器 DSC-18。1973 年西欧国家也研制出他们的第一台可编程控制器。我国从 1974 年开始研制, 1977 年开始工业推广应用。

进入 20 世纪 70 年代, 随着微电子技术的发展, 尤其是 PLC 采用通用微处理器之后, 这种控制器就不再局限于当初的逻辑运算了, 功能得到更进一步增强。进入 20 世纪 80 年代, 随着大规模和超大规模集成电路等微电子技术的迅猛发展, 以 16 位和少数 32 位微处理器构成的微机化 PLC, 使 PLC 的功能增强, 工作速度加快, 体积减小, 可靠性提高, 成本下降, 编程和故障检测更为灵活方便。现代的 PLC 不仅能实现开关量的顺序逻辑的控制, 而且具有数字运算、数据处理、运动控制以及模拟量控制, 还具有远程 I/O、网络通信和图像显示等功能, 已成为实现生产自动化、管理自动化的重要支柱。

三、可编程控制器的发展趋势

1. 发展迅速, 产品更新换代快

随着微电子技术、计算机技术和网络通信技术的不断发展, 加快了 PLC 的结构和功能的不断改进, 生产厂家将源源不断地推出功能更强的 PLC 新产品。据不完全统计表明: 平均 3~5 年 PLC 就更新换代一次, 仅日本三菱公司在小型 PLC 方面就先后推出了 F、F1、F2、FX2 和 FX0 等多种系列, 它们的性能价格比越来越高。例如, FX2 系列具有很强的数学运算功能, 有大量可供用户使用的编程空间, 存储容量达到 16 K 步 (一步: 即占用一个地址单元, 一般占两个字节), 具有转移、循环、子程序调用和多层嵌套主控等许多过去大型 PLC 才有的功能, 还具有超过许多大型 PLC 的高扫描速度, 速度高达 $0.08 \mu\text{s}/\text{步}$ 。

PLC 目前的主要发展趋势有: 首先是向体积更小、速度更快、功能 (尤其是运算功能、数

据处理功能、通信功能)更强、价格更低的微型化 PLC 发展,以适用于单机、数控机床和工业机器人的控制要求;其次是向控制、管理一体化发展,使之成为具备更完善的通信网络功能的高档大型 PLC,与计算机组成单元控制系统。

2. 开发各种智能化模块,不断增强过程控制功能

智能化 I/O 模块是以微处理器为基础的功能部件,它们的 CPU 与 PLC 的主机 CPU 并行工作,占用主机 CPU 的时间很少,有利于提高 PLC 的扫描速度。智能化模块主要有模拟量 I/O、PID 回路控制、通信控制、机械运动控制、高速计数、中断输入、BASIC 语言和 C 语言组件等。由于智能 I/O 的应用,极大地增强了过程控制功能,使某些 PLC 的过程控制具备了自适应和参数自整定功能,缩短了调试时间,提高了控制精度。

3. PLC 与个人计算机的结合

由于个人计算机价格便宜,又具有很强的数据运算、处理和分析能力,因此,其一是将个人计算机主要用作 PLC 的编程器、操作站或人/机接口终端,PLC 和个人计算机可以连在同一网络上;其二是将 PLC 计算机化,采用功能强大的微处理器和大容量存储器,将逻辑控制、模拟量控制、数字运算和通信功能融为一体,增强 PLC 与个人计算机、工业控制计算机在功能和应用上的相互渗透能力,提高控制系统的性能价格比。

4. 通信联网功能不断增强

PLC 的通信联网功能使 PLC 与 PLC 之间、PLC 与计算机之间能够交换信息,形成一个统一的整体,实现分散与集中控制。目前,PLC 之间常用双绞线、同轴电缆线或光缆连接,实现通信联网。

5. 发展新的编程语言,增强容错功能

改善和发展新的编程语言、高性能的外部图形和图形监控技术,以达到构成人/机对话的目的,目前除梯形图、功能图(或流程图)、专用语言指令外,增加了 BASIC 语言的编程功能。通过增设以微处理器为基础的智能化 I/O 模块,提高 PLC 的信息处理能力、控制功能,增强容错功能。例如,日本三菱公司的 A 系列 PLC 配备有高速计数模块、中断输入模块、定位控制模块、模拟量 I/O 模块、PID 控制模块和通信模块等 26 种功能各异的智能专用模块,简化了某些控制领域的系统设计和编程,提高了 PLC 的适应性和可靠性。

第二节 PLC 的组成及硬件配置

PLC 制造厂家很多,目前市场上有品种、规格繁多的 PLC,且各厂家均独具特色,但一般来说,PLC 的基本组成主要由中央处理单元(CPU 模块)、输入模块(或部件)、输出模块(或部件)、电源模块(或部件)和编程器等五大部分组成,如图 1-1 所示。

1. 中央处理单元(CPU 模块)

中央处理单元又称为 CPU 模块或中央控制器,它由微处理器(μP)和存储器组成,是可编程控制器的核心,其作用类似于人类的大脑。

CPU 按 PLC 的系统程序规定的功能,具备接收并存储从编程器键入的用户程序和数据;用扫描方式采集由现场输入装置送来的信号或数据,并分别存入规定的寄存器中;自诊断电源、PLC 内部电路的工作状态和编程过程中的语法错误等。当 PLC 进入工作运行状态后,从用户

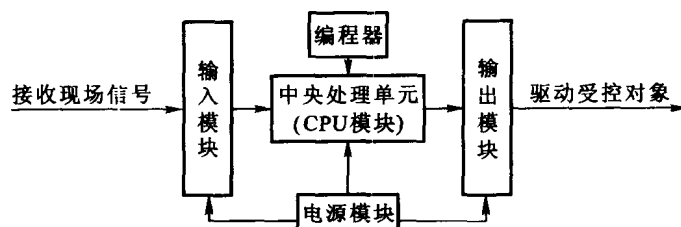


图 1-1 PLC 基本组成

程序存储器中逐条读取指令，经解释后再按指令规定的任务产生相应的控制信号，去启闭有关的控制电路，然后分时、分渠道地去执行数据存取、传送、组合、比较和转换等操作，完成用户程序中规定的逻辑运算或算术运算的任务；根据处理结果，自动更新有关标志位的状态和输出状态寄存器的内容，实现输出控制、制表打印或数据通信等功能。

目前 PLC 均配有系统程序存储器和用户程序存储器。前者用于存放系统工作程序（或监控程序）、模块化应用功能子程序、命令解释、功能子程序的调用管理程序以及按对应定义（如 I/O、内部继电器、计时/计数器和移位寄存器等）存储各种系统参数等。后者用于存放用户程序，即存放通过编程器输入到用户程序或用户编制的梯形图等程序。因系统程序关系到 PLC 的性能，不能由用户直接存取，故 PLC 使用说明中所列存储器类型及其参数，均系用户存储器，其存储容量一般以步（即 2 个字节）为基本单位。

CPU 模块的工作电压一般是 5 V，而 PLC 的 I/O 信号电压一般较高，有直流 24 V 和交流 220 V，在使用时，要防止外部尖峰电压和干扰噪声侵入，以免损坏 CPU 模块中的部件或影响 PLC 正常工作。因此，CPU 模块不能直接与外部输入/输出装置相连接，I/O 模块除了传递信号外，还需进行电平转换与噪声隔离。

2. 输入/输出模块 (I/O 模块)

输入/输出模块是 CPU 和现场 I/O 装置或其他外部设备之间的连接部件。

输入模块 (I 模块) 一般由输入接口、光电耦合器、PLC 内部电路输入接口和驱动电源等 4 部分组成。图 1-2 所示为输入模块电路构成示意图。输入模块可以用来接收和采集两种类型的输入信号：一种是由按钮联、选择开关、数字拨码开关、限位开关、接近开关、光电开关、压力继电器或速度继电器等提供的开关量（或数字量）输入信号；另一种是由电位器、热电偶、测速发电机或各种变送器提供的连续变化的模拟信号。

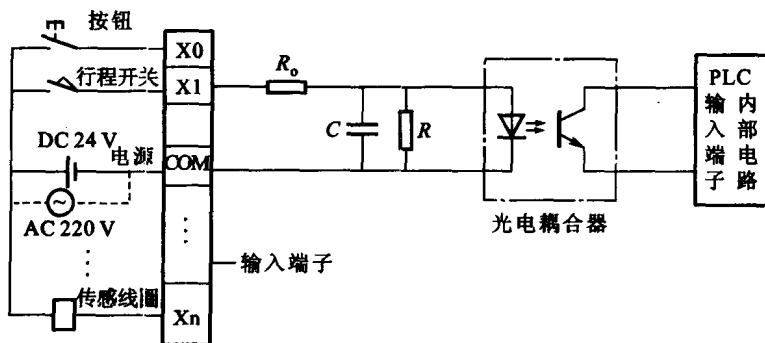


图 1-2

输出模块（O 模块）一般由 PLC 内部电路输出接口、光电耦合器、输出接口和驱动电源等 4 部分组成。图 1-3 所示为输出模块电路构成示意图。输出模块可以控制接触器、电磁阀、电磁铁和调节阀调节装置等执行对象，并反映外部负载工作状态，如指示灯、数字显示器与报警装置等。

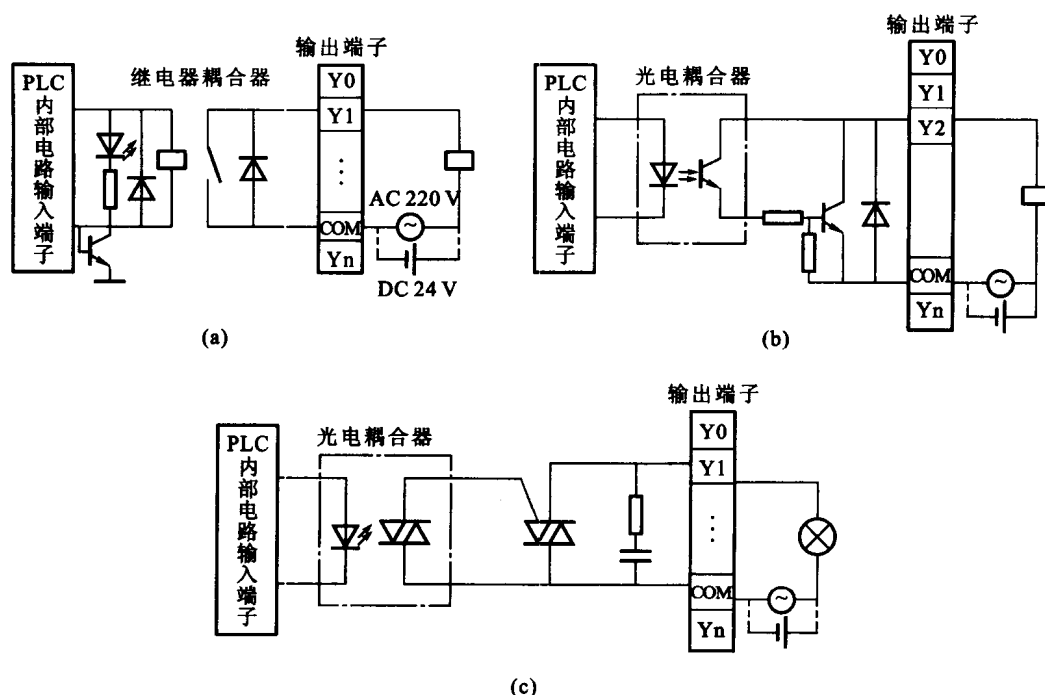


图 1-3

3. 编程器

编程器用于用户程序的编制、调试检查和监视，还可通过键盘调用和显示 PLC 的一些内部状态和系统参数。编程器可以永久地接在 PLC 上，一般只在程序输入、调试阶段和检修时使用，一台编程器可供多台 PLC 使用。编程器有简易型和智能型两大类，前者只能在联机状态下，通过其键盘上梯形图的语言键符和屏幕对话方式完成编程。后者可以在联机状态或脱机状态下，通过其键盘输入语言键符和直接输入梯形图两种方式完成编程。

4. 电源

电源为 PLC 内部电路提供能源。根据 PLC 设计特点，它对电源无特殊要求，可使用一般工业电源，即 220 V 交流电源，它内部的直流稳压电源为各模块内的电路或部件提供电源。为了防止因外部电源发生故障，造成 PLC 内部重要数据丢失，故一般备有后备电源。

第三节 PLC 的工作原理

PLC 运行时，CPU 不能同时去执行多个操作，只能按分时操作原理运行，即每一时刻执行一个操作，完成一个动作，随着时间的自然延伸，一个动作接一个动作地顺序执行下去。这

种分时操作过程叫做 CPU 对程序的扫描。PLC 的工作过程就是 CPU 扫描程序的执行过程。这些操作过程大致分为以故障诊断处理为主的公共操作、联系工业控制现场的数据输入和输出的操作、执行和服务于外部设备命令的操作（若外部设备有中断请求）等四大类。

1. 公共操作

公共操作是在每次扫描程序前的又一次自检，若发现故障，除通过指示灯显示出故障外，还自动判断故障性质。一般性故障，只报警不停机，等待处理；对于严重故障，则停止用户程序的运行，关闭 PLC 的一切输出信号及切断相关的输出联系。

2. 数据输入/输出操作

数据输入/输出操作也称为 I/O 状态刷新。它完成采样输入信号（即刷新输入状态表的内容）和输出处理结果（即按输出状态表的内容刷新输出电路）两种操作，实现采样—处理—输出—控制对象的整个工作过程的控制。

3. 执行用户程序

执行用户程序是在监控定时器工作正常的条件下，CPU 开始执行扫描程序，将存放在存储器中的用户程序，按顺序从零步开始，逐条解释和执行，直到执行 END 指令才结束对用户程序的扫描。PLC 这种周而复始的循环扫描工作方式如图 1-4 所示。若程序在执行过程中因某种干扰使扫描失控或进入死循环，监控定时器会发出超时报警信号，使程序重新开始执行。如果这种超时属于偶然因素所致，重新扫描程序执行后会自动转入正常运行。否则属于不可恢复的确定性故障，系统自动地停止执行用户程序，切断外部负载并发出故障信号，等待故障排除处理。

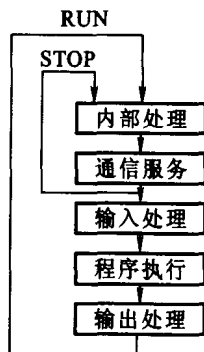


图 1-4 扫描过程示意图

4. 执行外设命令

每次执行完用户程序后，就进入通信服务外设命令的操作。外设的命令不会影响系统的正常运行，只会使系统的控制和管理更优化。如果没有外设命令，则系统就会自动循环地扫描运行。

为了加强对 PLC 工作过程的理解，下面以三相异步电动机的控制电路为例，说明 PLC 的工作过程和 CPU 扫描程序的执行过程。

图 1-5 所示为用交流接触器控制三相异步电动机运行的主电路及控制电路和有关的输入/输出的波形图。按下启动按钮 SB1，交流接触器线圈 KM 带电吸合，KM 辅助动合触点闭合形成“自保持”或“自锁”，KM 三对主触点闭合，接通三相交流电源，使电动机开始运行。当需停机时，按下停止按钮 SB2，接触器线圈 KM 失电，KM 动合触点返回断开，电动机断电停机。

PLC 用户程序控制功能的外部接线和梯形图如图 1-6 所示。其中，图（a）是 PLC 外接线图，SB1 和 SB2 分别接在编号为 400 和 401 的 PLC 的输入端，接触器 KM 的线圈接在编号为 430 的 PLC 的输出端。图（b）为 3 个输入/输出量对应的 I/O 映象寄存器，图（c）为 PLC 的梯形图，它的功能和用户继电器电路的控制功能相同。梯形图也是一种软件，是 PLC 图形化后的程序，图中 X400 等是梯形图中的编程元件。图（c）中的 X400 与接在图（a）中的输入端子 400 的 SB1 的动合触点以及图（b）中的输入映象寄存器 X400 是相互对应的。

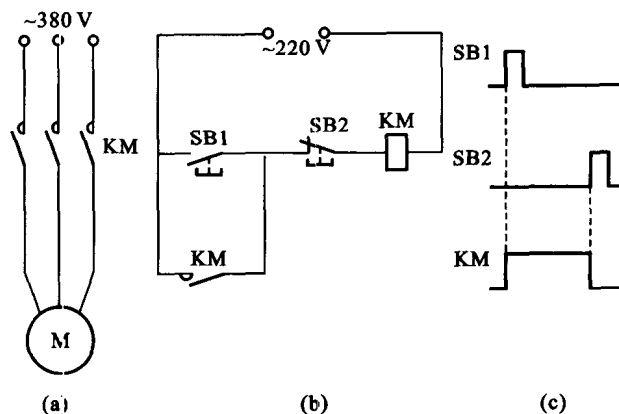


图 1-5 三相异步电动机控制电路

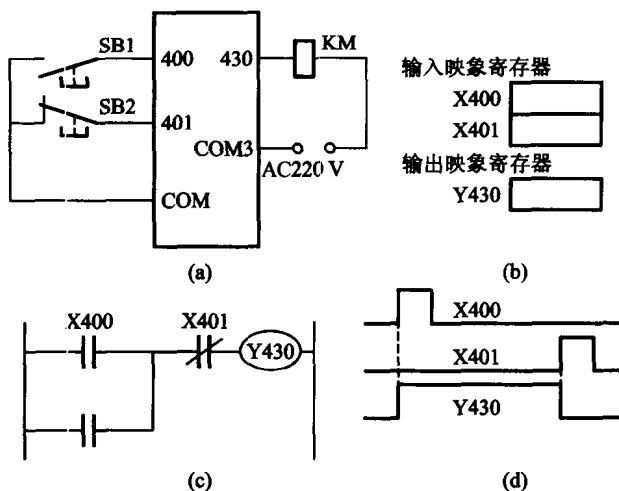


图 1-6 PLC 的外部接线和梯形图

三相异步电动机的运行状态和 PLC 的工作状态一样，均存在两种基本的工作状态，即运行（RUN）状态和停止（STOP）状态。在运行状态，PLC 通过执行反映控制要求的用户程序来实现控制功能。同时，为了能使 PLC 的输出状态及时地反映随时可能发生变化的输入信号，用户程序不是只执行一次，而是不断地循环执行，直到停机或切换到 STOP 工作状态。

当 PLC 处于停止状态时，只执行以上的停机操作；而 PLC 处于运行状态时，还要完成输入处理、程序执行和输出处理等三个阶段的操作。在 PLC 的内部寄存器中，设置了一定数量的用来存放输入信号和输出信号状态的寄存器，分别称为输入映像寄存器和输出映像寄存器。PLC 梯形图中的编程元件也有对应的映像存储区域，它们统称为映像寄存器。

与用户程序执行过程有关的三个阶段，如图 1-7 所示。

（1）输入处理阶段 PLC 把外部输入信号的接通/断开（ON/OFF）状态读入到输入映像寄存器中。当进入程序执行阶段后，即使外部输入信号的状态发生任何变化，输入映像寄存器的状态将被锁定不变，输入信号变化后的状态只能在下一个扫描周期的输入处理阶段被读入。

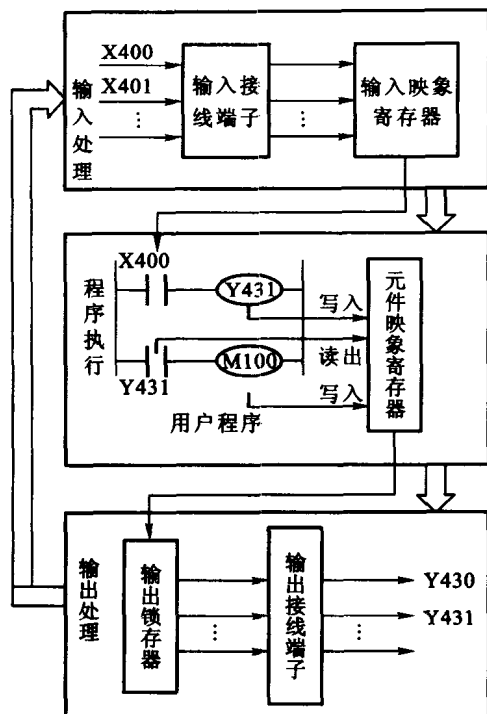


图 1-7 PLC 扫描过程图

(2) 程序执行阶段 PLC 的用户程序是由若干条指令组成，指令按步序号顺序排列存放在存储器中。在没有跳转指令时，CPU 只能从第一条指令开始逐条顺序地执行用户程序，直到用户程序结束（END）处。若在执行指令时，从输入映像寄存器或其他元件映像寄存器中将有关编程元件的通/断状态读出，并按指令要求执行相应的逻辑运算，再将运算结果写入到对应的元件映像寄存器中，故各编程元件的映像寄存器（输入映像寄存器除外）中的内容都随程序的执行过程而发生改变。

(3) 输出处理阶段 CPU 将输出映像寄存器的通/断状态传送到输出锁存器中，经输出模块隔离和功率放大后，驱动外部的负载。

第四节 PLC 的特点及应用

一、PLC 的特点

1. 可靠性高、抗干扰能力强

工业生产一般将控制设备的可靠性作为首选条件，同时还应考虑具有很强的抗干扰能力，能在恶劣的工作环境中可靠地工作，平均故障间隔时间长，故障修复时间短。目前，PLC 采取了一系列硬件和软件抗干扰措施，从而提高了可靠性。

2. 通用性强，适应性强

由于 PLC 的系列化和模块化，增强了硬件配置的灵活性，可组合成满足各种控制要求的

控制系统，通用性强。在硬件配置确定后，通过适当修改用户程序，可方便快捷地适应工艺条件的变化，适应性强。

3. 硬件配套齐全，用户使用方便

PLC 配备有各类硬件装置供用户选用，在硬件方面用户只是确定 PLC 的硬件配置和设计外部接线方案而已。目前，PLC 的安装接线均由厂家提供了各种外部接线所对应的接线端子，因此减少了设计及施工工作量。

4. 编程简单，使用方便

考虑到企业中一些电气技术人员和车间操作人员的传统读图习惯与微机应用水平，目前 PLC 均采用继电器控制形式的“梯形图编程方式”和应用梯形图语言。这是一种直接面向用户的高级语言，操作人员只需几天的简单培训，就可以熟悉梯形图语言，并用来编制用户程序。

5. 减少控制系统的设计、安装和调试工作量

由于 PLC 采用软件功能，取代了继电器控制系统中大量使用的各类继电器，使控制柜的设计、安装和接线工作量大大减少。同时，PLC 又采用智能模块化设计，能事先进行各类模块功能化的模拟调试，更减少了现场的调试工作量，又大大减少了相应的维修工作量。

6. 功能完善

现代 PLC 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、功率驱动、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，应用范围更广泛。

7. 体积小，重量轻，能耗低

由于 PLC 是专为工业控制而设计，故其结构紧凑、坚固且体积小，又由于具有很强的抗干扰能力，易于装入机械设备内部，重量轻，能耗小，因而成为目前实现“机电一体化”较为理想的控制设备。

鉴于 PLC 具备以上特点，实现了将微型计算机技术与继电器控制技术很好地融合在一起，最近又将 DDC（直接数字控制）技术加入其中，具有与监控计算机联网的功能，使它成为改造传统机械产品，构成机电一体化的新一代产品和实现机械工业自动化的控制核心。

二、PLC 的应用

在工业发达国家，PLC 已经广泛应用于冶金、矿业、石化、电力、机械、交通运输、环保和娱乐等各行业，并且随着 PLC 的性能价格比的不断提高，PLC 逐步取代专用计算机占领的领域，使 PLC 的应用范围日益扩大。目前，PLC 的应用范围大致可以分为以下五大类型。

1. 顺序控制

顺序控制是 PLC 应用最广泛的领域，它取代了传统的继电器顺序控制，常应用于单台电动机控制、多机群控制和自动生产线控制。例如，机床电气控制，冲压、铸造机械控制，包装、印刷机械控制，电镀生产线，啤酒，饮料灌装生产线，汽车装配生产线，电视机、冰箱、洗衣机生产线和电梯控制等。

2. 运动控制

运动控制是 PLC 用于直线运动或圆周运动的控制，目前，许多 PLC 制造商已提供了拖动步进电机或伺服电机的单轴或多轴位置控制模块。在多数情况下，PLC 能把描述目标位置的数

据送给模块,控制模块移动一轴或数轴到达目标位置,当每个轴移动时,位置控制模块能保持适当的速度和加速度,确保运动的平滑性。位置控制模块装置具有体积小、价格低、速度快、操作方便等优点,而被广泛地应用于各种机械设备中,如金属切削机床、金属成形设备、装配设备、机器人和电梯等。

3. 过程控制

过程控制是指 PLC 对温度、压力、流量、速度、转速、电压或电流等连续变化的模拟量实现闭环控制。如 PLC 通过模拟量 I/O 模块,实现模拟量 (ANALOG) 和数字量 (DIGITAL) 之间的 A/D、D/A 转换,并对模拟量进行闭环 PID 控制。目前,大、中型 PLC 一般都具有 PID 闭环控制功能,这一功能可以用 PID 子程序完成,也可以用专用的智能 PID 模块代替。PLC 的模拟量 PID 控制功能已被广泛地应用于塑料挤压成形机、加热炉、热处理炉和锅炉等过程控制。

4. 数据处理

目前 PLC 已具备各类数字运算 (包括矩阵运算、函数运算和逻辑运算等)、数据传递、转换、排序、查表和位操作等功能,可以按要求完成数据的采集、分析和处理,并将这些数据与存储在存储器中的参数值进行比较,或通过通信设备传送到别的智能装置,或将它们打印和制表。数据处理一般用于大、中型自动控制系统,例如柔性制造系统、过程控制系统和机器人的控制系统。

5. 通信网络

PLC 通信网络包括与 PC 之间的通信、PLC 与其他智能化控制设备之间的通信等。PLC 和计算机均具有 RS-232 接口,可用双绞线、同轴电缆或光缆实现互联网,达到信息的交换,构成“集中管理、分散控制”的分布式控制系统。目前,PLC 与 PLC 之间的网络通信是各厂家专用的,尚缺乏通用性。关于 PLC 与计算机之间的网络通信,有一些 PLC 厂家在考虑采用工业标准总线和逐步向标准通信协议 (MAP) 靠拢。

当然,并不是所有的 PLC 均具备上述全部应用领域的功能,有些小型 PLC 只具备上述部分应用领域的功能,但其价格也相对低得多。

第五节 PLC 与其他工业控制系统的比较

一、PLC 与微机的比较

从微型计算机的应用范围来说,微机是通用机,PLC 是专用机;微机是在以往计算机与大规模集成电路的基础上发展起来的,具有运算速度快、功能强、应用范围广的特征,而 PLC 是为工业控制环境设计的专用机,通过选配相应的模块以适用于各种工业控制系统的需求。它们主要差异如下:

- (1) PLC 抗干扰性能比微机高;
- (2) PLC 编程比微机简单,易学易用;
- (3) PLC 设计调试周期短;
- (4) PLC 的输入/输出响应速度慢,有较大的滞后现象 (一般为 10^{-3} s 数量级),而微机的

响应速度快（一般为 10^{-6} s 数量级）；

（5）PLC 易于操作，易于维修，人员培训时间短，而微机操作、维修较困难，人员培训时间长。

今后随着 PLC 功能的不断完善、增强，越来越多地采用了微机技术，同时微机也不断向提高可靠性、耐用性与便于维修等方向发展，两者相互渗透，差异将越来越小。

二、PLC 与继电器控制系统的比较

PLC 的指令系统采用梯形图语言，它与继电器控制原理图十分相似，并沿用了继电器控制电路的元件符号，两者具有许多相似之处。传统的继电器控制只能进行开关量的控制，而 PLC 可进行开关量和模拟量的控制，能与计算机联机实现分级控制。它们的区别主要是：

（1）组成的器件不同。继电器控制线路由许多硬件继电器组成，而 PLC 由许多“软件继电器”组成，通过存储器的触发器置 1 或置 0 实现用户控制功能。

（2）触点的数量不同。继电器的触点数较少，一般只有 4~8 对，而触发器的状态可以取用任意次，软继电器的触点数为无限对。

（3）控制方法不同。继电器控制系统是通过元件之间的硬接线实现，功能专一，缺乏灵活性，体积庞大，安装维修不方便，而 PLC 控制功能是通过软件编程完成，功能调整 and 改变容易便捷，控制灵活。

（4）工作方式不同。在继电器控制系统中，当接通电源时，线路中各继电器均处于受制约状态，工作方式是并行的，而在 PLC 梯形图中，各软件继电器均处于周期性循环扫描接通中，工作方式是串行的。

思考题与习题

- 1-1 当代 PLC 技术的发展动向是什么？
- 1-2 构成 PLC 的主要部件有哪些？各部件的主要作用是什么？
- 1-3 与传统继电器控制系统相比，PLC 主要有什么优点？
- 1-4 简述 PLC 的工作原理。
- 1-5 PLC 为什么会有很高的可靠性？

第二章 可编程控制器的指令系统

第一节 PLC 常用编程语言

PLC 是专为工业自动化控制而开发、研制的自动控制装置，在总体设计上尽量避开微机所采用的编程语言，而直接采取面向生产一线的电气技术人员及操作维修人员、面向生产控制过程、面向控制对象的“自然语言”编写控制程序。这些用于编程自然语言有：梯形图（Ladder Diagram）、指令表（Instruction List）、功能图（Function Block Diagram）、高级语言和逻辑方程式（或布尔代数式）等 5 种常用编程语言，如图 2-1 所示。下面介绍目前常用的几种编程语言。

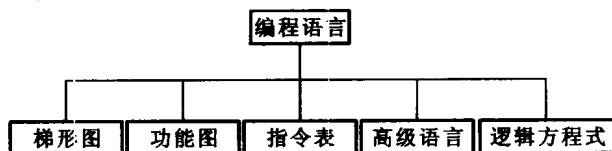


图 2-1 PLC 的编程语言

一、梯形图编程语言

梯形图语言是一种图形语言，它沿用继电器的触点、线圈、串并联等术语和图形符号，并增加了一些继电器控制系统没有的控制符号。梯形图形象、直观，易于被熟悉继电器控制系统的电气技术人员所掌握，因而被广泛地使用，且被厂家作为第一编程语言设计。有时把梯形图叫做电路或程序。把梯形图的设计叫做编程，梯形图和继电器控制图的几种常见图形符号对应关系见表 2-1。

表 2-1 梯形图和继电器常见图形符号对应关系表

单 元	I/O 点 数	型 号
混 合	4/4	FX-8ER
输 出	0/8	FX-8EY
	0/16	FX-16EY
输 入	8/0	FX-8EX
	16/0	FX-16EX
特 殊	16/8	FX-24EI

二、指令表语言（或助记符语言）

指令表语言就是助记符语言，用来表示 PLC 的各种操作功能，有的厂家将指令称为语句，