



21世纪电气信息学科立体化系列教材

计算机控制技术

● 主编 施保华 杨三青 周凤星

101010
00000000001010

华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

TP273

422D

2007

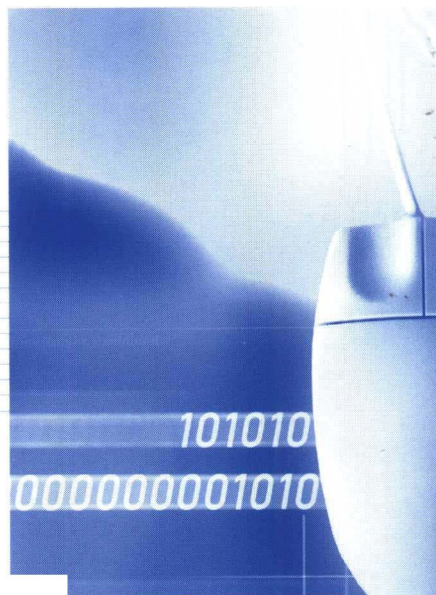


21世纪电气信息学科立体化系列教材

计算机控制技术



主 编 施保华 杨三青 周凤星
副主编 郭贵莲 王书锋 章 红



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制技术/施保华 杨三青 周凤星 主编. —武汉:华中科技大学出版社, 2007年3月

ISBN 978-7-5609-3941-4

I. 计… II. ①施… ②杨… ③周… III. 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(2007)第 008354 号

计算机控制技术

施保华 杨三青 周凤星 主编

策划编辑:王红梅 孙基寿

责任编辑:叶见欣

责任校对:陈 骏

封面设计:秦 茹

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉众心设计室

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×960 1/16

印张:17 插页:2

字数:328 000

版次:2007年3月第1版

印次:2007年3月第1次印刷

定价:27.80元(含1CD)

ISBN 978-7-5609-3941-4/TP·625

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)



21世纪电气信息学科立体化系列教材

编审委员会

顾问：

潘 垣（中国工程院院士，华中科技大学）

主任：

吴麟章（湖北工业大学）

委员：（按姓氏笔画排列）

王 斌（三峡大学电气信息学院）

余厚全（长江大学电子信息学院）

陈铁军（郑州大学电气工程学院）

吴怀宇（武汉科技大学信息科学与工程学院）

陈少平（中南民族大学电子信息工程学院）

罗忠文（中国地质大学信息工程学院）

周清雷（郑州大学信息工程学院）

谈宏华（武汉工程大学电气信息学院）

钱同惠（江汉大学物理与信息工程学院）

普杰信（河南科技大学电子信息工程学院）

廖家平（湖北工业大学电气与电子工程学院）

内 容 简 介



随着控制理论与计算机技术的飞速发展,计算机控制技术的更新越来越快。本书一方面力求较全面、系统地介绍计算机控制技术的基本概念、基础理论及其应用;另一方面注重突出其先进性,介绍利用计算机控制系统实施先进的控制策略以及与其他学科的交叉应用,反映自动化领域研究的热点和发展趋势。在编写上尽量做到理论与实践结合、深入浅出、条理清楚,并适当充实计算机控制领域最新的技术理论和实用方法。

本书主要内容包括:计算机控制系统的组成、特点及发展趋势;计算机控制系统基础理论;新型 I/O 接口技术;数字程序控制技术;计算机常规控制策略和新型控制策略;集散型控制系统和现场总线技术;计算机控制系统的抗干扰技术等。

本书主要适合高等院校自动化、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。

前 言

计算机控制技术是一种综合运用控制理论、仪器仪表、计算机和其他信息技术,对工业生产过程实现检测、控制、优化、调度、管理和决策,以达到增加产量、提高质量、降低消耗、确保安全等目的的高新技术。计算机控制技术的应用领域非常广泛,不但是国防、航天航空等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。

计算机控制系统在工业过程中越来越普及,这要求从事自动控制的工程技术人员必须掌握计算机控制系统的有关理论基础、控制策略、数据通信、网络技术、数据库以及硬件、软件等诸多方面的专门知识与技术,不仅能够对实际的生产过程进行分析,而且能够设计并实施满足实际工业生产过程需要的计算机控制系统。

近年来,随着计算机技术、自动控制技术、检测与传感技术、通信与网络技术等的高速发展,计算机控制技术正在日新月异地进步。许多高等院校信息类专业都对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,以适应形势发展的需要。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,综合兄弟院校相关专业教师科研与教学的先进经验,参考了国内外大量文献和著作,按教材形式进行编著的。

全书共分 8 章。第 1 章绪论,介绍计算机控制系统的基本概念、计算机控制系统的组成和分类、计算机控制系统的发展概况和发展趋势;第 2 章计算机控制系统基础,包括信号的采样与 Z 变换、离散控制系统的分析、计算机控制系统的总线技术和数据通信技术;第 3 章 I/O 接口技术,介绍 CAN 总线、USB 接口和一线总线新型接口技术、I/O 接口设计和常用的 A/D、D/A 接口技术;第 4 章计算机数字程序控制技术,包含数字程序控制技术、步进电机控制技术和交流伺服电机概述;第 5 章计算机控制策略,包括常规 PID 控制算法、数字控制器的直接设计和基于 PID 控制的多回路控制系统;第 6 章新型控制策略,包括模糊控制、神经网络控制以及其他新型控制策略;第 7 章集散控制系统及现场总线,包括 DCS 的发展概况、集散控制系统硬件体系介绍、常见集散控制系统简介、集散型控制系统的应用实例、现场总线技术及其应用;第 8 章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、电源系统抗干扰技术。

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,计算机控制的基础理论和专业知识更具有其重要意义。通过本课程的学习,学生能够掌握计算机控制系统的基本理论和基本概念,掌握计算机控制系统的分析

和设计方法,掌握常用的计算机控制策略,了解计算机控制系统的基本构成,学会数据采集、处理、通信、存储等技术,实施对工业生产过程中实际问题的控制。

本书由施保华、杨三青、周凤星任主编,郭贵莲、王书锋、章红任副主编,施保华负责全书统稿工作。其中第1、4、6章由施保华(三峡大学)编写,第2章由王书锋(郑州大学)编写,第3章由周凤星(武汉科技大学)编写,第4章部分内容、第6章部分内容、第8章由郭贵莲(三峡大学)编写,第5章由章红(江汉大学)编写,第7章由杨三青(长江大学)编写。本书吸取了其他高等院校计算机控制技术方面教材的长处,在此表示由衷的感谢!

本书主要适合高等院校自动化、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,书中难免有许多不妥或错误之处,诚请读者批评指正。

21 世纪电气信息学科立体化系列教材编委会
《计算机控制技术》编写组

2007 年 1 月

目 录

1 绪 论

1.1 计算机控制系统概述	(1)
1.2 计算机控制系统的组成和分类	(2)
1.2.1 计算机控制系统的组成	(2)
1.2.2 计算机控制系统的分类	(3)
1.3 计算机控制系统的发展概况和发展趋势	(8)
1.3.1 计算机控制系统的发展概况	(8)
1.3.2 计算机控制系统的发展趋势	(9)
思考题与习题	(11)

2 计算机控制系统基础

2.1 信号的采样与 Z 变换	(13)
2.1.1 信号的采样和恢复及采样/保持器	(13)
2.1.2 Z 变换	(17)
2.2 离散控制系统的分析	(23)
2.2.1 离散控制系统的数学描述	(24)
2.2.2 离散控制系统的稳定性分析	(30)
2.2.3 计算机控制系统的过渡过程分析	(32)
2.2.4 计算机控制系统的稳态误差和稳态准确度分析	(34)
2.3 计算机控制系统的总线技术	(37)
2.3.1 概述	(37)
2.3.2 内部总线	(38)
2.3.3 外部总线	(43)
2.4 数据通信技术	(46)
2.4.1 数据通信基本概念	(46)
2.4.2 串行通信的异步传送和同步传送	(48)
2.4.3 数据传输技术	(49)
2.4.4 数据通信中的差错检测与纠错	(49)
本章小结	(51)

思考题与习题	(52)
3 I/O 接口技术	
3.1 新型接口技术	(53)
3.1.1 I/O 信号的种类	(53)
3.1.2 CAN 总线、USB 接口和一线总线技术	(54)
3.2 I/O 控制方式	(70)
3.2.1 程序控制方式	(70)
3.2.2 中断控制方式	(72)
3.3 I/O 接口设计	(72)
3.3.1 I/O 接口的编址方式	(72)
3.3.2 I/O 接口与系统的连接	(73)
3.3.3 I/O 接口扩展	(73)
3.3.4 I/O 接口设计的方法及设计举例	(76)
3.4 模拟量 I/O 接口	(77)
3.4.1 模拟量输出接口	(77)
3.4.2 模拟量输入接口	(80)
3.4.3 模拟量 I/O 接口实例	(82)
3.4.4 采样与量化	(88)
本章小结	(89)
思考题与习题	(89)
4 计算机数字程序控制技术	
4.1 数字程序控制技术	(91)
4.1.1 数字程序控制基础	(91)
4.1.2 逐点比较法直线插补	(92)
4.1.3 逐点比较法圆弧插补	(95)
4.2 步进电机控制技术	(98)
4.2.1 步进电机的工作原理	(98)
4.2.2 步进电机的一些基本参数及术语	(100)
4.2.3 步进电机驱动控制	(101)
4.2.4 步进电机单片机控制技术	(104)
4.3 交流伺服电机概述	(106)
本章小结	(108)
思考题与习题	(109)
5 计算机控制策略	
5.1 PID 控制算法	(111)

5.1.1	PID 控制规律的特点	(111)
5.1.2	数字 PID 控制算法	(114)
5.1.3	数字 PID 控制算法的改进	(116)
5.1.4	PID 参数的整定	(121)
5.1.5	二阶工程设计法设计数字控制器	(124)
5.2	数字控制器的直接设计	(128)
5.2.1	最少拍无差系统的设计	(129)
5.2.2	最少拍无波纹系统的设计	(138)
5.2.3	纯滞后对象的控制算法	(140)
5.3	基于 PID 控制的多回路控制系统	(144)
5.3.1	串级控制系统	(144)
5.3.2	前馈控制系统	(145)
5.3.3	纯滞后补偿控制系统	(147)
	本章小结	(148)
	思考题与习题	(150)

6 新型控制策略

6.1	模糊控制	(153)
6.1.1	模糊集合	(154)
6.1.2	隶属函数的参数化	(156)
6.1.3	模糊关系及其运算	(158)
6.1.4	模糊关系的合成	(159)
6.1.5	模糊推理	(159)
6.1.6	模糊控制器的组成	(160)
6.1.7	模糊控制器的设计步骤	(162)
6.1.8	模糊控制系统 Matlab 仿真	(164)
6.2	神经网络控制	(168)
6.2.1	神经网络的基本概念	(168)
6.2.2	感知器和 BP 网络	(172)
6.2.3	神经网络控制	(178)
6.3	其他控制策略	(180)
6.3.1	最优控制	(180)
6.3.2	自适应控制	(181)
6.3.3	鲁棒控制	(182)
6.3.4	预测控制	(183)
6.3.5	非线性控制理论的发展	(186)
6.3.6	专家系统	(187)

本章小结	(188)
思考题与习题	(188)
7 集散控制系统及现场总线	
7.1 DCS 的发展概况	(191)
7.2 DCS 的基本组成与发展方向	(195)
7.3 DCS 硬件体系介绍	(197)
7.3.1 现场控制站	(198)
7.3.2 DCS 的操作站	(198)
7.4 DCS 的网络通信技术	(200)
7.5 DCS 的组态	(201)
7.6 常见 DCS 简介	(203)
7.6.1 和利时的 hollias-macs 系统	(203)
7.6.2 SunyPCC800 小型 DCS	(208)
7.6.3 SunyTech 工业控制应用软件平台	(211)
7.6.4 TDC3000	(216)
7.7 DCS 应用实例	(218)
7.8 现场总线技术及其应用	(226)
7.8.1 现场总线的基本概念	(226)
7.8.2 现场总线的结构与优点	(228)
7.8.3 常用的现场总线	(230)
7.8.4 现场总线与局域网和 DCS 的比较	(233)
7.8.5 现场总线控制系统要进一步研究的问题	(235)
本章小结	(235)
思考题与习题	(235)
8 计算机控制系统抗干扰技术	
8.1 硬件抗干扰技术	(237)
8.1.1 共模干扰抑制	(237)
8.1.2 串模干扰的抑制	(241)
8.1.3 长线传输干扰的抑制	(243)
8.1.4 信号线的选择与敷设	(245)
8.1.5 接地抗干扰技术	(247)
8.2 软件抗干扰技术	(249)
8.2.1 测量数据预处理	(250)
8.2.2 数字滤波	(252)
8.2.3 指令冗余技术	(255)

8.2.4 软件陷阱技术	(255)
8.3 电源系统抗干扰技术	(256)
8.3.1 交流电源环节	(256)
8.3.2 直流电源环节	(257)
本章小结	(258)
思考题与习题	(258)
参考文献	(259)

绪 论

计算机控制技术是一种综合运用控制理论、仪器仪表、计算机和其他信息技术,对工业生产过程实现检测、控制、优化、调度、管理和决策,以达到增加产量、提高质量、降低消耗、确保安全等目的的高新技术。计算机控制技术的应用领域非常广泛,不但是国防、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。近年来,随着计算机技术、自动控制技术、检测与传感技术、通信与网络技术等的高速发展,计算机控制技术正在日新月异地进步。

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和趋势。

1.1 计算机控制系统概述

计算机控制系统包括单回路控制系统、多回路控制系统、集散控制系统(Distributed Control System, DCS)、现场总线控制系统(Fieldbus Control System, FCS)和计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacture System, CIMS)。这些系统在结构、规模、功能、应用场合等方面有许多不同之处,甚至有很大的差别,但是它们的组成和运行机制仍然是基于控制论的反馈控制原理形成的。

计算机控制系统就是利用计算机(单片机、ARM、PLC、PC机、工控机等)来实现生产过程自动控制的系统。顾名思义,计算机控制系统强调计算机是构成整个控制系统的核心。将常规自动控制系统中的模拟调节器由计算机来实现,就组成了一个典型的计算机控制系统,如图 1-1 所示。

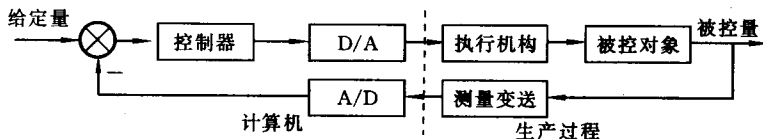


图 1-1 计算机控制系统框图

在实际的工业生产过程中,被测参数如温度、压力、电压、电流、速度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,所以,在进入计算机之前,必须把模拟量转化为数字量,即进行 A/D(模/数)转换。大多数执行机构只能接受模拟量,因此,作为控制核心的计算机,其输出的数字量必须转换为模拟量,即进行 D/A(数/模)转换。可见,A/D、D/A 转换器是计算机控制系统必不可少的组成部分。有的文献将用于计算机与生产过程之间的信号转换装置称为输入/输出(I/O)过程通道。

由于计算机具有很强的计算、逻辑判断和存储信息的能力,因而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,更好地满足日益复杂化的工业过程的控制要求。总之,在计算机控制系统中,计算机不仅可以完成基本的控制任务,而且还可以充分发挥其优势,使自动控制系统的功能更趋完善。

根据图 1-1 所示的计算机控制系统框图,计算机在控制系统中至少起到以下三个基本作用。

- 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。

1.2 计算机控制系统的组成和分类

1.2.1 计算机控制系统的组成

根据具体的应用目的和场合,作为计算机控制系统核心的工业控制计算机的类别和型号千差万别,系统的组成也各不相同。但是,各类计算机控制系统的基本组成是大同小异的,硬件部分一般包括主机、I/O 设备、检测元件及执行机构、被控对象等,软件部分包括系统软件、应用软件、数据库等,如图 1-2 所示。

图 1-2 所示各主要部分在系统中的作用简述如下。

1) 主机 由中央处理器(CPU)、存储器和人机接口电路组成的主机是计算机控制系统的核心。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,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) I/O 设备 系统除了具有一般计算机的标准 I/O 设备(键盘、显示器、打印机、外存储器等)外,还有专用的过程 I/O 设备。过程输入设备包括模拟量输入(AI)设备和开关量输入(DI)设备,分别用来采集生产过程的模拟信号(如温度、压力、电压、电流等)和开关或触点信号;过程输出设备包括模拟量输出(AO)设备和开关量输出(DO)设备,模拟量输出设备将主机发出的控制命令转换成模拟信号作用于执行器,开关量输出

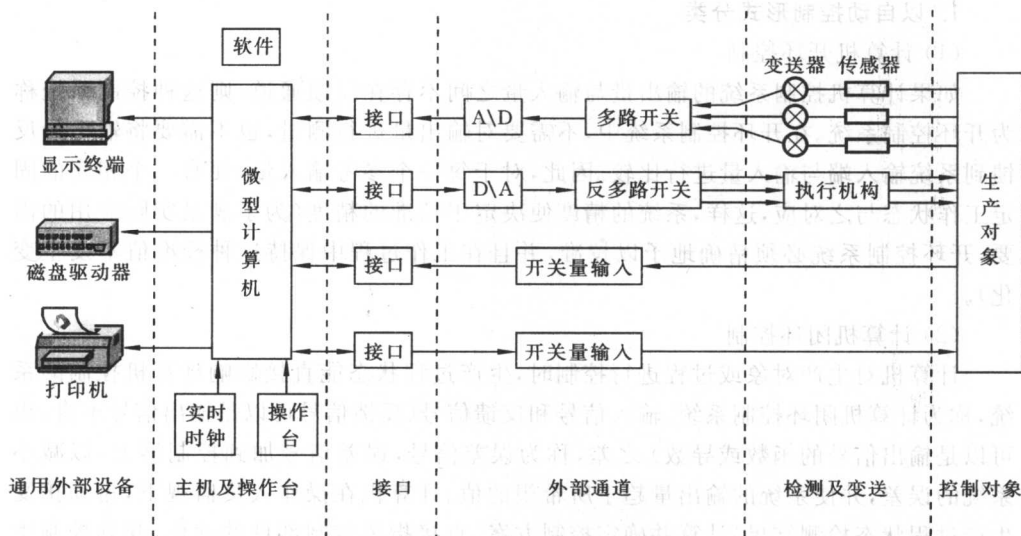


图 1-2 计算机控制系统的组成

设备将主机发出的控制命令转换成触点信号去启停设备。

3) 通信设备 现代化工业生产过程的规模一般比较大,对生产过程的控制和管理也很复杂,往往需要几台或几十台计算机才能分级完成。这样,在不同地理位置上的、不同功能的计算机或设备之间就需要通过通信设备进行信息交换。为此,需要把多台计算机或设备连接起来,构成计算机通信网络。此时,通信设备显得尤为重要。

4) 现场仪表 包括检测变送仪表、执行机构等,前者完成信号的检测、变换、放大和传送,即将生产过程中的各种物理量转换成计算机能够接收的电信号,后者完成计算机控制输出的任务。由于直接与生产过程连接,它们在计算机控制系统中占有重要的地位。本书没有涉及这方面的具体内容,需要时可查阅有关教材或手册。

5) 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。

6) 应用软件 应用软件是面向生产过程的程序,如A/D、D/A转换程序、数据采样程序、键盘处理程序、数字滤波程序、过程控制程序、显示程序、数据库管理系统等。应用软件大多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。本书将在以后各章中详细讲述这些程序的设计方法。

1.2.2 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,计算机控制系统具有各种各样的结构和形式。按照不同的划分方法,计算机控制系统的分类有三种方法:以自动控制形式分类,以参与控制的方式分类和以采用的控制规律分类。

1. 以自动控制形式分类

(1) 计算机开环控制

如果计算机控制系统的输出量与输入量之间不存在反馈通道,则这种控制系统称为开环控制系统。在开环控制系统中,不需要对输出量进行测量,也不需要将输出量反馈到系统输入端与输入量进行比较。因此,对于每一个参考输入量,便有一个相应的固定工作状态与之对应,这样,系统的精度便决定于校准的精度(为了满足实际应用的需要,开环控制系统必须精确地予以校准,并且在工作过程中保持这种校准值不发生变化)。

(2) 计算机闭环控制

计算机对生产对象或过程进行控制时,生产过程状态能直接影响计算机控制的系统,称为计算机闭环控制系统。输入信号和反馈信号(反馈信号可以是输出信号本身,也可以是输出信号的函数或导数)之差,称为误差信号,误差信号加到控制器上,以减小系统的误差,并使系统的输出量趋于所希望的值。计算机在操作人员监视下,自动接受生产过程状态检测结果,计算并确定控制方案,直接指挥控制部件的动作,起到控制生产过程的作用。

(3) 在线控制

只要计算机对受控对象或受控生产过程能够行使直接控制,不需要人工干预,那么这种系统就称为计算机在线控制或联机控制系统。

(4) 离线控制

控制计算机没有直接参与控制受控对象或受控生产过程,它只完成受控对象或受控过程的状态检测,并对检测的数据进行处理;而后制定出控制方案和输出控制指示,操作人员参考控制指示,人工手动操作使控制部件对受控对象或受控过程进行控制,这种控制系统称为计算机离线控制系统。

(5) 实时控制系统

实时的含义是指信号的输入、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控制,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。计算机一旦进行控制,就要求系统内各设备对来自生产过程的信息在规定的时间内作出反应或控制。实时的概念不能脱离具体过程,一个在线系统并不一定是实时系统,但是一个实时系统必定是一个在线系统。

2. 以参与控制的方式来分类

(1) 直接数字控制系统

直接数字控制(Direct Digital Control, DDC)系统的框图如图 1-3 所示,它是由控制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的。由于计算机发出的信号为数字量,故得名 DDC。实际上,受控生产过程的控制部件所接受的控制信号可以通过控制计算机的过程 I/O 通道中的 D/A 转换器将计算机输出的数字量转换成模拟量;输入的模拟

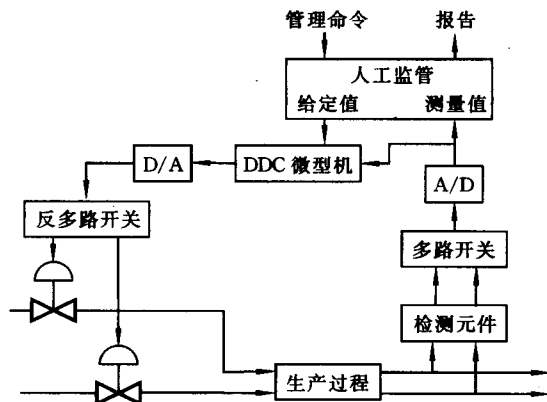


图 1-3 DDC 系统框图

量也要经控制计算机的过程 I/O 通道的 A/D 转换器转换成数字量进入计算机。

DDC 系统中常使用小型计算机或微型计算机的分时系统来实现多个点的控制。这种 DDC 系统已成为当前计算机控制系统的主要控制形式之一。DDC 系统的优点是灵活性好,集中控制可靠性高和价格便宜,能用数字运算形式对若干个回路甚至数十个回路的生产过程,进行比例-积分-微分(PID)控制,使工业受控对象的状态保持在给定值上,偏差小且稳定,而且只要改变控制算法和应用程序便可实现较复杂的控制,如前馈控制和最佳控制等。一般情况下,DDC 常作为更复杂的高级控制的执行级。

(2) 计算机监督控制系统

计算机监督控制(Supervisory Computer Control, SCC)系统的框图如图 1-4 所示。

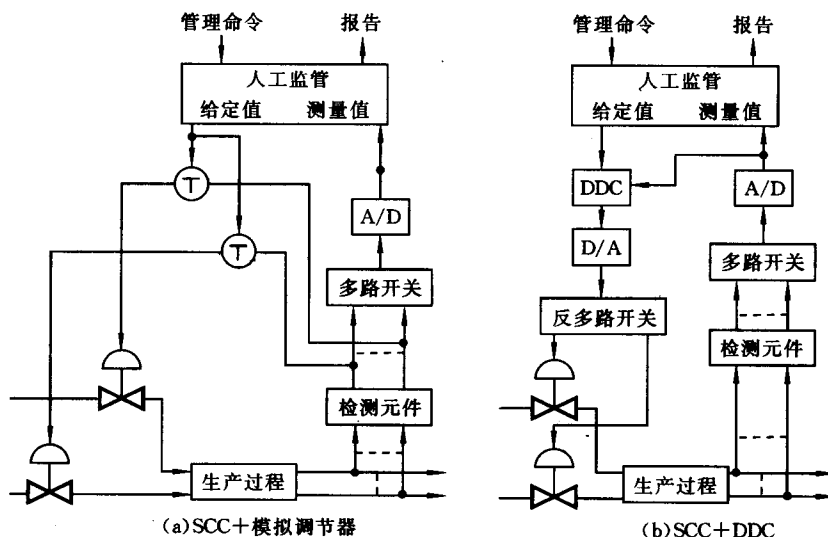


图 1-4 SCC 系统框图