普通高等教育“三海一核”系列规划教材

计算机控制系统

刘彦文　编著

科学出版社

(TP-8398.31)

计算机控制系统

三海一核

船舶工业

海洋开发

海军装备

核能应用

科学出版社互联网入口

科学出版社　工科分社
联系电话：010- 64010637
销售电话：010- 64031535
E-mail：gk@mail.sciencep.com

www.sciencep.com

ISBN 978-7-03-063354-5

定 价：49.00 元

普通高等教育“三海一核”系列规划教材

计算机控制系统

刘彦文　编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了计算机控制系统的基础知识、设计方法和典型应用。全书共 10 章，第 1 章主要介绍计算机控制系统的组成、分类及发展趋势；第 2 章介绍计算机输入/输出接口与过程通道；第 3 章介绍计算机控制系统的数学描述；第 4 章至第 9 章分别介绍计算机控制系统的特性分析、频率响应、鲁棒稳定性分析方法及各种经典设计方法，并结合具体实例进行应用；第 10 章通过一个具体例子介绍计算机控制系统的设计步骤和设计过程。本书是作者结合多年的研究成果和工程应用实践，依据高等学校自动化专业本科及研究生的教学要求而编写的，其内容反映了计算机控制系统近年来的新进展。本书中典型控制系统的应用都是通过具体的实例来讲解的，为实际系统的工程设计提供了可以参照的样板，也为理论工作者提供了大量的应用实例。

本书可作为高等学校的本科生和研究生教材，也可作为相关企业的培训教材，还可为相关专业的工程设计人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制系统 / 刘彦文编著. —北京：科学出版社，2019.12
普通高等教育“三海一核”系列规划教材

ISBN 978-7-03-063354-5

Ⅰ. ①计… Ⅱ. ①刘… Ⅲ. ①计算机控制系统 Ⅳ. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 255379 号

责任编辑：余 江 董素芹 / 责任校对：王萌萌
责任印制：张 伟 / 封面设计：迷底书装

科 学 出 版 社 出版
北京东黄城根北街 16 号
邮政编码：100717
http://www.sciencep.com

北京捷迅佳彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销
*
2019 年 12 月第 一 版 开本：787×1092 1/16
2019 年 12 月第一次印刷 印张：12 1/4
字数：290 000

定价：49.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

前　言

随着大规模集成电路技术的发展，计算机的性能及可靠性有了显著提高，同时价格大大下降，而且容易实现和便于调整复杂的控制规律，逐渐成为人们信赖的控制装置。在现代控制系统中，越来越多的设计者采用了通过计算机实现的具有复杂算法的数字控制器，这种应用数字控制器来控制连续对象的系统称为计算机控制系统。

本书将计算机控制技术与计算机控制系统相结合，系统地介绍计算机控制系统的基础知识、设计方法和典型应用。全书共 10 章，第 1 章主要介绍计算机控制系统的组成、分类及发展趋势；第 2 章介绍计算机输入/输出接口与过程通道；第 3 章介绍计算机控制系统的数学描述；第 4 章分析计算机控制系统的稳定性、稳态性能和动态性能；第 5 章结合系统的特点，介绍计算机控制系统频率响应的直接计算方法，与前人的方法进行对比和分析，并结合三个具体实例进行应用，进一步验证本书所给方案的优越性；第 6 章给出计算机控制系统的连续化设计方法，包括基本和改进的数字 PID 控制算法及 PID 参数的工程整定方法；第 7 章从现代控制系统设计的角度，对计算机控制系统进行鲁棒稳定性分析和设计；第 8 章给出计算机控制系统的离散化设计方法，包括最少拍控制器设计、具有纯滞后对象的控制系统设计、串级控制、前馈-反馈控制及解耦控制方法；第 9 章介绍计算机控制系统的状态空间设计方法；第 10 章介绍典型的计算机控制系统的设计步骤和过程并给出具体的应用实例。

本书在“计算机控制系统”课程的主要教学内容的基础上，介绍了一些经典的设计方法，还结合目前流行的先进控制理论和作者近年来的研究，将目前流行的一些先进控制技术融入计算机控制系统的分析设计和应用中，以具体的实例讲述各种典型结构现代化计算机控制系统的设计过程，并从现代控制系统设计的角度，应用不同的方法对计算机控制系统进行鲁棒稳定性分析和设计。书中既有理论分析又有应用实例，读者通过对本书的学习，除了能掌握一定的计算机控制的基本理论和分析、设计方法，还可以通过书中的各种典型应用实例，掌握设计和应用技巧，大大提高工程设计的能力。

编　者

2019 年 7 月

目　录

第 1 章　绪论 …… 1
1.1　自动控制系统概述 …… 1
1.2　计算机控制系统的组成和基本原理 …… 2
1.3　常用计算机控制系统主机 …… 4
1.3.1　工控机 …… 4
1.3.2　可编程逻辑控制器 …… 5
1.3.3　单片机 …… 5
1.3.4　数字信号处理器 …… 6
1.3.5　ARM 处理器 …… 7
1.4　计算机控制系统的特点 …… 7
1.5　典型计算机控制系统 …… 8
1.6　计算机控制系统分类 …… 9
1.6.1　按功能和结构特点分类 …… 9
1.6.2　按控制规律分类 …… 12
1.7　计算机控制系统的发展趋势 …… 13
习题 …… 14
第 2 章　计算机输入/输出接口与过程通道 …… 15
2.1　总线技术 …… 15
2.1.1　总线的基本概念及特点 …… 15
2.1.2　总线的分类 …… 16
2.1.3　总线标准 …… 17
2.1.4　常用外部总线 …… 18
2.2　数字量输入通道 …… 18
2.3　数字量输出通道 …… 20
2.4　模拟量输入通道 …… 22
2.4.1　传感器及其测量线路 …… 22
2.4.2　信号调节放大电路 …… 30
2.4.3　数据采集与处理方法 …… 35
2.4.4　A/D 转换器 …… 38
2.5　模拟量输出通道 …… 43
2.5.1　D/A 转换器的工作原理 …… 44
2.5.2　D/A 转换器的技术指标 …… 45
2.5.3　DAC0832 …… 46
习题 …… 50

第 3 章　计算机控制系统的数学描述 …… 51
3.1　信号的类型与采样的形式 …… 51
3.1.1　信号的类型 …… 51
3.1.2　采样的形式 …… 52
3.2　信号的采样与重构 …… 52
3.2.1　采样过程及采样定理 …… 52
3.2.2　连续信号的重构 …… 58
3.3　z 变换与 z 逆变换 …… 61
3.3.1　脉冲响应和卷积和 …… 61
3.3.2　z 变换 …… 62
3.3.3　z 逆变换 …… 65
3.4　z 差分方程与离散传递函数 …… 66
3.4.1　线性差分方程 …… 66
3.4.2　脉冲传递函数(z 传递函数) …… 68
3.5　计算机控制系统的离散化模型 …… 69
3.5.1　连续对象的 ZOH 离散化 …… 69
3.5.2　具有连续时滞对象的改进 z 变换 …… 71
习题 …… 72
第 4 章　计算机控制系统的特性分析 …… 73
4.1　计算机控制系统的稳定性 …… 73
4.1.1　稳定性条件及稳定性判据 …… 73
4.1.2　采样周期对系统稳定性的影响 …… 80
4.2　计算机控制系统的稳态性能 …… 81
4.2.1　稳态误差的定义 …… 81
4.2.2　典型输入信号下的稳态误差分析 …… 82
4.2.3　采样周期对稳态性能的影响 …… 85
4.3　计算机控制系统的动态特性 …… 88
4.3.1　零极点分布与系统的动态响应 …… 88
4.3.2　系统的动态性能指标 …… 90
4.3.3　采样周期对系统动态特性的影响 …… 93
习题 …… 94
第 5 章　计算机控制系统的频率响应 …… 95
5.1　基于时间域提升技术的频率响应计算 …… 95
5.2　基于频域提升技术的频率响应计算 …… 96
5.3　计算机控制系统频率响应的直接计算 …… 98
5.4　典型应用Ⅰ——球杆系统 …… 103
5.5　典型应用Ⅱ——时滞不确定采样系统 …… 108
5.5.1　时滞不确定系统的稳定性分析 …… 109
5.5.2　算例 …… 111

5.6　典型应用Ⅲ——力觉接口的无源性设计……114
5.6.1　无源性及无源性条件……115
5.6.2　系统设计……118
习题……120
第 6 章　计算机控制系统的连续化设计……121
6.1　数字控制器的连续化设计……121
6.1.1　设计原理和步骤……121
6.1.2　连续控制器的离散化方法……121
6.2　数字 PID 控制算法……125
6.2.1　位置式 PID 算法……126
6.2.2　增量式 PID 算法……126
6.2.3　数字 PID 算法的改进……127
6.3　数字 PID 控制器的参数整定……129
习题……131
第 7 章　计算机控制系统的鲁棒稳定性分析……133
7.1　不确定性及小增益定理……133
7.1.1　对象的不确定性……133
7.1.2　不确定性和鲁棒性……136
7.1.3　范数有界不确定性……136
7.1.4　小增益定理……137
7.2　鲁棒稳定性分析的新方法……138
习题……142
第 8 章　计算机控制系统的离散化设计……143
8.1　概述……143
8.2　最少拍控制器设计……144
8.2.1　最少拍控制器……144
8.2.2　最少拍有纹波控制器设计……147
8.2.3　最少拍无纹波控制器设计……148
8.3　具有纯滞后对象的控制系统设计……149
8.3.1　史密斯预估器……149
8.3.2　达林算法……151
8.4　串级控制……151
8.4.1　串级控制的结构和原理……151
8.4.2　数字串级控制算法……152
8.5　前馈-反馈控制……153
8.5.1　前馈-反馈控制的结构和原理……153
8.5.2　数字前馈-反馈控制算法……153
8.6　解耦控制……154
8.6.1　解耦控制原理……154

8.6.2　多变量解耦控制方法 …… 155
习题 …… 157
第 9 章　计算机控制系统的状态空间法设计 …… 159
9.1　系统的离散状态空间描述 …… 159
9.1.1　连续状态方程的离散化 …… 159
9.1.2　矩阵指数及其积分的计算 …… 160
9.1.3　z 传递函数矩阵 …… 162
9.2　能控性与能观测性 …… 162
9.3　状态反馈控制律的极点配置设计 …… 163
9.4　状态观测器设计 …… 163
9.4.1　全状态观测器 …… 163
9.4.2　降阶观测器 …… 164
9.5　具有状态观测器的状态反馈控制律设计 …… 165
9.6　线性二次型最优调节器(LQR)设计 …… 166
9.6.1　有限时间最优调节器设计 …… 166
9.6.2　无限时间最优调节器设计 …… 168
9.7　最优状态估计——离散卡尔曼滤波器 …… 169
习题 …… 171
第 10 章　计算机控制系统的工程设计及应用 …… 173
10.1　系统的设计原则与步骤 …… 173
10.1.1　设计原则 …… 173
10.1.2　设计步骤 …… 174
10.2　计算机控制系统的可靠性技术 …… 175
10.2.1　控制系统的抗干扰设计 …… 175
10.2.2　系统的软件可靠性设计 …… 176
10.3　计算机控制系统的工程设计与实现 …… 176
10.4　直流电动机闭环调速系统设计举例 …… 178
习题 …… 185
参考文献 …… 186

第1章 绪　论

计算机控制系统是自动控制理论和计算机技术相结合的产物。随着大规模集成电路技术的发展，计算机的性能及可靠性有了显著提高，同时价格大大下降，逐渐成为人们信赖的控制装置。而且由于计算机容易实现和便于调整复杂的控制规律，在现代控制系统中，越来越多的设计者采用通过计算机实现的具有复杂算法的离散控制器，这种应用离散控制器来控制连续对象的系统称为计算机控制系统。计算机控制系统中控制器是离散的，对象的输入/输出信号则是连续的，因而连续信号和离散信号共存，是计算机控制系统的主要特征，也是系统分析和设计的难点。这决定了计算机控制系统的数学模型、分析和设计方法必然与常规的纯连续和纯离散系统不同。

本章主要介绍计算机控制系统的一般概念、基本原理和组成，以及计算机控制系统的特点、分类、发展趋势等。

1.1 自动控制系统概述

自动控制是指在没有人直接参与的情况下，通过控制器使生产过程自动地按照预定的规律运行。一般来说，随着被控对象、控制规律、执行机构的不同，自动控制系统有不同的特点。对于实际的控制系统，根据有无反馈作用可以分为开环控制、闭环控制和半闭环控制三种结构。

1. 开环控制

图 1.1 给出的是开环控制系统的基本结构，该系统是根据输入量和干扰量进行控制的，输出端与输入端之间无反馈回路，输出量在整个控制过程中对系统的控制过程不产生任何影响。

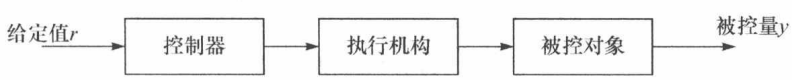


图 1.1　开环控制系统的基本结构

开环控制系统的特点：①若由于干扰作用使输出量偏离原始值，系统无自动纠偏能力，要靠人工改变输入量来消除干扰；②系统的控制精度低，无法实现高精度控制；③系统简单，一般都能可靠稳定地工作。

2. 闭环控制

图 1.2 给出的是闭环控制系统的基本结构，该系统的输出端与输入端之间存在反馈回路，输出量对控制过程产生直接影响。图 1.2 的具体工作原理为：首先将被控量 y 与给定值 r 相比较，形成一个偏差信号 e，控制器根据这个偏差信号 e 进行控制调节，使系统的误差减小，最终使被控量接近或等于给定值。

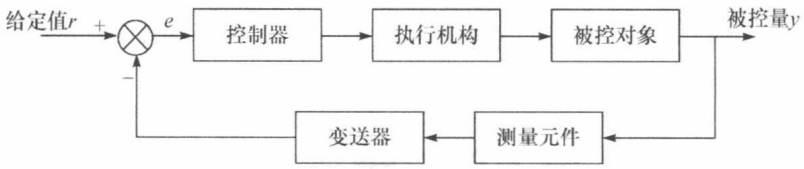


图 1.2　闭环控制系统的基本结构

闭环控制系统的特点：①输出量直接或间接对系统进行控制；②应用反馈来减小或消除偏差；③可自动减弱干扰的影响；④存在稳定、超调、振荡等问题(由于元器件的老化，若参数配置不当，很容易引起振荡，使系统不稳定)；⑤精度高，对外部干扰和系统参数变化不敏感。

3. 半闭环控制

半闭环控制系统虽然也存在反馈回路，但反馈信号不是从系统的输出端引出，而是间接地取自中间的测量元件。例如，在数控机床的进给伺服系统中，可将位置检测装置安装在传动丝杠的端部，间接测量工作台的实际位移。

半闭环控制系统的特点：①比开环控制系统的精度高，但比闭环控制系统的精度低；②与闭环控制系统相比，易于实现系统的稳定。

1.2　计算机控制系统的组成和基本原理

如果将图 1.1 和图 1.2 中控制器的功能用计算机来实现，就构成了计算机控制系统，如图 1.3 所示。计算机控制系统主要由工业控制计算机和被控对象两大部分组成。因为计算机只能接收、处理和输出数字信号，而对象的输出是连续信号，所以与图 1.2 相比，计算机控制系统增加了数/模(D/A)转换器及模/数(A/D)转换器。

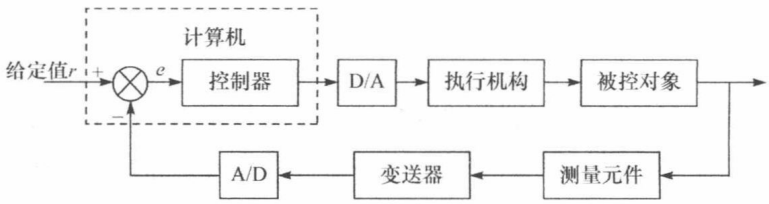


图 1.3　计算机控制系统

在计算机控制系统中，控制规律是用软件实现的，只要运用各种指令，就能编出符合某种控制规律的程序，计算机执行预定的控制程序，就能实现对被控参数的控制。

1. 各元件功能介绍

图 1.3 中各元件的功能如下：

(1)控制器：根据偏差信号 e，按照预定的控制规律产生控制信号，以驱动执行机构工作，使被控量与给定值保持一致。

(2)A/D 转换器：把测量变送环节输出的连续信号转换成数字信号输入计算机。

(3)D/A 转换器：把计算机输出的数字信号转换成连续信号去驱动执行机构。

(4)执行机构：根据控制器输出的控制信号，改变输出的角或直线位移，并改变被调介质的流量或能量，使生产过程满足预定的要求。

对于执行机构最广泛的定义是：一种能提供直线或旋转运动的驱动装置，它利用某种驱动能源并在某种控制信号作用下工作。执行器按其能源形式分为气动、电动和液动三大类，它通过电动机、气缸或其他装置将这些能源转化成驱动作用。基本的执行机构用来把阀门驱动至全开或全关的位置。用于控制阀门的执行机构能够精确地将阀门调整到任何位置。

(5)测量元件：对被控对象的被控量(温度、压力、流量、转速、位移等)进行测量。

(6)变送器：将被测参数变成一定形式的电信号，反馈给控制器。

2. 系统的控制过程

(1)实时数据采集：对来自测量、变送装置的被控量的瞬时值进行检测和输入。

(2)实时控制决策：对采集到的被控量进行分析和处理，并按预定的控制规律，决定将要采取的控制行为。

(3)实时控制输出：根据控制决策，适时地对执行机构发出控制信号，完成控制任务。

这里提到了实时性的概念，实时是指信号的输入、处理和输出都必须在一定的时间范围内完成。

3. 系统的工作方式

(1)在线方式：这种方式又称为联机方式，是指计算机和生产过程相连，且直接控制生产过程。

(2)离线方式：这种方式又称为脱机方式，是指计算机不与生产过程相连，或相连但不直接控制生产过程，而是依靠人进行联系并作出相应操作。

4. 系统的硬件组成

图 1.4 是计算机控制系统的硬件组成结构框图。系统的硬件一般包括通用外部设备、计算机(主机)及操作台、输入/输出通道、控制对象等，具体如下：

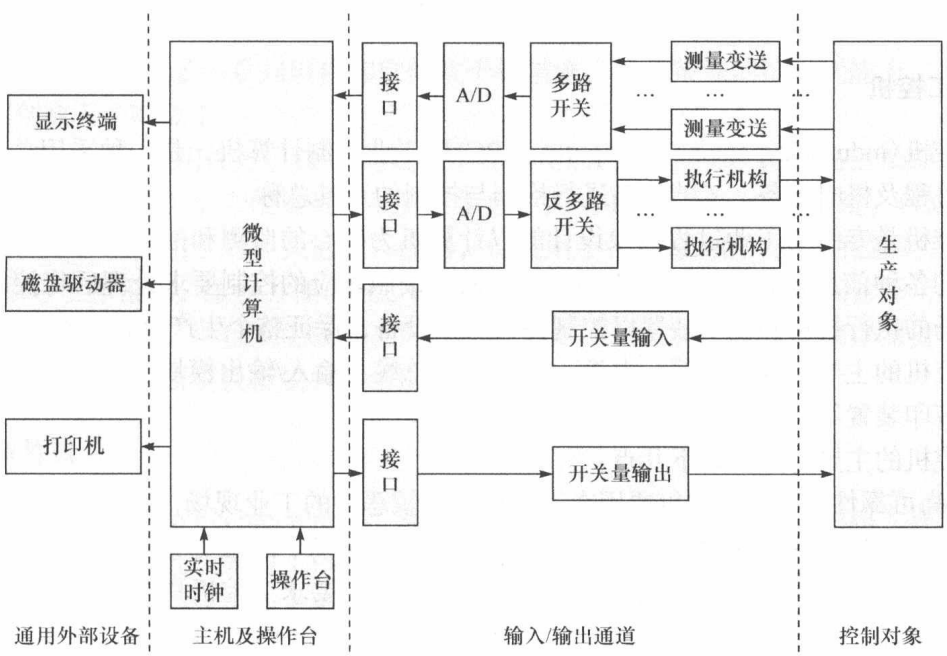


图 1.4　计算机控制系统的硬件组成

(1)计算机(主机)是整个控制系统的指挥部，通过接口向系统各部分发出各种命令，同时对系统各参数进行巡回检测、数据处理、控制计算、报警处理及逻辑判断等。

(2)通用外部设备的功能是实现计算机和外界的信息交换。主要包括人机通信设备、输入/输出设备(键盘、鼠标、扫描仪、光电输入机、打印机、绘图仪、显示器等)和外存储器(磁盘、光盘)。

(3)输入/输出通道是计算机和生产过程之间设置信息传递和交换的连接通道。它一方面将工业对象的参数取出，经传感器(一次仪表)、变送器和 A/D 等将信号变为计算机能接收和识别的代码；另一方面将计算机输出的控制指令和数据，经变换后作为操作执行机构的控制信号，以实现对生产过程的控制。

(4)操作台是操作人员与计算机控制系统进行联系的纽带。主要包括显示装置(如液晶显示器、数码显示器、发光二极管等)、一组或几组功能键、一组或几组数字键。

(5)控制对象是指所要控制的生产装置或设备。

5. 系统的软件组成

软件是指能完成各种功能的计算机程序的总和，它是计算机控制系统的神经中枢，整个系统都是在程序的指挥下进行协调工作的。软件通常分为系统软件和应用软件两种。

(1)系统软件是由计算机设计者提供的，专门用来使用和管理计算机本身的程序，如操作系统、开发系统、调试系统、故障诊断程序，以及各种语言的汇编、解释及编译程序等。

(2)应用软件是用户根据要解决的实际问题而编写的各种程序。在计算机控制系统中，每个控制对象或控制任务都配有相应的控制程序，用这些控制程序来完成对各个控制对象的不同要求。这种为控制目的而编写的程序，通常称为应用程序。

1.3　常用计算机控制系统主机

1.3.1　工控机

工控机(industrial personal computer，IPC)即工业控制计算机，是一种采用总线结构，对生产过程及机电设备、工艺装备进行检测与控制的工具总称。

工控机是专门为工业过程对象设计的以计算机为核心的监测和控制系统，它对来自生产现场的各种信息和数据进行监测和采集输入，按照相应的控制要求处理后将控制信息输出给现场的执行机构和驱动装置以控制各种机器设备，保证整个生产流程的顺利进行。

工控机的主要组成有机箱、电源、主机板、总线、输入/输出模块、显示器、键盘、鼠标以及打印装置等。

工控机的主要特点有以下几点：

(1)高可靠性。因为工控机要用在工作环境比较恶劣的工业现场，需要其能够耐受各种环境条件的变化，如对粉尘、烟雾、高/低温、潮湿、振动、腐蚀等方面都具有一定的防护功能。另外，为了保证对生产过程的连续不间断控制，要求工控机具有很低的故障率，一旦发生故障还要具有快速的诊断能力和维护维修能力。工控机的 MTTR(mean time to repair)一般为 5min，MTTF(mean time to failure)一般在 10 万小时以上，而普通计算机的 MTTF 仅为 10000～15000 小时。

(2)实时性好。工控机能够对工业生产过程进行实时在线检测与控制，对现场的工作状况的变化给予快速的响应，当过程参数出现偏差或故障时，能够及时地进行响应和处理，保证系统的正常运行。

(3)良好的扩充性。工控机由于采用底板+CPU卡结构，因而具有很强的输入/输出功能，最多可扩充20个板卡，能与工业现场的各种外设、板卡等相连，以完成各种任务。

(4)兼容性好。能同时利用ISA与PCI及PICMG资源，并支持各种操作系统、多种语言汇编。

1.3.2 可编程逻辑控制器

可编程逻辑控制器(programmable logic controller，PLC)是一种专门为在工业环境下应用而设计的数字运算操作的电子系统。它采用一种可编程的存储器，在其内部存储了执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作指令，通过数字式或模拟式的输入/输出来控制各种类型的机械设备或生产过程。

PLC基本组成结构有电源、中央处理单元(CPU)、存储器、输入/输出接口电路、功能模块、通信模块。

PLC的主要特点如下。

(1)使用方便，编程简单。PLC采用简明的梯形图、逻辑图或语句表等编程语言，这种编程语言简单易懂，无须具备高深的计算机专业知识，因此系统开发周期短，现场调试容易。另外，可在线修改程序，改变控制方案而不拆动硬件。

(2)可靠性高，抗干扰能力强。PLC是专门为工业过程控制应用而设计的，在设计上充分考虑了其应用环境和运行的要求，并且因为用软件代替了大量的继电器功能，大大减少了硬件电路，大量的开关动作由无触点的电子存储器件来完成，故寿命长，所以具有很高的可靠性。

另外，PLC采取了一系列硬件和软件抗干扰措施，具有很强的抗干扰能力，平均无故障时间达到数万小时以上。

(3)功能完善，通用性好。PLC的硬件是标准化的，加上PLC的产品已系列化，功能模块品种多，用户能灵活方便地进行配置，组成不同功能、不同规模的系统。PLC功能强大，通用性好，既能用于对开关量进行控制，也能用于各种连续的工业过程控制系统。

(4)维修工作量小，维修方便。PLC的故障率很低，且有完善的显示和诊断功能，故障和异常状态均有显示，一旦发生故障，可以根据PLC上的发光二极管或编程器提供的信息迅速查明故障原因，用更换模块的方法迅速地排除故障。

1.3.3 单片机

单片机(single chip microcomputer，SCM)是一种集成电路芯片，是采用超大规模集成电路技术把具有数据处理能力的CPU、RAM、ROM、多种I/O接口和中断系统、定时/计数器等功能模块集成到一块硅片上构成的一个小而完善的微型计算机系统。

单片机诞生于20世纪70年代，经历了SCM、MCU、SoC三大阶段。早期的单片机都是8位或4位的，其中最成功的是Intel的8031，此后在8031的基础上发展出了MCS51系

列的单片机系统。随着工业控制领域要求的提高，开始出现了16位单片机，但因为性价比不理想并未得到广泛的应用。随着Intel i960系列，特别是后来的ARM系列的广泛应用，32位单片机迅速取代16位单片机的高端地位，进入主流市场。

单片机的主要特点如下：

(1)集成度高，体积小。单片机将CPU、存储器、I/O接口及定时/计数等各功能部件集成在一块晶体芯片上，所以集成度高，体积小。

(2)控制功能强。单片机具有极其丰富的指令系统，它具有很强的实时控制功能，可以直接对I/O接口进行操作，还具有分支转移功能和位处理功能等，所以能够完成各种控制任务并实现一些专门的控制功能。

(3)性价比高。单片机的功能强大，性能极好，但是由于生产厂家多，产量大，各厂家的激烈竞争使价格非常便宜，所以其性价比高。

(4)使用方便，易于扩展。单片机内部功能强，目前国内外各种单片机开发工具的存在使单片机的应用极为方便。另外，由于芯片外部有许多供扩展用的三总线及并行、串行输入/输出引脚，很容易构成各种规模的计算机应用系统，所以单片机也有很好的可扩展性。

1.3.4　数字信号处理器

数字信号处理器(DSP)是一种专用于数字信号处理的微处理器。它能够实时快速地实现各种数字信号处理算法。DSP使用的是哈佛结构的微处理器。哈佛结构是一种将程序指令存储和数据存储分开的存储器结构，如图1.5所示。CPU首先到程序指令存储器中读取程序指令内容，解码后得到数据地址，再到相应的数据存储器中读取数据，并进行下一步的操作。程序指令存储和数据存储分开，可以使指令和数据有不同的数据宽度。哈佛结构基本上能解决取指和取数的冲突问题，而且由于取指令和存取数据分别经由不同的存储空间和不同的总线，各条指令可以重叠执行，提高了运算速度。

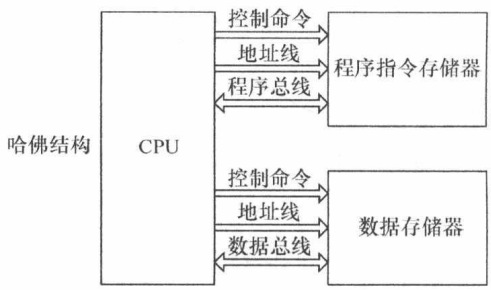


图1.5　哈佛结构

1. DSP芯片的主要特点

(1)有专用的硬件乘法器。硬件乘法器的功能是在一个指令周期内完成一次乘法运算，是DSP实现快速运算的重要保证。

(2)程序和数据空间分开，每个存储器独立编址，独立访问，所以可以同时访问指令和数据。

(3)具有特殊的DSP指令，DSP芯片为了对数字信号进行更为高效、快速的处理，专门设计了一套相应的特殊指令。这些特殊指令节省了指令的条数，缩短了指令的执行时间，

提高了运算速度。

(4) 具有低开销或无开销循环及跳转的硬件支持。

(5) 具有快速的中断处理能力和硬件 I/O 支持。

(6) 具有在单周期内操作的多个硬件地址产生器。

(7) 具有很低的功耗和很高的运算精度。

(8) 支持流水线操作。流水线操作技术使两个或更多不同的操作可以重叠执行，从而在不减小时钟周期的条件下缩短每条指令的执行时间，增强了处理器的数据处理能力。

2. DSP 的主要应用

随着数字电路与系统技术及计算机技术的发展，数字信号处理技术也相应地得到发展，其应用领域十分广泛，例如，数据调制解调器、磁盘和光盘的驱动控制、引擎控制、激光打印机控制、喷绘机控制、电动机控制、电力系统控制、机器人控制、高精度伺服系统控制、数控机床、图形图像的处理、声音处理、汽车电子系统等。

1.3.5 ARM 处理器

ARM 处理器是指采用 ARM 公司的 IP 核的微处理器，它是一个使用 32 位精简指令集(RISC)的处理器架构。这类处理器成本低、集成度高，有丰富的外设，广泛地应用于许多嵌入式系统中。

ARM 处理器的主要特点如下：

(1) 体积小、低功耗、低成本、高性能。

(2) 支持 Thumb(16 位)/ARM(32 位)双指令集，能很好地兼容 8 位/16 位器件。

(3) 大量使用寄存器，指令执行速度更快。

(4) 大多数数据操作都在寄存器中完成。

(5) 寻址方式灵活简单，执行效率高。

(6) 指令长度固定。

ARM 处理器的主要应用领域如下：

(1) 工业控制领域。

(2) 无线通信领域。

(3) 消费类电子产品，如数字音频播放器、数字机顶盒和游戏机。

(4) 成像和安全产品，如数码相机和打印机、手机的 SIM 智能卡。

1.4 计算机控制系统的特点

与模拟系统相比，计算机控制系统具有如下特点。

1. 数字、模拟混合的系统

因为计算机实现的控制器是离散的，而计算机接收和识别的信号只能是数字信号，但系统的被控对象是连续的，系统中既有连续信号(模拟信号)，又有离散信号和数字信号等多种信号形式。

2. 灵活方便、适应性强

模拟系统控制规律由硬件电路实现，控制规律越复杂，电路也越多，且要改变控制规律，只能改变硬件电路。计算机控制系统的控制规律是由软件实现的，改变控制程序即可改变控制规律。

3. 可实现复杂的控制规律

计算机具有丰富的指令系统和很强的逻辑判断功能，可实现模拟电路不能实现的复杂控制规律。

4. 离散控制

在模拟系统中，给定值与反馈值的比较是连续进行的，控制器对偏差的调节也是连续的。而计算机控制系统则是每隔一定的采样时间，计算机向 A/D 发出启动转换指令，采样连续信号，经过计算机处理后，发出控制信号，再由 D/A 转换成连续信号输出，去控制对象。

5. 可以采用分时控制

模拟系统是一个控制器控制一个回路。对于计算机控制系统，由于计算机具有高速的计算处理能力，一个数字控制器可以采用分时控制的方式同时控制多个回路。

6. 易于实现管控一体化

可以实现控制信息的全数字化，易于建立集成企业经营管理、生产管理和过程控制于一体的管控一体化系统。

1.5　典型计算机控制系统

【例 1.1】　啤酒罐计算机温度控制系统。

此系统是一个闭环结构的多点温度计算机控制系统。图 1.6 中的多路采样保持电路部分由多路开关、零阶保持器(ZOH)组成；测量变送电路部分由铂电阻、恒流源和放大器构成，用来把温度信号转换成电压信号。系统的主要工作原理为：由测量变送电路采集啤酒罐各点的温度值，经过多路采样保持电路和 A/D 后把各点的温度转换成数字量送入计算机。计算机根据给定温度和反馈值形成的偏差信号，按照预定的控制规律计算出对各点温度的控制信号。多路控制信号经 D/A 转换和保持器保持后驱动执行机构进而控制啤酒罐各点的温度。

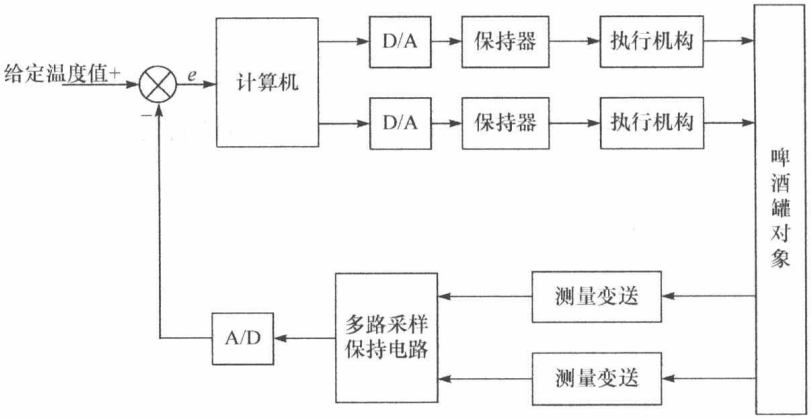


图 1.6　啤酒罐计算机温度控制系统