

海军重点建设教材

COMPUTER CONTROL
TECHNOLOGY OF SHIP MACHINERY



舰船机械 计算机控制技术

郭朝有 常广晖 张超杰 丁融冰 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

海军重点建设教材

舰船机械计算机 控制技术

郭朝有 常广晖 张超杰 丁融冰 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书较全面地介绍了计算机控制系统的基本理论和应用, 主要包括: 计算机控制系统理论基础与设计, 单片机及其在舰船机械控制中的应用, 可编程控制器及其在舰船机械控制中的应用, 网络控制技术等内容。

本书可作为舰船轮机工程、能源与动力工程等专业本科生、研究生及相关专业培训教材或参考书, 也可供从事计算机控制领域研究、开发的教师、研究人员及工程技术人员学习参考。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

舰船机械计算机控制技术/郭朝有等编著. —北京: 电子工业出版社, 2018. 8
ISBN 978-7-121-34581-4

I. ①舰… II. ①郭… III. ①船舶机械-计算机控制 IV. ①U664

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 137492 号

策划编辑: 张正梅

责任编辑: 刘小琳 特约编辑: 郭 伟

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 20 字数: 512 千字

版 次: 2018 年 8 月第 1 版

印 次: 2018 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 68.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010) 88254757, zhangzm@phei.com.cn。

前 言

本书为舰船动力工程、机械工程等专业“舰船机械计算机控制技术”课程的教材，主要基于计算机控制技术的发展，特别是计算机控制技术在舰船机械的应用发展，总结近年的教学和科研成果，结合课程教学改革需求编写而成。

本书系统地阐述了计算机控制系统的分析方法、设计方法，以及可编程控制器、微控制器和现场总线网络等技术在舰船机械计算机控制中的应用。全书分为6章。第1章介绍了计算机控制系统的组成、分类及其发展趋势。第2章介绍了计算机控制理论基础，包括信号的采样与保持、 Z 变换、线性差分方程、脉冲传递函数及计算机控制系统的分析方法。第3章讨论了计算机控制系统的模拟化设计方法和离散化设计方法。第4章讨论了MCS-51单片机的工作原理，程序设计及其在舰船机械控制中的应用。第5章讨论了S7-200可编程控制器的基本概念及其在舰船机械控制中的应用。第6章介绍了控制网络的基本概念，以及在舰船控制中的应用。本书坚持理论与实践相结合，精心提炼舰船机械计算机控制技术实例；计算机控制理论充分考虑其公式抽象、概念难懂，紧密联系物理意义进行阐述；同步配套MATLAB例题和验证；叙述严谨、体系完整、通俗易懂，便于阅读和自学。

本书由郭朝有副教授统稿，其中第1、2、5章主要内容 by 常广晖副教授编写，第3、4、6章主要内容 by 郭朝有副教授编写，张超杰、丁融冰参与编写第4、5、6章。巫影教授对本书进行了全面、认真的审定并提出了宝贵的修改意见；曾凡明教授和吴杰长教授对教材体系结构、内容取舍提出了宝贵的意见；本书在编写过程中，得到教研室领导和同事的关心和帮助；书中引用了相关论著、教材的有关内容；本书在出版过程中，得到海军工程大学教务处的大力支持，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和错误，望使用该教材的师生批评指正，便于再版时进行更正和完善。

编 者

2018年7月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机控制系统概述	1
1.1.1 计算机控制系统的一般概念	2
1.1.2 计算机控制系统的组成	3
1.1.3 计算机控制系统的分类	5
1.1.4 计算机控制系统的特点	7
1.2 计算机控制系统发展概况与趋势	8
1.2.1 计算机控制系统发展概况	8
1.2.2 计算机控制系统的发展趋势	9
思考题及习题	10
第 2 章 计算机控制理论基础	11
2.1 信号的采样与保持	11
2.1.1 连续控制系统与计算机控制系统的区别	11
2.1.2 采样过程	12
2.1.3 信号保持	14
2.1.4 采样定理	15
2.2 Z 变换	19
2.2.1 Z 变换的定义	19
2.2.2 常用函数的 Z 变换	20
2.2.3 Z 变换的性质	22
2.2.4 Z 反变换	26
2.3 计算机控制系统的数学描述	29
2.3.1 差分方程	29
2.3.2 脉冲传递函数	34
2.4 计算机控制系统的分析	40
2.4.1 计算机控制系统的稳定性分析	40
2.4.2 计算机控制系统的稳态误差分析	45
2.4.3 计算机控制系统的性能指标	47
思考题及习题	48
第 3 章 计算机控制系统设计	51
3.1 计算机控制系统模拟化设计	51
3.1.1 模拟控制器的离散化方法	52
3.1.2 数字 PID 控制	55
3.1.3 数字 PID 控制算法的改进	60
3.1.4 PID 控制参数的整定	64
3.2 基于离散化的设计方法	67
3.2.1 最少拍计算机控制系统的设计	68

3.2.2	任意广义对象的最少拍控制器设计	73
3.2.3	无波纹最少拍计算机控制系统的设计	75
3.3	计算机控制常用算法	78
3.3.1	大林算法	78
3.3.2	多回路串级控制	81
3.3.3	预测控制	84
	思考题及习题	91
第4章	单片机及其在舰船机械控制中的应用	93
4.1	单片机概述	93
4.1.1	单片机的发展	93
4.1.2	单片机的特点	94
4.1.3	单片机的应用	94
4.1.4	MCS-51 系列单片机	95
4.1.5	单片机应用系统开发流程	96
4.2	MCS-51 系列单片机结构与原理	97
4.2.1	MCS-51 单片机的组成与结构	97
4.2.2	MCS-51 单片机的引脚	98
4.2.3	MCS-51 单片机存储器配置	100
4.2.4	MCS-51 单片机时钟电路与时序	103
4.2.5	MCS-51 单片机复位电路	104
4.3	单片机编程基础	106
4.3.1	C51 程序概述	106
4.3.2	C51 的数据类型与存储类型	109
4.3.3	C51 变量与常量	113
4.3.4	C51 常用库函数	115
4.4	单片机的定时/计数器	118
4.4.1	MCS-51 单片机定时/计数器的结构	118
4.4.2	MCS-51 单片机定时/计数器工作方式	120
4.4.3	单片机定时/计数应用	122
4.5	单片机中断	123
4.5.1	中断的概念	123
4.5.2	中断系统结构	124
4.5.3	中断的控制	126
4.5.4	中断响应	127
4.5.5	中断编程实例	129
4.6	单片机串行通信技术	130
4.6.1	计算机通信的基本概念	130
4.6.2	MCS-51 单片机串行接口	132
4.6.3	MCS-51 单片机串行口应用范例	136
4.7	基于单片机的舰船机械监控装置	138
4.7.1	舰船轴功率测量装置	138
4.7.2	舰船柴油机相继增压控制装置	140

4.8 单片机控制系统综合设计	140
4.8.1 总体设计	141
4.8.2 硬件电路设计	141
4.8.3 软件设计	144
4.8.4 设计总结及功能扩展	166
思考题及习题	167
第5章 可编程控制器及其在舰船机械控制中的应用	169
5.1 PLC 概述	169
5.1.1 PLC 的基本概念	169
5.1.2 可编程控制器的特点	169
5.1.3 可编程控制器的应用	170
5.2 PLC 的组成与工作原理	171
5.2.1 PLC 的结构类型	171
5.2.2 CPU 模块	172
5.2.3 PLC 的扩展模块	174
5.2.4 PLC 的工作原理	177
5.2.5 I/O 模块地址分配	180
5.3 PLC 程序设计基础	181
5.3.1 PLC 的编程语言与程序结构	181
5.3.2 存储器的数据类型与寻址方式	183
5.3.3 S7-200 PLC 的程序开发环境与开发过程	188
5.4 S7-200 PLC 的指令系统	191
5.4.1 位操作类指令	191
5.4.2 定时器指令	196
5.4.3 计数器指令	199
5.4.4 数据处理指令	201
5.4.5 移位操作指令	203
5.4.6 数据转换指令	205
5.4.7 数据运算指令	209
5.4.8 表功能指令	214
5.4.9 程序控制类指令	215
5.4.10 时钟指令	218
5.4.11 中断指令	219
5.4.12 高速计数器与高速脉冲输出指令	222
5.4.13 PID 指令	230
5.5 PLC 程序设计方法	232
5.5.1 梯形图的经验设计法	232
5.5.2 顺序控制设计法	237
5.6 基于 PLC 的舰船机械装置控制	243
5.6.1 变频恒压供水装置	243
5.6.2 调距桨装置	246
思考题及习题	247

第 6 章 控制网络技术	248
6.1 控制网络概述	248
6.1.1 网络拓扑结构	251
6.1.2 介质访问控制技术	252
6.1.3 差错控制技术	254
6.1.4 网络协议及其层次结构	255
6.2 现场总线 CAN	255
6.2.1 CAN 的通信模型	256
6.2.2 CAN 的报文及结构	257
6.2.3 错误类型与界定	262
6.2.4 位定时与同步要求	263
6.2.5 CAN 总线系统位数值表示与通信距离	265
6.3 CAN 总线及其在舰船控制中的应用	266
6.3.1 舰船控制常用 CAN 总线器件	266
6.3.2 舰船控制典型 CAN 总线节点设计	272
6.4 工业以太网	276
6.4.1 工业以太网概述	276
6.4.2 工业以太网体系结构	279
6.4.3 工业以太网基本特性	293
6.5 舰船综合平台管理系统	298
6.5.1 系统功能与组成	298
6.5.2 系统网络组成	299
6.5.3 工作原理	299
思考题及习题	301
附录 A MCS-51 指令表	302
附录 B 西门子 PLC 常用指令	307
参考文献	311

第 1 章 绪 论

进入 21 世纪后,随着自动控制、计算机、通信、网络技术的日益成熟和迅速发展,舰船平台正在向桥楼综合自动化、动力集成管理平台、卫星通信导航、全球定位系统、船岸信息直接交流的全船综合自动化方向发展。

全船综合自动化,是集机舱自动化、航行自动化、机械自动化等于一体的多功能综合系统。舰船桥楼综合自动化系统,担负着舰船航行安全管理与控制、导航信息处理、舰船航行操纵、作战信息的交互和舰船综合状态评估等重要使命。它将驾驶室内的电子海图、通信、导航、动力系统等设备集中进行监视、控制,在船舶上能像飞机驾驶员一样坐在驾驶舱内操纵舰船。它可提供正确的舰船方位、航向、航速、雷达图像,主、副机运行,各类监测报警等,使舰船能自动航行于最佳航线上,并能自动捕捉目标和判别危险目标,实施有效的舰船避碰和作战时的有利阵位机动。

舰船动力集成平台管理系统(Integrated Platform Management System, IPMS)、船舶机械自动化等应用计算机、通信、网络、自动控制等技术,将舰船动力和其他机械装置的主要系统及设备用计算机网络连接在一起,为舰船的操作管理人员提供了一个信息采集、显示和对这些系统及设备实现自动监控、远距离操纵及智能化管理的平台。船舶机械设备包括舰船推进系统、电力系统、辅助机械、战斗损害管制、实船训练系统、数字闭路电视系统、故障监视和视情维修专家系统等。所有工作母站和分控制系统采用高速传输技术组成一个综合网络系统,在网络上根据需要连接一定数量的工作分站,以达到在舰船重要部位对各设备进行监测、控制和操纵等目的。计算机网络打破了传统舰船各系统的“信息孤岛”封闭式结构,实现了全船各系统间的对话,岸与船、船与船之间的对话,进行各种信息交流。网络和控制技术使得各控制部件,甚至单个控制器、执行机构、传感器都具有智能和网络通信能力,它们不仅能完成自身的功能,还可以随时诊断自身运行状态,当某部件故障时,会自动地从网络中退出,不会影响其他部件。这种网络部件的自治功能极大地提高了系统的可靠性。

现代舰船机械控制已大量采用计算机控制技术,同时计算机控制技术被广泛应用到工业、农业、国防和科学技术的各个领域。各类计算机控制系统发挥了巨大作用,奠定了自动控制技术的新方向,促进了自动控制技术的新发展,已成为自动控制的主流。因此,了解、掌握和应用计算机控制理论和技术,已成为现代工程技术人员必备的专业技术知识和能力。

1.1 计算机控制系统概述

计算机控制系统是自动控制系统的一种实现形式,是自动控制系统融合现代控制理论、计算机技术、通信与网络技术发展形成的,是当前自动控制系统的主流方向。

1.1.1 计算机控制系统的一般概念

自动控制是指无须人工直接干预，利用外加控制装置操纵被控对象，使被控量按照预定规律运行变化的过程。而由被控对象和控制装置按某种结构形式有机组合在一起，实现特定功能和规律的整体即称为自动控制系统。

自动控制系统按结构可分为开环控制系统和闭环控制系统，典型结构如图 1-1-1 所示。

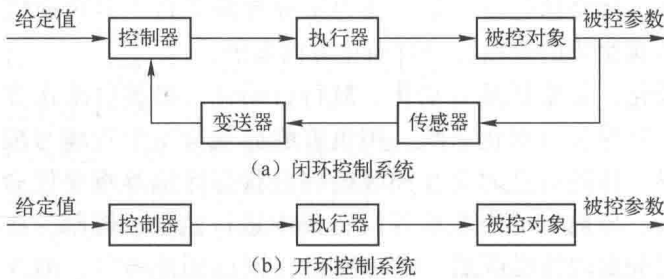


图 1-1-1 控制系统的一般形式

从图 1-1-1 (a) 可知，该系统通过传感器对被控对象的被控参数（如温度、压力、流量、转速、位移等）进行测量，由变送器将被测参数变换成电信号，反馈给控制器。控制器将反馈回来的信号与给定信号进行比较，如有误差，控制器就产生控制信号驱动执行机构工作，使被控参数的值与给定值保持一致。这种基于反馈原理实现的控制称为反馈控制，是自动控制的基本形式。

图 1-1-1 (b) 是开环控制系统，该系统不需要被控对象的反馈信号，控制器直接根据给定信号去控制被控对象工作。开环控制系统不能自动消除被控参数偏离给定值带来的误差，控制系统中产生的误差全部反映在被控参数上。与闭环控制系统相比，控制性能要差。

由图 1-1-1 可见，自动控制系统的基本功能是进行信号的传递、加工、比较和控制。这些功能是由检测、变换发送装置、控制器和执行机构来完成的。其中控制器是控制系统的关键部件，决定了控制系统的控制性能和应用范围。

计算机控制系统就是采用计算机替代常规模拟控制系统中的部分控制装置（比较器、控制器等）而组成的一类控制系统。若将图 1-1-1 所示控制系统中的控制器用计算机来实现，就构成了如图 1-1-2 所示的计算机控制系统。



图 1-1-2 计算机控制系统

在计算机控制系统中，计算机的作用主要有三个方面：

- (1) 信息处理，对于复杂的控制系统，输入信号和根据控制规律的要求实现的输

出偏差信号的计算工作量很大,采用模拟解算装置不能满足精度要求,因而需要采用计算机进行处理。

(2) 用计算机的软件程序实现对控制系统的校正以保证控制系统具有所要求的动态特性。

(3) 由于计算机具有快速完成复杂工程计算的能力,因而可以实现对系统的最优控制、自适应控制等高级控制功能及多功能计算调节。

在一般的模拟控制系统中,控制规律是由硬件电路产生的,要改变控制规律就要更改硬件电路。而在计算机控制系统中,控制规律是用软件实现的,计算机执行预定的控制程序,就能实现对被控参数的控制。因此,要改变控制规律,只要改变控制程序就可以了。这就使控制系统的设计更加灵活方便。特别是可以利用计算机强大的计算、逻辑判断、记忆和信息传递能力,实现更为复杂的控制规律,如非线性控制、逻辑控制、自适应控制、自学习控制及智能控制等。

在计算机控制系统中,计算机的输入和输出信号都是数字量,因此需要有将模拟量变成数字量的 A/D 转换器,以及将数字量转换成模拟量的 D/A 转换器。

从本质上看,计算机控制系统控制过程可以归结为以下三个步骤:

(1) 实时数据采集:对被控参数的瞬时值进行检测并输入。

(2) 实时决策:对采集到的表征被控参数的状态量进行分析,并按设定的控制规律,决定进一步的控制过程。

(3) 实时控制:根据决策,适时地对控制机构发出控制信号。

上述过程不断重复,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态及时监督并作出迅速处理。

上面所讲的计算机控制系统的一般概念中,计算机直接连在系统中工作,而不必通过其他中间记录介质来间接对过程进行输入/输出及决策。生产过程设备直接与计算机连接的方式,称为“联机”方式或“在线”方式;生产过程设备不直接受计算机控制,而是通过中间记录介质,靠人进行联系并作相应操作的方式,称为“脱机”方式或“离线”方式。离线方式不能实时地对系统进行控制。

“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,亦即计算机对输入信息以足够快的速度进行处理,并在一定的时间内作出反应或进行控制,超出这个时间,就失去了控制的时机,控制也就失去了意义。实时的概念不能脱离具体过程。如柴油机的冷却水温度控制,延迟 1s,仍然认为是实时的。而火炮控制系统,当目标状态量变化时,一般必须在几毫秒或几十毫秒之内及时控制,否则就不能击中目标。实时性的指标,涉及的时间延迟包括:一次仪表的延迟、过程量输入的延迟、计算和逻辑判断的延迟、控制量输出的延迟和数据传输的延迟等。一个联机系统不一定是实时系统,但一个实时控制系统必定是一个联机系统。例如,一个只用于数据采集的微型机系统是联机系统,但它不一定是实时系统,而计算机直接数字控制系统,则必定是一个联机系统。

1.1.2 计算机控制系统的组成

计算机控制系统由计算机、外部设备、操作台、输入/输出通道、检测装置、执行

机构、被控对象及相应的软件组成,如图 1-1-3 所示。



图 1-1-3 计算机控制系统的组成

1. 计算机

计算机是计算机控制系统的核心,通过接口可以向系统的各个部分发出各种命令,同时对被控对象的被控参数进行实时检测及处理。具体功能是完成程序存储、程序执行、数值计算、逻辑判断和数据处理等工作。

2. 输入/输出通道

输入/输出通道是计算机和被控对象(或生产过程)之间设置的信息传送和转换的连接通道。输入通道把被控对象(或生产过程)的被控参数转换成计算机可以接受的数字代码。输出通道把计算机输出的控制命令和数据,转换成可以对被控对象(或生产过程)进行控制的信号。输入/输出通道一般分为模拟量输入通道、模拟量输出通道、开关量输入通道、开关量输出通道。

3. 外部设备

实现计算机和外界交换信息的设备称为外部设备(简称外设)。外部设备包括输入/输出设备、外存储器和通信设备等。

输入设备最常用的有键盘、鼠标,主要用来输入(修改)程序、数据和操作命令等。

输出设备通常有显示器(数码显示器或 CRT 显示器)、打印机、记录仪等,主要用来向操作人员提供各种信息和数据,以便及时了解控制过程。

外存储器(简称外存)有磁盘(硬盘)、磁带等,兼有输入/输出功能,主要用来存储系统程序和数据。

通信设备通常有通信模块(网卡),主要用来与其他相关计算机系统进行联网通信,形成规模更大、功能更强的网络分布式计算机控制系统。

4. 操作台

操作台是操作人员与计算机控制系统进行“对话”的装置,主要包括如下几部分:

(1) 显示装置。如显示屏幕或荧光数码显示器,以显示操作人员要求显示的内容或报警信号。

(2) 一组或几组功能键。通过功能键,可向主机申请中断服务。包括复位键、启动键、打印键、显示键等。

(3) 一组或几组数字键。用来输入某些数据或修改控制系统的某些参数。

5. 软件

软件是指能够完成各种功能的计算机控制系统的程序系统,它是计算机控制系统的神经中枢。整个系统的动作,都是在软件的指挥下进行协调动作的。它由系统软件

和应用软件组成。

系统软件是指为提高计算机使用效率,扩大功能,为用户使用、维护和管理计算机提供方便的程序的总称。系统软件通常包括操作系统、语言加工系统和诊断系统等,其具有一定的通用性,一般随硬件一起由计算机生产厂家提供。

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则是指完成系统内各种任务的程序,如控制程序、数据采集及处理程序、巡回检测及报警程序等。

1.1.3 计算机控制系统的分类

计算机控制系统的分类方法很多,根据计算机在控制系统中的控制功能和控制目的,可将计算机控制系统分为以下几种类型。

1. 计算机操作指导控制系统

计算机操作指导控制系统(Operation Guide Control, OGC)的结构如图1-1-4所示,计算机只承担数据的采集和处理工作,而不直接参与控制。

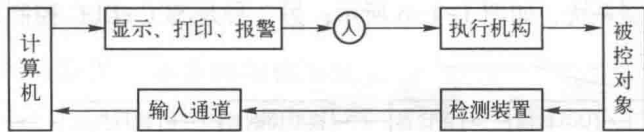


图 1-1-4 计算机操作指导控制系统

计算机操作指导控制系统对生产过程大量参数做巡回检测、处理、分析、记录及参数的超限报警。对大量参数的积累和实时分析,可以达到对生产过程进行各种趋势分析,为操作人员提供参考,操作人员根据这些结果去改变调节器的给定值或直接操作执行机构。

操作指导控制系统是一种开环控制结构。该系统的优点是结构简单,控制灵活和安全。缺点是要人工操作,速度受到限制,故不适合用于快速过程的控制和多个对象的控制。

2. 直接数字控制系统

直接数字控制系统(Direct Digital Control, DDC)的构成如图1-1-5所示。计算机通过测量元件对一个或多个物理量进行巡回检测,经采样、A/D转换等过程把模拟量转换为数字量,并根据规定的控制规律进行运算,然后发出控制信号直接去控制执行机构,使各个被控制量达到预定的要求。



图 1-1-5 直接数字控制系统

DDC系统中的计算机参与闭环控制过程,它不仅能完全取代模拟控制器,实现多回路的控制,而且不需改变硬件,只通过改变程序就能有效地实现较复杂的控制。如

前馈控制、非线性控制、自适应控制、最优控制等。

3. 监督计算机控制系统

在直接数字控制方式中,对生产过程产生直接影响的被控参数给定值是预先设定的,并且存入计算机的内存中。这个给定值不能根据过程条件和生产工艺信息的变化及时修改,故直接数字控制方式无法使生产过程处于最优状态,这显然是不够理想的。

监督计算机控制(Supervisory Computer Control, SCC)中,计算机根据原始工艺信息和其他参数,按照描述生产过程的数学模型或其他方法,自动地改变模拟调节器或以直接数字控制方式工作的计算机中的给定值,从而使生产过程始终处于最优状态(如保持高质量、高效率、低消耗、低成本等)。从这个角度上说,它的作用是改变给定值,所以又称给定值控制(Set Point Computer Control, SPC)。

监督控制方式的控制效果,主要取决于数学模型的优劣。这个数学模型一般是针对某一目标函数设计的,如果这一数学模型能使某一目标函数达到最优状态,那么,这种控制方式就能实现最优控制。当数学模型不理想时,控制效果也不会太理想。监督控制系统也可以实现自适应控制。监督控制系统有两种不同的结构形式:一种是SCC+模拟控制器控制系统,如图1-1-6所示;另一种是SCC+DDC控制系统,如图1-1-7所示。

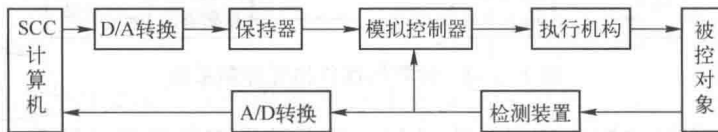


图 1-1-6 SCC+模拟控制器控制系统

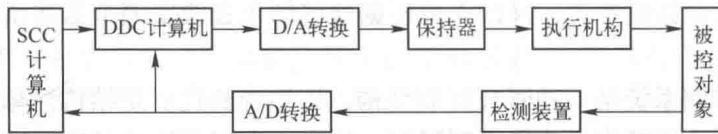


图 1-1-7 SCC+DDC控制系统

4. 计算机分级控制系统

生产过程既存在控制问题,也存在大量的管理问题。同时,设备一般分布在不同的区域,其中各工序、各设备同时并行地工作,基本相互独立,故全系统比较复杂。DDC系统置于分级控制的最底层,管理用计算机置于上层。各级各类计算机之间使用高速通信线路互相连接,传递信息,协调工作。

计算机分级控制系统的结构如图1-1-8所示。其中DDC级直接用于控制生产过程,包括数据采集、监督报警等工作。SSC级既要实现一些高级控制又要向上级反馈信息,以便上一级的管理工作。这种分级(或分布式)计算机控制系统有代替集中控制系统的趋势。该系统的特点是将控制任务分散,用多台计算机分别执行不同的任务,既能进行控制又能实现管理。

5. 分散控制系统

分散控制系统又称集散控制系统(Distributed Control Systems, DCS),是由多台计

计算机分别控制生产过程中多个控制回路，同时又可集中获取数据和集中管理的自动控制系统。集散控制系统是控制（Control）、计算机（Computer）、数据通信（Communication）和屏幕（CRT）显示技术的综合应用，通常也将集散控制称为4C技术。

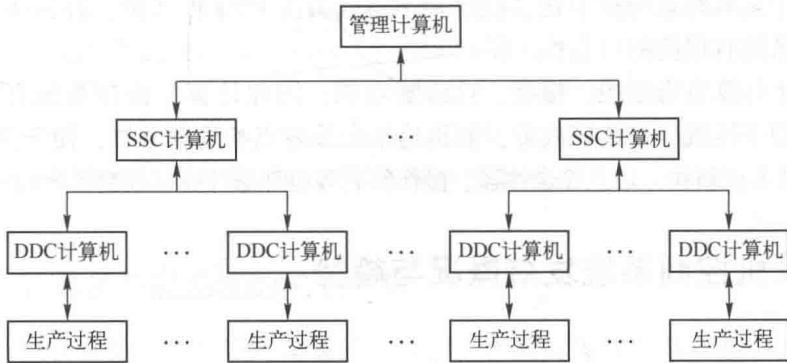


图 1-1-8 计算机分级控制系统

分散控制系统通常具有二层结构模式、三层结构模式或四层结构模式。图 1-1-9 给出了二层结构模式的分散控制系统的结构形式。第一级为前端计算机，也称下位机、直接控制单元。前端计算机直接面对控制对象完成实时控制、前端处理功能。第二层称为中央处理机，又称上位机，完成后续处理功能。中央处理机不直接与现场设备打交道，如果中央处理机一旦失效，设备的控制功能依旧能得到保证。在前端计算机和中央处理机间再加一层中间层计算机，便构成了三层结构模式的分散控制系统。四层结构模式的分散控制系统中，第一层为直接控制级，第二层为过程管理级，第三层为生产管理级，第四层为经营管理级。分散控制系统的硬件组装积木化、软件模块化，应用组态控制系统、先进的通信网络，具有开放性、可靠性等特点。

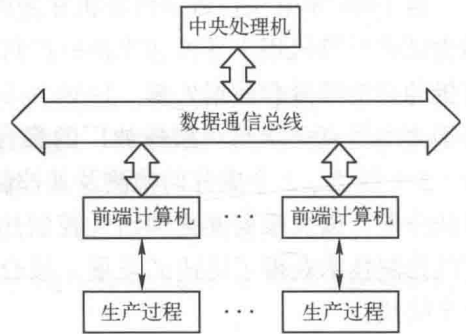


图 1-1-9 分散控制系统

1.1.4 计算机控制系统的特点

计算机控制系统和一般常规模拟控制系统相比有如下特点：

(1) 由于计算机的运算速度快、精度高，含丰富的逻辑判断功能和大容量的存储单元，因此能实现复杂的控制规律，从而达到较高的控制质量。计算机控制实现了常规系统难以实现的多变量控制、最优控制、自适应控制、参数自整定等。

(2) 由于计算机具有分时操作的功能，所以一台计算机能代替多台控制仪器，实现群控。对于连续控制系统，控制回路越多或控制规律越复杂，所需硬件也就越多、越复杂，成本也越高。对于计算机控制系统来说，增加一个控制回路的费用是很少的，控制规律的改变和复杂程度的提高由编制程序实现，不需改变硬件而增加成本，有很高的性价比。

(3) 由于软件功能丰富、编程方便、硬件体积小、质量轻, 以及结构设计模块化、标准化, 因此计算机控制系统有很强的灵活性。如一些工控机有操作简易的结构化、组态化控制软件。硬件配置上可装配性、可扩充性好。

(4) 由于采取有效的抗干扰、抗噪声方法, 并采用各种冗余、容错等技术, 因此计算机控制系统有很高的可靠性。

(5) 由于计算机有监控、报警、自诊断功能, 因此计算机控制系统有很强的可维护性。如有的工控机一旦出现故障, 能迅速指出故障点和处理办法, 便于立即修复。

另外, 技术更新快、信息综合性强、操作便利等也都是计算机控制系统的一些特点。

1.2 计算机控制系统发展概况与趋势

1.2.1 计算机控制系统发展概况

自 1946 年第一台数字计算机在美国宾尼法尼亚大学诞生之后不久, 研究人员就开始尝试将计算机用于导弹和飞机的控制。20 世纪 50 年代, 首先在化工生产中实现了计算机的自动测量和数据处理。1959 年 3 月, 世界上第一套工业过程计算机控制系统应用于美国得克萨斯州一家炼油厂的聚合反应装置, 该系统实现了 26 个流量、72 个温度、3 个压力、3 个成分的检测及其控制, 达成了反应器压力最小下 5 个反应器供料的最佳分配, 以及根据催化剂活性控制热水流量和实现最优循环等控制目标。从此, 计算机控制技术获得了迅速的发展。结合计算机技术的发展, 其发展过程可概括为以下四个阶段:

1. 开创时期 (1955—1962 年)

早期的计算机使用电子管, 体积庞大, 价格昂贵, 可靠性差, 所以开创时期计算机只能实现操作指导和设定值控制等基本功能。

2. 直接数字控制时期 (1962—1967 年)

1962 年, 英国的帝国化学工业公司利用计算机完全代替了原来的模拟控制, 计算机直接控制 224 个变量和 129 个阀门, 实现了直接数字控制 (DDC)。DDC 是计算机控制技术发展方向上的重大变革, 为以后的发展奠定了基础。

3. 集中型控制时期 (1967—1972 年)

20 世纪 60 年代计算机技术有了很大的发展, 主要特点是体积更小, 速度更快, 工作可靠, 价格更便宜。到了 20 世纪 60 年代后半期, 出现了各种类型的适合工业控制的小型计算机, 计算机在生产控制中的应用有了很大的发展。但受设备、控制理论等方面的限制, 计算机控制以集中型的计算机控制系统为主, 采用高度集中的控制结构, 存在因系统中任何故障导致全系统瘫痪等严重故障的缺陷。

4. 分散控制时期 (1972 年至今)

1972 年之后, 由于微型计算机的出现和发展, 计算机控制技术进入了崭新的发展阶段。同时, 计算机控制理论也得到了快速发展, 特别是分级分布式控制系统结构的理论

与方法得到了重视和应用。计算机控制系统的结构发生了变化,从传统的集中控制为主的系统逐步转变为分散控制系统(DCS),解决了传统的集中控制系统整体可靠性的问题,如美国 Honeywell 公司的 TDC-2000、TDC-3000,日本横河公司的 CENTUM 等。DCS 系统已得到了广泛的工业应用,但 DCS 不具备开放性、互操作性,步线复杂且费用高。

随着微处理在测量仪表、执行机构等应用的不断深入,出现了现场控制器和智能仪表。20 世纪 90 年代初,出现了采用现场通信总线互连构成的新型分散控制系统——现场总线控制系统(FCS)。FCS 具有开放性、互操作性和彻底分散性等特点,并易于同上层管理级及互联网实现互联,构成多级网络控制系统,已成为现今计算机控制系统发展的大方向。

1.2.2 计算机控制系统的发展趋势

目前,计算机控制已逐步取代常规模拟控制,为适应各种复杂和高级的控制需求,计算机控制技术和理论还在不断发展之中,发展趋势大致如下。

1. 推广应用成熟的先进技术

1) 普及应用可编程序控制器(PLC)

可编程序控制器是当前应用最成功的计算机控制系统,高端的 PLC 已完全具备工业控制计算机的主要功能,具有智能 I/O 模块的 PLC,可以将顺序控制和过程控制结合起来,实现对生产过程的控制,并具有高可靠性。

2) 广泛使用智能调节器

智能调节器不仅可以接收 4~20mA 电流信号,还具有 RS-232 或 RS-422/485 通信接口,可以与上位机连成主从式测控网络。

3) 采用新型的 DCS 和 FCS

发展以工业以太网、现场总线技术等先进网络通信技术为基础的 DCS 和 FCS 控制结构,并采用先进的控制策略,向低成本综合自动化系统的方向发展。

2. 大力研究和发​​展先进控制技术

先进过程控制(APC)技术以多变量解耦、推断控制和估计、多变量约束控制、各种预测控制、人工神经网络控制和估计等技术为代表。模糊控制技术、神经网络控制技术、专家控制技术、预测控制技术、内模控制技术、分层递阶控制技术、鲁棒控制技术、学习控制技术、网络控制技术等已成为先进控制的重要研究内容。在此基础上,又将生产调度、计划优化、经营管理与决策等内容加入 APC 之中,使 APC 的发展体现了计算机集成制造/过程系统的基本思想。由于先进控制算法的复杂性,先进控制的实现需要足够的计算能力作为支持平台。构建各种控制算法的先进控制软件包,形成工程化软件产品,也是先进控制技术发展的一个重要研究方向。

目前我国已进入“中国制造 2025”和“工业 4.0”时代,即以智能制造为主导的第四次工业革命。互联网+、移动互联网、3D 打印、云计算、大数据、物联网、智能机器人等理论与技术的快速发展,都为计算机控制技术提供了新的发展机遇。信息物理系统(CPS)作为计算进程和物理进程的统一体,是集成计算、通信与控制于一体的下一代智能系统。智能感知与互联、智能调控与优化、工业大数据、系统安全与防护等已成为重