



高等院校精品课程系列教材

JINGPIN
KECHENG

单片机原理及控制技术

主 编 王 君
副主编 祝超群 刘仲民
参 编 杨 彬



附赠电子教案

[http:// www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TP368.1/592

2010

高等院校精品课程系列教材

单片机原理及控制技术

主 编 王 君
副主编 祝超群 刘仲民
参 编 杨 彬

机械工业出版社

本书着重介绍计算机控制系统的组成,单片微型计算机的结构,软硬件系统,基本控制算法及在工业控制中的应用技术。全书共9章,主要内容以单片机控制系统为例,介绍微机控制系统的结构、组成、算法;分别讲述基于 MCS-51 系列单片机的结构及工作原理、指令系统及程序设计(包括 C51 程序设计)、中断系统及定时/计数器、串行通信、系统扩展技术、过程输入/输出通道、数字控制器设计、计算机控制系统设计与开发等内容。

本书可作为高等院校自动化、电气、计算机科学与技术、机电一体化等专业计算机控制技术或单片机课程的教材,也可作为从事计算机控制系统技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及控制技术/王君主编. —北京:机械工业出版社,2010.3

(高等院校精品课程系列教材)

ISBN 978-7-111-29900-4

I. ①单… II. ①王… III. ①单片微型计算机-计算机控制-高等学校-教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 033177 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:时 静 责任印制:杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2010 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·21.75 印张·537 千字

0 001—3 500 册

标准书号:ISBN 978-7-111-29900-4

定价:36.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

近年来,由于单片计算机具有集成度高、功能强、速度快、体积小、可靠性高、价格低等优点,已广泛应用于工业控制、通信工程,以及人们日常生活的各个方面。它对社会经济的发展有举足轻重的影响,利用单片机技术不仅可以开发新产品,而且可以改造现有的老设备,提高其效率、降低能源消耗。因而,单片机的开发应用前景十分广阔。

如今,单片机的种类和型号非常多,各行业选用的单片机也不尽相同,而各大学所讲授的大多是以 MCS-51 系列单片机为主。由于不同种类单片机的指令系统不同,相应的汇编语言不能通用,且编程繁杂。为培养能尽快适应社会需求的应用型技术人才,使毕业的学生到企业后,面对各种不同类型的单片机,能很快上手,本书根据掌握知识结构的规律和实际应用的要求,在传统汇编语言的基础上增加了 C51 语言程序设计,以 C51 语言和汇编语言各自的特色来实现单片机应用程序,使教学更紧密地与企业需求相结合。

本书是基于 MCS-51 系列单片机进行讲解的计算机控制技术,结合目前应用非常广泛的 C51 程序设计以及 Keil C51 编译器,在汇编程序设计的基础上,增加单片机 C51 语言应用程序设计。本书注重实例引导,使读者快速、轻松地进入 C51 语言编程的环境,尽量减少枯燥和压力感。

全书共分为 9 章:第 1 章简要介绍计算机控制系统的组成、分类及目前市场上常用的 51 系列单片机;第 2 章介绍基于 MCS-51 系列单片机的结构及功能;第 3 章主要介绍单片机的寻址方式、指令系统,以及汇编语言程序设计。本章在讲述指令的同时,列举了大量的实用例题,以便提高学生对 MCS-51 系列单片机汇编语言的编程技巧;第 4 章介绍 C51 高级语言程序设计,从 C51 编程结构到如何高效地写出 C51 程序做了详尽的介绍;第 5 章对 MCS-51 单片机的中断系统做了较为详尽的介绍;第 6 章针对计算机控制系统设计中的人机交互与系统扩展进行了较为全面的介绍;第 7 章介绍计算机控制系统设计中的过程通道;第 8 章介绍计算机控制系统中的常用数字控制器的设计原理及设计方法;第 9 章介绍单片机应用系统的设计与开发过程,作为前几章学习后的综合应用,供实验、课程设计及学生课外设计时参考。

本书是编者多年从事“单片机原理及应用”、“计算机控制技术”课程教学和科研的经验总结。书中的很多例题、习题都是精心挑选具有典型功能程序或选自不同项目的部分应用程序,实用性很强。本书在内容安排上由浅入深、由易到难、重点突出、通俗易懂,在单片机原理的基础上,列举了较多的应用实例,突出易学实用的特点。每章后都有相关的习题,帮助学生和参考人员理解消化本书上所讲的理论知识。

本书由王君、祝超群、刘仲民和杨彬共同完成。其中,第 1、2、5 章由祝超群、杨彬编写,第 6 章由祝超群、王君编写,第 7、8 章由王君编写,第 3、4、9 章由刘仲民编写,附录由祝超群编写。最后,全书由王君统稿完成。在本书的编写过程中,我们得到了许多同

行的指导和支持，借鉴了许多教材编者的宝贵经验，在此谨向直接或间接帮助过本书出版的
所有人表示诚挚的感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机控制系统的组成	1
1.1.1 计算机控制系统的硬件	2
1.1.2 计算机控制系统的软件	3
1.2 计算机控制系统的分类	4
1.2.1 操作指导系统	4
1.2.2 直接数字控制系统	5
1.2.3 计算机监督控制系统	5
1.2.4 分布式控制系统	7
1.2.5 现场总线控制系统	8
1.3 常用的 51 系列单片机	8
1.3.1 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机	9
1.3.2 Atmel 公司的 AT89 系列单片机	9
1.3.3 Philips 公司的 51 系列单片机	10
1.4 习题	11
第 2 章 MCS-51 单片机的结构和时序	12
2.1 MCS-51 单片机的结构	12
2.1.1 MCS-51 的组成	12
2.1.2 CPU 的结构	13
2.1.3 存储器的结构	16
2.1.4 MCS-51 的并行 I/O 端口	22
2.1.5 MCS-51 的定时/计数器	25
2.1.6 MCS-51 的中断系统	26
2.1.7 MCS-51 的串行接口	26
2.2 MCS-51 的引脚功能及片外总线结构	27
2.2.1 MCS-51 的引脚功能	27
2.2.2 MCS-51 的片外总线结构	29
2.3 MCS-51 单片机的工作方式	29
2.3.1 复位工作方式	30
2.3.2 程序执行工作方式	31
2.3.3 节电工作方式	32

2.3.4 编程和校验工作方式	32
2.4 MCS-51 单片机的时序	33
2.4.1 时钟电路	33
2.4.2 CPU 时序的有关概念	33
2.4.3 MCS-51 的取指令和执行指令时序	34
2.4.4 MCS-51 访问外部存储器的指令时序	35
2.5 习题	38
第3章 MCS-51 系列单片机的指令系统及汇编程序设计	39
3.1 指令系统概述	39
3.1.1 汇编指令格式	39
3.1.2 指令描述符号介绍	40
3.2 寻址方式	40
3.2.1 立即寻址	41
3.2.2 寄存器寻址	41
3.2.3 直接寻址	41
3.2.4 寄存器间接寻址	41
3.2.5 变址寻址	42
3.2.6 相对寻址	43
3.2.7 位寻址	43
3.3 MCS-51 系列单片机的指令系统	44
3.3.1 数据传送类指令	44
3.3.2 算术运算类指令	49
3.3.3 逻辑运算及移位指令	54
3.3.4 位操作指令	57
3.3.5 控制转移类指令	58
3.4 汇编语言程序设计	64
3.4.1 汇编语言程序伪指令	64
3.4.2 结构化程序设计	67
3.5 习题	80
第4章 C51 高级语言程序设计	84
4.1 C 语言高级编程	84
4.1.1 C 语言的特点	84
4.1.2 C 语言与 MCS-51 系列单片机	85
4.1.3 C51 编译器	85
4.1.4 Keil 8051 开发工具	87
4.1.5 C51 程序结构	87
4.2 C51 对标准 C 语言的扩展	89
4.2.1 存储区域	89
4.2.2 数据类型	90

4.2.3	常量和变量	91
4.2.4	存储器模式	95
4.2.5	绝对地址的访问	97
4.3	C51 的运算符及表达式	99
4.3.1	算术运算符	99
4.3.2	关系和逻辑运算符	99
4.3.3	位运算符	100
4.3.4	逗号运算符	101
4.3.5	赋值运算符	101
4.3.6	条件运算符	102
4.3.7	指针与地址运算符	102
4.3.8	表达式和表达式语句	103
4.4	C51 函数	104
4.5	C51 构造数据类型	112
4.5.1	数组和指针	112
4.5.2	结构、共同体和枚举	117
4.6	C51 库函数	120
4.6.1	本征库函数和非本征库函数	121
4.6.2	访问 SFR 和位地址的 REGxxx.H 文件	122
4.6.3	C51 库函数	122
4.7	C51 程序编写	122
4.7.1	C51 程序的基本结构	122
4.7.2	编写高效的 C51 程序及优化程序	129
4.8	C51 语言与汇编语言	130
4.8.1	C51 与汇编语言的接口	131
4.8.2	函数的声明及段名的命名规则	133
4.9	习题	134
第 5 章	MCS-51 的定时器、中断系统以及串行口	135
5.1	MCS-51 单片机的定时/计数器	135
5.1.1	定时/计数器的结构	135
5.1.2	定时/计数器的控制	136
5.1.3	定时/计数器的工作方式	137
5.1.4	定时/计数器的初始化	139
5.1.5	定时/计数器应用举例	140
5.2	MCS-51 单片机的中断系统	145
5.2.1	MCS-51 的中断系统组成	145
5.2.2	中断源和中断请求标志	146
5.2.3	中断控制	147
5.2.4	中断的处理过程及响应时间	149

5.2.5 中断系统的初始化及应用	151
5.2.6 中断源的扩展	153
5.3 MCS-51 的串行接口	157
5.3.1 串行口的结构	157
5.3.2 串行口的工作方式	159
5.3.3 串行口的通信波特率	161
5.3.4 串行口的初始化	162
5.3.5 串行口的应用举例	162
5.3.6 串行口在多机通信中的应用	169
5.4 习题	170
第6章 单片机的人机交互与扩展技术	172
6.1 单片机系统的人机交互技术	172
6.1.1 显示器接口技术	172
6.1.2 键盘接口技术	181
6.1.3 串行通信接口技术	187
6.2 存储器的扩展技术	193
6.2.1 存储器扩展中应考虑的问题	193
6.2.2 存储器的并行扩展	195
6.2.3 存储器的串行扩展	199
6.3 系统扩展技术	205
6.3.1 并行 I/O 接口的扩展及应用	205
6.3.2 可编程串行显示接口芯片 MAX7219 及扩展应用	213
6.4 习题	218
第7章 过程通道	220
7.1 输入/输出通道的结构	220
7.1.1 输入通道的结构	220
7.1.2 输出通道的结构	222
7.2 多路开关及采样量化保持	223
7.2.1 多路模拟开关	223
7.2.2 信号采样及量化	224
7.2.3 保持器	226
7.3 模拟量输出通道接口技术	227
7.3.1 DAC 的主要性能指标	227
7.3.2 并行 DAC 及接口技术	228
7.3.3 串行 DAC 及接口技术	236
7.4 模拟量输入通道接口技术	239
7.4.1 ADC 的主要技术指标	240
7.4.2 并行 ADC 及接口技术	241
7.4.3 串行 ADC 及接口技术	249

7.5	压频转换器和频压转换器	259
7.6	开关量输入输出通道	262
7.6.1	开关量输入通道	262
7.6.2	开关量输出通道	263
7.7	习题	266
第8章	数字控制器设计	268
8.1	概述	268
8.2	数字PID控制器	268
8.2.1	PID控制器的数字化实现	268
8.2.2	数字PID控制器算法的几种改进形式	271
8.2.3	PID控制器的参数整定	277
8.3	直接数字控制器的设计	280
8.3.1	直接数字控制器的脉冲传递函数	280
8.3.2	最少拍随动系统数字控制器的设计	281
8.3.3	最少拍无波纹随动系统数字控制器的设计	284
8.4	纯滞后对象控制器的设计	286
8.4.1	大林算法	286
8.4.2	史密斯预估补偿算法	288
8.5	数字控制器的计算机实现	289
8.5.1	直接程序法	290
8.5.2	串行程序法	290
8.5.3	并程序法	292
8.6	习题	293
第9章	MCS-51系列单片机应用系统开发与设计	295
9.1	单片机系统开发与设计	295
9.1.1	系统总体方案设计	295
9.1.2	硬件设计	296
9.1.3	软件设计	297
9.1.4	系统调试	299
9.1.5	印制电路板设计	302
9.2	抗干扰技术	303
9.2.1	干扰源及其分类	304
9.2.2	硬件抗干扰技术	305
9.2.3	软件抗干扰技术	307
9.3	8路温度巡检仪应用设计	308
9.3.1	设计任务及硬件电路设计	308
9.3.2	系统软件设计	312
9.4	步进电动机控制系统设计	316
9.4.1	设计任务及硬件电路设计	316

9.4.2 系统软件设计 318

9.5 出租车计费器设计 321

9.5.1 设计任务及硬件电路设计 321

9.5.2 系统软件设计 322

附录..... 328

附录 A MCS-51 系列单片机指令表 328

附录 B Keil C51 库函数 331

附录 C C51 极限值 335

参考文献..... 336

第1章 绪 论

自 20 世纪 70 年代推出单片机以来,随着计算机技术的发展和它在控制系统中的应用,单片机以其体积小、可靠性高、控制功能强、开发较为容易等特点,在智能仪表、机电一体化、实时控制、分布式多机系统、家用电器等各个领域得到了广泛的应用。它的出现及发展使计算机技术从通用型数值计算领域进入到智能化控制领域。从此,计算机技术在两个重要领域——通用计算机领域和嵌入式计算机领域都得到了极其重要的发展。

单片微型计算机 (Single Chip Micro Computer) 简称单片机,因为它主要用于控制系统,所以又称之为微控制器或嵌入式控制器。单片机是把组成微型计算机的各功能部件:中央处理器 (CPU)、随机存取存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM)、I/O 接口电路、定时/计数器,以及串行通信接口等部件制作在一块芯片中,构成一个完整的计算机。单片机的结构

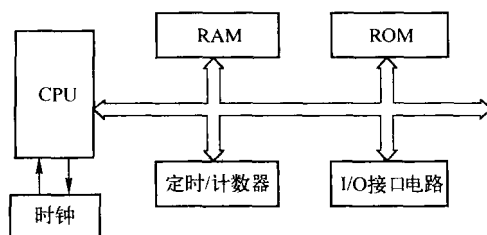


图 1-1 单片机的结构图

图如图 1-1 所示。本章主要介绍计算机控制系统的基本概念、组成和分类,并对常用的 51 内核单片机作简要的介绍。

1.1 计算机控制系统的组成

常见的工业控制系统根据信号传送的通路结构可以分成两大类:开环控制系统和闭环控制系统。其中,闭环控制系统的结构如图 1-2 所示。这种控制结构有助于提高控制质量和控制精确度,是一种重要的、并被广泛应用的控制方式。计算机控制系统指的就是用这种控制方式组成的系统。

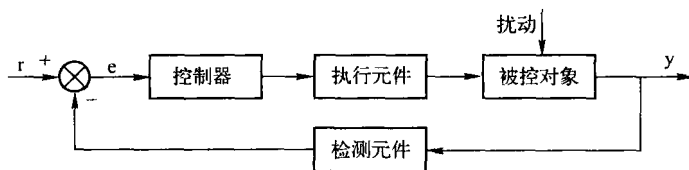


图 1-2 闭环控制系统的结构

在闭环控制系统中,由检测元件对被控对象的现场参数(如温度、湿度等)进行测量,然后将检测值与系统的给定值进行比较,得到一个偏差。将这个偏差输入到控制器,并按照某种控制算法进行控制运算得到一个输出控制量,最后由执行器将控制操作量作用于被控对象,以消除偏差,使被控量与期望值趋于一致。

闭环控制系统中由计算机作为控制器,就组成了一个典型的计算机控制系统。计算机主

要完成现场参数输入、比较运算和控制量计算，以及输出。一个完整的计算机控制系统主要由微型计算机、接口电路、外部通用设备和工业生产对象组成，其典型结构如图 1-3 所示。被控对象的现场参数经传感器、变送器转换成统一的标准信号，再经多路开关分时送到 A/D 转换器转换成数字量送入计算机，这就是模拟量输入通道。计算机对输入的数据进行处理和计算，然后经模拟量输出通道输出，输出的数字量通过 D/A 转换器转换成模拟量，经过相应的执行机构实现对被控对象的控制。下面简要介绍计算机控制系统的硬件结构和软件功能。

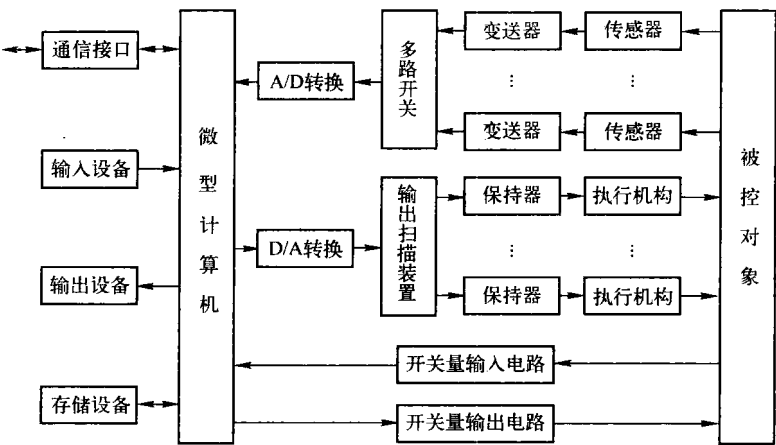


图 1-3 计算机控制系统的组成

1. 1. 1 计算机控制系统的硬件

计算机控制系统的硬件部分主要由微型计算机、I/O 接口与 I/O 通道，以及通用外部设备组成。

1. 微型计算机

微型计算机由微处理器、内部存储器，以及时钟电路组成，是整个控制系统的核心。它可以对系统的现场参数进行巡回检测，执行数据处理、控制量计算，以及报警处理等，并且把计算出的控制量通过接口作用于被控对象，实现对现场参数的控制。

根据控制对象和控制要求不同，可以采用不同的计算机。对于大型和集中型的过程控制，如企业生产过程自动化、机床自动化应用领域，多采用 16 位机或 32 位机；对于一般的工业过程控制、机电一体化产品、家用电器等，根据其自身特点一般采用 4 位机或 8 位机。

2. I/O 接口与 I/O 通道

I/O 接口和 I/O 通道是计算机与被控对象进行信息交换的桥梁。计算机数据输入和控制输出都是通过 I/O 接口与 I/O 通道来完成的。通常，过程通道由以下几部分组成。

(1) 模拟量输入通道

模拟量输入通道用来将控制对象的现场模拟量参数转化为计算机能够识别的数字信号，并且将这些数字信号读取到计算机。首先由检测元件将现场信号的瞬时值转换成电信号，然

后再由变送器将电信号转变成统一的标准信号（4 ~ 20 mA 或 0 ~ 5 V），这些标准的电流或电压信号经过多路模拟开关和 A/D 转换器之后转换为数字信号，最后再送入计算机。

（2）模拟量输出通道

由计算机的控制算法计算出控制输出后，必须将数字控制信号转换成执行机构所需要的模拟量，这个工作就是由模拟量输出通道来完成的。对于计算机而言，控制输出是离散信号，而执行机构要求的是连续的模拟信号，所以，控制量输出首先经 D/A 转换器转换为模拟量，然后利用采样保持器加以保持后才可以控制执行机构动作。执行机构有的采用电动、气动、液压传动控制，也有的采用电机以及可控硅元件等进行控制，主要作用是控制各参数的流入量。

（3）开关量输入通道

开关量输入通道用来将工业现场的各种电气设备的运行状态（启动或停止），继电器及限位开关的通、断状态作为现场参数输入到计算机。

（4）开关量输出通道

开关量输出通道是利用离散的二进制信息实现控制功能的，主要用于控制生产现场继电器的闭合和断开，电机的启动、停止等动作。

由上可知，过程通道由各种硬件设备组成，它们主要完成信息的转换和传送功能，配合相应的输入、输出控制程序，使主机和被控对象能进行信息交换，从而实现计算机对生产机械、过程的控制。

3. 通用外部设备

外部设备主要用来存储系统工作的历史数据和进行人机交互。常见的外部设备有打印机、CRT 和 LCD 显示终端、键盘、指纹识别机、磁带机、磁盘驱动器、光盘驱动器、扫描仪等。这些外部设备可以对生产过程的数据进行存储，以实现对数据的历史追溯，同时还可以显示控制系统的工作状态和数据，使操作人员及时了解生产、加工过程的状态，进行必要的人为干预，输入各种数据，发出各种操作命令。

1.1.2 计算机控制系统的软件

软件是指完成各种功能的计算机程序的总和，它是微机系统的神经中枢，整个系统的动作都是在软件指挥下进行协调工作的。对于计算机控制系统来说，软件主要有两大类，即系统软件和应用软件，具体分类如图 1-4 所示。

系统软件一般由厂家提供，专门用来使用和管理计算机。系统软件主要包括操作系统、编译程序、监控程序以及故障诊断程序等。其中，操作系统是计算机控制系统信息的指挥者和协调者，具有数据处理、硬件管理等功能；监控程序则是最初级的操作系统，对于小规模微机应用系统，监控程序规模不大，可由工程人员自行编制。

应用软件一般指由用户根据需要自己编制的控制程序、控制算法程序，以及一些服务程序，如 A/D 和 D/A 转换程序、数据采集程序、数字滤波程序、标度变换程序、键盘处理程序、显示程序、过程控制程序等。有关应用程序的设计方法将在以后的章节加以叙述。

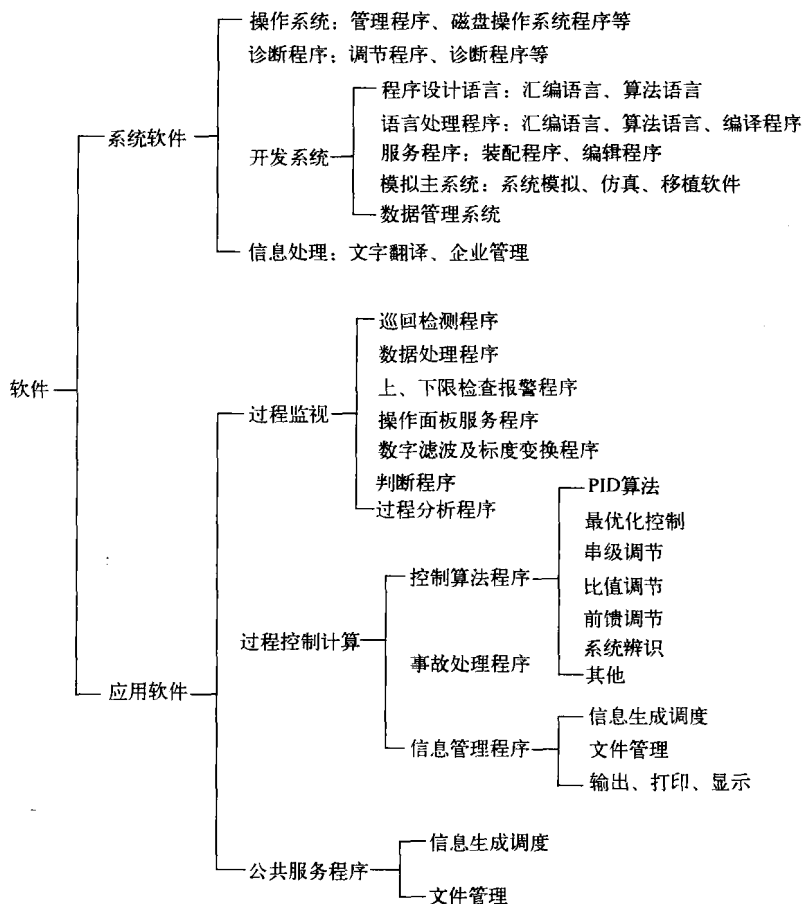


图 1-4 计算机软件分类

1.2 计算机控制系统的分类

计算机控制系统与其所控制的生产对象密切相关，根据计算机参与控制的方式、特点，计算机控制系统可分成以下几种类型。

1.2.1 操作指导系统

操作指导系统也称为数据采集系统。在此类系统中，计算机的输出不直接控制生产对象，仅用来对生产对象的现场参数进行检测输入，对数据进行加工处理，显示现场工况，经过控制算法计算输出一个参考的控制量。现场的操作人员根据计算机的输出信息改变调节器的值，或根据显示值来执行相应的操作。其组成框图如图 1-5 所示。

该系统属于开环控制结构，其主要特点是：结构简单，控制灵活，而且可靠性较高，尤其适用于被控对象数学模型不明确或者调试新的控制程序等场合。它的缺点是：仍需要人工参与操作，控制速度受到限制，工作效率不高，而且不能同时对几个控制回路进行操作。

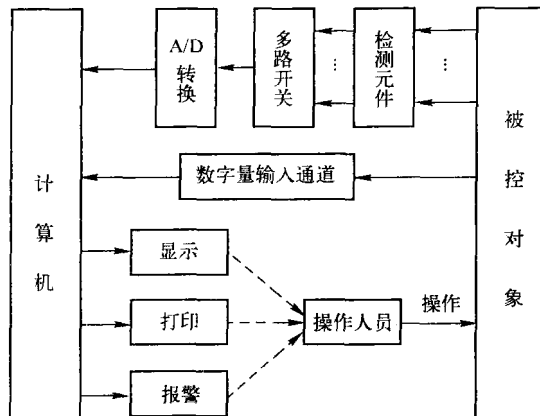


图 1-5 操作指导系统的组成框图

1.2.2 直接数字控制系统

直接数字控制系统（Direct Digit Control System）就是利用一台计算机对一个或多个控制对象的现场参数进行检测，将检测输入和预先给定的设定值进行比较，按照程序设定的控制算法进行运算，然后输出控制命令到执行机构对生产过程进行控制，使被控参数按照工艺要求的规律变化。其结构框图如图 1-6 所示。

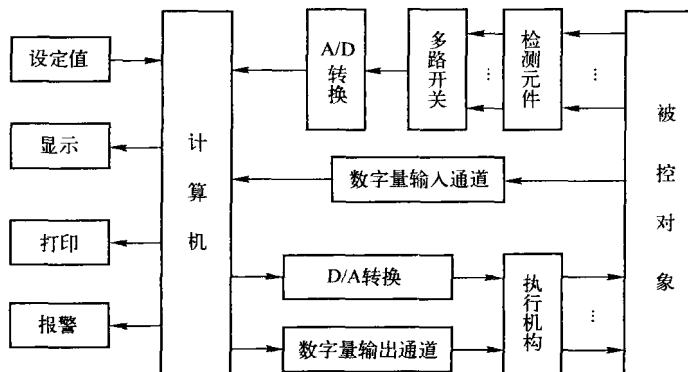


图 1-6 直接数字控制系统的结构框图

因为计算机的工作速度快，所以用一台计算机可以代替多台模拟调节器，这大大降低了控制的成本。此外，借助计算机强大的计算能力，可以实现各种比较复杂的控制算法，如串级控制、前馈控制、模糊控制、自适应控制和最优控制等。直接数字控制系统已成为计算机应用于工业生产过程控制的一种典型控制系统。

1.2.3 计算机监督控制系统

在直接数字控制系统中，因为给定值是预先设定的，当生产过程工艺发生变化时，这个预设值不能及时修正，因此，DDC 系统很难使系统工作在最优工作状态。计算机监督控制

系统（Supervisory Computer Control System）是由上位 SCC 计算机收集控制对象参数和实时操作命令，根据生产过程的数学模型计算出最佳的给定值，并将它传送给 DDC 计算机或模拟调节器，最后由 DDC 计算机或模拟调节器控制生产过程，从而使生产过程处于最优工况。经比较，SCC 系统比 DDC 系统更接近生产变化的实际情况，它既可以进行给定值控制，还可以进行顺序控制、最优控制，以及自适应控制，是操作指导和 DDC 系统的综合与发展。根据面对工业对象的下位机的不同，可以将 SCC 系统分为 SCC + 模拟调节器控制系统和 SCC + DDC 控制系统。

1. SCC + 模拟调节器控制系统

该系统的工作原理如图 1-7 所示。在本系统中，上位 SCC 计算机中预先建立了生产过程的数学模型，根据生产过程的被测参数和管理命令进行计算后，输出给定值到模拟调节器，直接对生产过程施加连续的调节作用，使被控参数完全按照工艺要求的规律变化，确保生产工况处于最优状态。在实际应用过程中，单台 SCC 计算机可以同时实现对多个模拟调节器的控制，形成一个两级控制系统。这种系统结构特别适合老企业的技术改造，既保留了原有的模拟调节器，又实现了最佳给定值控制。

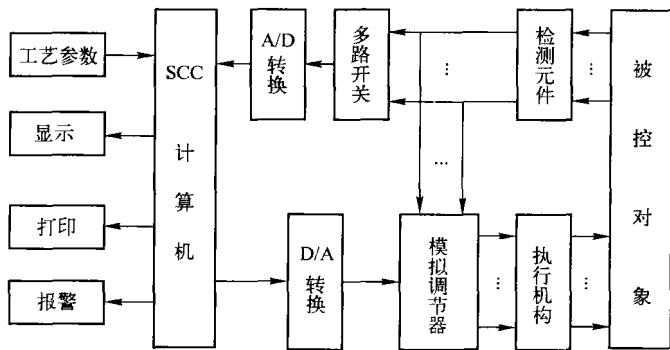


图 1-7 SCC + 模拟调节器控制系统的工作原理

2. SCC + DDC 控制系统

该系统的工作原理如图 1-8 所示。在本系统中，SCC 级的作用与 SCC + 模拟调节器控制系统中的作用相同，也是用来计算最佳给定值。直接数字控制器根据给定值和测量值比较的

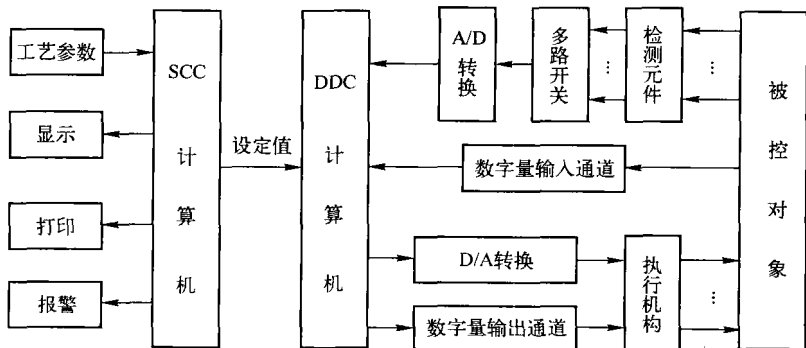


图 1-8 SCC + DDC 控制系统的工作原理