

普通高等教育“十三五”规划教材

计算机 控制系统

陈江辉 张小花 叶丽萍 主编

JISUANJI KONGZHI XITONG

配套电子课件



化学工业出版社



普通高等教育“十三五”规划教材

计算机 控制系统

陈江辉 张小花 叶丽萍 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

全书共分 12 章, 内容包括绪论、计算机控制系统信号基础、计算机控制系统数学描述、数字控制器模拟化设计方法、数字控制器离散直接设计方法、控制技术中计算机主机、控制系统接口技术——输入输出通道、计算机控制系统程序设计、计算机控制系统抗干扰技术、计算机控制系统的整体设计与实施、太阳能电子秤单片机控制系统设计、数控加工中心操作面板的设计与 PLC 实现。本书中配有习题与思考题可供选用, 全书内容丰富, 体系新颖, 理论联系实际并给出了实例, 系统性和实践性强。

本书可作为高等学校自动化、电子与电气工程、计算机应用、机电一体化及其他相近专业的教材, 并可供工程技术人员参考。

计算机 控制系统

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机控制系统/陈江辉, 张小花, 叶丽萍主编.
北京: 化学工业出版社, 2017.1
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-122-28751-9

I. ①计… II. ①陈…②张…③叶… III. ①计算机
控制系统-高等学校-教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 314873 号

责任编辑: 韩庆利
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 张绪瑞
装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 三河市延风印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 12 $\frac{1}{4}$ 字数 309 千字 2017 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

计算机是 20 世纪最先进的科学技术发明之一，其在技术上的应用对人类的生产活动和社会活动产生了极其重要的影响，应用领域从最初的军事科研应用扩展到社会的各个领域。计算机控制技术作为计算机技术中与工业生产最为紧密的专业技术，在越来越多的领域获得了越来越广泛的应用。它主要研究如何将计算机技术、通信技术和自动控制理论应用于工业生产过程，根据工业生产过程的自动化要求，设计出所需要的计算机控制系统。“计算机控制系统”是我国高等学校各类自动化、电子与电气工程、计算机应用、机电一体化及其他相近专业的主干专业课程。

为了落实理论联系实际的要求，进一步做好课程建设，本书的编写注意到以下几点：其一是由于不同类型的学校具有不同的培养目标，本书的定位在地方工科院校，培养注重理论联系实践教学的教学方式；其二明确注重培养学生系统设计能力、实验能力和工程意识；其三，为了适应课程培养目标，本书采取了理论基础、设计和实例应用的教材结构，这样更有利于理论教学与实践教学的配合，使得学生知识体系更加完备。

全书共分 12 章。第 1 章是绪论，介绍了计算机控制系统及其组成、计算机控制系统的典型形式、计算机控制系统的发展概况和趋势；第 2 章主要介绍了计算机控制系统中的信号类型及其信号之间的转换理论基础；第 3 章主要介绍了计算机控制系统的时域和 z 域数学描述及其系统的稳定性分析；第 4 章介绍了计算机作为数字控制器的间接模拟化设计方法和理论及其数字 PID 控制器设计；第 5 章介绍了计算机作为数字控制器的离散直接设计方法和理论，包括最少拍控制器设计、史密斯算法和大林算法及其数字控制器的程序实现；第 6 章主要介绍了应用于数字控制技术中计算机主机的特点和组成；第 7 章主要介绍了控制系统的接口技术，包括模拟量和开关量的输入输出技术及其人机接口和执行器；第 8 章讨论了计算机控制系统的应用软件设计；第 9 章主要介绍了计算机控制系统抗干扰技术的基本概念及提高硬件系统和软件可靠性的措施；第 10 章从系统的角度，介绍计算机控制系统设计的一般原则和步骤及其系统的工程设计与实施；第 11 章主要以太阳能电子秤为例，详细介绍了单片机控制系统的硬件与软件的设计；第 12 章主要以 CNC 的控制面板为例，详细介绍了可编程控制器的硬件与软件的设计。书中配有习题与思考题可供选用，全书内容丰富，体系新颖，理论联系实际并给出了实例，系统性和实践性强。

本书第 1、6、11、12 章由陈江辉编写，第 2~4 章由叶丽萍编写，第 5、8、9 章由张小花编写，第 7 章由陈果编写，第 10 章由唐宇编写。陈江辉、张小花和叶丽萍任主编，陈江辉负责全书的统一修改和编排定稿。

本书由王克强教授和程建兴教授主审，在此表示感谢。

本书配套电子课件，可赠送给用书的院校和老师，如果需要，可发邮件到 hqlbook@126.com 索取。

由于水平有限，尽管在编写过程中尽心尽力，书中难免有不妥或疏漏之处，敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机控制系统概述	1
1.1.1 计算机控制系统及其特点	1
1.1.2 计算机控制系统组成	3
1.2 计算机控制系统应用类型	4
1.2.1 计算机监测与操作指导系统	4
1.2.2 顺序控制系统	5
1.2.3 直接数字控制系统	5
1.2.4 监督控制系统	6
1.2.5 集散控制系统	6
1.3 计算机控制系统发展与应用	7
1.3.1 计算机控制系统发展历史	7
1.3.2 计算机控制系统应用趋势	8
1.4 计算机控制系统设计与实现问题	9
1.4.1 计算机控制系统设计步骤	9
1.4.2 计算机控制系统实现注意问题	10
第 2 章 计算机控制系统信号基础	12
2.1 计算机控制系统信号类型	12
2.1.1 信号类型	12
2.1.2 计算机控制系统结构	13
2.2 模数转换理论基础	14
2.2.1 采样过程	14
2.2.2 采样信号的数学描述与采样定理	15
2.2.3 采样信号的量化与编码	18
2.3 数模转换理论基础	19
2.3.1 模拟信号理想恢复过程	19
2.3.2 非理想恢复过程	20
2.3.3 零阶保持器	20
2.3.4 一阶保持器	22

习题与思考题	23
第 3 章 计算机控制系统数学描述	24
3.1 时域描述——差分方程	24
3.1.1 什么是差分	24
3.1.2 差分方程	24
3.1.3 差分方程的求解	25
3.2 z 域描述——脉冲传递函数	26
3.2.1 z 变换定义及表达式	27
3.2.2 z 反变换	28
3.2.3 脉冲传递函数	31
3.3 计算机控制系统稳定性分析	33
3.3.1 s 平面与 z 平面的映射关系	34
3.3.2 计算机控制系统的稳定性	35
3.3.3 稳态误差	38
习题与思考题	38
第 4 章 数字控制器模拟化设计方法	40
4.1 模拟化设计的基本理论	40
4.1.1 模拟化设计基本原理	40
4.1.2 离散控制器模拟化的数学描述	40
4.1.3 数字控制器模拟化设计步骤	42
4.2 连续域控制器离散化方法	42
4.2.1 z 变换法	42
4.2.2 前向差分法	43
4.2.3 双线性变换法	45
4.2.4 阶跃响应不变法	47
4.3 数字 PID 控制器设计	48
4.3.1 PID 控制规律及其作用	48
4.3.2 模拟 PID 控制器离散化	50
4.3.3 数字 PID 控制算法改进	52
4.3.4 PID 调节参数整定	56
4.3.5 采样周期的选择	59
习题与思考题	60
第 5 章 数字控制器离散直接设计方法	61
5.1 脉冲传递函数解析设计原理	61
5.1.1 数字控制器 $D(z)$ 的一般形式	61
5.1.2 $D(z)$ 在物理上的可实现性	62

5.1.3	闭环稳定性要求	63
5.1.4	离散直接设计一般步骤	63
5.2	最少拍控制系统设计	64
5.2.1	最少拍无差系统	64
5.2.2	最少拍无差系统闭环脉冲传递函数确定	65
5.2.3	最少拍控制器 $D(z)$ 的确定	65
5.2.4	最少拍控制系统数字控制器的设计	66
5.3	纯滞后对象的控制算法——史密斯预估器	68
5.3.1	纯滞后对系统控制品质的影响	68
5.3.2	史密斯补偿控制原理	69
5.3.3	史密斯补偿器的计算机实现	70
5.4	纯滞后对象的控制算法——大林算法	72
5.4.1	大林算法基本原理	72
5.4.2	大林算法数字控制器的基本形式	73
5.4.3	振铃现象及消除方法	74
5.4.4	大林算法的设计步骤	76
5.5	数字控制器的程序实现	77
5.5.1	直接程序设计法	77
5.5.2	串行程序设计法	78
5.5.3	并行程序设计法	79
	习题与思考题	80
第6章	控制技术中计算机主机简介	81
6.1	工业控制计算机	81
6.1.1	工控机的特点	81
6.1.2	工控机的组成	83
6.2	可编程控制器 (PLC)	84
6.2.1	可编程控制器的特点	84
6.2.2	可编程控制器的组成	84
6.2.3	可编程控制器的工作原理	85
6.3	单片机	86
6.3.1	单片机的特点	86
6.3.2	单片机的组成	87
6.3.3	单片机的组成	89
6.4	数字信号处理器 (DSP)	91
6.4.1	DSP 的特点	91
6.4.2	DSP 的基本结构	91
6.4.3	TMS320LF2407 简介	92
6.5	ARM 处理器	94
6.5.1	ARM 处理器简介	94
6.5.2	ARM 处理器体系结构	94

6.5.3 ARM7 处理器简介	95
习题与思考题	97
第 7 章 控制系统接口技术——输入输出通道	98
7.1 模拟量输入接口技术	98
7.1.1 模拟量输入通道结构	98
7.1.2 信号调理	98
7.1.3 多路开关	99
7.1.4 前置放大器	99
7.1.5 采样保持器	100
7.1.6 A/D 转换器	100
7.2 模拟量输出接口技术	103
7.2.1 模拟量输出通道结构	104
7.2.2 D/A 转换器及其接口	104
7.3 开关量输入接口技术	107
7.3.1 开关量输入通道一般结构	107
7.3.2 开关量输入信号的调理	108
7.4 开关量输出接口技术	109
7.4.1 开关量输出通道一般结构	109
7.4.2 开关量输出驱动电路	109
7.5 人-机接口	110
7.5.1 键盘接口技术	110
7.5.2 显示器接口技术	111
7.6 执行器	114
7.6.1 继电器	114
7.6.2 固态继电器	115
7.6.3 电动机执行器	116
习题与思考题	118
第 8 章 计算机控制系统程序设计	120
8.1 应用软件设计	120
8.1.1 计算机控制系统的应用软件	120
8.1.2 应用软件设计方法	121
8.1.3 控制软件的设计	123
8.2 计算机控制系统的数字处理方法	124
8.2.1 数据线性化处理和非线性补偿	124
8.2.2 标度变换	127
8.2.3 查表法	128
8.3 数字滤波	130
习题与思考题	133

第 9 章 计算机控制系统抗干扰技术	134
9.1 干扰的来源	134
9.1.1 干扰的来源	134
9.1.2 干扰的作用形式	135
9.1.3 干扰的传播途径	136
9.1.4 系统抗干扰措施	137
9.2 空间电磁抗干扰措施	137
9.2.1 屏蔽技术	137
9.2.2 电气线路屏蔽	138
9.3 传导抗干扰措施	139
9.3.1 差模干扰抑制	140
9.3.2 共模干扰抑制	140
9.4 系统供电与接地的抗干扰措施	142
9.4.1 系统供电的抗干扰措施	143
9.4.2 系统接地的抗干扰措施	145
9.4.3 PCB 板抗干扰措施	147
9.5 软件抗干扰与冗余技术	148
9.5.1 程序的抗干扰技术	149
9.5.2 开关量(数字量)信号输入输出的软件抗干扰技术	150
9.6 提高计算机控制系统可靠性方法	150
9.6.1 硬件可靠性设计	150
9.6.2 软件可靠性设计	151
第 10 章 计算机控制系统的整体设计与实施	153
10.1 计算机控制系统设计原则	153
10.1.1 计算机控制系统设计原则	153
10.1.2 计算机控制系统设计步骤	155
10.2 计算机控制系统工程设计与实施	158
10.2.1 需求调查	159
10.2.2 可行性分析	159
10.2.3 总体方案设计	159
10.2.4 硬件的工程实现	160
10.2.5 软件的工程实现	162
10.2.6 系统调试与现场运行	164
第 11 章 太阳能电子秤单片机控制系统设计	166
11.1 电子秤及其控制要求	166
11.1.1 概述	166

11.1.2 控制要求.....	166
11.2 系统总体方案设计	167
11.2.1 系统组成及工作原理.....	167
11.2.2 称重模块的数据处理.....	168
11.3 系统硬件和软件设计	168
11.3.1 硬件电路设计.....	168
11.3.2 软件设计.....	170
11.4 系统抗干扰设计	171
第 12 章 数控加工中心操作面板的设计与 PLC 实现	172
12.1 加工中心操作面板及其控制要求.....	172
12.1.1 概述.....	172
12.1.2 操作面板特性.....	172
12.2 系统总体方案设计和组成	173
12.3 系统硬件和软件设计	174
12.3.1 硬件电路设计.....	174
12.3.2 软件设计.....	177
参考文献.....	183

第 1 章 绪 论

计算机的诞生与发展,在各领域的理论研究和各行业工程技术上引起了一场深刻的革命。计算机控制系统是在自动控制技术、计算机技术与通信技术等技术不断飞速发展的条件下形成的。人们利用这种技术能够完成常规控制方法无法完成的任务,而且能够达到常规控制所能达到的性能指标。计算机控制系统的应用范围十分广泛,不仅涉及各类技术工程和工业生产制造,而且在国防、航空航天和军工等高精尖领域起着关键的作用。本书主要介绍工业生产控制中计算机应用的相关内容,着重讨论计算机控制系统的理论基础、基本设计方法、硬件构成、软件技术与工程实现等,使读者能够基本了解计算机控制系统。

本章主要介绍计算机控制系统的一般性概念、系统结构与组成、应用特点及发展状况。

1.1 计算机控制系统概述

1.1.1 计算机控制系统及其特点

1. 连续控制系统

连续系统是时间和各个组成部分的变量都具有连续变化形式的系统,对于自动控制系统,只有当受控过程和控制方式同为连续时的系统才称为连续控制系统。这种系统的输入量 $u(t)$ 、输出量 $y(t)$ 和系统内部状态变量 $x(t)$ 都是时间的连续函数,并且能够用连续时间数学模型(常微分方程、传递函数、权函数和状态空间方程)对系统进行描述。

连续控制系统的典型结构如图 1.1 所示,系统依据输出变化的信息进行控制,即通过比较系统行为(输出)与期望行为之间的偏差,控制器对偏差进行调节,产生控制信号经过放大后驱动执行机构,来消除偏差以获得预期系统性能,此类系统中各处的信号均为连续信号。

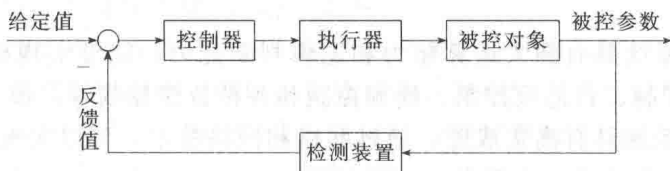


图 1.1 连续控制系统的典型框图

2. 计算机控制系统及其工作原理

计算机控制系统(Computer Control System, 简称 CCS)是应用数字计算机参与控制并借助一些辅助部件与被控对象相联系,以获得一定控制目的而构成的系统,图 1.2 是计算机控制系统典型结构框图。由于数字计算机引入到控制系统中,并且替代了模拟控制器,其输入输出信号都是数字信号(区别于连续控制系统),而被控对象的被控参数和执行器的输入信号都是模拟量,因此需要数模(D/A)转换器和模数(A/D)转换器进行信号转换。

从图 1.2 中可见, 计算机控制系统的基本工作原理可以总结为以下三个部分:

- ① 实时数据采集, 即对被控对象的被控参数进行实时检测。
- ② 控制算法实现, 对采集到的被控量按控制算法进行分析与处理, 获得实时控制规律。
- ③ 实时控制输出, 控制信号经 D/A 转换器后输出, 由于控制信号是小信号, 一般需要经过驱动放大, 才能使执行机构去控制被控对象, 完成控制任务。

上述过程的不断重复, 使整个系统能够按照一定的性能指标工作, 并且对被控参数和设备本身所出现的异常情况及时进行监测和诊断, 并做出迅速处理。

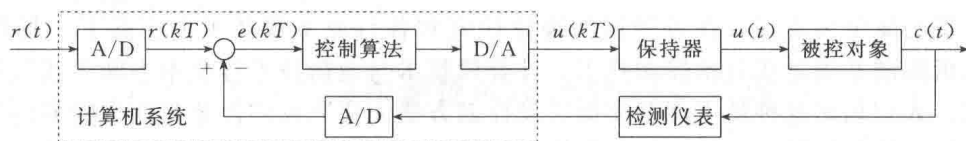


图 1.2 计算机控制系统典型结构框图

对于计算机控制系统, 还必须搞清楚实时的含义和在线与离线的工作方式。

实时性是指系统在限定的时间内完成控制任务, 换句话说就是计算机对信号的采集与处理要有一定的速度, 在一定时间内获得控制规律并实施控制, 超出这个时间, 就会失去控制的有效时机, 导致控制失败; 实时数据与被控对象的时间常数有密切关系。

在线与离线方式不同在于是否跟生产过程连接, 如果计算机与生产过程相连接, 并受计算机控制的方式称为在线方式或者联机方式; 如果生产过程不和计算机相连, 并且不受计算机控制, 而是人为联系并作相应操作的方式称为离线方式或者脱机方式。

3. 计算机控制系统特点

由于数字处理器直接参与控制, 与连续控制系统相比, 计算机控制系统在信号、系统工作和控制方式等方面都具有自身的特点。

① 计算机控制系统构建的是混合信号系统, 除连续模拟信号以外, 还存在离散时间的模拟信号、离散信号和数字信号等多种信号形式。连续模拟信号部分包括被控制对象、执行部件和检测部件等, 还包含数字信号与模拟信号相互变换装置(如 A/D 与 D/A 转换器等)。

② 计算机控制系统具有灵活性高和适应性强, 相对于连续控制系统, 一个控制器控制一个回路, 且控制规律越复杂所采用的模拟电路实现起来也越复杂, 同时修改控制规律也不方便, 要求改变原有的电路结构; 而在计算机控制系统中, 可以分时控制多个对象或被控量, 为多个控制回路服务, 只需修改相应程序, 就能达到改变控制规律的目的, 提高系统效率。

③ 计算机控制系统具有强大运算能力和逻辑判断能力, 能够实现模拟电路不能实现的复杂控制, 如最优控制、自适应控制、模糊控制和各种智能控制等, 极大地提高系统性能。

④ 计算机控制系统具有高集成度, 通过联机和网络技术, 可以实现控制与管理一体化, 使工业企业的自动化程度进一步提高。

⑤ 计算机控制系统具有高可靠性和高灵敏度, 能够设有监控、报警、自诊断甚至容错和自恢复功能, 系统易于维护, 一旦出现故障, 能迅速找到故障点及相应的解决方案。高灵敏度在于采用了数字式传感器, 提高了系统的测量精度, 此外软件可以修正和补偿传感器特性, 同时提高了传感器的精度。

计算机控制系统抗干扰性能比较差, 容易受到外界干扰影响, 因此, 计算机控制系统的抗干扰技术也是其系统设计中需要着重考虑的。但随着各种有效的软、硬件抗干扰技术与相关器件技术的发展, 计算机控制系统的抗干扰能力得到很大提高, 计算机控制系统的优越性

也越来越明显。计算机控制成为当今各类自动化系统中的首要形式或必然选择。

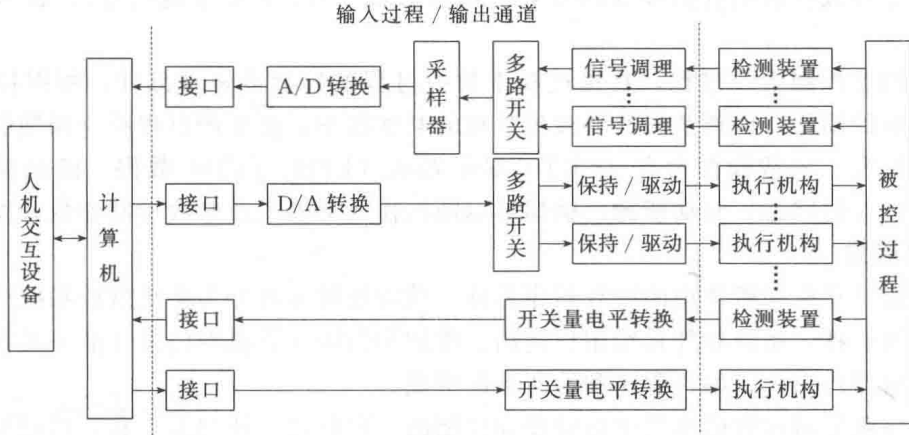


图 1.3 计算机控制系统的硬件组成框图

1.1.2 计算机控制系统组成

计算机控制系统由控制部分和被控对象组成，其中控制部分包括硬件和软件部分，这不同于模拟控制器构成的系统只由硬件组成。因而就系统结构来讲，完整计算机控制系统包括数字计算机（主机）、过程输入/输出通道、外设以及与被控过程直接联系的检测与执行装置等几部分。从系统控制设计的角度而言，其基本组成又涉及硬件与软件两个方面。下面将简要介绍计算机控制系统的硬件与软件组成。计算机控制系统硬件组成框图如图 1.3 所示。

1. 硬件组成

(1) 主机

组成：中央处理器（CPU）和内存存储器（RAM 和 ROM）组成。

功能：根据输入通道送来的被控对象的状态参数，进行信息处理、分析和计算，做出控制决策；控制量能通过输出通道放大和驱动执行器，实现控制指标；存储器存储数据和程序。

(2) 接口电路

功能：主机与外部设备、输入输出通道进行信息交换时，通过接口电路的协调工作，实现信息的传送，是主机与被控对象进行信息交换的纽带。

(3) 过程（模拟量、数字量）输入/输出通道

功能：主机和被控对象实现信息传送与交换的通道。过程输入通道是把被控过程的参数转换成计算机可以处理的数字信号。过程输出通道把计算机输出的控制量转换成可以为被控对象或者过程所接收的控制信号。输入/输出通道分为模拟量输入通道、模拟量输出通道、开关量输入通道和开关量输出通道。

(4) 外部设备 外部设备按功能可分成三类：输入设备、输出设备和外存储器。

常用的输入设备有键盘、磁盘驱动器和纸带输入机等，现在常用的有触摸屏，输入设备主要用来输入程序和数据。常用的输出设备有显示器、打印机、触摸屏和绘图仪等。输出设备主要用来把各种信息和数据以曲线、字符和数字等形式提供给操作人员，以便及时了解控制过程。

(5) 检测与执行机构 检测与执行机构是直接与被控过程相连接的各过程仪器仪表，检测是输入，执行是输出。功能：为了解生产过程和对其控制的需要，要对生产过程中的各个

参数进行采集，如温度、压力和成分等，必须通过传感器把非电量转换为电信号，再经过变送单元将其转换成标准的电信号（0~5V 电压信号或 4~20mA 电流信号），送入计算机进行处理。

执行机构是控制生产过程，直接连接于被控过程的控制或驱动部件，根据控制指令信号，产生相应的动作，以调节或改变被控过程的某些状态，使生产过程符合预期的要求。

(6) 操作台 一般操作台有 (CRT) 显示器或 (LED、LCD) 数码、液晶显示器，用以显示系统运行的状态；有功能键、触摸屏以便操作人员输入或修改控制参数和发送命令。

2. 软件组成

软件是指计算机中所使用的所有程序总称。软件通常又可分为系统软件和应用软件。

(1) 系统软件 系统软件是给用户使用、维护和管理计算机专门设计的一类程序，它具有通用性，由操作系统、编译程序和诊断系统组成。

操作系统就是对计算机本身进行管理和控制的一种软件。从功能上看，可把操作系统看作是资源的管理系统，实现对处理器、内存、设备以及信息的管理，例如对硬件和软件资源的分配、控制、调度和回收等。

编译程序就是将用户编写的源程序转换成计算机能够执行的机器代码（目标程序），主要由编辑程序、编译程序、连接与装配程序、调试程序及子程序库组成。

诊断系统是用于维修计算机的软件。

(2) 应用软件 应用软件是用户为了完成特定任务而编写的各种程序的总称，其优劣将给控制系统的功能、精度和效率带来很大影响，包括控制程序、数据采集及处理程序、巡回检测程序和数据管理程序等。控制程序主要实现对系统的调节和控制，它根据各种控制算法和被控对象的具体情况来编写，控制程序的主要目标是满足系统的性能指标。数据管理程序用于生产管理，统计报表程序、产品销售、生产调度及库存管理程序和产值利润预测程序等。

1.2 计算机控制系统应用类型

计算机控制系统的类型与它所控制的对象复杂程度密切相关，不同的被控对象和不同的被控要求，应选不同类型的控制系统。计算机控制系统的分类从不同角度出发有各种各样的结构和形式，按照计算机参与控制方式可分为开环控制和闭环控制；依据计算机在控制系统中的控制功能和控制目的，可分为操作指导控制系统、直接数字控制系统、监督控制系统、集散控制系统等。下面对系统做分类介绍。

1.2.1 计算机监测与操作指导系统

计算机监测与操作指导系统 (Data Processing System, DPS) 的结构如图 1.4 所示，这种系统常用于生产过程控制，基本功能是监测与操作功能，并不直接参与控制，属于开环控制结构，是计算机应用于工业生产过程最早和最简单的一类系统。其原理是计算机只是对系统过程参数进行收集、加工处理，然后输出数据，操作人员根据计算机的输出信息，如 LCD 显示数据或图形、打印机输出等去改变控制器的给定值或直接操作执行机构。

由于此类系统属于开环结构，因此该系统结构简单、控制灵活和安全性好。但是要人工参与操作，速度受到限制，不能控制多个被控对象。

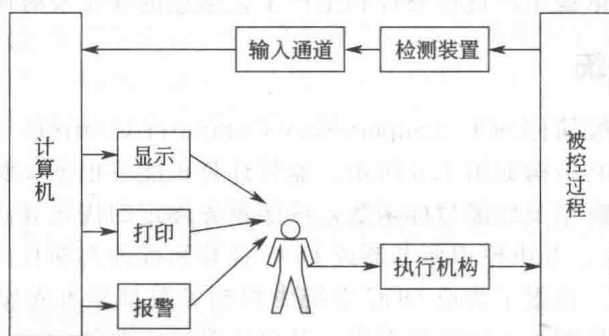


图 1.4 计算机监测与操作指导系统结构

1.2.2 顺序控制系统

顺序控制是一种按时间顺序或逻辑顺序进行控制的开环控制方式。这种系统中，计算机根据被控对象运行状态，严格按照规定的顺序依次完成各种操作命令，并以开关量的继电器输出，使被控对象各个环节或部件按照预定的规则顺序协调动作，完成相应的生产加工任务。

顺序控制系统主要应用于机械、化工、物料装卸运输等过程的控制以及机械手和自动生产线。顺序控制系统由顺序控制装置、检测元件、执行机构和被控工业对象所组成，其装置包括操作信号处理、逻辑处理、故障显示、报警和比较检测等环节。现在市面上最常用的顺序控制系统类型是可编程控制器，简称 PLC (Programming Logical Controller)。

1.2.3 直接数字控制系统

计算机直接数字控制系统，简称 DDC (Direct Digital Control) 系统，是最重要的一类计算机控制系统，是指用计算机替代常规模拟控制器，直接对被控对象进行控制的系统，DDC 系统结构框图如图 1.5 所示。DDC 的工作原理是计算机通过输入通道实时采集数据并按照 PID 控制规律或者直接数字方法进行计算，然后通过输出通道输出到执行机构，对生产过程进行直接控制，属于计算机闭环控制系统。

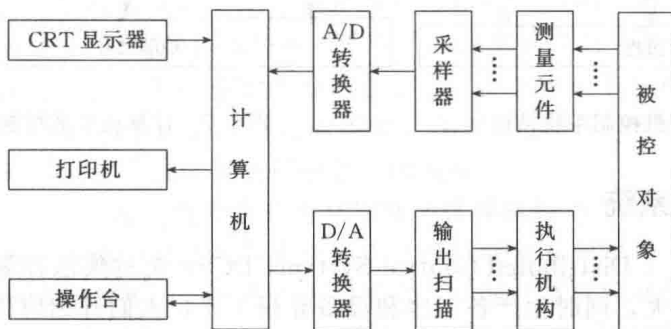


图 1.5 直接数字控制系统结构

DDC 系统优点：控制相对于模拟调节器灵活，改变控制方法和规律时，不需要改变硬件，只要改变程序就能够实现；可以编制复杂的控制程序实现复杂的控制规律，改善控制质量，提高经济效益；可以取代多个模拟调节器，实现多回路控制。

DDC 系统缺点：对生产过程产生直接影响的被控参数给定值是预先存储在控制器内存

中的，这个给定值无法依据生产过程条件和生产工艺信息的变化及时修改。

1.2.4 监督控制系统

计算机监督控制系统简称 SCC (Supervisory Computer Control) 系统，是由 DDC 系统叠加监督功能构成的，其结构如图 1.6 所示。监督计算机能够根据反映被控对象运行工况的数据和预先给定的数学模型及性能目标函数，按照预先确定的优化算法或监督规则，送给模拟调节器或 DDC 计算机，并由模拟调节器或 DDC 计算和推理判断且控制生产过程，使生产过程处于最优工作状态。克服了普通 DDC 系统中控制参数都是事先设定好，控制过程中不能修改和校正的缺点。从图 1.6 中可以看出，其构成可分成两种 SCC 控制系统。

① SCC+模拟调节器控制系统。此系统中，监督计算机对被控过程的参数进行巡回检测，按照一定数学模型进行计算，得到系统的最优设定值，再输出到模拟调节器中，最优设定值在模拟调节器中与检测值进行比较，其“偏差值”经模拟调节器计算后输出到执行机构中，以达到调节生产过程的目的。而当发生故障时，可由模拟调节器独立完成操作。

② SCC+DDC 控制系统。该系统是由 SCC 与 DDC 组成一个二级控制系统，一级为监督级 SCC，其作用与 SCC+模拟调节器控制系统中的 SCC 一样，完成被控过程现场状况的分析与最优参数的计算，而 DDC 用来把计算出来的最优给定值与测量值（数字量）进行比较，生成控制规律，由 DDC 直接控制被控过程。与 SCC+模拟调节器控制系统相比，其控制规律可以改变，使用起来更加灵活，而且一台 DDC 可控制多个回路。另外，当 SCC 有故障时，可用 DDC 工作；当 DDC 有故障时，可用 SCC 代替，故可靠性高。

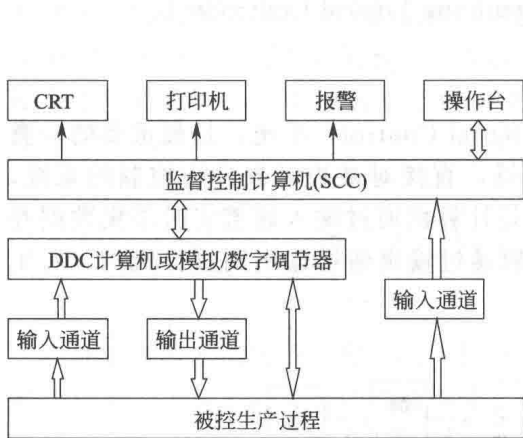


图 1.6 监督计算机控制系统结构

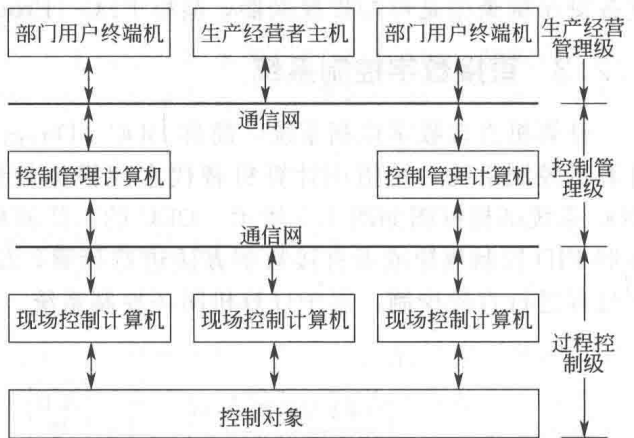


图 1.7 计算机集散控制系统结构

1.2.5 集散控制系统

分布式控制系统 (Distributed Control System, DCS) 也称集散控制系统。由于生产过程复杂和生产规模扩大，同时生产各工序和设备并行工作，人们开始应用多台计算机联合工作形成了分散型控制系统。DCS 的工作原理是把整个控制系统分成若干局部小系统，再通过网络技术把各个局部子系统联系起来，完成整个大系统的总体目标并优化，再通过协调器实现全系统的协调工作。其结构如图 1.7 所示，此结构采用分散控制、集中管理和综合协调的设计思想，系统从下到上分为过程控制级（或装置级，属于 DDC 系统的形式）、控制管理级（或车间级，属于 SCC 系统形式）、生产经营管理级（或企业级）等，每级由一台或数台计算机构成，各级之间通过通信网连接。

该系统可靠性高、通用性强、组态灵活和控制功能完善,系统设计、安装、维护、扩展方便灵活,能够及时获取生产经营活动的信息数据,并且操作和监视简单方便。DCS能够实现工业企业管理与监控一体化,能较好地适应生产过程综合自动化的发展需要,增强生产经营的管理能力,从而能够获取更大的经济和社会效益。

1.3 计算机控制系统发展与应用

1.3.1 计算机控制系统发展历史

计算机控制系统的产生与发展离不开自动控制理论、计算机技术和网络技术的发展,特别是计算机及其相关数字技术进步,对计算机控制系统的发展进程与趋势尤其重要。随着计算机的发展,计算机控制系统大约分以下几个阶段。

20世纪40年代中后期,数字计算机的问世,人们就开始将计算机用于导弹和飞机控制系统中,但是当时的计算机体积大、功耗大、可靠性差,因此在以后较长的一段时间里,计算机主要用于科学计算和数据处理。

20世纪50年代中后期到60年代初期,计算机控制进入试验阶段,1954年出现了计算机开环控制系统,实现了自动测量与数据处理,经过几年的发展,到了1959年在美国一家叫孟山都炼油厂出现了第一套计算机闭环控制系统,经过两年的改进,实现计算机监督控制,到了1962年该公司在线运行了工业控制中的第一个直接数字控制系统。这一系列进步得益于半导体计算机取代了电子管计算机,使得计算机的可靠性和其他性能指标都有较大的提高,DDC的出现引起了学术界与产业界对计算机技术与计算机控制技术的极大关注,从而促进了计算机控制理论的研究与发展。但是当时计算机的价格仍然昂贵,可靠性仍然无法满足复杂生产过程控制的要求,因此,计算机控制的推广应用仍然受到很大的限制。

20世纪60年代中后期到70年代中期,由于DDC的基本理论框架逐步成熟,DDC技术有了很大发展,期间小型计算机的出现也加快了计算机控制系统的发展。但是小型计算机的价格当时依然比较贵,只有规模较大的控制项目才采用,对要求性价比高的中小项目,计算机控制仍然是无法企及。随着1972年微型计算机的出现,计算机控制系统也进入一个崭新的发展阶段。微型计算机(包括单片微型计算机)具有运算速度快、可靠性高、价格低廉和体积小等特点,促使了以微控制器为基础的分散型计算机控制系统发展成为集散控制系统,1975年美国的Honeywell公司和日本的横河公司等同时推出了各自的DCS产品,并广泛地应用在工业上。我国计算机控制应用起步晚,在20世纪70年代末,石化、冶金、电力等大企业才陆续引进了DCS,用于大型生产过程控制,不仅提高了我国大型生产过程的自动化水平,而且也有力地推动了我国计算机控制技术的发展。

20世纪80年代以后,超大规模集成电路发展使计算机超小型化、软件固化和控制智能化,计算机的发展同时也使得自动化仪表也向计算机智能化方向发展。同时先进的自动控制算法与自动控制技术也层出不穷,这两个方面结合,促使计算机控制技术进入了高速发展阶段。进入90年代,在计算机控制系统进一步完善、应用更加普及、价格不断下降的同时功能更加强大,同时随着网络技术与数据通信技术的迅猛发展,不仅实现了管理层的数据通信与共享,它还应用于控制现场的设备层,并将控制与管理综合化、一体化,将计算机集成制造(CIMS)的理念移植过来并予以实施,并占据了工业控制领域的主导地位。该系统是信息技术、管理技术与制造技术密切结合的产物,从生产过程的全局出发,通过对生产活动所需的各种信息集成,达到提高企业经济效益、适应能力和竞争能力的目的。