

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



WEIXING JISUANJI
KONGZHI JISHU

微型计算机 控制技术

王新 主编
张宏伟 胡治国 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



WEIXING JISUANJI
KONGZHI JISHU

微型计算机 控制技术

主 编 王 新
副主编 张宏伟 胡治国
编 写 谭兴国 杨俊起 崔立志 张蛟龙
主 审 王福忠



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

本书以 MCS-51 系列单片机为控制核心,较全面、系统地介绍了微型计算机控制系统的基本理论及应用技术。

全书共 7 章,主要内容包括微型计算机控制系统的基本概念、组成、分类和主要发展趋势,输入/输出通道和 I/O 接口电路设计技术,数字控制器的模拟化设计方法,数字控制器的离散化设计方法,结构化程序设计思想及常用应用程序设计,集散控制系统和现场总线系统等,并以实际工程应用为例,介绍微型计算机控制系统的设计方法。

本书可作为普通高等院校自动化、电气工程及其自动化、电子信息工程、计算机应用及相近专业的教材,同时也可作为相关专业工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

微型计算机控制技术 / 王新主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-9043-7

I. 微… II. 王… III. 微型计算机—计算机控制—高等学校—教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 106067 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 8 月第一版 2009 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.75 印张 383 千字

定价 25.20 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

微型计算机控制技术已经广泛应用于国防、工业和民用等各个领域,并取得了较大的社会效益和经济效益。对于自动化、电气工程及其自动化、电子信息工程、机电一体化等专业的本科生及研究生来说,掌握微型计算机控制系统的基本知识与设计技能已成为一门基本功。随着计算机技术、自动控制理论、检测与传感器技术、现场总线技术、通信与网络技术的快速发展,微型计算机控制技术课程内容的不断更新势在必行。

针对复合型、创新性人才的培养目标,本书编者结合自己多年的教学、科研工作实践,对微型计算机控制技术的课程结构进行了深入细致地研究,吸取了国内外最新的计算机控制技术,尽量反映出微机控制领域内最新的科学技术和学术动态。本书基础理论与实用技术并重,旨在提高学生设计微机控制系统的能力。书中将自动控制理论、微型计算机技术、检测与传感器技术、现场总线技术等课程的基本内容与本课程有机地结合在一起,详细介绍了微型计算机控制技术的基本原理及设计实现方法,注重软、硬件的结合,突出微型计算机在工业控制中的具体实践及应用。在编写思路,遵循由单机到系统,由浅入深,以熟练掌握基础理论和工程设计为目标,提高学生综合应用所学知识分析、解决实际工程问题的能力,培养其综合素质。

全书共7章,第1章主要介绍微型计算机控制系统的基本概念、组成、分类和主要发展趋势;第2章详细阐述了输入/输出通道和I/O接口电路设计技术;第3、4章分别讨论了数字控制器的模拟化设计方法和离散化设计方法;第5章介绍了结构化程序设计思想及常用应用程序设计,包括数字滤波技术、标度变换、插值算法以及报警程序设计等内容;第6章介绍了集散控制系统和现场总线系统;第7章以实际工程应用为例详细介绍了微型计算机系统的设计方法。

本书由河南理工大学的王新教授主编,张宏伟和胡治国担任副主编。第1~2章由张宏伟编写,第3章由崔立志编写,第4章由王新编写,第5章由杨俊起编写,第6章第1节由张蛟龙编写,第6章第2、3、4节由胡治国编写,第7章由谭兴国编写。

河南理工大学的王福忠教授担任本书的主审，对本书提出了不少宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平和经验有限，加之计算机控制技术发展迅速，书中难免存在不足和错漏之处，敬请广大同行与读者批评指正。

编者

2009年4月



目 录

前 言

第 1 章 计算机控制系统概述	1
1.1 自动控制系统的基本概念.....	1
1.2 计算机控制系统的组成.....	3
1.3 计算机控制系统的分类.....	6
1.4 计算机控制系统的控制核心.....	10
1.5 计算机控制系统的发展概况及趋势.....	17
本章小结.....	20
习题与思考题.....	21
第 2 章 输入/输出接口与过程通道	22
2.1 输入/输出接口.....	22
2.2 过程通道的一般结构.....	26
2.3 信号的采样和量化.....	29
2.4 模拟量输入通道的信号调理电路.....	32
2.5 模拟开关及采样保持.....	37
2.6 A/D 转换器及接口技术.....	42
2.7 模拟量输出通道.....	59
2.8 数字量输入与输出通道.....	76
2.9 I/O 通道的抗干扰技术.....	84
本章小结.....	87
习题与思考题.....	87
第 3 章 数字控制器的模拟化设计方法	89
3.1 模拟化设计方法及其步骤.....	89
3.2 离散化方法.....	90
3.3 数字 PID 控制器的设计.....	94
3.4 数字 PID 控制器的改进.....	97
3.5 数字 PID 控制器的参数整定.....	102
3.6 设计举例.....	106
本章小结.....	108
习题与思考题.....	109
第 4 章 数字控制器的直接设计方法	110
4.1 引言.....	110
4.2 最少拍有波纹系统的设计.....	114
4.3 最少拍无波纹系统的设计.....	118

4.4 最少拍系统的改进	122
4.5 纯滞后对象的控制算法——达林算法	125
本章小结	129
习题与思考题	130
第5章 常用应用程序设计	131
5.1 软件程序设计思想	131
5.2 数字滤波技术	133
5.3 标度变换	140
5.4 插值算法	142
5.5 查表	144
5.6 电机控制程序设计	146
5.7 报警程序设计	152
本章小结	154
习题与思考题	155
第6章 集散控制系统和现场总线	156
6.1 集散控制系统	156
6.2 几种典型的DCS简介	165
6.3 现场总线技术	182
6.4 几种典型的现场总线介绍	188
本章小结	204
习题与思考题	204
第7章 微型计算机控制系统的设计	206
7.1 微机控制系统设计的基本要求	206
7.2 微机控制系统的设计步骤	207
7.3 电热箱温度闭环控制系统	215
7.4 微机控制的电机闭环控制调压调速系统	229
本章小结	243
习题与思考题	243
参考文献	244

第1章 计算机控制系统概述

计算机控制是自动控制发展中的高级阶段，是自动控制的重要分支。特别是 20 世纪 70 年代初进入微型计算机时代后，计算机在信息处理、逻辑分析、决策判断、输入/输出管理等各方面显示出突出的优点，并以其高性能、低价格、体积小、可靠性高，在国防、工业和民用各个领域得到了广泛应用。计算机控制系统利用计算机的硬件和软件代替自动控制系统的控制器。随着计算机技术、自动控制理论、检测与传感技术、现场总线智能仪表、通信与网络技术的高速发展，计算机控制技术的水平也日益提高，已从简单的单机控制系统发展到了集散型控制系统、现场总线控制系统等多机控制系统。

本章将介绍计算机控制系统的基本概念、组成、分类和主要发展趋势。

1.1 自动控制系统的基本概念

自动控制是指在没有人直接参与的前提下，应用控制装置自动地、有目的地控制或操纵机器设备或生产过程，使它们具备相应的功能，完成预定的目标。自动控制系统从信号传送的路径结构可分为两大类：开环控制系统和闭环控制系统。为了提高控制质量，系统常采用闭环负反馈结构，这种反馈控制系统的结构如图 1-1 所示。

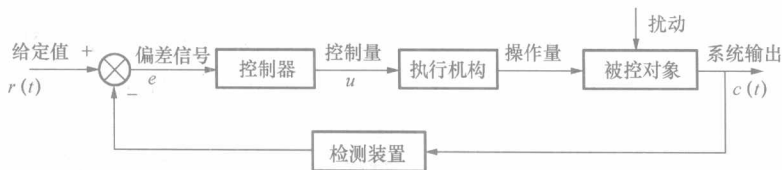


图 1-1 反馈控制系统结构框图

在反馈控制系统中，通过检测装置（仪表）获取输出变量，将此值与给定值进行比较后，由控制器（校正装置）按偏差进行某种控制运算，最后通过执行机构输出操作量作用于被控对象，以消除偏差。

在控制系统中如给定值是恒定不变的，则此系统称为定值控制系统。有的控制系统中的给定值不为人们所预知，但要求系统输出量既能迅速地跟随给定值的变化，又能克服扰动量对系统的影响，这类系统称为随动系统（伺服系统）。如果系统的控制变量的变化规律为已知函数，并被事先确定，则这类系统称为程序控制系统。

从广义来说，系统的给定信号和扰动都可以看作系统外作用信号。给定信号决定着系统输出量的变化；而扰动信号是系统不希望有的外作用，它破坏给定信号对系统输出量的控制。但是，在实际系统中，扰动是不可避免的。通常所说的系统输入信号，一般是指给定信号。

系统在没有外作用时，处于平衡状态。当系统受到外作用时，其输出量就会发生相应的变化。由于系统中含有惯性及储能元件，因此系统在外作用下由一个平衡状态（或稳态）过

渡到另一个平衡状态（或稳态）需要有一个过程，这一过程称为过渡过程或瞬态过程，或称系统响应，如图 1-2 所示。

瞬态过程有两种形式：一种是收敛的，如图 1-3 中曲线 1 和曲线 2 所示，对应的系统是稳定的；另一种是发散的，如曲线 3 和曲线 4 所示，对应的系统是不稳定的。系统要能正常工作，首先它的瞬态响应（过渡过程）必须是收敛的，即系统是稳定的；其次系统的输出（响应）应能尽快地跟踪输入的变化或克服干扰的影响，即瞬态响应越快越好。系统到达稳态以后，系统的输出与期望值之间的差别应尽量地小，即“准确度越高越好”。简而言之，对系统的要求就是稳（稳定性）、准（稳态准确度）、快（快速性）3 个字。

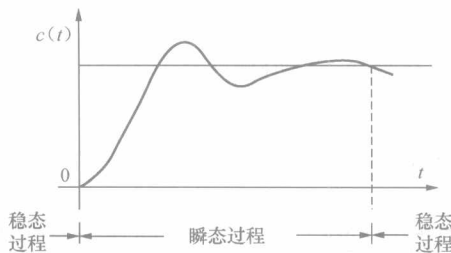


图 1-2 瞬态过程

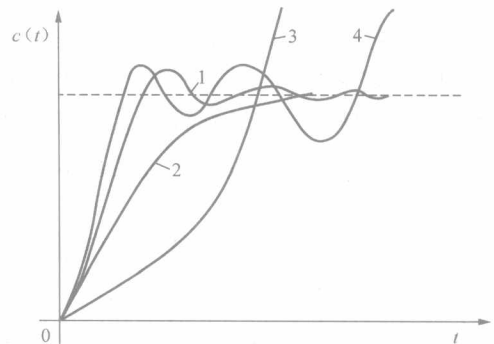


图 1-3 过渡过程曲线

当外作用不同时，其过渡过程也不同。在工程设计中常用的外作用函数有阶跃函数、斜坡函数、脉冲函数以及正弦函数等。在控制系统的分析设计中，以阶跃函数作为系统的外作用函数，观察此时系统的响应特性是评价系统控制质量的常用方法。

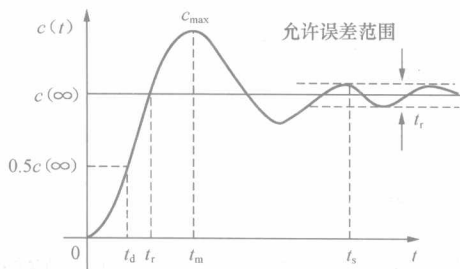


图 1-4 阶跃响应曲线

对稳定的系统，在阶跃函数作用下，系统的响应特性曲线一般如图 1-4 所示。描述系统稳、准、快的定量数据指标如下。

(1) 超调量 $\sigma\%$ ，指阶跃响应超出稳态值的最大偏差量与稳态值之比的百分数，即

$$\sigma\% = \frac{c_{\max} - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中， c_{\max} 为 $c(t)$ 的最大输出值； $c(\infty)$ 为 $c(t)$ 的稳态值。

一般情况下，要求 $\sigma\%$ 值在 3%~5%。超调量愈大，系统的瞬态响应振荡愈剧烈。超调量的大小在一定程度上反映了系统振荡的趋势。

(2) 上升时间 t_r ，指响应曲线第一次上升到稳态值所需要的时间。

(3) 峰值时间 t_m ，指阶跃响应曲线第一次越过稳态值而达到峰点所需要的时间。

(4) 调节时间 t_s ，指响应到达并停留在稳态值 $\pm 5\%$ 误差范围内所需的最小时间。调节时间又称为过渡过程时间。

(5) 稳态误差 e_{ss} ，指当时间 t 趋于无穷大时，系统稳态响应的期望值与实际值之差。由

于稳态误差与输入形式有关,因此这里采用一般表示形式,设输出稳态期望值用 $c_r(\infty)$ 表示,输出稳态实际值用 $c(\infty)$ 表示,则稳态误差表达式为

$$e_{ss} = c_r(\infty) - c(\infty) \quad (1-2)$$

上述5项性能指标中,上升时间 t_r 和峰值时间 t_m 均表示系统响应初始段的快慢;调节时间 t_s 表示系统过渡过程持续的时间,从总体上反映了系统的快速性;超调量 $\sigma\%$ 反映系统响应过程的平稳性;稳态误差反映系统复现输入信号的最终(稳态)精度。这里侧重以超调量、调节时间和稳态误差这3项指标,分别评价系统单位阶跃响应的平稳性、快速性和稳态精度。

在连续控制系统中,为了系统稳定,减小静差,并保证有良好的过渡过程特性,必须对系统进行校正,设计调节器。在计算机控制系统中,为了达到控制目标,满足性能指标要求,可以采用模拟化设计方法和离散化设计方法(即直接设计法)来设计控制器。有关内容将在以后章节中详述。

1.2 计算机控制系统的组成

1.2.1 计算机控制系统的工作原理

将连续控制系统中的调节器的功能用计算机来实现,就组成了一个典型的计算机控制系统,如图1-5所示。

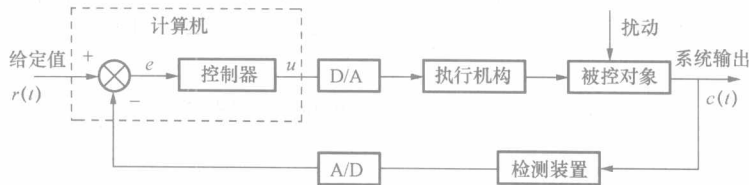


图 1-5 计算机控制系统基本框图

由于计算机只能输入/输出数字信号,因此在计算机控制系统中,对于模拟信号输入,需要增加模/数(A/D)转换器,将连续的模拟信号转变成数字信号;对于模拟信号输出,需要增加数/模(D/A)转换器,将计算机输出的数字信号转变成执行机构所需的连续信号。

计算机把通过检测装置和A/D转换器送来的数字信号直接反馈到输入端与设定值进行比较。然后,对其偏差按某种控制算法进行计算,所得的数字信号经D/A转换器直接驱动执行机构,对控制对象进行调节,使其保持在设定值上。

从本质上看,计算机控制系统的工作原理可归纳为以下3个步骤。

(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,并按已定的控制规律,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。

所谓实时,是指信号的输入、计算和输出都要在一定的时间内完成,超出了这个时间,就失去了控制的时机,控制也就失去了意义。上述过程不断重复,使整个系统按照一定的品质指标进行工作,并对被控量和设备本身的异常现象及时做出处理。

在计算机控制系统中,生产过程与计算机直接连接,并由计算机控制,这种方式被称为

在线方式或联机方式；生产过程不与计算机相连，且不受计算机控制，而是靠人进行联系并做相应操作，这种方式被称为离线方式或脱机方式。

计算机控制系统包括硬件和软件。硬件是由计算机、接口电路、外围设备和生产对象等组成的，软件是由安装在计算机中的系统程序和实现具体功能的应用程序组成的。

1.2.2 计算机控制系统的硬件组成

图 1-6 给出了典型的计算机控制系统硬件组成框图，主要由主机、过程通道、I/O 接口及人机联系设备等部分组成。由于系统的不同，组成计算机控制系统的硬件也不同，一般可根据需要进行扩展。

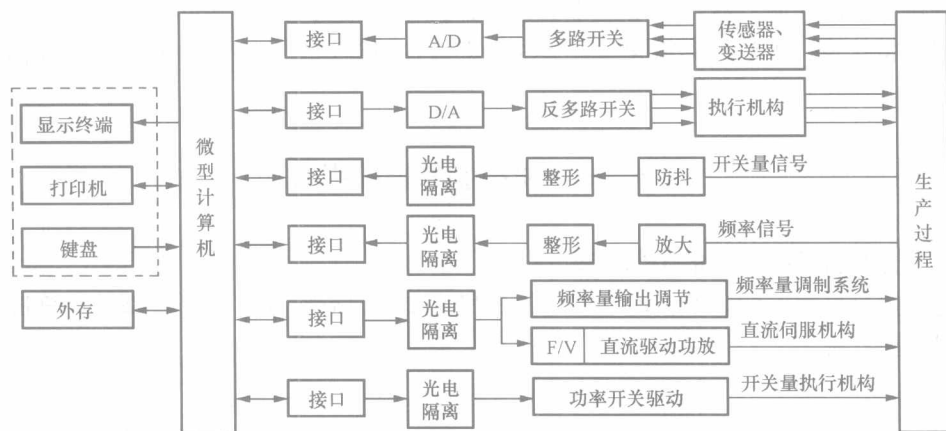


图 1-6 计算机控制系统硬件组成框图

1. 主机

微型计算机的主机是整个系统的核心部分。它根据输入通道送来的被控对象状态参数，进行信息处理、分析、计算，做出控制决策，通过输出通道发出控制命令。主机的功能、性能直接影响到系统的优劣。目前，通常采用的主机有单片机、DSP、ARM、可编程控制器(PLC)和工业控制计算机等。不同领域选用不同类型、不同档次的主机。

2. 过程通道

过程通道也称为 I/O 通道，是主机和被控对象实现信息传送与交换的通道。根据信号传送的方向，分为输入通道和输出通道；根据传送信号的形式，分为模拟量通道和开关量通道。过程通道有模拟量输入通道、模拟量输出通道、开关量输入通道和开关量输出通道。

(1) 模拟量输入通道。模拟量输入通道是用来将由传感器得到的工业生产过程参数转变为数字信号，并送入计算机，它由以下几部分组成。

- 1) 传感器。传感器用来检测被控参数的瞬时值，并将其转换为电信号。
- 2) 变送器。变送器用来将传感器得到的电信号转变为标准的直流电流(0~10mA 或 4~20mA)或直流电压(0~5V 或 0~10V)信号。
- 3) 多路开关。多路开关用于对多路模拟信号进行分时切换。
- 4) 采样/保持器。采样/保持器用于对模拟信号进行定时采样，将连续信号转换为时间上离散的模拟量信号，即离散时间信号。
- 5) A/D 转换器。A/D 转换器用于将离散时间信号转换成数字信号，并送入主机中处理。

(2) 模拟量输出通道。目前工业现场中使用的执行机构,其控制信号基本上是模拟信号。计算机输出的数字信号必须经 D/A 转换器变为模拟量后,方能去控制执行机构。执行器按动力源可分为电动式、液压式和气动式。在电动执行器中,一般有交、直流伺服电机,步进电动机、电磁线圈等。对于气动或液动的执行机构,一般也需要经过电—气或电—液转换装置。

(3) 开关量输入通道。开关量输入通道用于将生产现场的各种继电器、限位开关等状态参数(通或断)输入计算机。

(4) 开关量输出通道。控制系统中继电器、接触器的闭合或断开,电机的启动、停止,指示灯和报警信号的通断,都可以用输出“0”和“1”来控制。完成这些功能的部件就组成了开关量输出通道。

由上可知,过程通道由各种硬件设备组成,它们起着信息变换和传递的作用,配合相应的输入、输出控制程序,使主机和被控对象间能进行信息交换,从而实现对生产机械、过程的控制。

3. 接口电路

接口电路也称为 I/O 接口,指主机与外部设备、输入/输出通道进行信息交换的纽带。接口电路有并行接口、串行接口和直接数据传送接口等。目前,大部分 I/O 接口采用可编程接口芯片,其工作方式可以通过编程来设置。

4. 人机联系设备

在微机控制系统中,一般应有一个操作台(或操作面板),以便操作人员能和计算机系统“对话”,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,修改有关参数或紧急处理某些事件。

人机联系设备中最简单、最普遍的形式是装有按钮、转换开关、显示器 LED、指示灯的操作面板。现在的工业控制系统通常为用户提供了操作台,它是一种高性能的人机接口设备。其上采用 CRT 或先进的触摸显示屏,以屏幕画面的形式或以文件表格的形式提供人与过程的界面或人与系统的界面。将整个生产过程置于操作人员的监视之下,通过屏幕向操作人员提供生产过程的全部信息。例如,被测参数的瞬时值、历史值、设备运行状态的曲线或棒图、报警信息、故障显示等。操作人员可根据生产的需要进行某些必要的干预操作,如改变参数的设定值和调节器的整定参数,启动某些泵机或开关阀门等操作,从而保证控制系统的安全运行。

1.2.3 计算机控制系统的软件

对于计算机控制系统而言,除了硬件外,还必须有软件。所谓软件是指完成各种功能的计算机程序的总和,它主要分两大类,即系统软件和应用软件。

系统软件是计算机运行的基础,是用于管理、调度、操作计算机各种资源,实现对系统的监控与诊断,提供各种开发支持的程序,例如操作系统、监控管理程序、各种程序设计语言的汇编、解释和编译程序等。系统软件一般由计算机厂家提供,不需要用户设计。

应用软件一般指由用户根据控制对象、控制要求自行编制的各种程序,如数据采集程序、数字滤波程序、标度变换程序、键盘处理程序、控制程序等。用户用何种语言编写应用程序,主要取决于系统软件的配置情况和控制的实时性要求。在程序设计时,应采用模块式结构,尽量把公用的程序编写成具有不同功能的子程序,如算术和逻辑运算、A/D 和 D/A 转换程序、各种控制算法程序等,以方便系统开发。

用于应用软件开发的程序设计语言有汇编语言、C 语言等。为了降低开发成本，提高工作效率，目前也有专门用于控制系统监控软件设计的组态软件。组态软件的出现使用户可以从工业生产实际需求出发，方便地选择控制算法，将各功能模块互联成系统，并绘制显示图表及显示各种报警参数等。国外的监控软件产品主要有西门子公司的 Wincc，美国 Wonderware 公司的 Intouch 等。国内主要产品有：北京亚控科技有限公司的组态王软件（KINGVIEW），昆仑自动化软件科技有限公司的 MCGS，三维力控科技有限公司 ForceControl 监控软件等。在控制系统中，应用程序的优劣，将对系统的可靠性、精度和效率带来很大影响，读者应加以注意。有关应用程序的设计将在以后的章节中加以叙述。

1.3 计算机控制系统的分类

计算机控制系统的分类方法很多，可以按照控制方式、控制规律分类，也可以按照系统的功能、特点分类。按照控制方式分类，计算机控制系统可分为开环控制和闭环控制；按照控制规律分类，计算机控制系统可分为程序控制、顺序控制、PID 控制、有限拍控制、自适应控制及智能控制等；按照系统的功能、工作特点分类，计算机控制系统分为操作指导控制系统、直接数字控制系统、监督计算机控制系统、集散控制系统、现场总线控制系统等。最常见的分类方式是按系统的功能、特点来划分的，下面详细讲述。

1. 操作指导控制系统

操作指导控制系统（Operational Information System, OIS）主要是对系统过程参数进行采集和处理，分析计算各性能指标，输出数据和各种图表，并生成各种操作指导建议等。计算机的输出不直接用来控制生产对象，对过程的控制是由操作人员来完成的，操作人员根据计算机的输出信息执行相应的操作（如直接改变阀门的开度等）。其原理框图如图 1-7 所示。

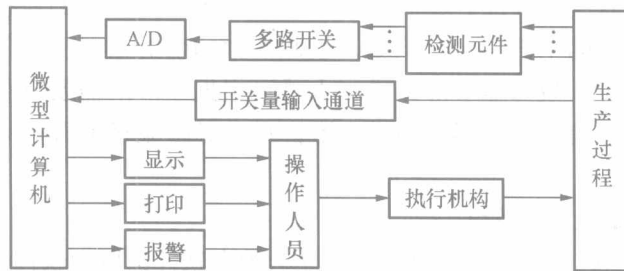


图 1-7 操作指导控制系统原理框图

这种控制系统的优点是结构简单，其缺点是仍需人工操作，速度受到限制，故操作指导控制系统不适用于快速过程控制。常常被用于计算机控制系统研制的初级阶段。

2. 直接数字控制系统

直接数字控制系统（Direct Digital Control, DDC）是计算机用于工业过程控制最普遍的一种方式，其原理框图如图 1-8 所示。计算机通过输入通道对一个或多个参数进行巡回检测，并根据事先规定的控制规律进行运算，然后发出控制信号，通过输出通道直接控制调节阀等执行机构。在 DDC 系统中，计算机不仅能完全取代模拟调节器，而且可以用一台计算机实

现多回路调节。只需要通过改变程序就能有效地实现 PID 控制及其他较为复杂的控制，如串级控制、前馈控制、模糊控制、自适应控制等。

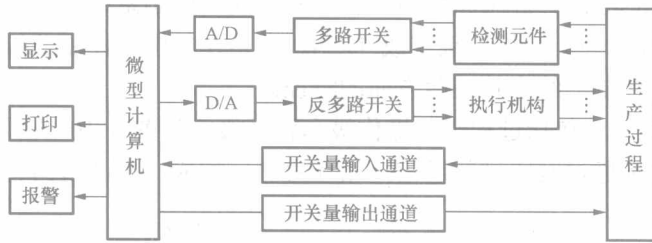


图 1-8 直接数字控制系统原理框图

3. 监督控制系统

在 DDC 方式中，给定值是预先设定的，它不能根据生产过程工艺信息的变化被及时修正。所以 DDC 系统一般不能使生产过程处于最优工作状态。

监督控制系统 (Supervisory Computer Control, SCC) 实际上是一个两级控制系统。上位机为监督控制用计算机，简称 SCC 计算机，而面对工业对象的下位机可以是模拟调节器或 DDC 系统。如图 1-9 (a) 和图 1-9 (b) 所示。上位机根据采集的信息，按照预先设计的算法进行计算，计算出最佳设定值直接传送给模拟调节器或 DDC 计算机。最后，由模拟调节器或 DDC 计算机控制生产过程。

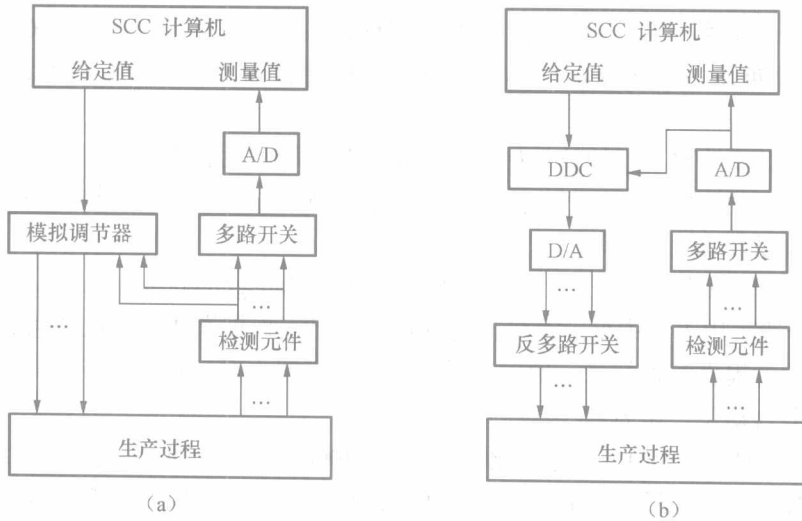


图 1-9 监督控制系统原理框图

(a) SCC+模拟调节器；(b) SCC+DDC

在 SCC 系统中，上位机通常选用具有较强计算机能力的计算机，其主要任务是计算设定值。由于它不参与频繁的输出控制，有时间执行复杂算法的运算。因此，SCC 能进行最优控制、自适应控制等，并且可以完成某些监控管理工作。SCC 系统的优点是不仅可以执行复杂算法的运算，而且其工作可靠性较高，当上位机出现故障时，下级仍可继续执行控制任务。

4. 集散控制系统

集散控制系统又名分布式计算机控制系统，国外最早称为分散控制系统，即 DCS (Distributed Control System)，后来叫集中（总体）分散型控制系统（Total Distributed Control System），我国习惯性称为集散控制系统或 DCS。它是在集中式控制系统的基础上发展、演变而来的，具有分散控制、综合管理两方面的特征。

从结构上划分，DCS 包括过程级、操作级和管理级，如图 1-10 所示。各级有一台或多台计算机，各级之间都通过网络进行通信，相互协调，构成一个严密的整体。

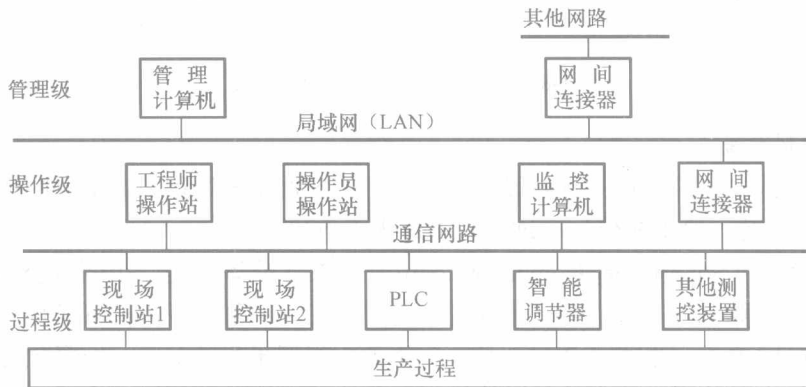


图 1-10 DCS 集散控制系统

(1) 过程级。过程级用于直接控制生产过程，主要由过程控制站、I/O 单元和现场仪表等组成，分布在生产现场，完成对现场设备的直接监测和控制，是系统控制功能的主要实施部分。

(2) 操作级。操作级有监控计算机、操作员站和工程师站。用于监视过程级各站点的所有信息，实现信息的集中显示和对生产过程的集中控制操作，实现对各控制回路的组态、参数的设定和修改以及优化控制等。

(3) 管理级。管理级主要是指工厂管理信息系统（Management Information System，简称 MIS 系统）。一般采用大、中型计算机作为管理计算机，根据操作级提供的信息及生产任务的要求，向决策者提供各种信息，如生产计划、调度管理方案，实现生产、人、财、物等的综合管理和办公自动化，作为 DCS 更高层次的应用。

自 1975 年美国 HoneyWell 公司首先推出了 TDC2000 集散型控制系统以来，经过 30 多年的发展，集散控制系统已经走向成熟并获得了广泛应用。进入 20 世纪 90 年代以来，出现了生产过程控制系统与信息管理系统紧密结合的管控一体化的新一代 DCS。国外典型的 DCS 系统有美国 HoneyWell 公司的 TPS 系统、日本横河公司的 CENTUM CS 系统、Bailey 公司的 INFI-90 等；国内有代表性的 DCS 厂家主要有浙江中控技术股份有限公司、上海新华控制技术（集团）有限公司和北京和利时系统工程股份公司等。

DCS 系统功能强大、性能优越、技术成熟，软件支持广泛。但是，传送信号通常采用 4~20mA 电流或 0~5V 电压的一对一传送方式，精度低、抗干扰能力差，并且所有的变送器均要将信号集中到控制器或控制站，系统复杂，维护管理麻烦。随着微电子技术的迅速发展，微处理器在控制装置、变送器上的广泛使用，现场仪表（传感器、变送器、执行器等）得以

智能化。“现场总线标准”就是设计用来替代4~20mA模拟信号标准的新工业标准。现场总线(Fieldbus)国际标准的制定将对DCS的发展产生重大影响。

未来的DCS系统将向两个方向发展,一个是向上发展,即向CIMS计算机集成制造系统、CIPS计算机集成过程系统发展;另一个是向下发展,即向FCS现场总线控制系统发展。

5. 现场总线控制系统

现场总线(Fieldbus)是连接现场智能设备和自动化系统的数字式、双向传输、多分支结构的通信网络。现场总线控制系统(Fieldbus Control System, FCS)是一种以现场总线为基础,将现场控制装置与现场智能仪表互联的实时网络控制系统,是20世纪90年代兴起的新型计算机控制系统,已广泛应用于生产过程自动化领域。FCS系统用现场总线将各智能现场设备、各级计算机和自动化系统互联,形成一个数字式、全分散、双向串行传输、多分支结构、多点通信的通信网络,如图1-11所示。

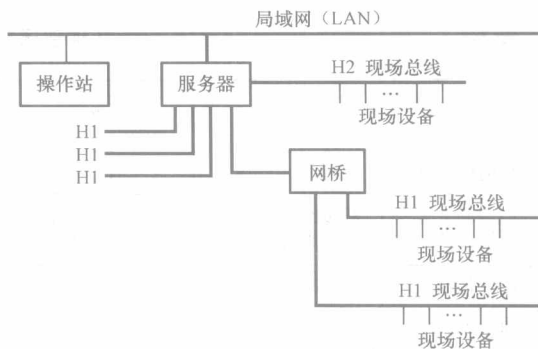


图 1-11 现场总线控制系统

传统DCS的通信网络截止于控制站或输入/输出单元,现场仪表、执行器与控制站之间仍然是一对一的模拟信号传输。FCS的信号传输实现了全数字化,现场总线把通信线一直延伸到生产现场或生产设备。在FCS系统中,生产过程现场的各种仪表、传感器、执行器、控制器等都配置有微处理器,属于智能现场设备,各自都具有数字计算和通信能力,可完成数据测量、处理和调节控制等功能。FCS控制系统将DCS控制站的功能分散到智能设备中,实现彻底的分散控制。

由于采用数字信号代替模拟信号,因此可实现在一对电缆上传输多个信号,如运行参数、设备状态、故障信息等,这样就为简化系统结构、节约硬件设备、节约连接电缆与各种安装、维护费用创造了条件。FCS的现场设备具有互操作性,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。FCS的通信网络为开放式互联网络,用户可非常方便地共享网络数据库,既可与网络层互联,也可与不同网络互连构成不同层次的复杂控制网络,成为今后工业控制体系结构发展的方向之一。

自20世纪80年代末以来,世界上有许多企业、集团和国家开展现场总线标准的研究,并出现了多种有影响的总线标准。这些总线标准各有其自己的特点,并在一些特定的应用领域显示了自己的优势和较强的生命力。不同总线标准代表各家公司自身的利益,不同类型的现场总线采用完全不同的通信协议。目前,世界上尚未有一个统一的现场总线标准。较为流行的现场总线主要有以下几种:基金会现场总线(Foundation Fieldbus, FF)、LONWORKS、PROFIBUS、HART及CAN总线。表1-1给出了几种总线的比较。

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、网络技术、自动化技术、信号处理技术、管理技术和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、产品设计、加工制造、销售及服务等环节与人力、财力、设备等生产要素集成起来,进行统一控制,以求生产活动的最优化。CIMS一般由集成工程

设计系统、集成管理信息系统、生产过程实时信息系统、柔性制造工程系统及数据库、通信网络等组成。随着 CIMS 研究的进一步发展,人们将 CIMS 系统集成的思想应用到了流程工业中,获得了良好的设计效果。而流程工业与离散工业特征的区别,使得流程工业 CIMS 技术主要体现在决策分析、计划调度、生产监控、质量管理、安全控制等,其中核心技术难题在于生产监控和质量管理等。由于这些差别,有学者提出将流程工业的 CIMS 单独命名为 CIPS (Computer Integrated Production/Process System)。

表 1-1 几种现场总线的比较

类 型 特 性	FF	LONWORKS	PROFIBUS	HART	CAN
OSI 网络层次	1, 2, 3, 8	1~7	1, 2, 3	1, 2, 7	1, 2, 7
通信介质	双绞线、光纤、 电缆等	双绞线、光纤、 电缆、无线等	双绞线、光纤	电缆	双绞线、光纤
介质方位方式	令牌(集中)	P-P CSMA	令牌(分散)	查询	仲裁
纠错方式	CRC		CRC	CRC	CRC
通信速率 (bit/s)	31.25k/2.5M	780k	31.25k/12M	9 600	1M
最大节点数/网段	32/124	127/255	127	15	110
优先级	有	有	有	有	有
保密性		身份验证			
本安性	是	是	是	是	是
开发工具	有	有	有		有

CIMS 采用多任务分层体系结构,经过 20 多年的发展,现在已经形成多种方案,如美国国家标准局 (AMRF) 的自动化制造实验室提出的 5 层递阶控制体系结构、面向集成平台的 CIMS 体系结构、连续型 CIMS 体系结构及局域网型 CIMS 体系结构等。不管结构如何变化,其基本控制思想都采用递阶控制。

1.4 计算机控制系统的控制核心

微型计算机的发展,促进了控制技术的进步。目前,已有各种各样的微型机控制系统在工业生产中得到应用。根据被控对象的规模,主要有单片机、DSP、ARM、工业控制计算机和可编程控制器几种,它们适应不同的应用要求。在实际工程中,选择何种机型,应根据控制规模、工艺要求和控制特点等来确定。下面分别介绍各机型的特点和应用。

1.4.1 单片机

单片机,即单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer, SCM),是将微处理器 (CPU)、存储器 (RAM、ROM)、时钟及接口电路等主要计算机部件,集成在一块集成电路芯片上构成的计算机,是微型计算机的一个重要分支。

单片机自问世以来,性能不断提高和完善,其资源不仅能满足很多应用场合的需要,而且具有集成度高、功能强、速度快、体积小、功耗低、使用方便、性能可靠、价格低廉等特点。在工业控制、智能仪器仪表、数据采集和处理、通信系统、汽车工业、国防工业、