

电子数字计算机原理

(自动控制专业)

北京工业大学

李大友 朱亦梅 吕景瑜 编
邵学才 宗大华 刘玉林

国防工业出版社



电子数字计算机原理

北 京 工 业 大 学

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

解放军七二二六厂印刷 内部发行

*

787×1092¹/₁₆ 印张 36 863 千字

1980 年 8 月第一版 1982 年 8 月第 2 次印刷 印数: 1—3,000 册

统一书号: N15034 (四教 34) 定价: 3.65 元

内 容 简 介

本书较全面地介绍了数字电子计算机硬件工作原理并加强了指令系统、中断系统以及生产过程通道等方面的内容；在软件方面介绍了汇编语言及其程序设计的基本方法，并且还介绍了实时操作系统。

本书可供高等工科院校自动控制（或自动化）专业的学生作为教材使用，也可以作为有关专业技术人员的参考书。

前 言

数字电子计算机在实现四个现代化的过程中占有极重要的地位。它在科学研究、工程设计、数据处理以及自动控制等方面已经显示出巨大的优越性。为适应培养高级技术人材的需要,高等工科院校自动控制(或自动化)专业均设置数字电子计算机原理课程。

本书系高等学校工科电子类自动控制专业统编教材之一。

本课程在学完电子技术基础课之后开设。通过对本课程的学习,要求掌握数字电子计算机的组成、工作原理以及利用汇编语言进行程序设计的基本方法。具体要求明确数字电子计算机在科学研究、工程设计、数据处理以及自动控制等方面的地位和作用;掌握计数制和编码制基本原理;掌握常用的基本运算方法;掌握运算器、控制器、存贮器、输入输出设备和生产过程通道的工作原理,建立起中断系统和数据通道的概念;对指令系统要有较深入地理解;掌握简单程序、分支程序和循环程序设计的基本方法;了解微型计算机结构特点和操作系统的基本概念。为正确地利用计算机从事科学研究、工程设计、数据处理以及自动控制等方面的工作打好必要的基础,并为后续课“计算机控制技术”作好必要的准备。

根据自动控制(或自动化)专业特点,本教材在指令系统、中断系统、过程通道等方面的内容有所加强;在软件方面着重讲清汇编语言程序设计的基本方法。此外,还介绍了微型计算机和实时操作系统等方面的内容。本教材以 DJS-183 (PDP-11/20) 机为参考机型。

本书按 130 学时编写,供教学计划为 100~130 学时的计算机原理课使用。注有“*”号的章节各校可根据需要灵活安排。

本书由北京工业大学主编,合肥工业大学主审。第一、六、八、九章由李大友同志编写;第五、七、十章由朱亦梅同志(上海铁道学院)编写;第四、十二、十三章由吕景瑜同志编写;第十一章由上述三同志共同编写;第二、三章由邵学才同志编写;第十四章由宗大华、刘玉林同志编写。李大友同志负责了本书的统编工作。

本书由合肥工业大学朱逸芬、林锡来同志组织十所兄弟院校的代表进行了会审。他们认真阅读了初稿,提出了许多宝贵意见。林锡来同志还仔细地审阅了修改稿,匡鲁江同志审阅了操作系统一章的修改稿。清华大学郑维敏教授曾对初稿提了宝贵意见。

本书在编写过程中曾广泛地参考了有关单位编著的各种书刊、讲义、资料和图纸等,在这里就不一一列举了。

书中插图由张二力、任强同志协助完成。

由于水平所限,加之时间仓促,因此书中定有不少缺点和错误,敬请读者们批评指正。

北京工业大学计算机科学系

1980.1

目 录

第一章 概述

- § 1-1 数字电子计算机的发展与应用 (1)
- § 1-2 工业控制用计算机的组成和特点 (5)
- § 1-3 工业控制用计算机按用途分类 (8)
- § 1-4 计算机的主要技术指标 (11)

第二章 运算基础

- § 2-1 计数制与不同计数制之间的转换 (12)
- § 2-2 数的定点与浮点表示 (18)
- § 2-3 原码 补码 反码 (20)
- § 2-4 变形码 (26)
- § 2-5 运算方法 (27)
- 习 题 (35)

第三章 逻辑代数

- § 3-1 基本逻辑运算 (37)
- § 3-2 逻辑函数 (40)
- § 3-3 基本定律 (41)
- § 3-4 对偶规则和反演规则 (43)
- § 3-5 常用公式 (44)
- § 3-6 逻辑表达式的化简 (45)
- § 3-7 逻辑表达式的建立 (49)
- § 3-8 卡诺图化简法 (51)
- § 3-9 表达式化简的补充 (62)
- 习 题 (66)

*第四章 逻辑电路与寄存器传送

- § 4-1 逻辑门电路及其基本特性 (68)
- § 4-2 触发器 (72)
- § 4-3 寄存器 (77)
- § 4-4 计数器 (80)
- § 4-5 译码器 (86)
- § 4-6 编码器 (90)
- § 4-7 寄存器传送 (91)

第五章 内存贮器

- § 5-1 存贮器技术指标及分类 (95)

§ 5-2	磁芯存贮的基本原理	(96)
§ 5-3	磁芯存贮器的工作方式	(98)
§ 5-4	三度三线电流重合法磁芯存贮器	(106)
§ 5-5	地址译码和驱动系统	(110)
§ 5-6	读出和禁止系统	(114)
§ 5-7	时序控制系统	(115)
* § 5-8	存贮器的双体交叉工作	(118)
* § 5-9	内存的校验和自检	(120)
§ 5-10	半导体存贮器	(123)
§ 5-11	只读存贮器	(133)
第六章 指令系统和程序初步		
§ 6-1	计算机结构框图及工作过程	(137)
§ 6-2	指令格式及寻址方式	(143)
§ 6-3	典型指令系统举例	(150)
§ 6-4	程序设计初步	(177)
习 题		(210)
第七章 运算器		
§ 7-1	运算器的结构框图	(212)
§ 7-2	加法器	(213)
§ 7-3	输出门和移位操作	(217)
§ 7-4	通用寄存器和数据暂存	(218)
§ 7-5	加法器输入门和数据锁定	(219)
§ 7-6	数据传送	(220)
§ 7-7	典型运算器举例	(222)
§ 7-8	典型操作过程举例	(226)
§ 7-9	乘除法运算的实现方法	(227)
§ 7-10	串行运算器	(231)
第八章 控制器		
§ 8-1	控制器的职能和分类	(235)
§ 8-2	控制器结构原理	(236)
§ 8-3	控制方式	(253)
§ 8-4	指令流程	(260)
* § 8-5	微操作控制	(272)
第九章 微程序设计基本原理		
§ 9-1	概述	(279)
§ 9-2	微程序计算机	(279)
§ 9-3	微程序设计的几个基本概念	(280)
§ 9-4	微程序控制器结构框图及工作原理	(282)

§ 9-5 微指令字的编码方法	(285)
§ 9-6 微程序的执行方式	(287)
§ 9-7 微程序控制器举例	(290)
第十章 中断系统和数据通道	
§ 10-1 没有中断系统时主机和外设之间的数据传送	(302)
§ 10-2 中断的概念	(310)
§ 10-3 中断的分类及中断源的优先级	(312)
§ 10-4 中断过程和中断系统	(314)
§ 10-5 中断接口及其程序设计	(329)
§ 10-6 数据通道	(335)
第十一章 外部设备	
§ 11-1 纸带输入设备	(346)
§ 11-2 快速纸带穿孔输出机	(356)
§ 11-3 控制台打字机	(357)
§ 11-4 行式打印机	(362)
* § 11-5 X—Y 记录仪	(367)
§ 11-6 阴极射线管显示器	(371)
§ 11-7 外存贮器	(382)
第十二章 过程输入输出通道	
§ 12-1 概 述	(401)
§ 12-2 模拟量输入通道	(403)
§ 12-3 模拟量输出通道	(443)
§ 12-4 数字量输入通道	(448)
§ 12-5 数字量输出通道	(450)
§ 12-6 脉冲量输入通道	(452)
§ 12-7 脉冲量输出通道	(454)
*第十三章 微型计算机	
§ 13-1 微型计算机概述	(455)
§ 13-2 8080 微型计算机的组成	(456)
§ 13-3 微处理器	(458)
§ 13-4 指令系统	(466)
§ 13-5 CPU 的定时	(478)
§ 13-6 微型计算机用存贮器	(489)
§ 13-7 输入输出传送方式	(493)
§ 13-8 接口电路	(507)
§ 13-9 系统连接	(524)
*第十四章 计算机操作系统	
§ 14-1 操作系统概述	(527)

§ 14-2	进程	(532)
§ 14-3	处理机管理	(543)
§ 14-4	存贮管理	(546)
§ 14-5	信息管理	(553)
§ 14-6	设备管理	(561)
§ 14-7	操作系统的结构	(565)

第一章 概 述

§ 1-1 数字电子计算机的发展与应用

一、数字电子计算机的发展

数字电子计算机（或称电子数字计算机）的出现是本世纪的重大科学技术成就之一。它的出现有力地推动了其它各门科学技术的发展。它在科学研究、工农业生产、国防建设以及社会生活等各个方面，都获得了越来越广泛的应用。尤其是进入七十年代以来，它的发展更加迅速，在性能和应用等方面都有了新的飞跃。目前，数字电子计算机正向巨型、微型、网络 and 智能模拟等方面发展。

三十年来，数字电子计算机经历了四代的发展，各代的划分没有严格的定义，分法也不完全相同。

大体上从 1946 年到 1957 年为第一代。第一代数字电子计算机的主要特点是：逻辑元件采用电子管；主存贮器采用延迟线或磁鼓，作为辅助存贮器已开始采用磁带机；软件主要使用机器语言，符号语言也已经出现并开始使用；应用以科学计算为主，应用方式主要是成批处理。

用现在的眼光来看，那时的计算机是很原始的，体积很庞大，运算速度很慢，内存容量也很小。例如，1946 年出现的第一台计算机，使用了 18800 个电子管，占地面积达 150 平方米，重 30 吨，耗电量 150 瓩，价值 40 万美元，内存贮器容量为 17K 位，字长 12 位，加法运算速度只有 5000 次/秒。但是，它却确定了数字电子计算机的技术基础，如数字编码、自动运算方式和程序设计的概念等等。

从 1957 年到 1964 年为第二代。第二代计算机的主要特点是：逻辑元件采用晶体管；主存贮器使用磁芯存贮器，外存贮器已开始使用磁盘；软件方面，如后来用得非常广泛的高级程序设计语言 FORTRAN、ALGOL、COBOL、PL/1 及其编译程序都已建立，还提出了操作系统。这一代机器在各种事务数据处理方面得到了广泛的应用，并开始用于过程控制。

第二代计算机在性能和可靠性上都比第一代计算机提高了一个数量级；在结构上向通用型的方向发展。

第三代计算机从 1964 年 IBM360 系列机发表开始。这一代计算机逻辑元件已经采用集成电路，存贮元件主流还是磁芯，机种多样化，系列化，外部设备不断增加，品种繁多，尤其是终端设备和远程终端设备迅速发展，并与通信设备结合起来。软件方面操作系统进一步发展与普及，分时系统，多道程序都有所发展，并被广泛使用。另外，在发展大型机的同时，小型、超小型机也飞速发展起来，并被广泛应用。应用面已广布于工业控制、数据处理和科学运算各个领域，应用方式已进入了以系统化和分时操作为特征的时代。

第三代计算机在存贮器容量、运算速度和可靠性等方面都比第二代又提高了一个数量级。系统结构方面也有许多改进。

计算机的第四代是指全面采用大规模集成电路的时代。1970 年研制成功，1971 年正式

开始生产的 IBM370 系列机首先使用大规模集成电路做主存（逻辑元件还是小规模集成电路），因此被称为 3 代半的计算机。1975 年研制成功的 470V/6 型计算机和 M-190 计算机，都是全面采用大规模集成电路（逻辑元件和主存均采用大规模集成电路）的大型计算机，可以作为目前第四代计算机的代表。第四代计算机在软件方面将与硬件更多的结合，在应用方面，则表现出由多机形成综合信息处理网络，进入了以网络为特征的时代。

目前计算机的发展体现如下：

巨型计算机主要是指高速度、大容量的计算机。例如 Star-100 巨型计算机，运算速度每秒五千万次，存储器容量为 0.5~1.0 兆字（字长 64 位）。这种巨型计算机已小批投产。每秒运算一亿五千万次的巨型机也已投入运行。每秒十亿次甚至百亿次的巨型机正在研制中。

七十年代以后，随着大规模和超大规模集成电路的发展，计算机除了向巨型方面发展之外，还朝微型化方面发展。

在计算机小型化方面，六十年代着重搞小型计算机，而七十年代则主要是发展微处理机和微型计算机。

小型计算机最早出现于六十年代中期，当时的典型产品是 PDP-8。小型计算机一般字长为 12~32 位，标准字长 16 位，内存贮器一般在 4K 以上，常以 4K 或 8K 为模，可扩至 32K 至 128K，它可配上多种外部设备，如打印机，显示设备，软磁盘，小磁盘，盒式磁带机等，可满足一般工业控制和数据处理的需要。

小型机目前明显向高档和低档两极分化。

低档小型机趋向于微型化，即向微型机靠拢。两者共同的特点是采用大规模集成电路，在保持一定功能的条件下，极力实现廉价化。低档小型机与高档微型机将很难区别。

高档小型机是向多功能，复杂化发展。共同特点是采用 4~8 个甚至更多通用寄存器，而且存储器可扩展到 32K 字以上，最大容量已经可扩到 512K 字节~2 兆字节，中央处理机还有可作浮点运算的处理机；软件中，操作系统模块化，从高档机到低档机系列化，备有编译程序。目前小型机的处理能力，比过去高 10~30 倍可达到一般中型机的水平。外存普遍采用磁盘，最大容量可达 200 兆字节。

此外，高档小型机有些已采用了大型机的先行控制，多模交叉存取，虚拟存储技术，并行操作和流水线等先进技术。

国外的 PDP-11 系列和我国生产的 DJS-180 系列、SJ55 系列机是概括了小型机大部分特点的小型机。

微型计算机是 1971 年末出现的，是大规模集成电路发展的产物。它比小型机小，其系统结构方面大部分沿用了传统的小型机的方案，只是它的中央处理单元是由一片或几片大规模集成电路组成的。这种中央处理单元称为微处理器或微处理机。微处理机加上其他部件，如时钟脉冲发生器，存储器，接口电路等便构成了微型计算机。所以，微型计算机通常系指由微处理机作为中央处理单元而构成的微型化计算机。

微型机自出现之后发展很快，差不多每二年就有一次重大的发展，也称换代。大体上，1973 年以前为第一代，以 Intel 4004，8008 及 MCS-4，MCS-8 为第一代的典型产品。1973 年以后，进入了第二代，以 Intel 8080 及相应的 MCS-80 和莫托洛拉公司的

M6800 为典型产品。1976 年下半年以后,进入了第三代,Z-80 被认为是这一代的典型产品(有人称为二代半)。目前,国外微型机已有几百个品种,产品方面已经系列化,结构上则已从单片微处理机发展到单片微型计算机,即一片大规模集成电路就是一台微型计算机。功能方面,高档机已达到或接近小型机的功能。微型机字长已可达 16 位。运算速度已达每秒几十万甚至上百万次,主存容量 4 K 以上,不少可达 64 甚至达 128 K,整个微型机可做成只有袖珍式半导体收音机大小,甚至只有一块方糖大小,而价格方面,微处理机只要几美元,微型计算机也不过几百美元。

目前,微型机就其功能来说有低档、中档和高档三种。字长则有 4、8、12、16 位之分。结构则有单片、多片、单板及多板等多种形式。在软件方面,很多微型机已配置了 BASIC 和 FORTRAN 等高级语言,微型机在软件方面落后于小型机的不利条件将逐步消失。

总之,微型机已在各个领域向小型机挑战,但是,由于小型机本身也在不断发展,高档小型机在性能上已在向中型机靠拢,因此,在短期内微型机不可能完全取代小型机。它们将长期共存,互相补充。

由于微型计算机在使用时不要求严格的环境条件,而且价格低廉,因此就给普及应用提供了极为有利的条件,使它能够不断渗透到各行各业,甚至人们的社会生活。它将给人类的生产和生活带来极其深远的影响。

计算机网络是计算机发展的又一个重要方面。

所谓计算机网络,就是若干台独立的计算机通过通信线路相互连接起来,彼此能够相互通信的一组相关的或独立的计算机系统;或者是单台计算机与多个终端设备通过通信线路相互连接起来,彼此能够相互通信的计算机系统。它具有数据传输、共享数据、共享硬件、共享软件、均衡负荷(把一个给定的工作负荷分配给网络内的各计算机,以便均衡地使用网络的资源),以及其它功能等。

计算机网络的发展大体上经历了三个阶段。第一阶段是从五十年代初期开始的单处理机中心网络。它是以一台计算机为中心与多个终端设备通过通信线路相互连接起来的计算机网络,用来实现计算机与多个终端设备之间的信息传送。第二阶段是从六十年代初期开始的分时网络,采用交互式处理方式,为公共用户服务。第三阶段是六十年代中期兴起的多处理机中心网络,它的特点是以资源(如数据、硬件、软件等)共享为主要目的,由于它的使用方式多样化,从而进一步显示了计算机网络的优越性。

就其应用来说,计算机网络可分为专用网络和分时服务网络。前者主要用于银行、交通、企业管理、气象预报、航空等系统;后者主要用于情报检索、学术交流以及其它方面。

随着微型计算机的发展,随着产线电遥控、遥测、遥讯、遥调技术与微型计算机的结合,以及数据传输光导纤维、电视系统和激光技术等方面的发展,计算机网络还会有更大的发展。

计算机发展的第四个方面是智能模拟。智能模拟是在对计算技术、控制论等研究的基础上发展起来的一门新的技术学科。智能模拟是自动化发展的高级阶段。智能模拟是指用机器进行图象和物体的识别、学习、启发探索等等。例如,智能机器人就是一种。智能机器人在十九世纪还只是出现在科学幻想小说里,今天已成为现实。目前,美国、日本和英国已制成机器人样机。如美国斯坦福研究所研制的一种机器人能“看”、能“记忆”,能“走路”。当它“看”到障碍时,会避开障碍前进。只要走通一次,就能记住所走的路线。日本已制成一

种用于装配线的机器人。这种机器人能“看”懂装配图，能从传送带上选取所需的零件，并能按照装配要求进行装配。以上这些还只是智能模拟发展的早期阶段。预计二十年后，才能制成真正的智能模拟装置。

展望未来，在计算机的发展中，必将产生很多新的突破。虽然要准确地预计未来是相当困难的，但从目前的发展来看，未来的计算机将是半导体技术、光学技术、超导技术、电子仿生技术互相结合的产物。八十年代，全面采用大规模集成电路的第四代计算机将越来越普及；采用超大规模集成电路的计算机将陆续出现；速度方面有可能达到每秒10~100亿次，即比目前最快的计算机提高1~2个数量级。九十年代以后，集成光路、超导器件，以及电子仿生技术有可能进入计算机，从而将出现光学数字计算机、超导计算机和人工智能计算机等全新的计算机，使计算机技术发展到一个更高的境界。

我国的电子计算机事业，在解放前还属空白。解放以后，它和其它社会主义建设事业一样有了迅速发展。1958年，研制成功了我国第一台电子管数字计算机，填补了我国电子数字计算机工业的空白。随后，1959年我国又研制成功了我国第一台大型电子管数字计算机。自1964年起，先后在不少单位研制并生产了多种晶体管数字计算机。如X-2，441-B，DJS-6，DJS-21，DJS-8等型号。1971年研制成功每秒十几万次的TQ-16型集成电路数字计算机。随后，1973年，研制成功了每秒运算速度为一百万次的DJS-11大型集成电路数字计算机；1974年研制成功DJS-130小型多功能集成电路数字计算机。1977年研制成功了每秒运算速度为二百万次的大型集成电路数字计算机、DJS-183小型多功能计算机及DJS-050微型计算机。DJS-200系列机、DJS 140机也相继问世。每秒运算五百万次的大型计算机已研制成功，这就使我国电子计算机事业达到了一个新水平。预计不久的将来，我国自行设计的采用大规模集成电路的各种类型的新系列机将陆续出现。

二、计算机的应用

电子数字计算机具有很高的计算速度及很大的存贮容量，并且可以在程序的控制下自动地进行工作。它不仅能进行数值计算，而且具有逻辑分析能力。所以，它的应用范围越来越广泛。据不完全统计，1974年的应用已达2700种，80年可达5000种左右。从导弹的弹道计算到导航；从工业生产的计划调度到生产过程的控制；从铁路运输的计划统计到机车运行的自动调度；从自动售货到银行存、取自动化；从医学自动生化分析到自动问诊、提出治疗建议等等，应用计算机的实例举不胜举。数字电子计算机的应用，使各个领域都发生了巨大的变化。

数字电子计算机的应用，就主要方面来看，可以概括为以下几个主要方面：

1. 数值计算 在近代的科学技术工作中，有大量而复杂的数值计算问题。如高层建筑结构的力学分析、光路系统的数学分析等各种数学物理问题的计算，它们都需要依靠计算机来解决。电子计算机的强大解题能力改变了工程设计和产品设计的面貌。很多设计，过去由于计算工作量大，故不能采用精确的计算方法，而只能采用近似的计算方法。现在，采用了计算机之后，由于计算机的运算速度很快，大大缩短了计算时间，因而有可能采用更加精确的计算方法，并且还能对不同的计算方案进行比较，从而求得最佳的设计方案。

2. 数据处理 企业管理、会计、统计、生物化学分析、医学、气象预报等很多领域，都有大量的数据需要进行分析处理。这些数据处理工作都可以用计算机来实现。数据处理是

计算机应用的一个十分重要的方面。据统计，用于数据处理的计算机占的比重最大。

3. 自动控制 利用计算机实现生产过程的实时控制，不仅大大地提高了自动化水平，而且提高了控制的准确性，从而减轻了劳动强度，提高了产品质量、成品合格率，降低了成本。因此，它在机械、冶金、石油化工、电力、水泥以及纺织等工业部门均得到了广泛应用，并收到了良好的效果。

在机械工业方面，若用计算机控制机床，则不仅可以实现精度要求高，形状复杂的零件加工的自动化，而且可以实现利用一台计算机控制多台机床（通常把它称为群控）。

在冶金工业方面，若用计算机控制纯氧顶吹转炉炼钢，则可以实现从加料到冶炼出钢等整个生产过程的自动控制。这里，计算机可以自动地快速地分析钢水中碳、磷、硫等化学成分的含量，可以自动控制进氧量，可以做到一次炼成，不必多次摇炉采样化验，从而缩短了冶炼时间，提高了产品质量，减轻了劳动强度，改善了劳动条件。计算机还可以用于均热炉控制，轧钢、炼铁，甚至整个车间或整个工厂的生产过程控制。

在石油化工方面，可用计算机实现石油化工的生产过程控制。在这种系统中，首先要自动检测液面高度、温度、压力、流量和对液体化学成分进行自动分析等，然后再根据工艺要求进行计算，实现实时控制。

在电力工业方面，可以用计算机对发电机组单元系统进行过程控制，也可以对整个电站的所有发电机组进行过程控制。计算机除完成巡回检测、制表、自动监视、最佳控制及工况趋势分析等正常作业外，还能完成机组自启停和事故处理。甚至在几个电站或几个电网之间，用一个多级计算机系统就能实现电力负荷的自动调配等。

总之，电子计算机和其它机械的最大不同点，就在于它能代替一部分特定的脑力劳动，从而大大提高了自动化水平。电子计算机的出现所带来的影响，远远超过了蒸汽机和电的出现所带来的影响。今后，电子计算机技术将越来越显示其强大的生命力。

§ 1-2 工业控制用计算机的组成和特点

一、数字电子计算机的组成

计算机为什么会有那么大的本领呢？关键在于：计算机是一种高度自动化的、能进行快速运算和逻辑判断的电子设备。由于它不但能进行加、减、乘、除等算术运算，而且能对参与运算的数据和计算结果进行逻辑判断，还具有“记忆”（或称存贮、寄存）的功能，因此可以自动、快速地解算各种数学问题和逻辑问题。

为了了解计算机的组成和它是怎样工作的，让我们先来回顾一下人是怎样利用算盘算题的。

假如用纸、笔和算盘来计算 $y = a \times b + c \times d$ 这样一道简单的算题。那么这个问题的计算步骤为：

第一步 根据给定题目 $y = a \times b + c \times d$ 。确定计算步骤和方法（这里是：先做 $a \times b$ ，然后做 $c \times d$ ，最后做 $y = a \times b + c \times d$ ），并且把计算公式、步骤和原始数据等写在纸上。

第二步 按先乘后加的原则在算盘上进行计算。先做 $a \times b$ ，求得的中间结果写在纸上。然后做 $c \times d$ ，最后做 $y = a \times b + c \times d$ 。

第三步 把最后结果写在纸上。计算完毕。

从上述过程可以看出。为完成计算，必须具备：

1. 记忆装置 用来存放原始数据、计算步骤、中间结果和最终结果。这里是纸和人的记忆中枢。
2. 运算装置 用来完成运算，这里是算盘。
3. 控制装置 用来控制整个计算过程的进行，这里是人的意志中枢。
4. 输入输出装置 将信息送给意志中枢，将数据写在纸上，在算盘上进行运算。这里是眼、笔和手。

电子计算机是模拟上述解题过程的自动电子装置。它也具有上述几种基本设备，分别为存贮器、运算器、控制器和输入/输出设备。其组成框图如图 1-1 所示。

电子计算机的存贮器用来记忆计算步骤、原始数据、中间结果和最后结果；运算器用来进行加、减、乘、除等算术运算及逻辑运算；输入设备把要算题目的计算步骤、原始数据送到存贮器中保存起来；输出设备把计算结果取出，如打印在纸上；控制器控制各部分按人们预先规定好的计算步骤或根据中间结果的特征进行判断。自动决定下一步骤怎样计算，用哪些数据。计算结果怎样处理以及控制输入输出设备的工作等等。通常，我们把这五个部分，称为计算机硬件。那么，是否

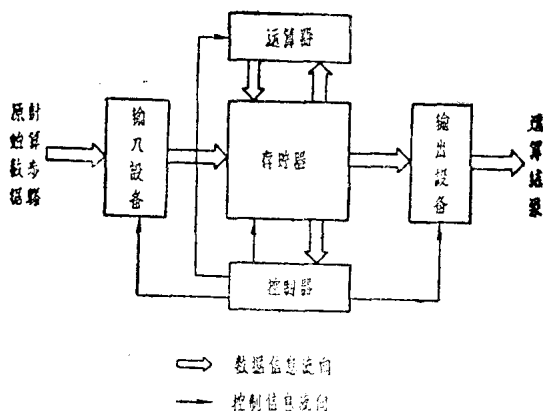


图 1-1 数字电子计算机的基本组成

只有硬件，计算机就能工作了呢？不能。这是因为，计算机完全不懂人的语言，所以，人们无法直接命令计算机做什么或怎么做。因此，为了让计算机能按人的要求去工作，就必须事先把计算方法和步骤翻译成为机器能懂的语言，即机器语言。这种语言的翻译工作就是用机器语言编写程序。接着，把编好的程序连同原始数据一起制成穿孔纸带，并通过输入设备送入计算机的存贮器中保存起来。然后，启动计算机。这时，计算机才能按人的要求进行工作。

相对于硬件而言，我们把各种各样的程序，称为软件。只有硬件和软件同时具备，计算机才能自动地、快速地、连续地工作。

现在，我们仍然以 $y = a \times b + c \times d$ 为例，说明计算机是如何工作的。

第一步 将编好的解题步骤（以后均称为程序）、原始数据通过输入设备送到存贮器存放起来。

第二步 进行计算

1. 从存贮器中把 a 取到运算器；
2. 从存贮器中把 b 取到运算器。进行 $a \times b$ 的乘法操作，这时，在运算器中的中间结果就是 $a \times b$ ；
3. 将运算器中的中间结果 $a \times b$ 送到存贮器暂存；

4. 从存贮器中把 c 取到运算器;
 5. 从存贮器中把 d 取到运算器, 进行 $c \times d$ 的乘法操作。这时, 在运算器中的中间结果就是 $c \times d$;
 6. 从存贮器中取回中间结果 $a \times b$ 。进行 $a \times b + c \times d$ 运算, 这时, 在运算器中的是最后结果 $y = a \times b + c \times d$;
 7. 将最后结果 y 送到存贮器;
- 第三步 由输出设备将最后结果 $y = a \times b + c \times d$ 打印在纸上。
- 第四步 停机。

二、工业控制用计算机的组成和特点

1. 组成

工业控制用计算机称为工业控制计算机 (简称控制机)。

控制机与一般计算机的区别在于它的应用场合不同, 它要与工业对象直接联系, 因此如何把生产过程的信息送到计算机中, 就是必须解决的问题。实现计算机与生产过程之间联系的中间环节称为“过程输入/输出通道” (或称外围设备)。控制机的组成如图 1-2 所示。

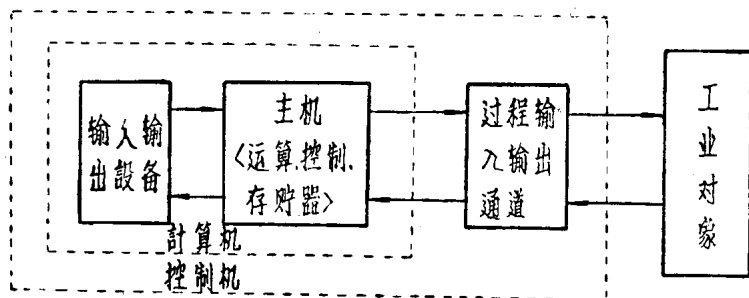


图 1-2 工业控制计算机组成框图

过程输入/输出通道是把主机与工业对象相互联系起的装置。它们一方面把工业对象的生产过程参数取出, 并且变换成电子计算机能够接收的二进制代码, 送给计算机进行处理; 另一方面把计算机发出的控制命令和其它数据信息转换成控制变量和其它形式的数据信息, 送给工业对象。

主机包括运算器、控制器和存贮器。它根据过程输入/输出通道发送来的工业对象的生产过程工况参数, 按照人们预先建立的数学模型, 自动地分析、计算, 作出判断。然后再不断地向过程输入/输出通道发送数据信息和控制命令, 实现对工业对象的生产过程控制 (简称过程控制)。

输入输出设备包括纸带输入机、卡片机、控制台打字机、打字机、显示器和声光报警器等等。管理人员通过输入/输出设备和主机交换信息, 并对生产过程进行一些必要的干预。

2. 特点

控制机与通常的电子计算机比较, 具有如下特点:

- 1) 要求有比较完善的过程输入输出通道, 以便能实现各种形式的信息转换, 如数模转换、模数转换等。

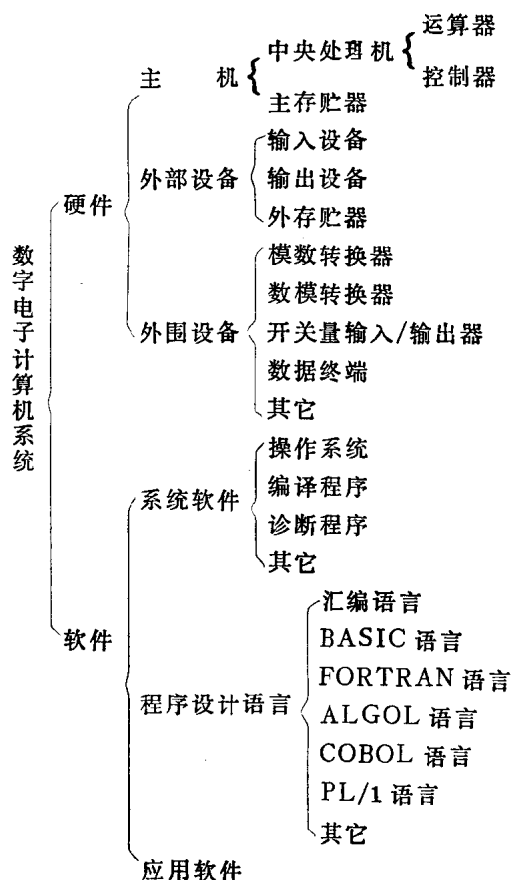
2) 要求有比较完善的中断系统和数据通道,以便能迅速地响应生产过程和计算机内部发出的各种中断请求,并能实时地与生产过程交换信息。

3) 要求有高度的可靠性。因为许多生产过程是连续工作的,生产过程不能停顿,(如高炉在生产过程发生故障就可能造成铁水凝固,有些化工过程发生故障甚至可能发生爆炸等),所以,如果用计算机进行控制则要求计算机有高度的可靠性,故障要少(一般允许几千小时出一次故障)。平均故障时间要短(一次故障时间不超过几分钟)。

4) 要求有方便的人机联系措施,以便于实现人机通信,便于对生产过程进行必要的干预。

三、数字电子计算机系统的构成

一个完整的数字电子计算机系统包括硬件和软件两大部分。其具体组成如下:



§ 1-3 工业控制用计算机按用途分类

正象根据计算机的功能和规模可以把计算机分为巨型、大型、中型、小型和微型计算机一样,我们也可以根据计算机在不同场合的用途加以分类。控制机按其用途的不同,可分为下述四类:

一、小型数字控制机

这类机器的特点是结构简单、速度不高、多用于控制规律简单和针对性较强的场合。它们已广泛应用于各个工业领域，尤其是对中小企业更为实用，如自动仓库管理，对起重机、机械手、数控机床、自动绘图机、自动化仪器、照像排字机的控制等等。

这类计算机多由小型或微型计算机配以适当外围设备构成。

现以数字控制机床为例绘出组成框图如图 1-3 所示。

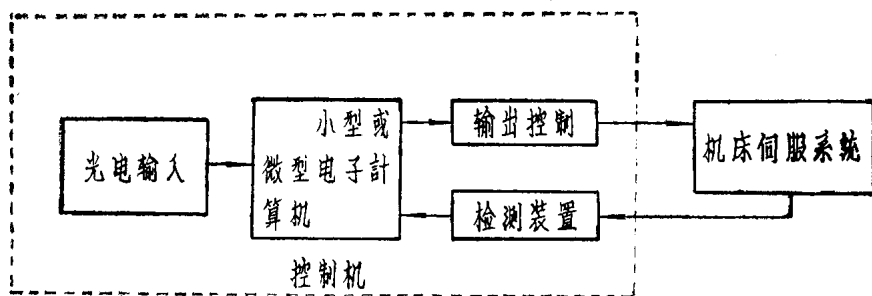


图 1-3 数字控制机床简框图

二、直接数字控制计算机

直接数字控制计算机（又称为 DDC）是一种多回路的数字调节装置。它能以数字运算的方式完成对工业参数若干回路的比例、积分、微分（简称 PID）调节控制，使工业对象的各控制参数保持在预定范围。

这类控制机由于控制规律比较简单，需要的存贮容量不大，一般可以用小型或微型计算机配以过程输入/输出通道实现或者做成专用的直接数字控制机。直接数字控制机的组成框图如图 1-4 所示。

三、过程最佳控制计算机

过程最佳控制计算机对于生产控制过程来说是比较复杂的，它要求生产过程最优化。例如要求产量最高、质量最好或者其它某一项（或几项）指标最好等。这就要不断测量生产过程工况参数，进行分析、处理、综合、判断，其按照预先给定最佳化数学模型进行运算或自寻最优。根据运算或逻辑判断的结果调整常规调节器的给定值，使工况参数改变，实现过程的闭环控制，从而使生产过程达到最佳。过程最佳控制计算机的组成框图如图 1-5 所示。

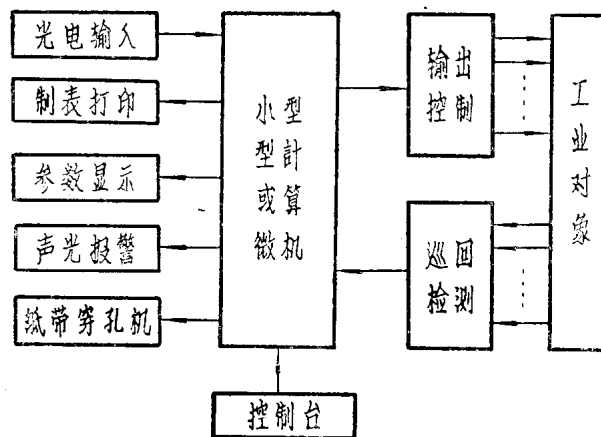


图 1-4 直接数字控制机组成框图

对于过程最佳控制，由于其控制规律比较复杂，计算机要担任大量工况分析、处理、综