



普通高等教育电气信息类规划教材



免费电子教案下载

www.cmpedu.com

计算机控制技术

主编 廖道争 施保华



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育电气信息类规划教材

计算机控制技术

主编 廖道争 施保华



机械工业出版社

本书较为系统地讲述了计算机控制系统的基本概念、基础理论、分析与工程实现方法,有针对性地介绍了利用计算机控制系统实施先进的控制策略,以及自动化领域的研究热点和发展趋势。主要内容包括:计算机控制系统的基本概念、组成、分类及发展趋势;计算机控制系统数学描述与分析;计算机控制系统硬件技术;计算机数字程序控制技术;常规控制策略及数字控制器的程序实现;先进控制策略;计算机控制系统的设计与实现;计算机网络控制系统等。为了便于教学和自学,各章配有习题。全书内容丰富,理论、设计与实践相结合。内容讲述深入浅出、条理清楚。

本书适合高等院校自动化、电气工程及自动化、计算机应用和机电一体化等专业本科生作为教材使用,也可供有关技术人员参考和自学。

本书提供电子课件,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 241151483, 电话: 010 - 88379753)。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制技术/廖道争,施保华主编. —北京:机械工业出版社,2016.1
普通高等教育电气信息类规划教材
ISBN 978 - 7 - 111 - 52636 - 0

I. ①计… II. ①廖… ②施… III. ①计算机控制 - 高等学校 - 教材
IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 001609 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:李馨馨 责任编辑:李馨馨

责任校对:张艳霞 责任印制:李洋

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2016 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 13.5 印张 · 329 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 52636 - 0

定价: 34.00 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

服务咨询热线: (010)88379833 机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: (010)88379649 机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前 言

微型计算机和控制技术的有机结合推动了计算机控制理论和控制技术的飞速发展。计算机控制技术的应用领域非常广泛，不但是国防、航空航天等高精尖应用中必不可少的组成部分，而且在现代工业、农业、交通运输、医学等领域发挥着越来越重要的作用。

计算机控制系统在工业生产过程中的应用越来越广泛，这就要求有关工程技术人员必须掌握计算机控制系统分析和设计的理论基础、控制策略、数据通信、硬件和软件等多方面的技术，以满足实际工业生产过程中的技术需要。许多高等院校都对有关专业本科生或研究生开设了“计算机控制技术”或“计算机控制系统”课程，以适应形式发展的需要。本书是作者在多年来讲授该门课程和从事工业自动化研究工作的基础上，参考了国内外大量的文献和著作，按教材形式进行编著而成。

本书系统地讲述了计算机控制系统的分析方法和设计实现方法。全书共分8章。第1章绪论，介绍了计算机控制系统的基本概念、组成、分类、发展概况和发展趋势；第2章计算机控制系统的数学描述与分析，内容包括信号的采样和恢复、 Z 变换、离散控制系统的数学描述及稳定性分析；第3章计算机控制系统的硬件技术，包括控制用主机、输入输出接口技术，计算机控制系统的总线技术介绍；第4章计算机数字程序控制技术，包含数字程序控制技术、步进电动机控制技术和交流伺服电动机概述；第5章常规控制策略，包含连续控制律的离散化方法，以及数字PID控制、最少拍设计、大林算法、史密斯预估器等数字控制器的直接设计方法，讨论了数字控制器的程序实现问题；第6章先进控制策略，主要讨论了模糊控制、神经网络控制以及其他控制策略；第7章计算机控制系统的设计与实现，讨论了计算机控制系统的设计原则与步骤、系统设计实例，以及计算机控制系统抗干扰技术，包括硬件抗干扰技术、软件抗干扰技术；第8章计算机网络控制系统，主要内容为分布式控制系统、现场总线控制系统、工业以太网控制系统。

计算机控制技术是信息类本科专业重要的专业课，在当今计算机控制技术飞速发展的形势下，掌握扎实的计算机控制基础理论和专业知识具有重要意义。通过本课程的学习，能够使读者掌握计算机控制系统的基本原理、掌握计算机控制系统的分析和设计方法，了解计算机控制系统的基本构成，具有研究和设计计算机控制系统、解决实际工程问题的初步能力。

本书由廖道争、施保华主编。本书第3章、第4章、第6章、第7章由施保华编写，第3、7章部分内容由梁会军编写，第4、6章部分内容由黄雄峰编写，第1章、第2章、第5章、第8章由廖道争编写，第2、5章部分内容由游文霞编写，第8章部分内容由孙坚编写。本书还参考了所列参考文献中的部分内容，在此向作者表示由衷的感谢！

本书主要适合高等院校的自动化、电气工程自动化、计算机应用和机电一体化等专业作为教材使用，也可供有关技术人员参考和自学。

由于作者能力和水平有限，书中难免存在不妥或错误之处，诚请读者批评指正。

编著者
2015年7月

目 录

前言

| | |
|-------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 计算机控制系统的概念 | 1 |
| 1.2 计算机控制系统的组成 | 2 |
| 1.2.1 计算机控制系统的硬件组成 | 2 |
| 1.2.2 计算机控制系统的软件组成 | 3 |
| 1.2.3 计算机控制系统的特性 | 4 |
| 1.2.4 计算机控制系统的可靠性要求 | 5 |
| 1.3 计算机控制系统的分类 | 5 |
| 1.3.1 数据采集处理系统 | 5 |
| 1.3.2 直接数字控制系统 | 6 |
| 1.3.3 计算机监督控制系统 | 6 |
| 1.3.4 集散控制系统 | 7 |
| 1.3.5 现场总线控制系统 | 8 |
| 1.3.6 计算机集成制造系统 | 9 |
| 1.4 计算机控制系统的发展 | 9 |
| 1.4.1 计算机控制技术的发展概况 | 10 |
| 1.4.2 计算机控制系统的发展趋势 | 10 |
| 思考题与习题 | 12 |
| 第 2 章 计算机控制系统数学描述与分析 | 13 |
| 2.1 信号的采样与恢复 | 13 |
| 2.1.1 连续信号的采样和量化 | 13 |
| 2.1.2 信号的恢复与采样保持器 | 16 |
| 2.2 Z 变换 | 18 |
| 2.2.1 Z 变换的定义 | 18 |
| 2.2.2 Z 变换的求法 | 18 |
| 2.2.3 Z 变换的基本定理 | 21 |
| 2.2.4 Z 反变换 | 23 |
| 2.3 离散控制系统的数学描述 | 25 |
| 2.3.1 差分方程及其求解 | 25 |
| 2.3.2 脉冲传递函数 | 27 |
| 2.4 离散控制系统稳定性分析 | 31 |
| 2.4.1 S 平面到 Z 平面的变换 | 32 |

| | | |
|------------|---------------------|-----------|
| 2.4.2 | 离散控制系统的稳定性条件 | 33 |
| 2.4.3 | 离散系统稳定性判定方法 | 34 |
| 2.5 | 计算机控制系统的过渡过程分析 | 36 |
| 2.6 | 离散控制系统的稳态误差分析 | 38 |
| | 思考题与习题 | 40 |
| 第3章 | 计算机控制系统的硬件技术 | 42 |
| 3.1 | 主机 | 42 |
| 3.1.1 | 工业控制计算机 | 42 |
| 3.1.2 | 可编程序控制器 | 43 |
| 3.1.3 | 单片机与嵌入式控制器 | 44 |
| 3.2 | 数字量输入输出接口 | 45 |
| 3.2.1 | 数字量输入接口 | 45 |
| 3.2.2 | 数字量输出接口 | 46 |
| 3.3 | 模拟量输入接口 | 47 |
| 3.3.1 | 信号调理电路 | 48 |
| 3.3.2 | 多路模拟开关 | 48 |
| 3.3.3 | 前置放大器 | 49 |
| 3.3.4 | 采样保持器 | 50 |
| 3.3.5 | 逐位逼边式 A/D 转换原理 | 50 |
| 3.3.6 | A/D 转换器的性能指标 | 51 |
| 3.3.7 | ADC0809 简介 | 52 |
| 3.3.8 | ADC0809 接口电路 | 53 |
| 3.3.9 | 12 位 A/D 转换器及其接口电路 | 54 |
| 3.3.10 | A/D 转换模板 | 56 |
| 3.4 | 模拟量输出接口 | 57 |
| 3.4.1 | D/A 转换器工作原理 | 57 |
| 3.4.2 | D/A 转换器的性能指标 | 58 |
| 3.4.3 | DAC0832 简介 | 59 |
| 3.5 | 计算机控制系统的总线技术 | 61 |
| 3.5.1 | 总线的概念及分类 | 61 |
| 3.5.2 | ISA/EISA 总线 | 62 |
| 3.5.3 | PCI/Compact PCI 总线 | 62 |
| 3.5.4 | 串行外部总线 | 63 |
| | 思考题与习题 | 66 |
| 第4章 | 计算机数字程序控制技术 | 67 |
| 4.1 | 数字程序控制技术 | 67 |
| 4.1.1 | 数字程序控制基础 | 67 |
| 4.1.2 | 逐点比较法直线插补 | 68 |
| 4.1.3 | 逐点比较法圆弧插补 | 71 |
| 4.2 | 步进电动机控制技术 | 74 |

| | | |
|------------|--------------------|------------|
| 4.2.1 | 步进电动机的工作原理 | 75 |
| 4.2.2 | 步进电动机的一些基本参数及术语 | 77 |
| 4.2.3 | 步进电动机驱动控制 | 78 |
| 4.2.4 | 步进电动机单片机控制技术 | 80 |
| 4.3 | 交流伺服电动机概述 | 82 |
| | 思考题与习题 | 84 |
| 第5章 | 常规控制策略 | 85 |
| 5.1 | 连续控制律的离散化设计 | 85 |
| 5.1.1 | 一阶后向差分变换 | 85 |
| 5.1.2 | 一阶前向差分变换 | 87 |
| 5.1.3 | 双线性变换法(突斯汀变换) | 88 |
| 5.2 | 数字PID控制 | 89 |
| 5.2.1 | PID控制器组成 | 89 |
| 5.2.2 | 数字PID控制算法 | 91 |
| 5.2.3 | 数字PID控制算法的改进 | 93 |
| 5.2.4 | PID参数的整定 | 97 |
| 5.3 | 数字控制器的直接设计 | 101 |
| 5.3.1 | 最少拍控制的基本原理 | 101 |
| 5.3.2 | 最少拍有波纹控制系统设计 | 106 |
| 5.3.3 | 最少拍无纹波控制系统设计 | 110 |
| 5.4 | 纯滞后对象的控制 | 112 |
| 5.4.1 | 大林算法 | 112 |
| 5.4.2 | 史密斯预估控制 | 116 |
| 5.5 | 数字控制器 $D(z)$ 的程序实现 | 118 |
| 5.5.1 | 直接实现法 | 118 |
| 5.5.2 | 串接实现法 | 119 |
| 5.5.3 | 并接实现法 | 120 |
| 5.6 | 离散控制系统的MATLAB分析与仿真 | 121 |
| | 本章小结 | 124 |
| | 思考题与习题 | 125 |
| 第6章 | 先进控制策略 | 127 |
| 6.1 | 模糊控制 | 127 |
| 6.1.1 | 模糊集合 | 128 |
| 6.1.2 | 隶属函数的参数化 | 131 |
| 6.1.3 | 模糊关系及其运算 | 132 |
| 6.1.4 | 模糊关系的合成 | 133 |
| 6.1.5 | 模糊推理 | 134 |
| 6.1.6 | 模糊控制器的组成 | 136 |
| 6.1.7 | 模糊控制器的设计步骤 | 138 |
| 6.1.8 | 基于MATLAB的模糊控制系统设计 | 140 |

| | | |
|------------|----------------------------|------------|
| 6.2 | 神经网络控制 | 143 |
| 6.2.1 | 神经网络的基本概念 | 144 |
| 6.2.2 | 感知器和 BP 网络 | 147 |
| 6.2.3 | 神经网络控制 | 152 |
| 6.3 | 其他控制策略 | 154 |
| 6.3.1 | 最优控制 | 155 |
| 6.3.2 | 自适应控制 | 155 |
| 6.3.3 | 鲁棒控制 | 156 |
| 6.3.4 | 预测控制 | 157 |
| 6.3.5 | 线性控制理论的发展 | 159 |
| 6.3.6 | 专家系统 | 160 |
| | 思考题与习题 | 162 |
| 第7章 | 计算机控制系统的设计与实现 | 163 |
| 7.1 | 计算机控制系统的设计原则与步骤 | 163 |
| 7.1.1 | 控制系统的设计原则 | 163 |
| 7.1.2 | 控制系统的设计步骤 | 164 |
| 7.2 | 计算机控制系统设计实例 | 167 |
| 7.2.1 | 电阻炉温度计算机控制系统的设计 | 167 |
| 7.2.2 | 变频恒压供水计算机控制系统设计 | 170 |
| 7.3 | 计算机控制系统抗干扰技术 | 178 |
| 7.3.1 | 硬件抗干扰技术 | 179 |
| 7.3.2 | 软件抗干扰技术 | 180 |
| | 思考题与习题 | 181 |
| 第8章 | 计算机网络控制系统 | 183 |
| 8.1 | 分布式控制系统 | 183 |
| 8.1.1 | DCS 的发展概况 | 183 |
| 8.1.2 | DCS 的体系结构 | 186 |
| 8.1.3 | DCS 的现场控制站 | 187 |
| 8.1.4 | DCS 的操作站 | 188 |
| 8.1.5 | DCS 的组态 | 190 |
| 8.2 | 现场总线控制系统 | 191 |
| 8.2.1 | 现场总线概述 | 192 |
| 8.2.2 | 现场总线控制系统的特点 | 193 |
| 8.2.3 | 几种常用的现场总线技术 | 195 |
| 8.3 | 工业以太网控制系统 | 202 |
| 8.3.1 | 工业以太网的技术特点 | 202 |
| 8.3.2 | 工业以太网控制系统的设计方法 | 203 |
| | 思考题与习题 | 205 |
| | 参考文献 | 206 |

第1章 绪 论

随着自动控制技术和计算机技术的发展，计算机控制系统的应用越来越广泛。计算机强大的计算能力、逻辑判断能力和大容量存储信息的能力使得计算机控制能够解决常规控制技术难以解决的难题，实现常规控制技术难以达到的性能指标。与采用模拟调节器的自动调节系统相比，计算机控制能够实现先进的控制策略（如最优控制、智能控制等）以保证控制的精度和性能，而且控制结构灵活，易于在线修改控制方案，降低系统成本。因此，计算机控制技术不仅是国防、航天航空等高精尖学科必不可少的组成部分，而且在现代化的工、农、医等领域也发挥着越来越重要的作用。随着计算机技术、自动控制技术、检测与传感技术、通信与网络技术的高速发展，计算机控制技术的发展也是日新月异。

本章主要介绍计算机控制系统的一般概念、系统组成与分类，以及计算机控制系统的发展概况。

1.1 计算机控制系统的基本概念

计算机控制系统就是利用计算机（单片机、ARM、PLC、DSP、工控机等）来实现生产过程自动控制的系统。计算机控制系统将常规自动控制系统中的模拟调节器由计算机来实现，其结构框图如图 1-1 所示。

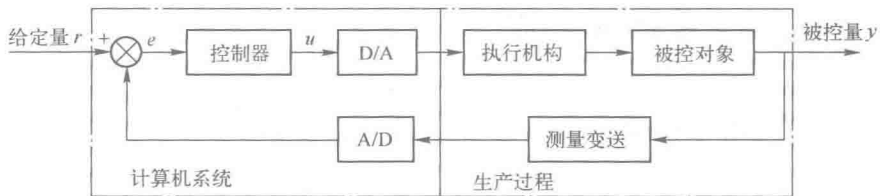


图 1-1 计算机控制系统结构框图

在实际工业生产过程中，被测参数如温度、压力、速度、电压、电流等都是连续变化的模拟量，而计算机处理的信息只能是数字量。信号在进入计算机之前，必须把模拟量转换为数字量，即进行 A/D 转换；大多数执行机构只能接受模拟量，计算机输出的数字量也须再转换为模拟量，即进行 D/A 转换后才能作用于执行机构。因此计算机控制系统还需要有模拟量/数字量转换器（Analog/Digital Converter, ADC）和数字量/模拟量转换器（Digital/Analog Converter, DAC）。

计算机控制系统的控制过程一般可归纳为以下 3 个步骤。

(1) 实时数据采集 测量元件对生产过程中被控参数的瞬时值进行检测，经 A/D 转换后输送给计算机。

(2) 实时决策 计算机对所采集到的被控参数进行处理后，按照设计好的相关算法或

控制规律计算出当前控制量。

(3) 实时控制 根据实时计算结果，计算机输出数字量控制信号经过 D/A 转换为连续模拟信号，并传送给执行机构，实施控制任务。

以上过程不断重复，使整个系统能够按照一定的动态品质指标进行工作，并且对被控参数和设备本身出现的异常状况进行监督和处理。

“实时性”是计算机控制系统设计的最基本要求。所谓实时性，是指计算机控制系统中信号的输入、计算和输出都必须在限定的时间范围内（采样周期）完成，也就是计算机对输入信息以足够快的速度进行处理，并在限定的时间内实施控制作用，超出了这个时间范围控制也就失去了意义。

在计算机控制系统中，如果计算机对被控对象或被控生产过程，能够直接进行控制，不需要人工干预，这种方式叫做“联机”方式或“在线”方式。如果计算机不直接参与控制被控对象或受控生产过程，只完成被控对象或被控过程的状态检测及检测数据的处理，制定出控制方案和输出控制指示，然后操作人员参考控制指示，人工手动操作使控制部件对被控对象或受控过程进行控制，这种控制形式称为计算机“离线”控制。

计算机具有强大的计算、逻辑判断和存储信息的能力，因此计算机控制系统可以实现各种先进和复杂的控制策略，如自适应控制、预测控制、智能控制等，从而更好地满足日益复杂化的工业过程的控制要求。在计算机控制系统中，计算机不仅可以帮助我们完成基本的控制任务，而且可以充分发挥其优势，使设计的自动控制系统功能更加完善。

1.2 计算机控制系统的组成

计算机控制系统由硬件和软件两个部分组成。

1.2.1 计算机控制系统的硬件组成

计算机控制系统的硬件主要由计算机、外部设备、操作台、输入输出设备、检测装置、执行机构等组成。系统组成框图如图 1-2 所示。

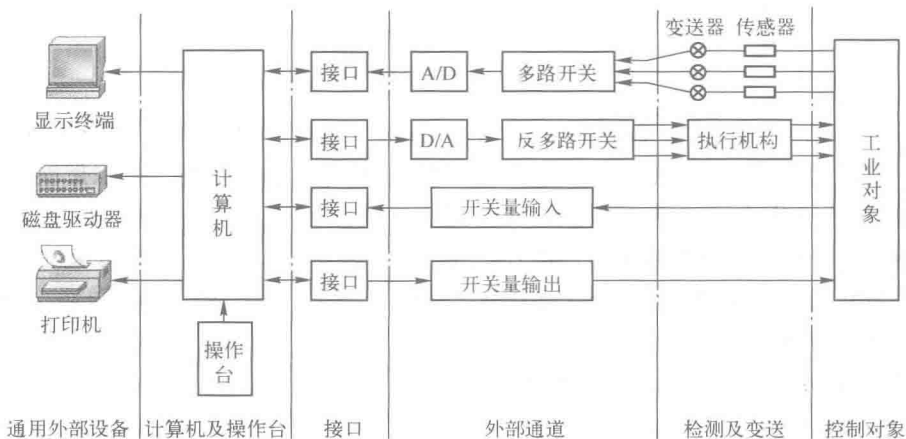


图 1-2 计算机控制系统组成框图

(1) 主机

主机是计算机控制系统的核心，由中央处理器（CPU）、内部存储器和人机接口电路组成。它根据输入设备采集到的反映生产过程工作状况的信息，按照存储器中预先存储的程序、指令，选择相应的控制算法或控制策略自动地进行信息处理和运算，实时地通过输出设备向生产过程发送控制命令，从而达到预定的控制目标。同时，主机还接收来自操作员或上位机的操作控制命令。

(2) 输入输出通道

计算机与生产过程之间的信息传递是通过输入输出通道进行的。过程输入通道包括模拟量输入通道（AI 通道）和开关量/数字量输入通道（DI 通道）。AI 通道由多路采样开关、放大器、A/D 转换器和接口电路组成，它将模拟量信号（如温度、压力、流量等）转换成数字信号再输入给计算机；DI 通道包括光耦合器和接口电路等设备，它直接输入开关量或数字量信号（如设备的启/停状态、故障状态等）。过程输出通道包括模拟量输出（AO）和开关量输出（DO）。AO 将计算机计算出的控制量数字信号转换成模拟信号作用于执行机构（如电动机、电动阀门等）；DO 将计算机发出的控制命令转换成触点信号用来控制设备的启/停和故障报警等。

(3) 外部设备

外部设备是计算机和外界进行信息交换的设备。常用外部设备有输入设备、输出设备、外存储器和人一机交互设备，如：键盘终端、打印机、绘图仪、显示屏、磁盘、磁带、声光报警器、扫描仪、操作台等。

(4) 检测与执行机构

① 测量变送单元

在自动控制系统中，常常需要对温度、速度、压力、流量与物料等参量进行检测和控制。因此必须掌握描述它们特性的各种参数，需要测量这些参数的值。为了收集与测量各种参数，需要根据不同的控制任务采用各种检测元件及变送器，将被检测参数的非电量转换成电量。例如，热电偶可以把温度转换成电压信号，压力传感器可以把压力转换为电信号，这些信号经变送器转换成统一的标准电信号（0~5 V 或 4~20 mA）后，再通过 A/D 转换器送入计算机。

② 执行机构

执行机构是计算机控制系统中的重要部件，其功能是根据计算机输出的控制信号，直接控制能量或物料等被测介质的输送量。常用的执行机构有电动、液动和气动等控制形式，也有的采用电动机、步进电动机及晶闸管等进行控制。

1.2.2 计算机控制系统的软件组成

计算机控制系统的硬件是完成控制任务的设备基础，而软件关系到控制系统的运行和控制效果，以及硬件功能的发挥。整个计算机控制系统的动作，都是在软件的指挥下协调进行的。计算机控制系统的软件通常由系统软件和应用软件组成。

(1) 系统软件

系统软件一般由计算机厂家提供，专门用来管理和使用计算机本身的资源，主要包括操作系统、各种编译解释软件和监督管理软件等。这些软件一般不需要用户自己设计，它们只

是作为开发应用软件的工具。

(2) 应用软件

应用软件是面向生产过程的程序，即根据要解决的实际问题而编写的各种程序，包括控制程序、数据采集及处理程序、显示程序、巡回检测程序和数据管理程序等。应用软件通常由用户根据实际需要进行开发，应用软件的优劣将给控制系统的性能、精度和效率带来很大的影响。

在计算机控制系统中，硬件和软件不是独立存在的。在设计时要注意两者的有机配合和协调，才能设计出满足生产要求的高质量控制系统。

1.2.3 计算机控制系统的特点

尽管由常规仪表组成的连续控制系统已获得了广泛的应用，并具有可靠、易维护操作等优点，但随着生产的发展、技术的进步，对自动化的控制要求越来越高，常规连续控制系统的应用受到了极大的限制，计算机控制系统的应用越来越广泛。相对连续自动控制系统而言，计算机控制系统的主要特点可以归纳为以下几点。

1. 系统结构特点

计算机控制系统必须包括有计算机。它是一个数字式离散处理器。此外，由于大多数系统的被控对象及执行部件、测量部件是连续模拟式的，因此，系统中还必须加入信号转换装置（如 A/D 及 D/A 转换器）。所以，计算机控制系统通常是包含模拟与数字部件的混合系统。

2. 信号形式上的特点

连续控制系统中各点信号均为连续模拟信号。而计算机是数字设备，只能接收和输出数字信号。被控对象（或生产过程）通常是模拟系统，其参数信号（如温度、压力、流量、料位和成分等）是模拟信号，必须按一定的采样间隔（称为采样周期）进行采样，将其变成时间上是断续的信号才能进入计算机。因此，计算机控制系统中除有模拟信号外，还有离散信号、数字信号，是一种混合信号形式系统。由于系统信号的复杂性，也给设计实现带来一定的困难。

3. 系统工作方式上的特点

在连续控制系统中，控制器通常都是由不同的电路构成的，并且一台控制器仅为一个控制回路服务。在计算机控制系统中，一台计算机可以同时控制多个控制回路，即为多个控制回路服务。各个控制回路的控制方式由软件设计。

计算机控制系统除了能完成常规连续控制系统的功能外，还具有一些独特的优点。

1) 由于计算机具有强大的计算、逻辑判断和信息存储能力，因此计算机控制系统可以实现各种先进、复杂的控制策略，如自适应控制、预测控制、智能控制等，从而更好地满足日益复杂化的工业过程的控制要求。

2) 计算机控制系统的控制规律是由软件程序实现的，并且计算机具有强大的记忆和判断功能，很容易实现工作状态的转换，实现不同的控制功能，因此具有适应性强和灵活性高的优点。

3) 尽管一台计算机最初投资较大，但增加一个控制回路的费用却很少。对于连续系统，模拟硬件的成本几乎和控制规律的复杂程度、控制回路的多少成正比；而计算机控制系

统中，一台计算机就可以实现复杂控制规律并可同时控制多个控制回路，因此它的性价比更高，特别是在一些现代化的大型复杂控制系统中，更是具有传统连续控制无法比拟的优势。

随着微电子技术和大规模集成电路的出现，计算机的体积减小、重量减轻、成本下降，使得计算机用于自动控制的优点更为突出。

1.2.4 计算机控制系统的可靠性要求

可靠性主要指系统的无故障运行能力，常用的指标是“平均无故障间隔时间”，一般要求该时间应不小于数千小时，甚至达到上万小时。计算机控制系统的可靠性包括硬件可靠性和软件可靠性两个方面。

提高计算机控制系统的硬件可靠性，除了采用可靠性高的元器件及先进的工艺及设计外，采用多机并行运行的冗余结构也是一个重要措施。如对系统可靠性起关键作用的元件“二重化”，使得即使坏了一个元件，系统仍可运行，只有两个元件同时坏了才能造成系统故障。这种“二重化”也可扩充到整个系统，甚至达到三重或四重系统。

除了硬件可靠性外，软件可靠性也是十分重要的。好的软件可以减小出错的可能性，保证系统正常运行。因此，要求计算机控制系统软件具有较强的自诊断、自检测以及容错功能，即对运算过程中偶然出现的数据超界、运算溢出及未曾定义过的操作指令或其他事先不曾预料的运算错误能进行适当处理，改善和提高计算机控制系统的实用性。

此外，为了保证整个系统的可靠工作，还应采取各种措施，提高系统的抗干扰能力。

为了提高计算机控制系统的使用效率，除了可靠性外，还必须提高计算机控制系统的可维护性。“可维护性”是指进行维护工作时方便的程度。提高可维护性的措施是采用插件式硬件和自检测、自诊断程序，以便及时发现故障，判断故障部位并进行维修。

1.3 计算机控制系统的分类

计算机控制系统与其控制的生产对象密切相关，根据功能和要求的不同，计算机控制系统也具有不同的结构和形式。根据应用特点、控制方案、控制目的和系统构成，计算机控制系统大致可以分成以下几种类型。

1.3.1 数据采集处理系统

数据采集处理系统结构如图 1-3 所示。在这种应用方式下，计算机不直接参与控制，对生产过程不直接产生影响。

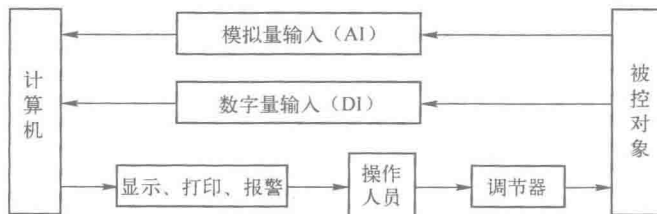


图 1-3 数据采集处理系统结构

数据采集处理系统主要是利用计算机对整个生产过程进行集中监视和对大量输入数据进行集中加工和处理，从而为操作人员提供操作指导信息，由操作人员依据给出的建议实现对生产过程的控制。计算机主要起操作指导的作用。

数据采集处理系统的优点是结构简单，控制灵活和安全可靠。缺点是要由人工进行操作，操作速度受到了人为的限制。该系统常用在计算机控制系统设计与调试阶段，用于进行数据检测、处理及试验新的数学模型、调试新的控制程序等。

1.3.2 直接数字控制系统

在直接数字控制（Direct Digital Control, DDC）系统中，计算机取代常规的模拟调节器而直接对生产过程进行控制。DDC 系统属于闭环控制系统，是计算机在工业生产中最普遍的一种应用形式，其原理框图如图 1-4 所示。

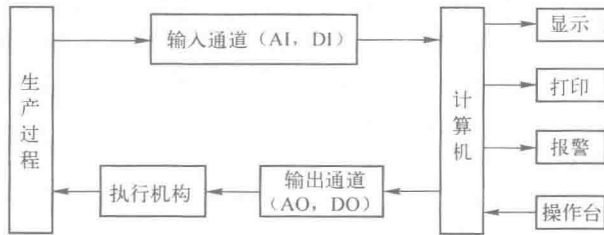


图 1-4 DDC 系统原理框图

DDC 控制系统中常使用小型计算机或微型机的分时系统来实现多个控制回路的控制，其优点是灵活性好。在常规模拟调节器控制系统中，控制器一经选定，其控制规律也就确定了，要改变控制规律就必须改变硬件结构。而在 DDC 系统中，由于计算机代替了常规模拟调节器，因此要改变控制规律，只需改变控制程序即可，无需对硬件线路进行改动。此外，在进行集中控制时，一台计算机就可以实现对若干个、甚至数十个回路的生产过程进行控制，可靠性高且价格便宜。而且通过应用程序设计便可实现复杂的控制规律，如前馈控制、纯滞后控制、串级控制、最优控制等。DDC 控制常用作更为复杂的高级控制形式的执行级。

1.3.3 计算机监督控制系统

在计算机监督控制（Supervisory Computer Control, SCC）系统中，计算机根据生产过程的工艺信息和状态参数，按生产过程的数学模型或其他方法计算出生产设备运行时的最优给定值，并将最优给定值自动地或人工对 DDC 执行级的计算机或模拟调节仪表进行调整或设定目标值，由 DDC 或调节仪表对生产过程各个点（运行设备）行使控制。在 DDC 系统中计算机只是代替模拟调节器进行控制，而 SCC 系统不仅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等，它是数据采集处理系统和 DDC 系统的综合与发展。SCC 系统有两种不同的结构形式，其原理框图如图 1-5 所示。

1. SCC + 模拟调节器

该形式是由计算机对各物理量进行检测，并按一定的数学模型对生产工况进行分析、计算得出生产过程中各参数最优给定值后送给模拟调节器，使工况保持在最优状态。当 SCC 计算机出现故障时，可由模拟调节器独立完成操作。

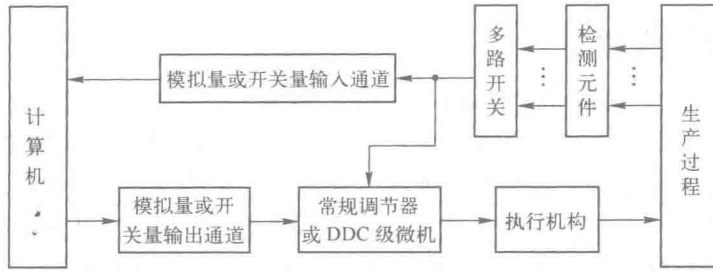


图 1-5 计算机监督控制系统框图

2. SCC + DDC 控制

这种形式实际上是一个二级控制系统，SCC 可采用高档微型机，SCC 计算机与 DDC 之间通过通信接口进行通信。SCC 计算机完成工段、车间等高一级的最优化分析与计算，并给出最优给定值送给 DDC 级进行过程控制。当 DDC 级计算机发生故障时，SCC 级计算机可以完成 DDC 的控制功能，从而提高了系统可靠性。

1.3.4 集散控制系统

集散控制系统（Distributed Control System, DCS）也叫分布式控制系统。

DCS 的结构如图 1-6 所示。采用分散控制、集中操作、分级管理、分而自治和综合协调的设计原则，把系统从上而下分为生产管理级、控制管理级和自动控制级等若干级，形成分级分布式控制。随着计算机技术、控制技术、通信技术和屏幕显示技术的发展而不断更新和提高，集散控制系统已广泛应用于石油、化工、电力、冶金、轻工、制药和智能建筑等领域的自动化控制。

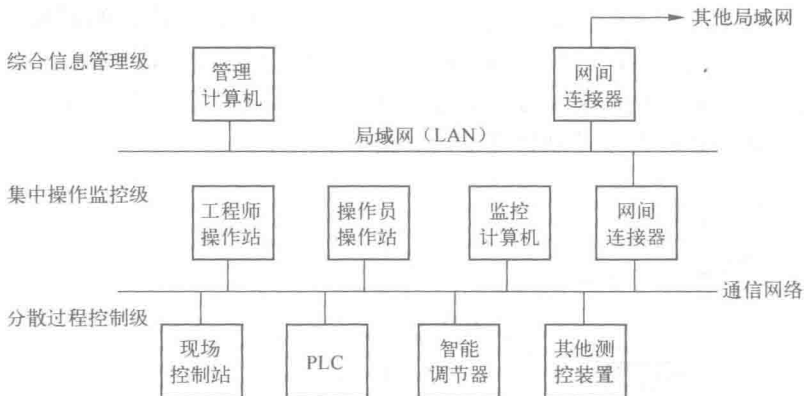


图 1-6 分布式控制系统框图

在集散控制系统中，以微处理器为核心的过程控制计算机完成过程的控制任务；控制管理计算机通过协调各控制器的动作，实现生产过程的优化控制；生产管理计算机完成制定生产计划和工艺流程、产品、人员等管理功能，以实现生产过程静态最优化。这种控制系统使企业自动化水平提高到了一个新的阶段。

1.3.5 现场总线控制系统

现场总线控制系统（Fieldbus Control System, FCS）是一种以现场总线为基础的分布式网络自动化系统，它既是现场通信网络系统，也是现场自动化系统。现场总线控制系统不同于分布式控制系统“操作站—控制站—现场仪表”的三层结构模式，它采用“工作站—现场总线智能仪表”二层结构，降低了系统总成本，提高了可靠性，国际标准统一后可实现真正的开放式互联系统结构，是一种正在发展的真正的分布式控制系统。图 1-7 给出了分布式控制系统和现场总线控制系统的结构对比。

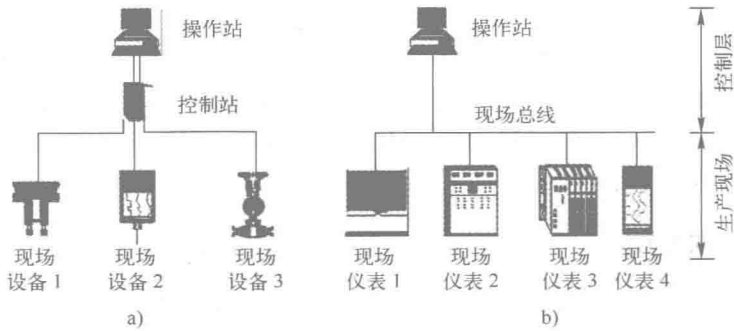


图 1-7 分布式控制系统与现场总线控制系统结构对比
a) DCS 结构 b) FCS 结构

分布式控制系统的通信网络接至现场控制器（控制站），现场仪表仍然是一对一的模拟信号传输，而现场总线的现场设备采用智能化仪表（智能传感器、变送器或执行器等），现场总线的通信网络实现了这些智能现场仪表的互联，把通信线一直延伸到被控现场和设备。现场总线控制系统无论是底层的传感器、执行器、控制器之间的信号交换，还是与上层工作站之间的信息交换，系统全部采用数字信号。数字信号传输抗干扰能力强、精度高，可有效减少系统成本。典型现场总线控制系统结构如图 1-8 所示。

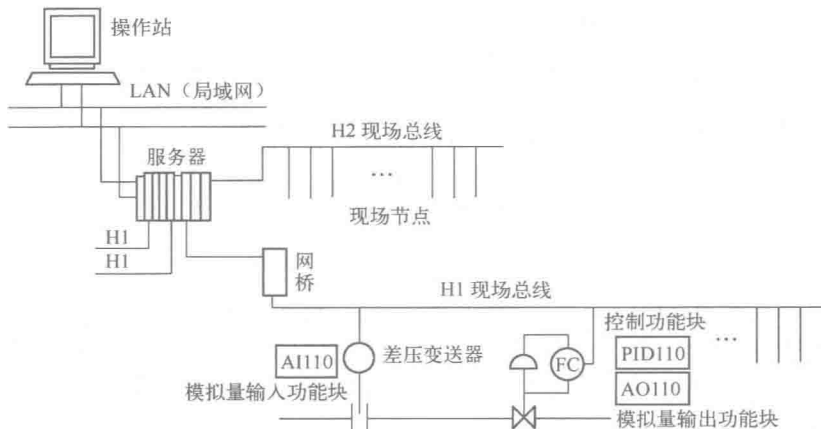


图 1-8 典型现场总线控制系统结构

由图 1-7 和图 1-8 可以看出, FCS 的系统结构为全分散式, 它废弃了 DCS 的输入/输出单元和控制站, 由现场设备或现场仪表取而代之, 即把 DCS 控制站的功能化整为零, 分散地分配给现场仪表, 从而构成虚拟控制站, 实现彻底的分散控制, 减轻了主计算机的负担和风险, 现场单元具有更高的智能特性, 因此, 简化了系统结构, 提高了可靠性。FCS 的现场设备具有互操作性, 不同厂商生产的设备, 只要遵守的是同一协议标准, 则可以相互操作, 彻底改变传统 DCS 控制层的封闭性和专用性, 使不同厂商的现场设备既可互联也可互换, 还可统一组态, 用户可以灵活选用各种功能块, 构成所需要的控制系统, 进一步提高了系统的可靠性。

1.3.6 计算机集成制造系统

计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS) 是计算机技术、自动化技术、网络技术、信息技术、管理技术、系统工程技术等新技术发展的结果, 它将企业的生产、经营、管理、计划、销售等环节和企业人力、财力、设备等生产要素集成起来, 进行统一控制, 从而取得生产活动的最优化。

在现代生产企业中, 不仅需要解决生产过程的在线控制问题, 而且还要求解决生产管理问题, 如每日生产品种、数量的计划调度以及月季计划安排, 制定长远规划、预报销售前景等, 于是出现了多级控制系统。DDC (计算机直接控制) 级主要用于直接控制生产过程, 进行 PID 或前馈控制; SCC (计算机监督控制) 级主要用于进行最佳控制、自适应控制或自学习控制计算, 并指挥 DDC 级控制同时向 MIS (信息管理系统) 级汇报情况。DDC 级通常用微型计算机, SCC 级一般用小型计算机或高档微型计算机。

车间管理的 MIS 主要功能是根据工厂级下达的生产品种、数量命令和搜集上来的生产过程的状态信息, 随时进行合理调度, 实现最优控制, 指挥 SCC 级监督控制。

工厂管理级的 MIS 主要功能是接受公司下达的生产任务和本厂的实际情况, 进行最优化计算, 制订本厂生产计划和短期 (旬、周或日) 安排, 然后给车间级下达生产任务。

公司管理级的 MIS 主要功能是对市场需求预测计算, 制订战略上的长期发展规划, 并对订货合同、原料供应情况和企业的生产状况进行最优生产方案的比较选择计算, 制订出整个公司企业较长时间 (月或旬) 的生产计划、销售计划, 并向各工厂管理级下达任务。

MIS 级主要功能是实现信息实时处理, 为各级决策者提供有用的信息, 作出关于生产计划、调度和管理方案, 使计划协调和经营管理处于最优状态。这一级可根据企业的规模和管理范围的大小分成若干级。每级又依据要处理的信息量大小确定采用的计算机的类型。一般情况车间级 MIS 用小型计算机或高档微型计算机, 工厂管理级的 MIS 用中型计算机, 而公司管理级的 MIS 则用大型计算机, 或者用超大型计算机。

1.4 计算机控制系统的发展

计算机控制技术是现代大型工业生产自动化和国防科学技术发展的产物, 它紧密依赖于计算机技术、网络通信技术和控制技术的最新发展。