

汪晓光 孙晓瑛 王艳丹 编著

可编程控制器 原理及应用

上册



机械工业出版社

可编程控制器原理及应用

上 册

汪晓光 孙晓瑛 王艳丹 编著

机 械 工 业 出 版 社

(京)新登字 054 号

内 容 简 介

本书主要介绍松下电工的可编程控制器(PLC)产品——FP1的原理及应用。其中,第一篇介绍了PLC的工作原理及组成、编程语言及方法、FP1的功能及指令、NPST-GR软件使用方法,以及FP1应用实例;第二篇介绍了实验的预备知识、上机操作练习、基本实验和综合实验,以及特殊指令和功能的应用实验;第三篇列出了各种实用的速查表。

本书可作为高等院校有关专业的教材,也可作为从事PLC工作的工程技术人员的参考书。

可编程控制器原理及应用

上 册

汪晓光 孙晓瑛 王艳丹 编著

责任编辑:陈国华 版式设计:李松山
封面设计:姚 毅 责任校对:王 丽

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京京建照排厂照排

北京房山区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787 × 1092 1/16 · 印张 10.75 · 字数 286 千字
1994年11月北京第1版 · 1994年11月北京第1次印刷

印数 0 001 — 2525 定价:9.80 元

ISBN 7-111-04267 · 0/TP · 228(G)

前 言

可编程控制器(PLC)作为传统继电接触控制装置的替代产品已广泛应用于工业控制的各个领域。由于它可通过软件来改变控制过程,而且具有体积小、组装灵活、编程简单、抗干扰能力强及可靠性高等特点,非常适合于在恶劣的工业环境下使用,故自 60 年代末第一台 PLC 问世以来,已很快被应用到机械制造、冶金、矿业、轻工等各个领域,大大推进了机电一体化的进程。

为了适应 PLC 日益广泛应用的形势,全国各高等院校已经或正在逐步将 PLC 引入教学。清华大学电机系电工学教研组自 1992 年起,已陆续在选修课及电工学课程中讲授了这方面的知识。本书就是根据教学需要而编写的。全书分上、下两册:上册主要介绍小型 PLC——FP1 机的功能、指令及使用方法;下册主要介绍中型 PLC——FP3 机的性能和使用方法。上册第一篇第一~四章由汪晓光编写,第五章由孙晓瑛编写,第六章由汪晓光、孙晓瑛和王艳丹编写;第二、三篇由孙晓瑛、王艳丹编写。下册正在编写之中,争取尽早与读者见面。该书虽然以介绍日本松下电工的 PLC 产品为主,但其基本原理及使用方法很容易推广到其他产品上。

本书由王鸿明教授和张贵媛副教授审阅,并提出了许多宝贵意见。在编写过程中,还得到清华大学电工学教研组其他许多同志的热情支持。在此一并表示感谢。

由于时间仓促,加之水平有限,书中难免有错误和不妥之处,欢迎读者批评指正。

编者

目 录

第一篇 原 理

第一章 可编程控制器的一般原理及组成	1
第一节 概述	1
第二节 PLC 的基本结构及工作原理	1
一、PLC 的基本结构	1
二、PLC 的工作原理	3
第三节 PLC 的技术性能	4
一、基本技术性能	4
二、关于 PLC 的内存分配及 I/O 点数	5
第四节 PLC 的特点及应用场合	7
一、PLC 的特点	7
二、PLC 的应用场合	7
第二章 PLC 的编程	9
第一节 PLC 的编程语言	9
一、梯形图语言	9
二、助记符语言	10
第二节 PLC 的编程方法	12
一、编程技巧	12
二、编程举例	13
第三章 松下电工可编程控制器产品——FPI 介绍	17
第一节 概述	17
第二节 FPI 的内部寄存器及 I/O 配置	17
第三节 FPI 的指令系统	20
一、基本指令	21
二、数据传送指令	26
三、算术运算指令	28
四、移位指令	32
五、位操作指令	34
六、数据变换指令	34
第四节 FPI 编程举例	36
一、物流检测	36
二、行车方向控制	37
第四章 FPI 的特殊功能及指令	39

第一节 FP1 的特殊功能简介	39
一、脉冲输出	39
二、高速计数器(HSC)	39
三、输入延时滤波	41
四、脉冲捕捉功能	42
五、中断功能	43
六、特殊功能的优先权排队	46
第二节 FP1 的特殊指令及应用	48
一、速度及位置控制指令(SPD0)	49
二、转移控制指令	51
三、步进指令(NSTP、SSTP、CSTP、STPE)	53
四、码变换指令	56
五、打印输出指令	60
第三节 FP1 的高级模块	62
一、A/D 转换模块	63
二、D/A 转换模块	65
第四节 FP1 的通信功能	66
一、通信方式	66
二、通信协议	68
三、FP1 与计算机通信的实现	70
第五章 NPST-GR 软件使用介绍(汉化 3.1 版本)	74
第一节 NPST-GR 简介	74
一、概述	74
二、计算机与 PLC 的联接及软件介绍	75
三、几种基本使用方式	76
四、NPST-GR 的功能窗口调用关系	77
五、编程屏介绍	77
六、菜单屏介绍	79
第二节 NPST-GR 功能总览	79
一、菜单功能总览	79
二、NPST 功能适用条件的限定	81
三、菜单功能的选择	83
第三节 常用功能的基本操作及应用举例	83
一、使用前硬件及软件的准备	83
二、建立程序	83
三、编辑程序	85
四、程序管理	86
五、PLC 运行监控	89
六、NPST-GR 系统与 PLC 系统参数的设置	91
七、编辑注释	91
第六章 FP1 应用程序实例	97

第一节 冲压机控制程序	97
一、控制系统示意图	97
二、工作流程图	97
三、动作时序图	97
四、程序清单	98
第二节 自动售货机控制程序	98
一、动作要求	98
二、I/O 分配表及程序清单	98
第三节 加工中心自动换刀控制程序	100
一、工作原理及动作要求	100
二、I/O 分配表	100
三、参考程序	101
第四节 机械手控制程序	103
一、动作要求	103
二、I/O 分配表	103
三、参考程序	103
第五节 一维位置控制程序	106
一、I/O 分配表	106
二、参考程序	106
三、程序说明	106
第六节 日历钟设置	108
一、说明	108
二、I/O 分配表	108
三、参考程序	108

第二篇 实 验

第一部分 预备知识	110
一、键盘介绍	110
二、指令输入方式	112
三、OP 功能的使用	113
第二部分 上机操作练习	118
实验一 键盘及编辑命令练习	118
实验二 基本指令练习	121
第三部分 基本实验	124
实验一 传输指令的应用	124
实验二 定时指令的应用	124
实验三 计数指令的应用	125
实验四 几种数据移位指令的应用	126
实验五 算术运算指令的应用	127

第四部分 综合实验	128
实验一 送料小车控制	128
实验二 十字路口交通灯控制	129
实验三 乒乓球比赛模拟控制	132
实验四 两种液体的混合装置控制	133
实验五 三层楼电梯自动控制	134
第五部分 特殊指令及功能的应用实验	137
实验一 中断控制	137
实验二 子程序	139
实验三 A/D、D/A 的应用	141
实验四 可调输入的应用	142

第三篇 附 录

附录一 特殊内部继电器一览表	144
附录二 特殊数据寄存器一览表	146
附录三 系统寄存器一览表	148
附录四 键盘指令表	150
附录五 非键盘指令表(SC 键调出)	151
附录六 扩展功能指令表	152
附录七 OP 功能表	164
附录八 输入、输出规格表	162
附录九 PLC 输入、输出接口方式	163
参考文献	164

第一篇 原 理

第一章 可编程控制器的一般原理及组成

第一节 概 述

可编程控制器的起源可以追溯到 60 年代。美国通用汽车(GM)公司为了适应汽车型号不断翻新的需要,提出希望有这样一种控制设备:

(1)它的继电控制系统设计周期短,更改容易,接线简单,成本低。

(2)它能把计算机的许多功能和继电控制系统结合起来,但编程又比计算机简单易学、操作方便。

(3)系统通用性强。

1969 年美国 DEC 公司研制出第一台可编程控制器,用在 GM 公司生产线上获得成功。其后日本、德国等相继引入,可编程控制器迅速发展起来。但这一时期它主要用于顺序控制,虽然也采用了计算机的设计思想,但实际只能进行逻辑运算,故称为可编程逻辑控制器,简称 PLC (Programmable Logic Controller)。

进入 80 年代,随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展,才使得可编程控制器有了突飞猛进的发展。其功能已远远超出逻辑控制、顺序控制的范围,故称为可编程控制器简称 PC (Programmable Controller)。但由于 PC 容易和个人计算机(Personal Computer)混淆,故人们仍习惯地用 PLC 作为可编程控制器的缩写。

目前 PLC 功能日益增强,可进行模拟量控制、位置控制。特别是远程通信功能的实现,易于实现柔性加工和制造系统(FMS),使得 PLC 如虎添翼。无怪乎有人将 PLC 称为现代工业控制的三大支柱(即:PLC、机器人和 CAD/CAM)之一。

目前 PLC 已广泛应用于冶金、矿业、机械、轻工等领域,为工业自动化提供了有力的工具,加速了机电一体化的实现。

第二节 PLC 的基本结构及工作原理

一、PLC 的基本结构

目前 PLC 生产厂家很多,产品结构也各不相同,但其基本组成部分大致如图 1.1-1 和图 1.1-2 所示。

由图可以看出,PLC 采用了典型的计算机结构,主要包括 CPU、RAM、ROM 和输入、输出接口电路等。其内部采用总线结构,进行数据和指令的传输。如果把 PLC 看作一个系统,该系统由输入变量→PLC→输出变量组成,外部的各种开关信号、模拟信号、传感器检测的各种信号

均作为 PLC 的输入变量,它们经 PLC 外部输入端子输入到内部寄存器中,经 PLC 内部逻辑运算或其他各种运算、处理后送到输出端子,它们是 PLC 的输出变量。由这些输出变量对外围设备进行各种控制。这里可以将 PLC 看作一个中间处理器或变换器,以将输入变量变换为输出变量。

下面结合图 1.1-1、图 1.1-2 具体介绍各部分的作用。

1. CPU

CPU 是中央处理器(Centre Processing Unit)的英文缩写。它作为整个 PLC 的核心,起着总指挥的作用。它主要完成以下功能:

- (1)将输入信号送入 PLC 中存储起来。
- (2)按存放的先后顺序取出用户指令,进行编译。
- (3)完成用户指令规定的各种操作。
- (4)将结果送到输出端。
- (5)响应各种外围设备(如编程器、打印机等)的请求。

目前 PLC 中所用的 CPU 多为单片机,在高档机中现已采用 16 位甚至 32 位 CPU,功能极强。

2. 存储器

PLC 内部存储器有两类:一类是 RAM(即随机存取存储器),可以随时由 CPU 对它进行读出、写入;另一类是 ROM(即只读存储器),CPU 只能从中读取而不能写入。RAM 主要用来存放各种暂存的数据、中间结果及用户正在调试的程序,ROM 主要存放监控程序及用户已调试好的程序,这些程序都事先烧在 ROM 芯片中,开机后便可运行其中程序。

3. 输入、输出接口电路

它起着 PLC 和外围设备之间传递信息的作用。为了保证 PLC 可靠工作,设计者在 PLC 的接口电路上采取了不少措施。常用接口电路的结构如图 1.1-3 所示。由图可见,这些接口电路有以下特点:

- (1)输入采用光电耦合电路,可大大减少电磁干扰。
- (2)输出也采用光电隔离并有三种方式,即继电器、晶体管和晶闸管。这使得 PLC 可以适合各种用户的不同要求。如低速、大功率负载一般采用继电器输出;高速大功率则采用晶闸管输出;高速小功率可用晶体管输出等等。而且有些输出电路做成模块式,可插拔,更换起来十分方便。

除了上面介绍的这几个主要部分外,PLC 上还配有和各种外围设备的接口,均用插座引出

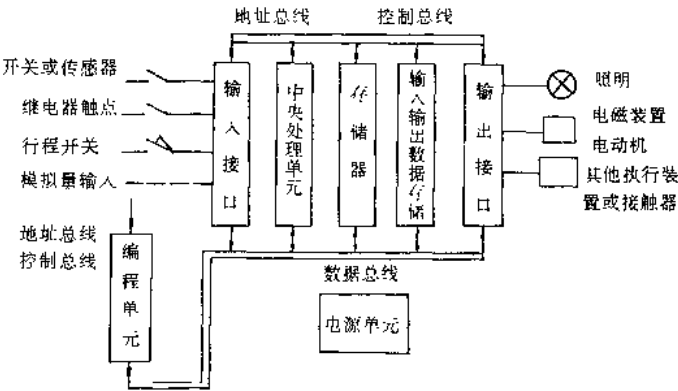


图 1.1-1 PLC 结构示意图

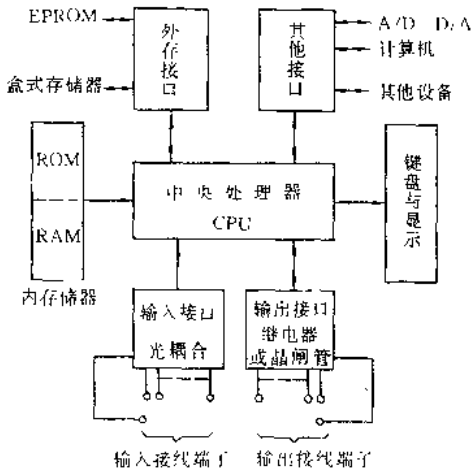


图 1.1-2 PLC 逻辑结构示意图

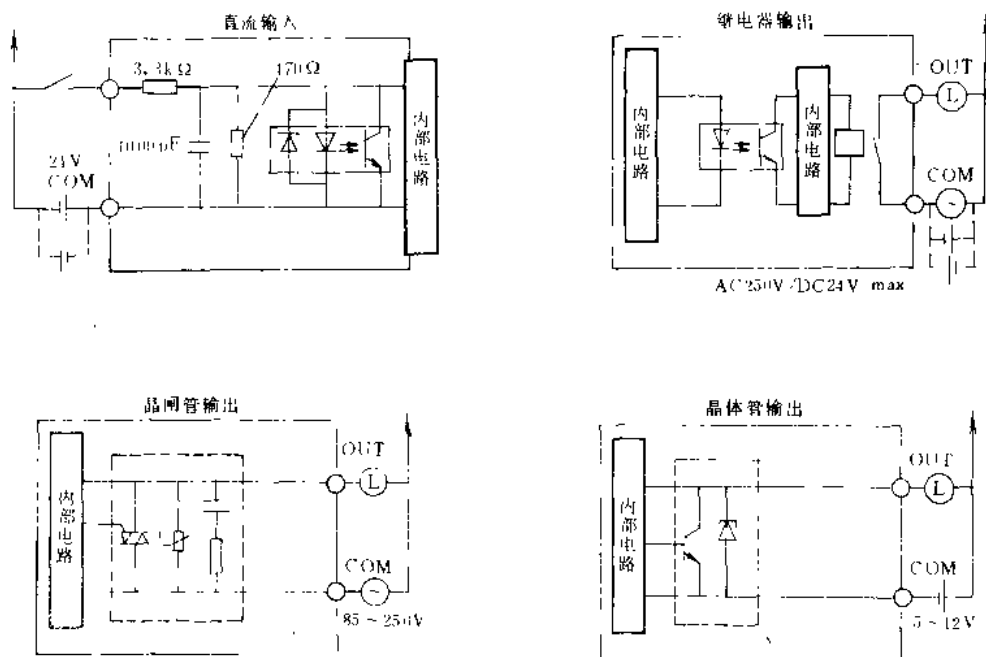


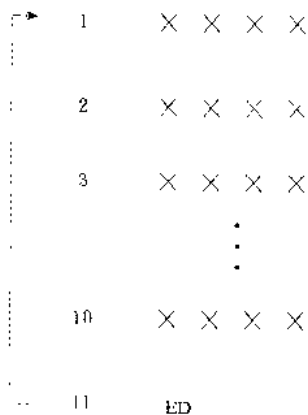
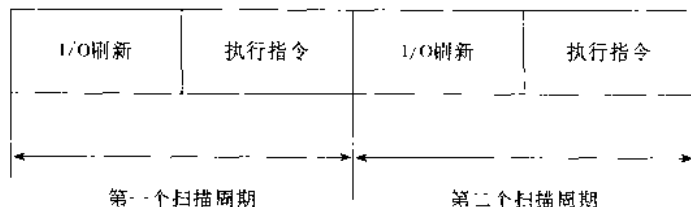
图 1.1.3 PLC 常用输入、输出接口电路

到外壳上,可配接编程器、打印机、录音机以及 A/D、D/A、串行通信模块等,可以十分方便地用电缆进行连接。

二、PLC 的工作原理

PLC 虽具有微机的许多特点,但它的工作方式却与微机有很大不同。微机一般采用等待命令的工作方式,如常见的键盘扫描方式或 I/O 扫描方式,有键按下或 I/O 动作,则转入相应的子程序,无键按下,则继续扫描。PLC 则采用循环扫描工作方式。在 PLC 中,用户程序按先后顺序存放,如右图所示。

CPU 从第一条指令开始执行程序,直至遇到结束符后又返回第一条。如此周而复始不断循环。每一个循环称为一个扫描周期。一个扫描周期大致可分为 I/O 刷新和执行指令两个阶段,即



所谓 I/O 刷新即对 PLC 的输入进行一次读取,将输入端各变量的状态重新读入 PLC 中存入内部寄存器,同时将新的运算结果送到输出端。这实际是将存放输入、输出状态的寄存器内容进行了一次更新,故称为“**I(输入)/O(输出)刷新**”。

由此可见,若输入变量在 I/O 刷新期间状态发生变化,则本次扫描期间输出端也会相应地发生变化,或者说输出对输入产生了响应。反之,若在本次 I/O 刷新之后,输入变量才发生变

化,则本次扫描输出不变,即不响应,而要到下一次扫描期间输出才会产生响应。由于 PLC 采用循环扫描的工作方式,所以它的输出对输入的响应速度要受扫描周期的影响。扫描周期的长短主要取决于这几个因素:一是 CPU 执行指令的速度,二是每条指令占用的时间,三是指令条数的多少,即程序的长短。

对于慢速控制系统,响应速度常常不是主要的,故这种工作方式不但没有坏处反而可以增强系统抗干扰能力。因为干扰常是脉冲式的、短时的,而由于系统响应较慢,常常要几个扫描周期才响应一次,而多次扫描后,瞬间干扰所引起的误动作将会大大减少,故增加了抗干扰能力。

但对控制时间要求较严格、响应速度要求较快的系统,这一问题就须慎重考虑。应对响应时间作出精确的计算,精心编排程序,合理安排指令的顺序,以尽可能减少扫描周期造成的响应延时等不良影响。

总之,采用循环扫描的工作方式,是 PLC 区别于微机和其他控制设备的最大特点,使用者应充分注意。

第三节 PLC 的技术性能

各厂家的 PLC 产品技术性能各不相同,且各有特色,这里不可能一一介绍,只能介绍一些基本的技术性能。

一、基本技术性能

1. 输入/输出点数(即 I/O 点数)

即指 PLC 外部输入、输出端子数。这是最重要的一项技术指标。

2. 扫描速度

一般以执行 1000 步指令所需时间来衡量,故单位为 ms/k,有时也以执行一步指令的时间计,如 $\mu\text{s}/\text{步}$ 。

3. 内存容量

一般以 PLC 所能存放用户程序的多少衡量。在 PLC 中程序指令是按“步”存放的(一条指令往往不止一“步”),“步”占用一个地址单元,一个地址单元一般占两个字节。如一个内存容量为 1000 步的 PLC 可推知其内存为 2K 字节。

4. 指令条数

这是衡量 PLC 软件功能强弱的主要指标。PLC 具有的指令种类越多,说明其软件功能越强。

5. 内部寄存器

PLC 内部有许多寄存器用以存放变量状态、中间结果、数据等。还有许多辅助寄存器可供用户使用,这些辅助寄存器常可以给用户提供许多特殊功能,以简化整个系统设计。因此寄存器的配置情况常是衡量 PLC 硬件功能的一个指标。

6. 高功能模块

PLC 除了主控模块外还可以配接各种高功能模块。主控模块实现基本控制功能,高功能模块则可实现某一种特殊的专门功能。高功能模块的多少,功能强弱常是衡量 PLC 产品水平高低的一个重要标志。故各厂家都在开发高功能模块上下很大功夫,近年来高功能模块的发展很快,种类日益增多,功能也越来越强。目前已开发出的常用高功能模块主要有下面这些:

A/D 模块、D/A 模块、高速计数模块、速度控制模块、位置控制模块、轴定位模块、温度控制模块、远程通信模块、高级语言编辑以及各种物理量转换模块等等。

这些高功能模块使 PLC 不但能进行开关量顺序控制而且能进行模拟量控制,可进行精确的定位和速度控制,可以和计算机进行通信,还可以直接用高级语言进行编程,给用户提供了强有力的工具。

下面重点介绍一下 I/O 点数和内部寄存器。

二、关于 PLC 的内存分配及 I/O 点数

前面介绍了 PLC 中的 RAM 除存放调试中的用户程序外,还可存放各种数据及逻辑变量等。除用户程序存放的区域外,其他 RAM 区可按其功能划分如下:

PLC 内部寄存器分配:

I/O 区
内部辅助寄存器区
特殊寄存器区
数据区

每个区分配一定数量的寄存器单元,并按不同的区进行编号。下面分别介绍各个区:

1. I/O 区

I/O 区的寄存器可直接和外部输入、输出端子传递信息。在 PLC 中这个区的寄存器有特殊编号,如输入寄存器编号为 X_n ,输出寄存器编号为 Y_n 。 n 可以是任意十进制数, n 的范围主要受 CPU 的 I/O 寻址能力限制。I/O 寄存器一般是一个 16 位的寄存器,它的每一位对应 PLC 的一个外部端子。I/O 寄存器的个数乘 16 即 PLC 最大可扩展的 I/O 点数。如 I/O 寄存器有 10 个,则 $10 \times 16 = 160$,即该 PLC 最大可扩展到 160 个 I/O 点。不同机型的 PLC 配备不同的 I/O 点,一般小型 PLC 其主机有几十个 I/O 点。

为了适应不同用户的需要,有少到 8 点多到 72 点的各种不同 I/O 点的系列 PLC。其接线及面板示意图如图 1.1-4 和图 1.1-5 所示。

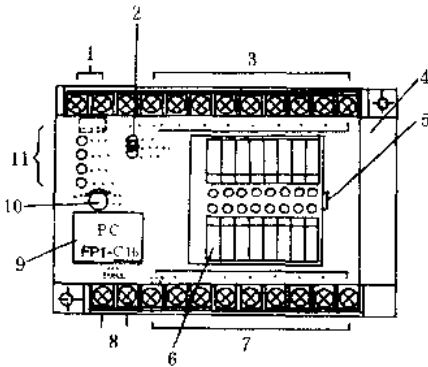


图 1.1-4 FPI(C16)面板图

- 1 交流电源或直流电源输入端子 2 工作方式选择开关 3 输出接线端子 4—I/O 扩展接口插座 5 输入、输出状态指示灯 6—标签 7 输入接线端子 8—直流电源输出端子 9 编程器接口插座 10—

可调输入 11—PLC 工作状态指示灯

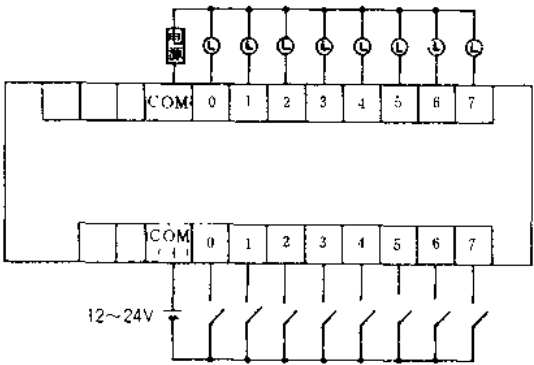


图 1.1-5 FPI(C16)接线示意图

图 1.1-4 是松下电工 PLC FP1-C16(16 点 I/O)型机的实物面板图。图 1.1-5 是其外部端子接线示意图。图 1.1-6 是 FP1 系列机的外形。

一台 PLC 若 I/O 点数不够还可以接扩展 I/O 模块,扩展 I/O 模块也有不同点数的产品可供选用。一般扩展模块内只有 I/O 接口电路、驱动电路而没有 CPU,它只能经总线电缆与主机相连,由主机内 CPU 进行寻址,故最大扩展能力受主机最大扩展点数限制。如一个 120 点的 PLC 小型机系统,可以由一个 40 点的主机加两个 40 点的 I/O 扩展模块构成。

其连接示意图如图 1.1-7 所示。

2. 内部辅助寄存器区
这个区的寄存器可供用户存放中间变量使用。在 PLC 中常习惯称



图 1.1-6 FP1 系列机外形图

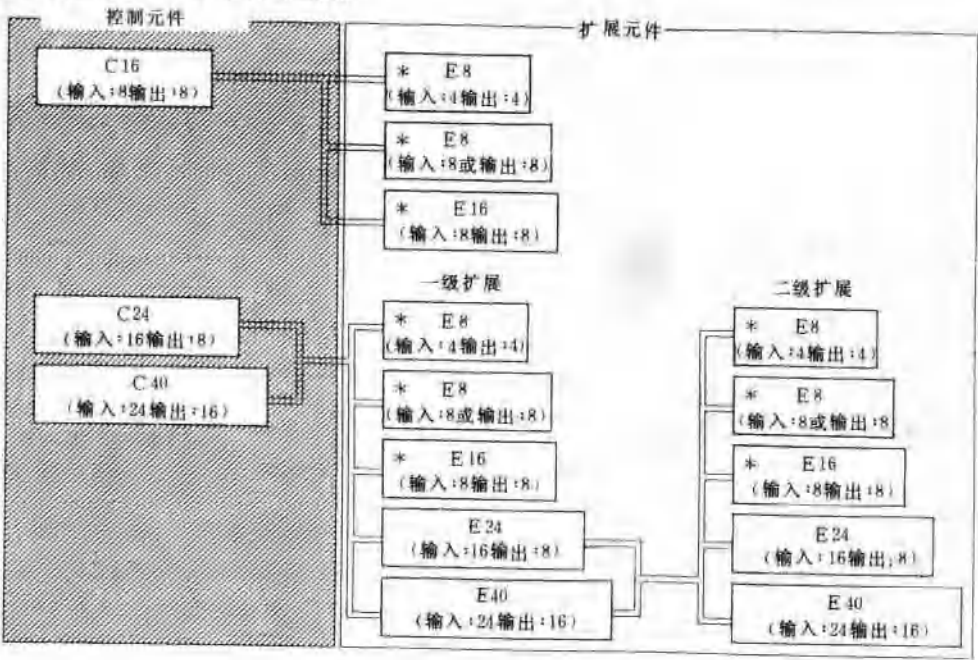


图 1.1-7 FP1 扩展单元连接示意

它们为“辅助继电器”或“软继电器”。它们的作用和传统继电控制系统中的中间继电器十分相似。虽然它们是一些逻辑单元电路,但我们可以把它们作为继电器看待,它们有自己的“线圈”也有自己的“触点”,可以实现继电器的功能。用“软继电器”代替“硬继电器”,这可以说是继电控制系统设计上的一个革命,是 PLC 日益取代传统继电控制的很重要的原因之一。这使得整个控制系统大为简单,减少了很多外部接线,使调试和更改“电路”容易,只要修改程序即可;大大增加了系统的灵活性,便于实现柔性加工;而且同一个软继电器可提供无数个常开和常闭触点。

3. 特殊寄存器区

这个寄存器区一般是有特殊用途的,不能由用户任意占用。如有的存放特殊标志,有的产生定时时钟,有的存放系统内部各种命令等等。

4. 数据区

存放由外围设备采集进来的各种数据,或运算、处理的中间结果。

上面介绍了 PLC 的内部寄存器及 I/O 点的概念,这对使用者是十分重要的。至于具体的寄存器及 I/O 编号和分配使用等情况我们将在第三章结合具体机型进行介绍,这里不再详述。

第四节 PLC 的特点及应用场合

一、PLC 的特点

PLC 的特点可以大致归纳如下:

(1)抗干扰能力强和可靠性高。PLC 的设计者采取了各种措施来提高可靠性,主要有这样几方面:

- ①输入、输出均采用光电隔离,提高了抗干扰能力。
- ②主机的输入电源和输出电源均可相互独立,减少了电源间干扰。
- ③采用循环扫描工作方式,提高抗干扰能力。
- ④内部采用“监视器”电路,以保证 CPU 可靠地工作。
- ⑤采用密封防尘抗震的外壳封装及内部结构,可适应恶劣环境。

由于采取了这些措施,使得 PLC 有很强的抗干扰能力,实验表明一般产品可抗 1kV、1μs 的窄脉冲干扰。其平均无故障时间(MTBF)一般可达 5~10 万 h。

(2)采用模块化组合式结构,使系统构成十分灵活,可根据需要任意组合,易于维修,易于实现分散式控制。

(3)编程语言简单易学,便于普及。PLC 采用面向控制过程的编程语言,简单、直观,易学易记,没有微机基础的人也很容易学会,故适于在工矿企业中推广。

(4)可进行在线修改,柔性好。

正是由于有了这些优点使得 PLC 受到广泛的欢迎。

二、PLC 的应用场合

PLC 在国内外已广泛应用于钢铁、采矿、水泥、石油、化工、电力、机械制造、汽车装卸、造纸、纺织、环保及娱乐等各行各业。它的应用大致可分为以下几种类型:

(1)用于开关逻辑控制。这是 PLC 最基本的应用范围。可用 PLC 取代传统继电控制,如机床电气、电机控制中心等,也可取代顺序控制,如高炉上料、电梯控制、货物存取、运输、检测等。

总之,PLC 可用于单机、多机群以及生产线的自动化控制。

(2)用于机械加工的数控控制。PLC 和计算机数控(CNC)装置组合成一体,可以实现数值控制,组成数控机床。

(3)用于机器人控制,可用一台 PLC 实现 3~6 轴的机器人控制。

(4)用于闭环过程控制。现代大型 PLC 都配有 PID 子程序或 PID 模块,可实现单回路、多回路的调节控制。

(5)用于组成多级控制系统,实现工厂自动化网络。

第二章 PLC 的编程

第一节 PLC 的编程语言

PLC 的编程语言目前已有下面几种：指令表(助记符)语言；梯形图语言；流程图(SFC)语言；布尔代数语言。

其中前两种用得较多。流程图语言目前已被越来越多的生产厂家开发使用，也颇受欢迎。布尔代数语言实际就是类似逻辑电路图的形式。

图 1.2-1 所示是一个采用 SFC 语言编程的例子。图 1.2-1a 是表示该任务的示意图，要求控制电机正反转实现小车往返行驶。按钮 SB 控制起、停。ST11、12、13 分别为三个限位开关，控制小车的行程位置。图 1.2-1b 是动作要求示意图。图 1.2-1c 是按动作要求画出的流程图。图 1.2-1d 是将流程图中符号改为 PLC 指定符号后的流程图程序。可以看到：整个程序完全按动作顺序直接编程，非常直观简便，思路很清楚，很适合顺序控制的场合。

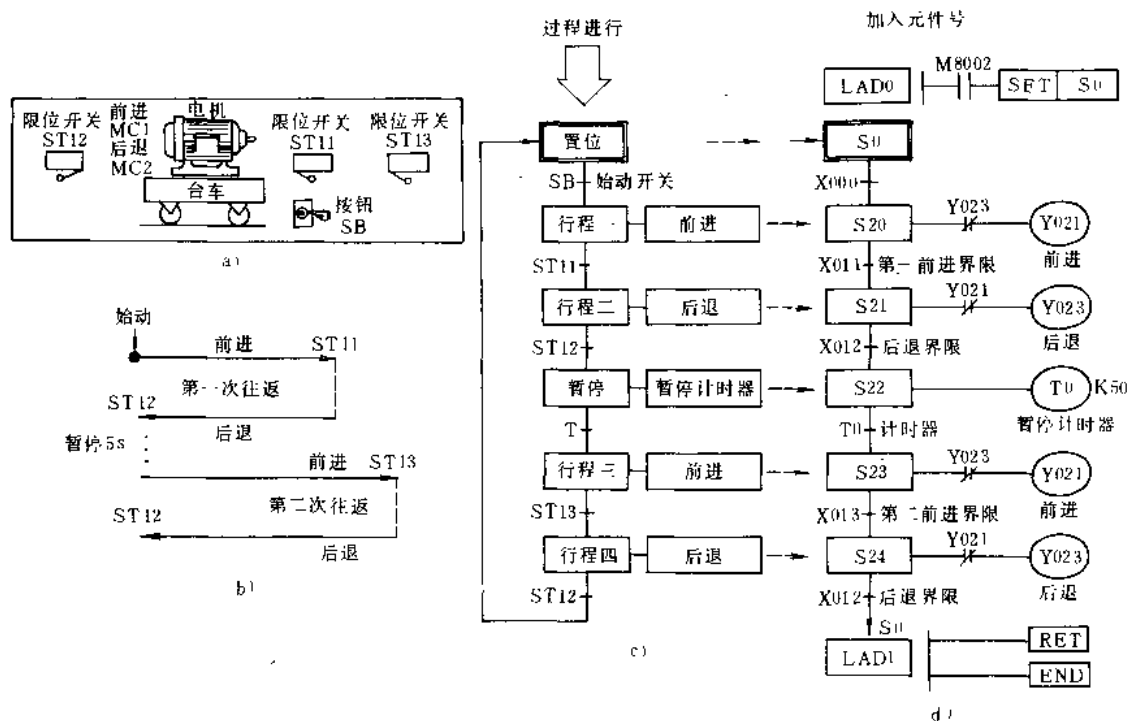


图 1.2-1 流程图语言示意图

本书重点介绍梯形图和助记符语言。

一、梯形图语言

梯形图在形式上沿袭了传统控制图，但简化了符号，而且还加进了许多功能强而又使用灵