



21 世纪普通高等教育规划教材

计算机控制系统

刘士荣 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TP273/467

2008

21 世纪普通高等教育规划教材

计 算 机 控 制 系 统

刘士荣 陈雪亭 黄国辉 孔亚广 编著
赵光宙 主审

机 械 工 业 出 版 社

本书覆盖了工业控制计算机、输入输出接口与过程通道、计算机控制系统的理论基础、计算机控制算法、计算机控制软件技术与工控组态软件、分布式计算机控制系统与网络通信、计算机控制系统设计与实现等内容。本书还将 MATLAB 和 Simulink 用于计算机控制系统的分析和控制器设计,以引导读者能按理论分析、仿真研究、工程设计与实现等循序渐进地来进行计算机控制系统的分析、设计和实现。

本书是作者在总结近年的教学和科研成果的基础上,结合计算机控制技术的发展和课程教学内容的改革要求编写而成。

本书可供自动化类、电子信息类、机械电子类专业学生作为教材使用,也可供工程技术人员阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机控制系统/刘士荣等编著. —北京:机械工业出版社, 2007. 9

21 世纪普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-22147-0

I. 计… II. 刘… III. 计算机控制系统—高等学校—教材
IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 124299 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:于苏华 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷 (北京双新装订有限公司装订)

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 21.5 印张 · 504 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-22147-0

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

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379711

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着微电子、自动控制、计算机硬件与软件、传感器与检测、计算机通信与网络等技术的发展,已使得计算机控制技术和应用得到了快速发展。计算机控制系统已经广泛地应用于工业、国防和民用的各个领域,尤其是成为现代工业和现代国防不可缺少的重要组成部分。计算机控制系统或计算机控制技术已经成为我国高等学校自动化类专业、电子信息类专业、机械电子类专业的主干专业课程之一。

本书的作者较长期地从事计算机控制的教学、科研和技术开发,深感到计算机控制的教学内容需要随着控制技术、计算机硬件、软件和网络通信技术的发展而不断地更新。本书是在总结近年的教学和科研成果的基础上,结合计算机控制技术的发展和课程教学内容的改革要求编写而成。本书内容的选取体现了系统性、先进性、实用性和工程性,其内容覆盖了工业控制计算机、输入输出接口与过程通道、计算机控制系统的理论基础、计算机控制算法、计算机控制软件技术与工控组态软件、分布式计算机控制系统与网络通信、计算机控制系统设计与实现等方面。本书还将 MATLAB 和 Simulink 用于计算机控制系统的分析和控制器设计,以引导读者能按理论分析、仿真研究、工程设计与实现等循序渐进地来进行计算机控制系统的分析、设计和实现。

全书共9章,主要内容如下:

第1章是绪论,主要包括计算机控制系统的组成及典型结构,计算机控制系统性能要求,计算机控制系统的发展概况及趋势。

第2章是输入输出接口与过程通道技术,主要包括模拟量输入输出通道、数字量(开关量)输入输出通道、信号调理、过程通道的抗干扰与可靠性设计,测量数据的预处理等内容。从工程应用的角度讨论了一些典型的专用芯片及应用电路和输入输出通道模板。

第3章是工业控制计算机,主要包括工业控制计算机特点和系统结构,工业控制计算机的总线结构,总线型工控机,工业控制器和测控仪表。对 DCS 现场工作站、嵌入式工控机、可编程序控制器 PLC、单元式数字控制器、数据采集与控制模块、智能测控仪表等进行较深入的讨论,为计算机控制系统的设计选型打下较好的基础。

第4章是计算机控制系统的理论基础,主要包括 Z 变换理论、计算机控制系统的数学描述、系统分析以及连续系统的离散化。本章将为尚未学习采样控制系统理论的读者提供必要的基础。

第5章是数字 PID 控制算法,这是应用广泛的实用工业控制策略。主要包括基本数字 PID 控制算法及其各种改进算法, PID 参数整定,数字 PID 控制器的工程实现, MATLAB 和 Simulink 在数字 PID 控制器设计中的应用。对各种改进算法的分析均有 MATLAB 仿真程序或框图相对应,以便读者验证和参考。

第6章是复杂控制算法,主要包括数字控制器设计原理,最小拍控制及其改进算法,



施密斯预估控制、大林预估控制、串级控制、前馈-反馈控制、模型预测控制、模糊控制等。这些控制策略是针对不同的被控对象和控制要求而提出的,在实际工业控制中已有不少应用。因篇幅有限,本章仅讨论了这些控制算法的基本形式,但为这些复杂控制策略的应用奠定了基础。

第7章是计算机控制系统的软件设计,主要包括计算机控制系统软件的组成和功能,实用数据结构及算法,实时数据库及设计,计算机控制系统的软件设计和工业控制组态软件。从工业控制计算机系统的软件设计要求,对操作系统选择、开发平台选择、实时数据库选择、应用软件构建和编程、实时控制程序的结构进行了系统讨论,概要地介绍了工控组态软件的开发、调试及运行。

第8章是分布式计算机控制系统,主要包括分布式计算机控制系统(DCS)的体系结构,典型的DCS系统,基于IPC的分布式控制系统和基于PLC的分布式控制系统,典型的现场总线和通信协议,基于工业以太网和现场总线控制系统。

第9章是计算机控制系统设计与实现,主要包括计算机控制系统的设计原则与步骤,计算机控制系统的可靠性技术,基于工业PC的计算机测控系统设计,最后讨论两个应用系统的设计实例:一个是基于单回路控制的计算机测控系统设计;另一个是基于网络结构的计算机测控系统设计。

参加编写的人员有刘士荣教授(第1章),黄国辉高级工程师(第2、3章),陈雪亭副教授(第4、5、6章),孔亚广博士(第7、8、9章)。全书由刘士荣教授统稿。浙江大学赵光宙教授主审。

本教材配有电子课件,可供选择该教材的教师在教学时使用。采用电子课件教学的学时数约为50学时,内容可根据教学要求取舍。

本书在编写过程中,引用了参考文献所列的论著、教材和论文的有关内容,在此谨向这些作者表示衷心感谢。

本书是作者积多年的教学经验和应用实践的倾力之作,由于水平有限,缺点和不足在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 计算机控制系统概述	1
1.1.1 一般概念	2
1.1.2 系统的组成	3
1.1.3 系统的典型结构	5
1.2 计算机控制系统性能	8
1.2.1 系统性能指标	8
1.2.2 控制对象对控制性能的影响	9
1.3 计算机控制系统的发展概况与趋势	9
1.3.1 发展概况	9
1.3.2 发展趋势	11
思考题与习题	12
第2章 输入输出接口与过程通道技术	13
2.1 输入输出过程通道概述	13
2.2 模拟量输入通道	14
2.2.1 信号调理	14
2.2.2 多路转换开关	22
2.2.3 可编程增益放大器	24
2.2.4 采样保持器	25
2.2.5 A/D转换器	29
2.2.6 模拟量输入通道设计举例	33
2.3 模拟量输出接口与通道	35
2.3.1 模拟量输出通道	35
2.3.2 D/A转换器及其接口	36
2.3.3 电压/电流转换器	39
2.4 数字量(开关量)输入输出通道	41
2.4.1 数字量(开关量)输入输出通道概述	41
2.4.2 数字量(开关量)输入通道	41
2.4.3 数字量(开关量)输出通	

道	43
2.5 过程通道的抗干扰与可靠性设计	45
2.5.1 干扰源与干扰的耦合	45
2.5.2 过程通道抗干扰措施	48
2.6 测量数据的预处理	52
2.6.1 数字滤波	52
2.6.2 其他数据预处理	55
2.7 输入输出通道模板实例	58
2.7.1 多功能输入输出板卡	58
2.7.2 IPC开关量输入输出通道	61
思考题与习题	62
第3章 工业控制计算机	63
3.1 工业控制计算机的特点与组成结构	63
3.1.1 工业控制计算机的特点	63
3.1.2 工业控制计算机的组成结构和分类	64
3.2 工业控制计算机的总线结构	67
3.2.1 总线结构概述及分类	67
3.2.2 常用内部总线	68
3.2.3 常用外部总线	79
3.3 总线型工业控制计算机	86
3.3.1 IPC工业控制机	86
3.3.2 DCS现场控制站	89
3.4 工业控制器与测控装置	93
3.4.1 可编程序控制器	93
3.4.2 嵌入式工控机	97
3.4.3 单元式控制器	103
3.4.4 智能测控仪表	106
思考题与习题	111
第4章 计算机控制系统的理论基础	113
4.1 信号的采样与保持	114
4.1.1 采样过程	114
4.1.2 采样过程的数学描述及特性	



分析	115	5.4.3 偏差处理	162
4.1.3 信号保持	116	5.4.4 PID 计算	163
4.1.4 采样定理	116	5.4.5 控制量处理	163
4.2 Z 变换理论	117	5.4.6 自动/手动切换	164
4.2.1 Z 变换定义	118	5.4.7 无扰动切换	165
4.2.2 Z 变换性质	118	5.4.8 PID 控制块参数表	165
4.2.3 Z 变换方法	121	5.5 MATLAB 在数字 PID 控制器设计中的	
4.2.4 Z 反变换	122	应用	166
4.3 计算机控制系统的数学描述	124	5.5.1 PID 控制算法的 M 文件编写	166
4.3.1 差分方程及其求解	124	5.5.2 利用 Simulink 设计数字 PID 控制	
4.3.2 脉冲传递函数	126	器	167
4.4 计算机控制系统的分析	129	思考题与习题	168
4.4.1 计算机控制系统的稳定性分		第 6 章 复杂控制算法	169
析	129	6.1 数字控制器设计原理	169
4.4.2 计算机控制系统的稳态误差		6.2 最小拍控制系统的设计	170
分析	132	6.2.1 最小拍控制原理	170
4.4.3 计算机控制系统的性能指标	134	6.2.2 最小拍控制器设计的稳定性问	
4.5 连续系统的离散化	135	题	174
4.5.1 连续系统的离散化方法及特		6.2.3 无纹波最小拍控制系统设计	176
点	135	6.2.4 有限拍控制	177
4.5.2 MATLAB 在连续域—离散域变换		6.2.5 惯性因子法	179
中的应用	136	6.3 纯滞后控制	180
4.5.3 采样周期及保持器对离散系统的		6.3.1 施密斯预估控制	181
影响	140	6.3.2 大林算法	183
思考题与习题	141	6.4 常用多回路控制	186
第 5 章 数字 PID 控制算法	144	6.4.1 串级控制	186
5.1 准连续 PID 控制算法	144	6.4.2 前馈-反馈控制	188
5.1.1 模拟 PID 调节器	144	6.5 模型预测控制	191
5.1.2 基本数字 PID 控制	145	6.5.1 模型预测控制的基本原理	191
5.2 数字 PID 控制的改进	147	6.5.2 模型算法控制	192
5.2.1 积分项的改进	147	6.5.3 动态矩阵控制	196
5.2.2 微分项的改进	149	6.5.4 预测控制软件包	200
5.2.3 其他改进算法	151	6.6 模糊控制	203
5.3 数字 PID 参数的整定	152	6.6.1 模糊控制概述	203
5.3.1 PID 控制器参数对控制性能的		6.6.2 模糊控制的数学基础	204
影响	152	6.6.3 模糊控制系统的结构与原理	213
5.3.2 控制周期的选取	155	6.6.4 模糊控制器的设计步骤与方	
5.3.3 PID 控制参数的工程整定法	156	法	216
5.3.4 PID 控制参数的自整定法	158	6.6.5 模糊控制器的改进	221
5.4 数字 PID 控制器的工程实现	160	6.6.6 MATLAB 在模糊控制器设计	
5.4.1 给定值处理	160	中的应用	222
5.4.2 被控量处理	161	思考题与习题	225



第7章 计算机控制系统的软件设计

计	227
7.1 计算机控制系统软件概述	227
7.1.1 计算机控制系统软件的组成	227
7.1.2 计算机控制系统软件的功能	228
7.2 实用数据结构	228
7.2.1 数据结构基本概念	228
7.2.2 实用数据结构算法	234
7.3 实时数据库技术	237
7.3.1 数据库技术概述	237
7.3.2 计算机控制系统中的实时数据库	242
7.3.3 实时数据库的设计	243
7.4 计算机控制系统的软件设计	245
7.4.1 计算机控制系统应用软件设计的需求	246
7.4.2 计算机控制系统操作系统的选择	246
7.4.3 计算机控制系统应用程序开发平台	250
7.4.4 计算机控制系统实时数据库的选择	251
7.4.5 计算机控制系统应用软件的构建	251
7.4.6 计算机控制系统应用软件编程的基本方法	253
7.4.7 实时控制程序的结构设计	254
7.5 工控组态软件	255
7.5.1 工控组态软件概述	255
7.5.2 工控组态软件的组成与特点	256
7.5.3 工控组态软件开发及调试	258
7.5.4 用工控组态软件构建应用控制软件的基本步骤	261
思考题与习题	262
第8章 分布式计算机控制系统	263
8.1 概述	263
8.1.1 系统的基本组成	263
8.1.2 系统的特点	264
8.1.3 系统的发展	265
8.2 分布式控制系统(DCS)的体系结构	268
8.2.1 DCS的层次结构	268

8.2.2 DCS的硬件结构	270
8.2.3 DCS的软件结构	271
8.2.4 DCS的网络结构	275
8.3 分布式控制系统基本类型	275
8.3.1 集散型控制系统	275
8.3.2 集散型控制系统存在的问题	278
8.3.3 基于IPC构成的分布式控制系统	278
8.3.4 基于PLC构成的分布式控制系统	283
8.4 现场总线控制系统	284
8.4.1 现场总线概述	284
8.4.2 基金会现场总线	285
8.4.3 过程现场总线	287
8.4.4 LonWorks 总线	288
8.4.5 HART 通信协议	290
8.4.6 CAN 通信协议	292
8.4.7 现场总线控制系统设计	294
8.5 基于工业以太网和现场总线的分布式控制系统	296
8.5.1 工业以太网技术	296
8.5.2 基于工业以太网和现场总线构成的分布式控制系统	301
思考题与习题	303
第9章 计算机控制系统设计与实现	304
9.1 系统设计的原则与步骤	304
9.1.1 系统设计的原则	304
9.1.2 系统设计的步骤	305
9.2 计算机控制系统的可靠性技术	309
9.2.1 控制系统的抗干扰设计	309
9.2.2 控制系统CPU可靠性设计	314
9.2.3 控制系统的软件可靠性设计	316
9.2.4 控制系统的冗余设计	318
9.3 基于工业PC的计算机测控系统设计实例	318
9.3.1 系统方案设计	319
9.3.2 系统硬件设计	321
9.3.3 系统软件设计	322
9.4 基于网络结构的计算机测控系统设计实例	323



9.4.1	系统方案设计	323
9.4.2	系统网络结构设计	326
9.4.3	系统硬件设备选型与设计	327

9.4.4	系统软件设计及系统组态	330
	思考题与习题	333
	参考文献	334



第 1 章

绪 论

计算机控制系统是当前自动控制系统的主流方向。它是利用计算机的硬件和软件代替了自动控制系统的控制器,以自动控制技术、计算机技术、检测技术、计算机通信与网络技术为基础,利用计算机快速强大的数值计算、逻辑判断等信息加工能力,使得计算机控制系统除了可以实现常规控制策略之外,还可以实现复杂控制策略和其他辅助功能。如今计算机控制系统已经广泛地用于工业、国防和民用的各个领域。

计算机技术、先进控制技术、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,使得计算机控制水平大大提高。现在的计算机控制已经从简单的单回路、单机控制发展到复杂的集散型控制系统、计算机集成制造系统等。另外,由于计算机的微型化、网络化、性价比的上升和软件功能的日益强大,计算机控制系统不再是一种昂贵的系统,它几乎可以用于任何场合:实时控制、实时监控、数据采集、信息处理等。在化工、电力、冶金、建材、制药、机电、纺织、食品以及公用事业工程等行业中,各类先进的计算机控制设备正在发挥着巨大的作用。

本章主要介绍计算机控制系统的一般概念、性能指标以及计算机控制系统的发展概况和趋势。

1.1 计算机控制系统概述

自动控制系统通常由被控对象、检测传感装置、控制器等组成。控制器既可以由模拟控制器构成,也可以由数字控制器构成,数字控制器大多是用计算机实现的。因此,计算机控制系统指的是采用了数字控制器的自动控制系统。在计算机控制系统中,用计





计算机代替自动控制系统中的常规控制设备,对动态系统进行调节与控制,实现对被控对象的有效控制。

1.1.1 一般概念

计算机控制系统包括控制计算机(包括硬件、软件和网络)和生产过程(包括被控对象、检测传感器、执行机构)两大部分。典型计算机闭环控制系统如图1-1所示,该系统的过程(被控对象)输出信号 $y(t)$ 是连续时间信号,用测量传感器检测被控对象的被控参数(如温度、压力、流量、速度、位置等物理量),通过变送器将这些量变换为一定形式的电信号,由模/数(A/D)转换器转换成数字量反馈给控制器。控制器将反馈信号对应的数字量与设定值比较,控制器根据误差产生控制量,经过数/模(D/A)转换器转换成连续控制信号 $u(t)$ 来驱动执行机构工作,力图使得被控对象的被控参数值与设定值保持一致。这就构成了计算机闭环控制系统。

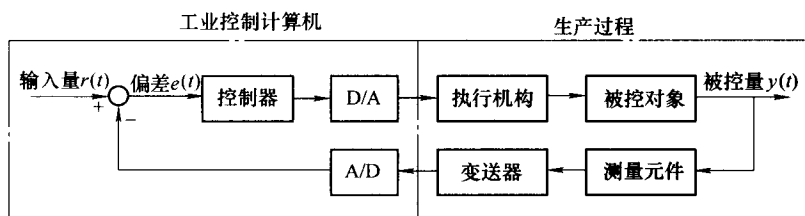


图 1-1 典型计算机控制系统

如将图1-1中的具有变送器和测量元件的反馈通道断开,这时被控对象的输出与系统的设定值之间没有联系,这就是计算机开环控制。它的控制是直接根据给定信号去控制被控对象,这种系统本质上不会自动消除控制系统误差。它与闭环控制系统相比,控制结构简单,但性能较差,通常用于控制要求不高的场合。

计算机控制系统可以充分发挥计算机强大的计算、逻辑判断与记忆等信息加工能力。只要运用微处理器的各种指令,就能编写出相应的控制算法的程序,微处理器执行该程序就能实现对被控参数的控制。由于计算机处理的输入输出信号都是数字量,因此在计算机控制系统中,需要有将模拟信号转换为数字信号的模/数(A/D)转换器,以及将数字控制信号转换为模拟信号的数/模(D/A)转换器。除了这些硬件之外,计算机控制系统的核心是控制程序。计算机控制系统执行控制程序的过程如下:

- (1) 实时数据采集 对被控参数按一定的采样时间间隔进行检测,并将结果输入计算机。
- (2) 实时计算 对采集到的被控参数进行处理后,按预先设计好的控制算法进行计算,决定当前的控制量。
- (3) 实时控制 根据实时计算得到的控制量,通过 D/A 转换器将控制信号作用于执行机构。
- (4) 实时管理 根据采集到的被控参数和设备的状态,对系统的状态进行监督与管理。

由以上可知,计算机控制系统是一个实时控制系统。计算机实时控制系统要求在一



定的时间内完成输入信号采集、计算和控制输出，如果超出这个时间，也就失去了控制的时机，控制也就失去了意义。上述测、算、控、管的过程不断重复，使整个系统按照一定的动态品质指标进行工作，并且对被控参数或设备状态进行监控，对异常状态及时监督并做出迅速的处理。

由上面的分析可见，在计算机控制系统中存在着两种截然不同的信号，即模拟（连续）信号和数字（离散）信号。以计算机为核心的控制器的输入输出信号和内部处理都是数字信号，而生产过程的输入输出信号都是模拟信号，因而对于计算机控制系统的分析和设计就不能完全采用连续控制理论，需要运用离散控制理论对其进行分析和设计。

1.1.2 系统的组成

从图 1-1 可见，简单地讲，计算机控制系统由控制计算机和生产过程两大部分组成。控制计算机是计算机控制系统中的核心装置，是系统中信号处理和决策的机构，相当于控制系统的神经中枢。生产过程包含了被控对象、执行机构、测量变送等装置。从控制的角度看，可以将生产过程看作广义对象。虽然计算机控制系统中的被控对象和控制任务多种多样，但是就系统中的计算机而言，计算机控制系统其实也就是计算机系统，系统中的广义被控对象可以看作是计算机外部设备。计算机控制系统和一般计算机系统一样，也是由硬件和软件两部分组成的。

1. 系统硬件

计算机控制系统的硬件主要由主机、外部设备、过程输入输出通道和生产过程组成，如图 1-2 所示。现对各部分作简要说明。

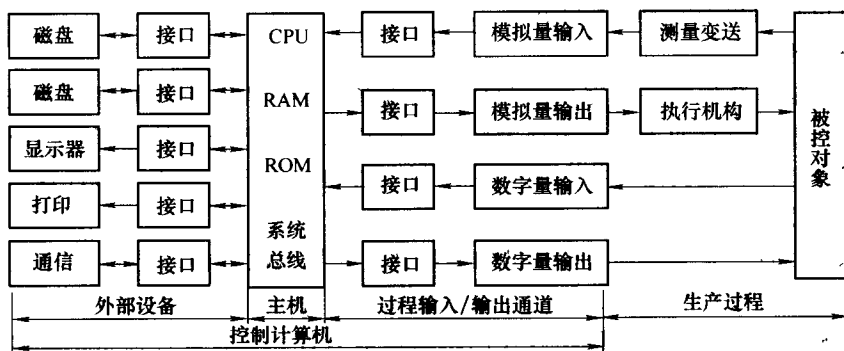


图 1-2 计算机控制系统硬件组成框图

(1) 主机 主机由 CPU 和内存储器（RAM 和 ROM）通过系统总线连接而成，是整个控制系统的核心。它按照预先存放在内存中的程序指令，由过程输入通道不断地获取反映被控对象运行工况的信息，并按程序中规定的控制算法，或操作人员通过键盘输入的操作命令自动地进行信息处理、分析和计算，做出相应的控制决策，并通过过程输出通道向被控对象及时地发出控制命令，以实现对被控对象的自动控制。

(2) 常规外部设备 计算机的常规的外部设备有四类：输入设备、输出设备、外存储器和网络通信设备。



- 输入设备 最常用的有键盘, 用来输入 (或修改) 程序、数据和操作命令。鼠标也是一种常见的图形界面输入装置。
- 输出设备 通常有 CRT、LCD 或 LED 显示器、打印机和记录仪等。它们以字符、图形、表格等形式反映被控对象的运行工况和有关的控制信息。
- 外存储器 最常用的是磁盘 (包括硬盘和软盘)、光盘和磁带机。它们具有输入和输出两种功能, 用来存放程序、数据库和备份重要的数据, 作为内存储器的后备存储器。
- 网络通信设备 用来与其他相关计算机控制系统或计算机管理系统进行联网通信, 形成规模更大、功能更强的网络分布式计算机控制系统。

以上的常规外部设备通过接口与主机连接便构成通用计算机, 若要用于控制, 还需要配备过程输入/输出通道构成控制计算机。

(3) 过程输入/输出通道 过程输入/输出通道, 又简称过程通道。被控对象的过程参数一般是非电物理量, 必须经过传感器 (又称一次仪表) 变换为等效的电信号。为了实现计算机对生产过程的控制, 必须在计算机与生产过程之间设置信息的传递和变换的连接通道。过程输入/输出通道分为模拟量和数字量 (开关量) 两大类型。关于过程通道的详细内容将在第 2 章重点介绍。

(4) 生产过程 生产过程包括被控对象及其测量变送仪表和执行装置。测量变送仪表将被控对象需要监视和控制的各种参数 (如温度、流量、压力、液位、位移、速度等) 转换为电的模拟信号 (或数字信号), 而执行机构将过程通道输出的模拟控制信号转换为相应的控制动作, 从而改变被控对象的被控量。在计算机控制系统设计过程中, 检测变送仪表、电动和气动执行机构、电气传动的交流、直流驱动装置是需要熟悉和掌握的内容, 读者可以查阅相关的书籍和资料。

2. 系统软件

计算机控制系统的硬件是完成控制任务的设备基础, 而计算机的操作系统和各种应用程序是执行控制任务的关键, 统称为软件。计算机控制系统的软件程序不仅决定其硬件功能的发挥, 而且也决定了控制系统的控制品质和操作管理水平。软件通常由系统软件和应用软件组成。

(1) 系统软件 系统软件是计算机的通用性、支撑性的软件, 是为用户使用、管理、维护计算机提供方便的程序的总称。它主要包括操作系统、数据库管理系统、各种计算机语言编译和调试系统、诊断程序以及网络通信等软件。系统软件通常由计算机厂商和专门软件公司研制, 可以从市场上购置。计算机控制系统的设计人员一般没有必要自行研制系统软件, 但是需要了解和学会使用系统软件, 才能更好地开发应用软件。

(2) 应用软件 应用软件是计算机在系统软件支持下实现各种应用功能的专用程序。计算机控制系统的应用软件是设计人员针对某一具体生产过程而开发的各种控制和管理程序。其性能优劣直接影响控制系统的控制品质和管理水平。计算机控制系统的应用软件一般包括过程输入和输出接口程序、控制程序、人机接口程序、显示程序、打印程序、报警和故障联锁程序、通信和网络程序等。一般情况下, 应用软件应由计算机控制系统设计人员根据所确定的硬件系统和软件环境来开发编写。

计算机控制系统中的控制计算机与通常用作信息处理的通用计算机相比, 它要对被



控对象进行实时控制和监视，其工作环境一般都较恶劣且需要不间断长期可靠地工作，这就要求计算机系统必须具有实时响应能力和很强的抗干扰能力以及很高的可靠性。除了选用高可靠性的硬件系统外，在选用系统软件和设计编写应用软件时，还应该满足对软件的实时性和可靠性的要求。

1.1.3 系统的典型结构

工业控制计算机系统与所控制的生产过程的复杂程度密切相关，不同的控制对象和不同的控制要求，有不同的控制方案。下面从应用特点、控制目的出发介绍几种典型的结构。

1. 操作指导控制系统

计算机操作指导控制系统（ODC）的结构如图 1-3 所示。计算机根据一定的算法，根据检测仪表测得的信号数据，由数据处理系统对生产过程的大量参数做巡回检测、处理、分析、记录以及参数的超限报警等。通过对大量参数的积累和实时分析，可以对生产过程进行各种趋势分析，为操作人员提供参考，或者计算出可供操作人员选择的最优操作条件及操作方案，操作人员则根据计算输出的信息去改变调节器的给定值或者直接操作执行机构。这种系统也称为计算机数据采集与检测系统。

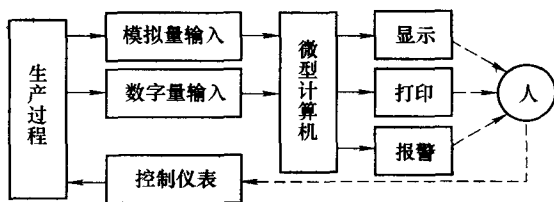


图 1-3 计算机操作指导控制系统结构

2. 直接数字控制系统

直接数字控制（Direct Digital Control）系统，简称 DDC 系统，其系统构成如图 1-4 所示。

在 DDC 系统中计算机代替常规模拟控制器，直接对被控对象进行控制。很明显，DDC 系统是闭环控制。实际上，它是在操作指导控制系统里将人的决策用计算机来代替，并加入过程输出通道就构成 DDC 系统。DDC 系统工作过程是计算机首先通过过程输入通道实时地采集被控对象运行参数，然后按给定值和预定的控制规律计算出控制信号，并由过程输出通道直接控制执行机构，使被控量达到控制要求。

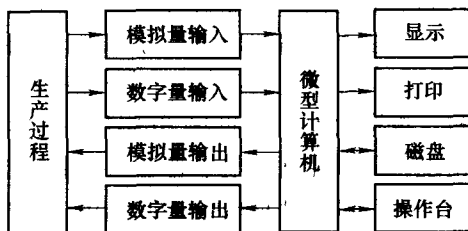


图 1-4 直接数字控制系统结构图

3. 计算机监督控制系统

在 DDC 方式中，被控对象的给定值是预先设定的，它不能根据生产过程工艺信息和生产条件的改变及时得到修正。所以 DDC 系统不能使生产过程处于最优工况。

在计算机监督控制（SCC）系统中，计算机按照生产过程的数学模型计算出最佳给定值送给模拟调节器或者 DDC 计算机，模拟调节器或 DDC 计算机控制生产过程，从而使生产过程始终处于最优工况。SCC 系统较 DDC 系统更接近生产变化的实际情况，它不仅可





以进行给定值控制，而且还可以进行顺序控制、自适应控制和最优控制等。这类系统有两种结构形式：一种是 SCC + 模拟调节器控制系统；另一种是 SCC + DDC 控制系统。

(1) SCC + 模拟调节器控制系统 该系统原理图如图 1-5 所示。在此系统中，由计算机系统对各物理量进行巡回检测，按一定的数学模型计算出最佳给定值并送给模拟调节器，此给定值在模拟调节器中与检测值进行比较，偏差值经过模拟调节器运算，产生控制量，然后输出到执行机构，以达到调节生产过程的目的。SCC 出现故障时，可由模拟调节器独立完成操作。

(2) SCC + DDC 控制系统 该系统原理如图 1-6 所示。这实际上是一个两级控制系统，一级为监督级 SCC，另一级为控制级 DDC。SCC 的作用是完成车间或工段级的最优化分析和计算，并给出最佳给定值，送给 DDC 级计算机直接控制生产过程。两级计算机之间通过接口进行信息交换，当 DDC 级计算机出现故障时，可由 SCC 级计算机代替，因此大大提高了系统的可靠性。

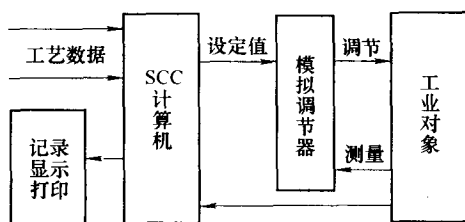


图 1-5 SCC + 模拟调节器控制系统

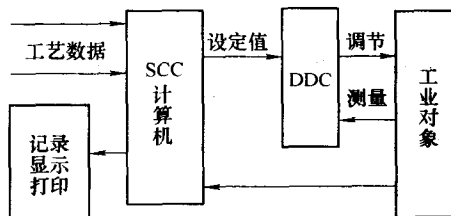


图 1-6 SCC + DDC 系统

4. 集散控制系统

计算机控制发展初期，控制计算机采用的是中、小型计算机，价格昂贵。为充分发挥计算机的功能，对复杂的生产对象的控制都是采用集中控制方式。一台计算机控制多个设备，多个回路，以便充分利用计算机。计算机的可靠性对整个生产过程的影响举足轻重，一旦计算机出故障，生产过程将受到极大影响。若采用冗余技术，需增加备用计算机，投资太大。20 世纪 70 年代中期随着功能完善而价格低廉的微处理器、微型计算机的出现，分散控制和集中管理的控制思想和网络化的控制结构的提出，用分散在不同地点的若干台微型计算机分担原先由一台中、小型计算机完成的控制与管理任务，并用数据通信技术把这些计算机互连，便构成网络式计算机控制系统。这种系统具有网络分布结构，所以称为分散式（或分布式）控制系统（Distributed Control System, DCS）。但在自动化行业更多称其为集散控制系统，简称 DCS。集散控制反映了分散式控制系统的重要特点：操作管理功能的集中和控制功能的分散。集散控制系统的典型结构如图 1-7 所示。

5. 现场总线控制系统

集散控制系统的应用提高了工业企业的综合自动化水平。然而，由于 DCS 采用了“操作站-控制站-现场仪表”的结构模式，系统造价较高。DCS 的另外一个弱点是各个自动化仪表公司生产的 DCS 有其自己的标准，不能互连，设备互换性和互操作性较差。

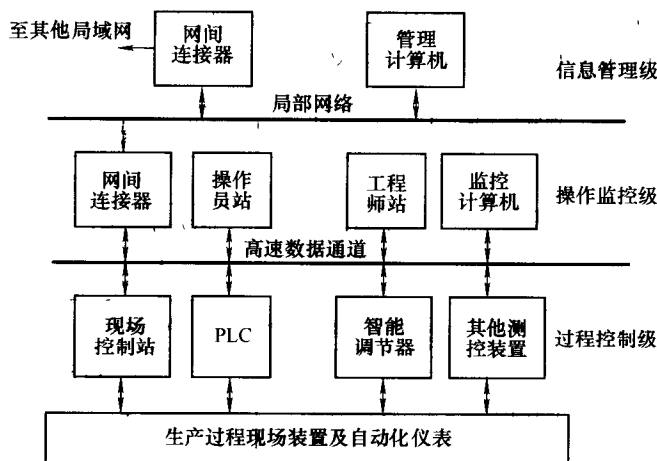


图 1-7 集散控制系统典型结构

20 世纪 90 年代初，出现了一种新型的用于工业控制底层的现场设备互连的数字通信网络——现场总线技术。现场总线是连接现场智能仪表与自动化系统的数字化、双向传输、多分支的通信网络。现场总线既是开放的通信网络，又可组成全分布的控制系统，用现场总线把组成控制系统的各种传感器、控制器、执行机构等连接起来就构成了现场总线控制系统（Fieldbus Control System, FCS）。现场总线控制系统的简单结构如图 1-8 所示。

FCS 有两个显著特点：一是系统内各设备的信号传输实现了全数字化，提高了信号传输的速度、精度和距离，使系统的可靠性提高；二是实现了控制功能的彻底分散，即把控制功能分散到各现场设备和仪表中，使现场设备和仪表成为具有综合功能的智能设备和仪表。FCS 的结构模式是“工作站-现场智能仪表”，比 DCS 的三层结构模式少一层，降低了系统成本，提高了系统可靠性。在统一的国际标准下可实现真正的开放式互连系统结构。

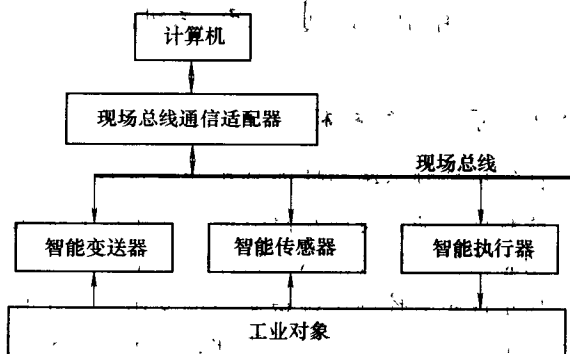


图 1-8 现场总线控制系统

6. 工业过程计算机集成制造系统

随着工业生产过程规模的日益复杂与大型化，现代化工业要求计算机系统不仅要完成直接面向过程的控制和优化任务，而且要在获取生产全部过程尽可能多的信息基础上，进行整个生产过程的综合管理、指挥调度和经营管理。由于自动化技术、计算机技术、数据通信等技术的发展，已完全可以满足上述要求，能实现这些功能的系统称之为计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacture System, CIMS）。当 CIMS 用于流程工业时，简称为流程 CIMS 或 CIPS（Computer Integrated Processing System）。流程工业计算机



集成制造系统按其功能可以自下而上地分为若干层,如直接控制层、过程监控层、生产调度层、企业管理层和经营决策层等,其结构如图 1-9 所示。

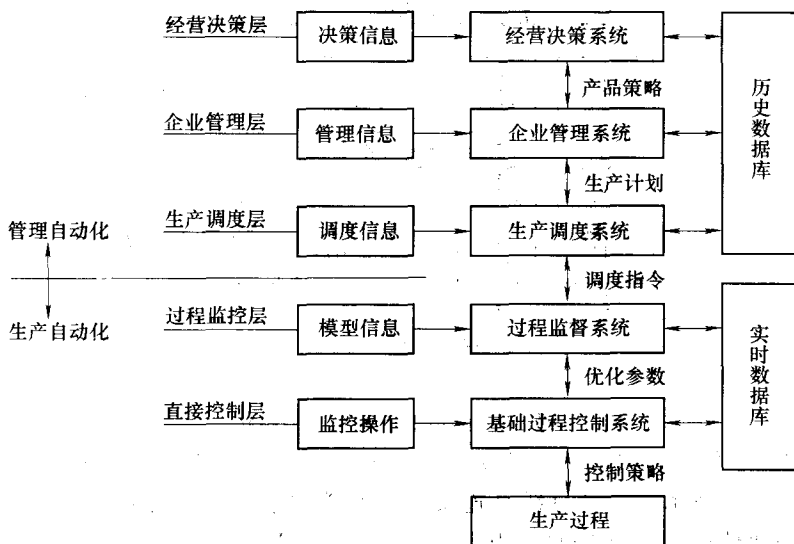


图 1-9 流程工业计算机集成制造系统

1.2 计算机控制系统性能

1.2.1 系统性能指标

计算机控制系统的性能分析和要求与连续控制系统相似,可用系统的稳定性、能控性、能观性、动态特性及稳态特性(精度)来表征,衡量系统优劣的指标通常用稳定裕量、动态指标、稳态指标和综合指标等。

稳定性是对控制系统最基本的要求。一个控制系统只有稳定,才有可能工作,也才能谈得上控制性能的优劣。因此,对于计算机控制系统来说,稳定性分析同样是一个重要的方面。通常采用控制理论中的离散系统稳定性分析方法来分析计算机控制系统的稳定性,用稳定裕量(即相角裕量和幅值裕量)来衡量计算机控制系统的稳定程度。

动态指标能够比较直观地反映控制系统的过渡过程特性。常用时域指标有:延迟时间 t_d 、上升时间 t_r 、峰值时间 t_p 、调节时间 t_s 和超调量 $\sigma\%$ 。在实际应用中,常用的动态性能指标为上升时间 t_r 、调节时间 t_s 和超调量 $\sigma\%$ 。通常用 t_r 或 t_p 评价系统的响应速度,用 $\sigma\%$ 评价系统的阻尼程度,而 t_s 则是同时反映响应速度和阻尼程度的综合指标。在工程中,也常用频域指标来衡量控制系统动态性能的优劣。常用的频域指标有:开环频域指标为相角裕量、幅值裕量和穿越频率等指标;闭环频域指标为谐振峰值、谐振频率和系统的带宽等。

稳态指标是控制系统控制精度或抗干扰能力的一种度量,常用稳态误差 e_{ss} 来表征。