

可编程控制器及其应用

黄大雷 吴庚申 编著

人民交通出版社

7237

11

可编程控制器及其应用

KEBIANCHENG KONGZHIQI
JIQI YINGYONG

黄大雷 吴庚申 编著

人民交通出版社

(京) 新登字 091 号

可编程控制器及其应用

黄大雷 吴庚申 编著

正文设计:乔文平 责任校对:于景梅

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

北京四季青印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张: 9.25 插页: 字数: 249 千

1993 年 1 月 第 1 版

1993 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—3000 册 定价: 11.00 元

ISBN7-114-01446-5

TP · 00002

内 容 提 要

可编程控制器 (PLC) 是一种发展迅速、应用普遍的工业控制微计算机系统, 它在可靠性、易于使用性和经济性方面都具有明显的优势。本书首先介绍了工业控制微机关、硬件的基本概念, 然后详尽介绍了可编程控制器的基本概念、功能特点和运行原理, 并通过大量实例介绍了基本逻辑指令、时序控制指令、数据操作指令及其在数字量、模拟量控制系统中的应用, 最后着重讲解了可编程控制器应用系统的开发过程和技巧, 及典型应用系统实例。

本书共分八章, 技术内容较新, 并深入浅出、结合实际, 可作为工业控制微机开发、应用人员的参考书, 也可作为计算机及自动化专业及培训班的辅助教材。

前 言

经历了改革开放的巨大变革，人们越来越认识到，发展生产要靠科学技术，要靠进行技术改造和提高劳动者素质。在人类进入信息时代的今天，计算机技术，特别是微机控制技术，自然就成为对传统产业技术改造的重要手段。

作者曾参加应用高新技术改造传统产业的软科学调研，体会到目前国内企业在微机应用中存在自我开发力量薄弱、维修管理困难和资金短缺这三大难题，而新兴的工业控制微机——可编程控制器 (PLC)，以其独特的易于使用性、可靠性和灵活性，提供了解决难题的途径。这正是 PLC 技术近年来在广大企业技改中迅速得到应用和推广的主要原因。然而难题的真正解决还有待于企业的广大技术人员，特别是非计算机专业的现场技术人员都能掌握它、应用它，这就是本书的编写目的。

学习新技术的最大思想障碍，莫过于对它的神秘感和望而生畏。因此，作者决不想把它写成本一本枯燥无味的学术专著，而是以和 PLC 同样简单明快的风格，辅以读者熟悉的工业生产实例，介绍这一最易于使用和编程的工业微机系统。本书也不仅仅是一本入门指导，它以很大篇幅介绍了 PLC 应用系统的开发过程、方法和技巧，及完整的应用系统实例，力图使读者通过阅读本书和参加实践，从入门到精通，最后得心应手地掌握这一技术。

本书还奉献给读者近七十个实例程序段，包括三个完整的应用系统程序。这些程序都是作者在开发和实践中使用过的，除帮助读者理解内容外，还提供实用的编程技巧，把它们读懂之后，稍加修改就可灵活运用于读者自己的开发系统之中，作为一些“程序部件”。虽然本书以常见机型介绍 PLC 的指令和编程方

法，由于各种 PLC 系统的使用和指令系统十分类似，读者很容易做到“举一反三”。

本书一、二、三、四、八章和第五章的一部分由黄大雷编写，第六、七章和第五章的另一部分由吴庚申编写。对于熟悉工业控制微机的读者，第一章可略过，对具有微机基础但不了解工控机要求的，可从第一章后半部分读起。应当说，即使完全不懂计算机的技术人员，在读完第一章后已具备了深入学习和开发的必要基础知识，这也是 PLC 易于使用的优越性所决定的。

本书最初做为油印教材供参加青岛市经委主办的 1—3 期 PLC 培训班和中国远洋运输总公司 1—7 期自动化班的四百多名工程技术人员使用，教学中他们提供了大量实例和建议，使本书得以几经修改完善，还有不少单位和个人也对本书提供了宝贵意见和开发实践机会，在此一并表示衷心感谢。

作者 1992.12.

目 录

第一章 微计算机工业控制系统概念	1
§ 1.1 概述	1
§ 1.2 工业控制微计算机的硬件结构原理	3
§ 1.3 微处理器的指令系统及工业控制微 机的软件特点	9
§ 1.4 工业控制微计算机系统的技术要求	14
§ 1.5 工业控制计算机的类型和典型系统介绍	22
第二章 可编程控制器概论	29
§ 2.1 概念及功能特点	29
§ 2.2 硬件结构简介	34
§ 2.3 编程和使用方法概述	39
§ 2.4 PLC 技术的发展趋势及在国外应用概况	44
§ 2.5 PLC 技术在我国的发展概况及应用实例	51
§ 2.6 小结	58
第三章 可编程控制器的运行原理及基本逻辑指令	59
§ 3.1 PLC 程序运行原理及编程的基本概念	59
§ 3.2 PLC 的程序扫描原理	66
§ 3.3 编程器及其基本操作	70
§ 3.4 基本组合逻辑指令及其工作原理	74
§ 3.5 程序的编辑和修改	84
第四章 可编程控制器的时序控制指令及其运用	89
§ 4.1 基本时序控制指令—定时器和计数器指令	89
§ 4.2 顺序控制器(鼓形控制器)的编程	100
§ 4.3 移位寄存器的编程和应用	103
§ 4.4 运行监视与键输入控制(强制操作)	105

§ 4.5 高速计数功能及其应用	109
第五章 PLC 逻辑—时序控制系统程序设计实例	113
§ 5.1 概述	113
§ 5.2 自动排渣分油机的 PLC 控制系统程序实例	114
§ 5.3 交流三速电动起货机 PLC 控制系统 程序实例	123
附录 1 自动排渣分油机 PLC 控制系统 梯形图程序清单	134
附录 2 交流三速电动起货机控制系统梯形图程序清单 	138
第六章 数据操作指令和模拟量 I / O 模块的 使用方法	143
§ 6.1 PLC 数据操作的基本概念	144
§ 6.2 数据传送指令及其功能	155
§ 6.3 算术运算指令、逻辑处理指令及其功能	161
§ 6.4 数据转换指令及其它特殊功能指令	170
§ 6.5 模拟量输入模块和输出模块的使用方法	180
第七章 典型模拟量控制系统程序设计实例	189
§ 7.1 炉窑温度自动控制系统简介	189
§ 7.2 PI 控制算法与实现	193
§ 7.3 PLC 数据运算程序模块介绍	197
§ 7.4 模拟量控制系统程序的调试	220
第八章 PLC 应用系统的开发方法和技巧	225
§ 8.1 PLC 应用系统的开发过程	226
§ 8.2 整体设计及系统功能的分析方法	227
§ 8.3 降低系统硬件成本的技巧和措施	234
§ 8.4 PLC 装置的选型和定货	244
§ 8.5 应用程序的设计及其模拟调试方法	255
§ 8.6 对 PLC 的运行监视和提高系统可靠性	

的技术措施	263
§ 8.7 PLC 应用系统的故障自动诊断	270
参考资料	286

第一章 微计算机工业控制系统概念

本书中要向读者介绍的可编程序控制器是一种用于工业控制的微计算机系统。它既有自己明显的特征，又具有与其它工业控制微机系统相同的共性。为了让读者更好地掌握其原理和应用，有必要首先介绍这些最基本的、带有共性的原理和概念。如果读者已经对工业控制微机系统很熟悉，从事过其它微机控制系统的开发，可略过本章而直接进入第二章。为照顾到计算机初学者的水平，本章先从计算机软、硬件基本概念入手，然后着重讨论工业控制计算机的技术要求、类型及典型系统。

§ 1.1 概 述

电子计算机和大规模集成电路是当代最主要的技术成就之一，它们之间互相影响，互相结合，产生了新的学科——微电子学，以及新的技术——微电子技术，还有使计算机技术应用发生革命性飞跃的新产品——微型计算机。

目前，微计算机正以势不可挡之势向社会生活的各个领域渗透，其价格的迅猛下降以及可靠性和功能的迅速上升正在不断地加强着这种趋势。大至国家机关、企业的数据信息处理或整个现代化工厂的集中控制管理，小至家庭教育、娱乐及洗衣机、电风扇等家用电器的控制，微电脑无处不在发挥它的巨大作用。

计算机在世界上的最初应用是科学计算，目前在普通人心目中它仍然具有用于科学计算和管理的第一印象，提到计算机即想到洁净的机房，一台台由键盘和显示器构成的终端以及庞大的主机。其实，在计算机诞生后不久的本世纪五十年代，人们就开始把它用于工业控制中。然而，在微计算机出现之前，由于工业环境恶劣及特殊要求，它们在这一领域中的应用很有限。微机的出

现及其可靠性高、体积小、成本低的特点使它得以在控制领域中
大显身手，几乎占领了该领域中的全部市场，而在管理和科学计
算领域，大型、小型计算机仍占据着很大比重，起着微机所不可
替代的作用。

用于工业控制的微计算机与用于管理和科学计算的计算机有
着许多根本不同。首先，从系统的输入、输出观点来看，后者的
数据输入一般仅用普通键盘或加上磁盘等外存储设备，而运算
(或处理)结果的输出一般仅要求在显示屏上显示或打印机上打
印，然而对于控制系统，其数据输入是从成百、上千个分散在生
产现场各处的各种类型的传感器、开关按钮等送来的，而运算结
果的输出则要送到分布在各地的各种类型的执行机构——从灯泡
到报警器，从液压、气动机构的电磁阀到伺服电机或电热器，因
而在输入、输出信号的处理上，要较后者复杂得多。其次，从在
计算机内部进行的运算来看，控制微机又相对来说简单得多，主
要进行的是逻辑运算和简单数学运算，而用于管理和科学计算的
计算机其内部运算和处理则非常复杂，以致在许多场合下微型机
已不能胜任。第三，后者仅用于办公室和专用的机房，可以有很
好的工作环境，而控制微机则不得不承受生产现场的各种恶劣条
件：极高和极低的温、湿度，振动，电源波动和各种电磁干扰，
对其适用性和可靠性的要求要高得多。

工业控制计算机与一般微机一样，也是由“硬件”和“软件”两
大部分组成的。硬件是可以看到摸到的、机箱内的各种印刷电路
板和集成电路芯片，以及显示器、键盘等各种外部设备，软件则
是正在或将在计算机中运行的程序，实际上是看不见、摸不着
的，但习惯上可以把存有这些程序的磁盘磁带，写在或者打印在
纸上的程序清单看成是软件。下面几节我们将从这两个方面入手
简介工业控制微机的结构、原理和特点，并讨论它们的技术要
求，最后再介绍其基本类型及典型系统。

实际上，计算机软、硬件的结构和原理本身已经是一门复杂

的学科,要想彻底掌握它需要付出大量的时间和精力,这也超出了本书的范围。然而,由于前言中所提到的可编程控制器的易于使用性,完成对它的应用系统的开发并不需要很高深的计算机专业知识,这使我们得以在下面用简短的篇幅,对后续章节所要涉及的微机控制系统概念及软硬件结构原理作一概括性介绍。我们相信,这些内容即使对于从未接触过计算机但已有一些电子电路知识的读者而言也不是很困难的,而掌握了这些内容,就具备了较深入地开发可编程控制器应用系统所需要的计算机基础知识。

§ 1.2 工业控制微计算机的硬件结构原理

图 1.1 给出了简化的工业控制微计算机的结构方框图,它的内部基本结构与一般微机相同,即由微处理器、内存储器及接口电路这三个主要部分和连接这三个部分的总线(按功能又分为数据总线、地址总线和控制总线),以及为其服务的时钟和电源电

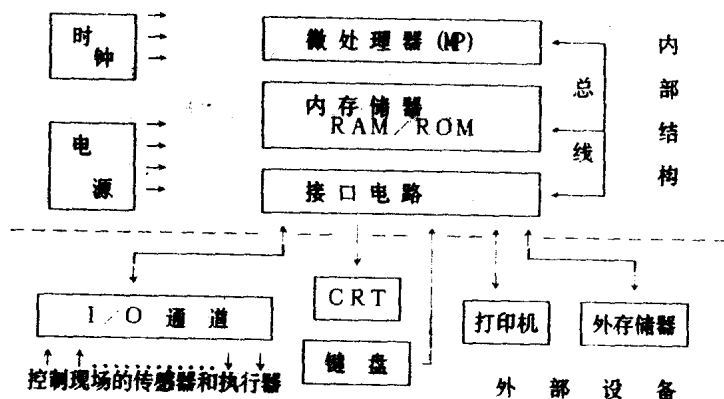


图 1.1 工业控制微机的典型硬件结构

路组成的，其外部设备也可与一般计算机一样配用荧屏显示器(CRT)、键盘和打印机等。不同的是，起主要作用的是称为I/O通道的电路板或模块。

微处理器是微计算机的核心，又可称为 MP 或 CPU，由于 CPU 在一些工业控制微机(如下本书重点介绍的可编程序控制器)中指包括存储器及部分接口在内的中央处理单元模板(模块)，本书中仅以 MP 作为其简称。

按其处理数据位数的能力，微处理器又可分为 8 位、16 位、32 位处理器等，如常用的 8 位微处理器的型号有 Z80、6502，16 位处理器有 8086、80286，32 位处理器有 80386、80486 等等。微处理器内部包括了控制器、运算器、指令译码器和寄存器堆等电路，全部集中到一块芯片上。图 1.2 给出了典型的 Z80 微处理器内部结构方框图。

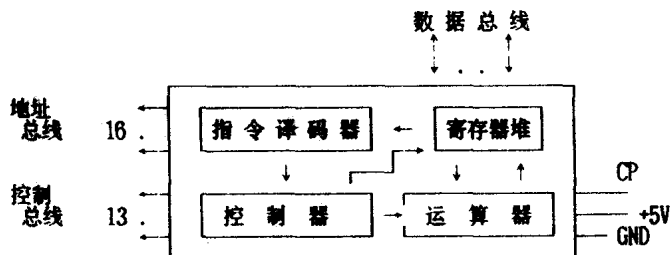


图 1.2 Z80 微处理器的内部结构原理方框图

微处理器内部的运算器是进行二进制运算的部分，具有加、减、比较、增减1、逻辑“与”、“或”、“异或”及移位或单个位处理

功能。寄存器堆为在微处理器内部的一组存储器，有累加器、标志器、专用和通用寄存器等，用于存放运算过程的数据或状态的中间结果，或作为程序指令的计数器以及特殊操作的指示器等。指令译码器则将内存通过总线送入 MP 的程序指令译成需要执行的二进制代码，最后通过控制器对内部和外部各部分电路发出控制信号，以输入的时钟脉冲(CP)信号为基准节拍控制每条指令的精确执行。实际上，这些复杂的功能都是通过并不复杂但却是极大量的脉冲数字电路（触发器、计数器、寄存器等）来实现的。

存储器用于存放与计算机运行有关的程序和数据，它是用半导体器件或磁性材料做成的寄存器堆，由上千至几百万个缓冲寄存器单元组成，多为大规模集成电路芯片。存储器的最小单元称为位(bit，简写成 b)，是构成字节的一位二进制单元。其基本单元称为字节(Byte，简写成 B)，多为具有 8 个位的寄存器构成。大容量的单位称为 K 字节(KB)， $1KB = 1024B$ (为 2 的 10 次方字节)，更大的单位为 M 字节(MB)， $1MB = 1024KB$ 。

要想从这样多的存储单元中找到要处理的信息，就要给每一存储器字节规定一个编号，这一编号被形象地称为地址。然而，如果从每一字节即存储器的基本单元引出一根控制该字节信息写入或送出的地址线，则千万根地址线会挤满整个计算机。因此，存储器内部一般都带有译码器。根据二进制译码原理，n 根导线可寻找 2 的 n 次方个地址，因此若有 16 位的地址线，在理论上可寻址 64K 个字节。

存储器按其制造工艺和用途的不同，又可分为只读存储器 ROM (Read Only Memory)和随机存取存储器 RAM (Random Access Memory)两大类。ROM 的特点在于它所存内容只能读出，而不能轻易地写入和删除，也不会因断电而消失，因此程序和数据的存储较为可靠，不易受干扰和断电影响，又称为“非易失性存储器”，多用于存储由制造厂家编制的重要系统程序。目

前多使用 EPROM, 即可擦除可编程只读存储器(Erasable Programmable ROM), 其内容可以在专用的紫外灯光下擦除掉。RAM 的特点与 ROM 正好相反, 它所存内容既可很快地随时读出, 又可随时写入、改写或删除, 但电源一旦断开后所存的程序和数据都将全部丢失, 因而称为“易失性存储器”, 适于存放中间或瞬时数据。

在计算机控制系统中, 制造厂家编制的系统程序当然存在 ROM 中, 而运算的中间数据和由各传感器送来的即时测量数据当然存在 RAM 中, 问题是有些需要由用户设置并允许用户根据使用情况修改的数据(如监测系统的报警上下限值), 还有一些需要由用户自己根据被控对象情况来编写的控制程序(称为用户程序), 若把它们存在 ROM 中则很难修改, 而存在 RAM 中一旦断电即全部消失。这一问题的解决目前有两种办法, 一种是使用高容量的锂电池或可充电电池对存放上述两种数据的 RAM 区域实行不间断供电, 还有就是使用近年来发展起来的 EEPROM 电擦除只读存储器(Electrically Erasable Programmable ROM)。EEPROM 是非易失性存储器, 不因断电而丢失信息, 但又可用电信号(即相应的指令)来部分地改写或删除所存的内容, 是一种较理想的用户程序存储介质, 但目前价格较高, 存取速度也不及 RAM 快。

任何实际的计算机系统的基本功能都是对信息的加工和处理, 计算机控制系统也不例外。它通过输入设备接受外部信息和原始程序、数据, 如通过与生产现场各种传感器联接的输入通道接收被控设备状态, 通过键盘或各种开关接受操作命令或数据, 然后对这些信息进行加工和处理, 再通过输出设备将加工后的信息输出, 如通过显示器显示这些经过加工的测量数据, 通过打印机打印, 通过输出通道控制生产现场的执行机构动作等。这些输入、输出设备统称为外部设备(简称外设), 而完成机内的 MP 和存储器与外设之间的信息交换的是计算机中的接口电路。

接口电路的功能主要有两个。首先是为这种信息(即数据)的交换提供一个缓冲和寄存区。在控制系统中,外设的数量很大,而 MP 每一瞬间只能处理一个任务,因此它与外设间的数据传送则通过 MP 主动巡回查询外设状态或由外设主动叫 MP 中断正在执行的程序,转入为该外设服务的子程序,这都要有一个时间上的缓冲和地点上的信号寄存。如果两个外设同时叫中断,还需要判断一下哪个外设的优先权级别更高就优先为它服务,这些都由接口电路实现。

接口电路的另一功能就是实现内外信息的变换,首先是内外电平与功率的变换。在 MP 及存储器中工作的电压和电流一般都远低于外设要求,因此放大与驱动的任务则由接口电路完成。还有些外设要求的信号是属于串行信号,即它不是一下子接收数据总线上的 8 位或 16 位二进制信号,而是把这 8 位或 16 位二进制信号拆开成一位一位地顺序接收,这样它与主机之间的联接可以通过 2 芯电线(如普通电话线)而不用 8 芯或 16 芯电缆,这种数据交换方式叫串行通讯,实现这种转换的接口叫串行接口,常用的标准串行接口称为 RS232C。

还有些外设送入的信号,或计算机送给它的信号不是机内的断续的数字量信号,而是连续变化的模拟量信号。特别是在工业控制系统中,被控制设备的参数和状态往往由热电阻、热电偶及压力变送器等传感器测量出来,以模拟量的形式送入计算机,而计算机对被控设备的作用也往往要通过模拟量的执行机构来实现,如某些调节阀的伺服电机,或加热炉的电热器。这些都需要通过一些模拟量和数字量的转换电路来实现,它们就是模/数转换(又称 A/D 转换)或数/模转换(又称 D/A 转换)接口,这类接口在工业控制机中的应用较其它类计算机要普遍得多。

实际上,图 1.1 中的 I/O 通道(即输入/输出通道)所完成的也是上述各种接口的功能,从广义上看也属于接口电路(对连

多控制机这两者没有什么区别，I/O 通道直接在总线上)。但一般认为 I/O 通道所处理的信号是工业控制现场的功率更大、电平更高、数量更多的信号。为了避免现场信号中可能因误接线或短路而突然出现的高电压、大电流窜入计算机造成损失，还采用了一些隔离技术，常见的是光电隔离，如外界输入信号先通过电平转换驱动发光二极管发光，再通过与计算机内部相连的光敏元件将该信号送入，目前实际使用的是将发光元件和光敏元件做在一起的光电耦合管。这样，即使出现危险的高电压，最多也只能损坏该外部通道和光电耦合管，不会对机内造成重大损失。

联接上述三个主要部分的总线也属于计算机的主要结构之一，MP 与存储器、接口电路之间的大量信息交换都通过总线进行。为了让这大量的信息交换得以进行，又应使它们之间的相互连线减少到最低程度，工业控制机与其他计算机一样，亦采用总线结构。

总线在英文中为 BUS，又可译为公共母线，具有“共同享用”的意思。如前述 Z80 微处理器，高达几十 K 的存储器地址信息，许许多多接口的输入/输出信息，都要通过它与 MP 交换，只能采取“公用”的方式，由许多门电路对它实行严格的时序控制，在某一瞬间仅允许一个 8 位字节的信号进入总线。

例如，程序在执行到某一步时需将某一内存单元的内容送入 MP 中的累加器，则此瞬间地址总线送去该内存单元的地址，在控制总线的配合下，仅使该单元所在存储器芯片的单向的数据“读”门“打开”，其译码器将地址总线上送来的该单元地址编号翻译成相应的控制信号，将该单元内容送入数据总线中，而其他存储器或接口芯片的数据线控制线则被统统“关死”。在 MP 内部亦存在类似的总线结构，同样由控制器发出的信号使得其他寄存器的控制门被统统关死而仅有累加器 A 的输入门打开，这样该数据即通过数据总线和 MP 芯片的内部总线而进入累加器，完成了从内存“读入”某一数据的工作。