



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

计算机控制工程

JISUANJI KONGZHI GONGCHENG

► 陈宗海 杨晓宇 王 雷 / 编著

中国科学技术大学出版社



普通高等教育“十一五”国家规划教材

计算机控制工程

陈宗海 杨晓宇 王 雷 / 编著



中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书共分 10 章,内容包括:计算机控制系统的一般概念、组成和分类;控制计算机结构和通道接口;采样与 z 变换定理;线性离散系统的描述与分析;计算机控制系统的模拟化设计法;计算机控制系统的离散化设计法;计算机控制系统的状态空间设计法;计算机复杂控制系统的设计;计算机分布控制系统简介;计算机控制系统应用举例。书中结合大量例题进行讲解,每章附有习题。

本书理论联系实际,突出理论、技术和应用的有机结合,并吸收了国内外计算机控制系统设计的最新技术成果。

本书可作为自动化类本科生以及相关专业研究生的教材或参考书,也可供相关科研技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制工程 / 陈宗海, 杨晓宇, 王雷编著. —合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008. 6

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 978-7-312-02114-5

I. 计… II. ① 陈… ② 杨… ③ 王… 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 104855 号

出版发行 中国科学技术大学出版社

安徽省合肥市金寨路 96 号, 邮编: 230026

<http://press.ustc.edu.cn>

印 刷 合肥晓星印刷有限责任公司

经 销 全国新华书店

开 本 710 mm×960 mm 1/16

印 张 25.25

字 数 520 千

版 次 2008 年 6 月第 1 版

印 次 2008 年 6 月第 1 次印刷

印 数 1—3 000 册

定 价 35.00 元

前 言

随着控制理论、自动化技术和计算机技术的飞速发展,计算机控制不仅在国防、航空航天等高精尖领域得到了广泛的应用,而且在现代化的工业、农业、科学技术以及医疗卫生等领域也发挥着重要的作用,且自身也随着相关技术的发展而不断发展。本书就是面向工程实践这一目标,将计算机控制的基础知识、技术方法、工程实践及发展动向有机结合起来,为自动化专业学生、教学与科研人员、工程技术人员以及想进入该领域的相关人员,提供全面的理论基础、技术方法和工程应用的知识准备和实践指导,是自动化类本科生以及相关专业的研究生全面掌握计算机控制的教材或参考书。

本书理论联系实际,突出理论、技术和应用的有机结合,是作者在多年教学和科研实践经验的基础上,吸收国内外计算机控制系统设计的最新技术编写而成的。全书共分 10 章。第 1 章是绪论,向读者介绍计算机控制系统的概念、组成、分类以及研究内容和发展趋势等,展现计算机控制系统的完整图像,使读者对计算机控制系统的各部分有一个全面系统的初步认识。第 2 章讨论控制计算机的结构、特点和接口通道技术,使读者明白计算机控制是计算机的一个很重要的应用领域,是随着电子、通信、自动控制、仪器仪表等相关领域的发展而发展的,展现计算机控制的工程特色以及在复杂的工程环境中应用的特点。第 3 章的主要内容为采样过程与采样定理, z 变换的定义、性质和定理, z 反变换以及用 z 变换求解差分方程等。从系统论和信息论的角度,阐明信号的处理与转换的手段、方法和原理,以及采样数字系统的数学工具 z 变换的概念、性质及其运用。第 4 章讲述线性离散系统的描述与分析。主要讨论线性离散系统的差分方程描述、 z 传递函数描述、权序列描述、离散状态空间描述及 4 种描述形式之间的转换以及线性离散系统的稳定性分析和误差分析等,全面展现计算机控制系统数学描述与分析的原理、技术手段以及工程实践中重点关心的问题,是计算机控制系统设计与应用的基础和必备的知识。第 5 章讨论计算机控制系统的模拟化设计法,主要内容包括模拟化设计法的概念、模拟控制器的近似离散化方法、数字 PID 控制器的设计、纯时延系统的计算机控制等。从计算机控制连续对象构成混合信号系统的特点出发,介绍将经典连续控制器设计方法引入数字控制器设计的思路、方法和设计过程,并着重对在工业控制中占主导地位的 PID 控制器的设计和改进进行了介绍。第 6 章讨论计算机控制系统的离散化设计法,讲述离散化设计的基本步骤,最小拍控制系统的设计及基于对象特性和抗干扰、无振荡等要求的改进设计,极点配置设计,输出最小方差设计以及基于伯德(Bode)图与根轨迹的设计法等。强调

在离散域设计控制器的技术方法和工程设计要求。第7章阐述计算机控制系统的状态空间设计法,内容包括以状态空间为基础的输出反馈设计法、极点配置设计方法以及二次型性能指标最优控制的设计方法。展现近代控制方法作为控制器设计的一些优点,如基于状态空间设计方法,可以按照给定的性能指标设计控制器,而不必根据特定的输入函数进行设计,且可以包含初始条件等,体现控制理论的发展。第8章介绍计算机复杂控制系统的设计,在前面介绍的简单反馈计算机控制的基础上,根据实际工程对象的特性和要求,再引入计算单元、调节单元或其他控制单元构成计算机控制系统,例如串级控制、前馈控制、解耦控制、均匀控制和比值控制等,需要包含两台以上调节器或执行机构以实现复杂的控制规律的复杂规律的计算机控制系统的设计,以提高控制品质,扩大自动化应用范围。第9章对计算机分布式控制系统进行了简单介绍,内容包括DCS的组成、结构和特点以及DCS面临的挑战和发展方向。最后一章为计算机控制系统的应用举例。

本书的第2章、第3章是由杨晓宇工程师执笔完成的,第6章、第7章是由王雷副教授执笔完成的。在本书的整理过程中,我的博士生李明、刘新天、张海涛、向微等都做了大量的工作,在此一并表示诚挚的谢意。另外,在写作本书的过程中,参阅了一些国内外著作和资料,有的还引用了其中的部分内容,谨向有关作者表示衷心的感谢!

这是一本讲述计算机控制系统的相关理论、技术和应用方面内容的教材和参考书,书中在材料取舍、编排和叙述上的偏颇、不当甚至错误都会存在,在此敬请指正。

陈宗海

2007年5月8日

目 录

前言	(I)
第 1 章 绪论	(1)
1.1 计算机控制系统的一般概念	(1)
1.2 计算机控制系统的组成	(3)
1.2.1 被控对象	(3)
1.2.2 执行器	(5)
1.2.3 测量环节	(5)
1.2.4 数字调节器与输入、输出接口	(6)
1.3 计算机控制系统的分类	(8)
1.3.1 数据采集与处理系统	(8)
1.3.2 直接数字控制	(9)
1.3.3 集散控制系统	(10)
1.3.4 多级递阶控制系统	(11)
1.4 计算机控制的研究范围和发展趋势	(12)
习题	(12)
第 2 章 控制计算机的结构和通道接口	(13)
2.1 控制计算机的结构及特点	(13)
2.1.1 控制计算机结构	(13)
2.1.2 控制计算机总线	(15)
2.1.3 控制计算机的特点	(19)
2.2 接口和通道技术	(19)
2.2.1 计算机对外围通道的控制	(20)
2.2.2 模拟量的输入输出通道	(26)
2.2.3 数字量的输入输出通道	(31)
2.2.4 A/D、D/A 转换器及其接口技术	(34)
2.2.5 抗干扰技术	(40)
习题	(49)
第 3 章 采样与 z 变换定理	(50)
3.1 采样过程与采样定理	(50)
3.1.1 采样过程	(50)

3.1.2	采样定理及其分析	(52)
3.1.3	采样保持结构	(56)
3.1.4	采样频率的选取	(62)
3.2	z 变换的定义、性质和定理	(64)
3.2.1	z 变换的定义	(64)
3.2.2	z 变换的性质和定理	(72)
3.3	z 反变换	(87)
3.4	用 z 变换求解差分方程	(93)
习题		(95)
第 4 章	线性离散系统的描述与分析	(98)
4.1	线性离散系统的差分方程描述	(98)
4.2	z 传递函数	(100)
4.2.1	z 传递函数的定义	(100)
4.2.2	由系统的差分方程求其 z 传递函数	(101)
4.2.3	一般环节的 z 传递函数的计算	(102)
4.3	离散状态空间表达式	(112)
4.3.1	状态变量与状态空间表达式	(112)
4.3.2	由差分方程求离散状态空间表达式	(114)
4.3.3	由 z 传递函数求离散状态空间表达式	(118)
4.3.4	线性离散系统的 z 传递矩阵	(126)
4.3.5	线性离散系统的 z 特征方程	(127)
4.3.6	关于状态实现的进一步讨论	(128)
4.3.7	计算机控制系统的离散状态空间表达式	(129)
4.3.8	线性离散状态方程的求解	(133)
4.4	线性离散系统的稳定性分析	(136)
4.4.1	离散系统稳定性条件	(136)
4.4.2	s 平面与 z 平面的映射关系	(138)
4.4.3	线性离散系统的稳定性判据	(139)
4.5	离散系统的误差分析	(156)
4.5.1	对参考输入的静态系统误差	(156)
4.5.2	离散系统的静态误差与对应的连续系统的关系	(159)
4.5.3	离散系统误差级数和对应的动态误差系数	(161)
4.5.4	对于干扰输入的静态系统误差	(162)
习题		(163)
第 5 章	计算机控制系统的模拟化设计法	(168)

5.1	模拟化设计与离散化设计	(168)
5.2	模拟控制器的近似离散化	(170)
5.2.1	基于脉冲响应的方法	(170)
5.2.2	基于变量代换的方法	(172)
5.2.3	设计举例	(178)
5.3	数字 PID 控制器的设计	(182)
5.3.1	数字 PID 控制器	(182)
5.3.2	数字 PID 控制的改进算法	(184)
5.3.3	数字 PID 控制器参数的选择	(188)
5.4	纯时延系统的计算机控制	(192)
5.4.1	大林控制器	(193)
5.4.2	Smith 控制器	(195)
	习题	(200)
第 6 章	计算机控制系统的离散化设计法	(202)
6.1	离散化设计的基本步骤	(202)
6.2	最小拍控制系统的设计	(203)
6.2.1	最小拍系统设计准则	(203)
6.2.2	最小拍有纹波系统 $\phi(z)$ 的确定方法	(204)
6.2.3	最小拍有纹波系统响应特性	(211)
6.3	最小拍无纹波系统的设计	(214)
6.3.1	最小拍无纹波系统的必要条件	(214)
6.3.2	最小拍无纹波系统 $\phi(z)$ 的确定方法	(214)
6.3.3	最小拍无纹波系统的响应特性	(217)
6.4	改进的最小拍设计	(219)
6.4.1	数字控制器的切换设计	(219)
6.4.2	折中设计法	(220)
6.4.3	最小均方误差设计	(221)
6.5	具有干扰的最小拍系统设计	(223)
6.5.1	最小拍系统对干扰的抑制性	(224)
6.5.2	复合控制系统设计	(226)
6.6	极点配置设计	(228)
6.6.1	简单反馈控制系统的极点配置设计	(228)
6.6.2	前馈、反馈结构的极点配置设计	(231)
6.7	输出最小方差控制系统设计	(235)
6.7.1	设计问题的描述	(236)

6.7.2	输出最小方差控制	(237)
6.7.3	对象具有单位圆外零点的最小方差控制	(239)
6.8	伯德图与根轨迹设计法	(242)
6.8.1	数字控制器的伯德图设计法	(242)
6.8.2	数字控制器的根轨迹设计法	(246)
	习题	(249)
第7章	计算机控制系统的状态空间设计法	(253)
7.1	输出反馈设计法	(253)
7.1.1	连续状态方程的离散化	(254)
7.1.2	最小拍系统的跟踪条件	(254)
7.1.3	输出反馈法的设计步骤	(255)
7.2	基于状态空间的极点配置设计	(260)
7.2.1	状态反馈极点配置设计	(260)
7.2.2	按极点配置设计状态观测器	(268)
7.2.3	用观测状态反馈的控制器设计	(273)
7.3	基于状态空间的最优化设计	(277)
7.3.1	LQ 最优控制设计	(277)
7.3.2	状态最优估计器设计	(283)
7.3.3	LQG 最优控制器设计	(289)
	习题	(291)
第8章	计算机复杂控制系统的设计	(294)
8.1	串级控制系统	(294)
8.1.1	串级控制系统的组成和工作原理	(294)
8.1.2	串级控制系统的功能和特点	(296)
8.1.3	串级控制系统的应用范围	(300)
8.1.4	串级控制的设计和实施中的一些问题	(301)
8.1.5	计算机串级控制系统	(302)
8.1.6	串级控制系统的设计原则	(305)
8.1.7	多回路串级控制系统	(305)
8.2	前馈控制系统	(306)
8.2.1	前馈控制的原理	(306)
8.2.2	前馈控制系统设计中的若干问题	(312)
8.2.3	计算机前馈控制系统	(314)
8.2.4	前馈控制系统设计原则	(316)
8.2.5	前馈调节器参数的整定	(316)

8.3	解耦控制	(319)
8.3.1	解耦控制原理	(319)
8.3.2	解耦控制系统的设计	(320)
8.3.3	计算机解耦控制	(324)
8.4	比值控制和分程控制	(328)
8.4.1	比值控制系统	(328)
8.4.2	分程控制系统	(331)
8.5	均匀控制和选择性控制	(333)
8.5.1	均匀控制	(333)
8.5.2	选择性控制	(335)
8.6	模糊控制	(337)
8.6.1	模糊控制的数学基础	(337)
8.6.2	模糊控制基本原理	(340)
8.6.3	模糊控制器的设计	(345)
	习题	(347)
第9章	计算机分布式控制系统简介	(349)
9.1	DCS 的结构与组成	(349)
9.2	DCS 的操作站和工程师站	(351)
9.2.1	操作站	(351)
9.2.2	工程师站	(351)
9.3	DCS 的控制站和监视站	(354)
9.3.1	参数控制	(354)
9.3.2	状态控制	(356)
9.3.3	数据监测	(356)
9.4	DCS 的数据通信	(358)
9.4.1	数据通信网络的拓扑结构	(358)
9.4.2	数据通信网络的控制	(359)
9.4.3	数据通信网络的组成	(360)
9.4.4	局域网络通信协议	(361)
9.5	DCS 面临的挑战及发展方向	(365)
	习题	(366)
第10章	计算机控制系统的应用举例	(368)
10.1	控制对象 1: 齐鑫实验装置	(368)
10.1.1	控制系统外观图	(368)
10.1.2	控制软件介绍	(369)

10.1.3	带冷水夹套热水锅炉的温度控制	(374)
10.1.4	入水点压力控制	(375)
10.1.5	基于 Laguerre 函数的协调优化过程控制系统介绍	(377)
10.2	控制对象 2: 半导体高温扩散炉温度控制	(382)
10.2.1	扩散炉及其计算机控制简介	(382)
10.2.2	基于 Laguerre 函数的扩散炉温度控制	(383)
10.3	控制对象 3: 有机玻璃双容水箱	(385)
10.3.1	双容水箱的结构及使用	(385)
10.3.2	双容水箱计算机控制系统软件介绍	(386)
10.3.3	水箱级联单输入单输出液位控制	(388)
10.3.4	水箱双输入双输出液位控制	(389)
参考文献		(391)

第 1 章 绪 论

随着计算机的发展与普及,自动控制技术在工农业生产、科学技术和国防建设等领域中已获得了广泛的应用。而且随着科学技术的进步,人们越来越多地用计算机来实现控制系统,因此,充分理解计算机控制系统是十分重要的。计算机控制是以自动控制理论与计算机技术为基础的,并随着计算机技术、先进控制策略、总线仪表和网络技术的发展,其技术水平在不断提高。

本书的目的在于介绍与计算机控制系统分析和设计有关的基本原理、基本方法,并结合面向工程实践这一最终目标,将计算机控制的基础知识、技术方法、工程实践及发展动向有机结合起来,为自动化专业学生、教学与科研人员、工程技术人员以及想进入该领域的相关人员,提供全面的理论基础、技术方法、工程应用的知识准备和实践指导。

本章主要介绍计算机控制系统的一般概念、计算机控制系统的组成以及计算机控制系统的分类、研究现状及发展前景,展现计算机控制系统的完整图像,使读者对计算机控制系统有一个全面系统的初步认识。

1.1 计算机控制系统的一般概念

所谓计算机控制系统是指各种各样以计算机作为主要组成部分的控制系统,针对连续过程系统的反馈控制,可以用数字计算机来实现控制器或校正网络,它可以用图 1.1 来简要地描述。其中被控对象的输出 $y(t)$ 是连续时间信号, A/D 转换器以采样周期 T 对其进行采样并产生测量序列 $\{y(k)\}$ 。计算机将根据某种算法处理

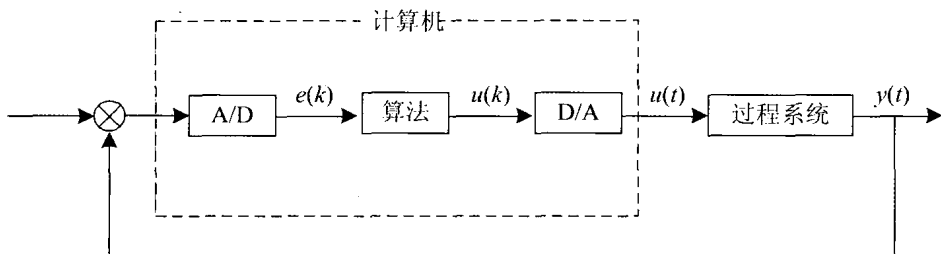


图 1.1 计算机控制系统简图

$\{y(k)\}$,进而给出控制信号序列 $\{u(k)\}$,再用 D/A 转换器将 $\{u(k)\}$ 转换成模拟信号 $u(t)$ 。可见,连续对象的计算机控制系统既含有连续时间信号,也含有采样信号(即离散时间信号),传统上把这类系统称为采样数字系统或者混合系统。不同类型的信号混合在一起,有时会引起麻烦。但是在大多数情况下,只描述系统在采样时刻的行为就足够了。这时我们感兴趣的仅仅是离散时间点上的信号,这类系统被称为离散时间系统。离散时间系统是用来处理数值序列的,所以表示这类系统的一种天然方法就是采用差分方程。正因为计算机控制系统在预先规定的离散时间点上采样数据,形成离散时间序列信号,故我们通常应将时间序列信号变换到 z 域中加以分析和处理。

计算机控制系统中的控制器是由计算机的控制算法程序实现的,被控参数的数据采集的 A/D 转换器和控制器输出的 D/A 转换器都只能是周期性工作,因此控制系统引入计算机之后就成为离散时间控制系统。其工作过程可以用图 1.2 表示。从本质上看,其工作原理可归纳为以下 3 个步骤:

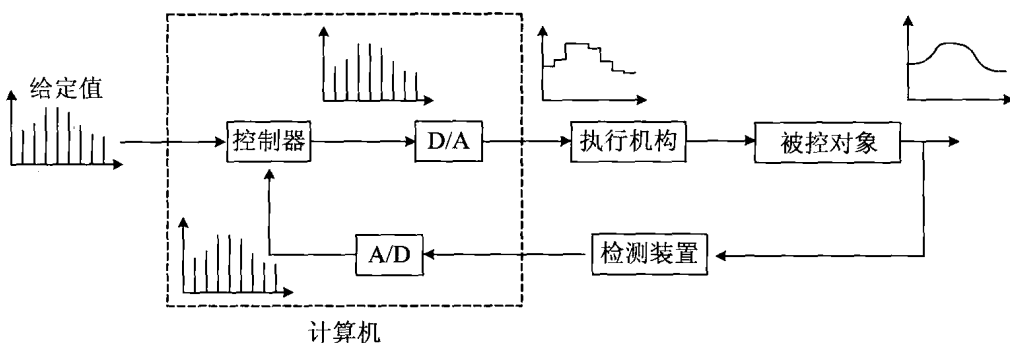


图 1.2 计算机控制系统工作过程示意图

(1) 实时数据采集:对来自测量变送装置的被控参数的瞬时值进行检测、采样、转换并输入计算机中。

(2) 实时控制决策:对采集到的表征被控参数的状态量进行分析,并按预先规定的控制规律进行计算,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指令信号,以便完成相应的控制任务。

计算机控制系统就是不断地重复上面 3 个步骤,使整个系统按一定的品质指标进行工作,并对被控参数和设备本身出现的异常状态还能进行监督和及时做出处理。控制过程的 3 个步骤对计算机来说实际上只是执行算术、逻辑运算和输入输出操作。

这里的“实时”是指,信号的输入、计算和输出都是在一定的时间范围内完成,亦即计算机对输出的信息以足够快的速度进行处理,并在一定的时间内做出反应或进行控制。实时性指标取决于下列时间延时:检测仪表延时、过程输入(A/D)延时、计

算机运算延时、数据传输(D/A)延时等。

1.2 计算机控制系统的组成

对于模拟控制系统,其典型结构可以用如图 1.3 所示的单位负反馈控制的框图来表示,它是由被控对象、测量环节、调节器和执行器构成的输出反馈控制系统,调节器的作用是使被控参数跟踪给定值。

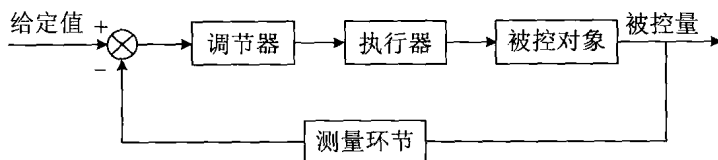


图 1.3 典型的连续控制系统

输出反馈计算机控制系统的结构与典型的连续系统十分相似,只是调节器由数字计算机来实现。数字计算机只在特定的间断时间点上采集、接收和处理数据,因此,针对连续被控对象,为了信号的匹配和工程实践的需要,数字计算机的输入、输出两侧分别有多路开关、采样保持器、A/D 转换器、D/A 转换器和保持器,以实现系统的正常工作。其结构示意如图 1.4 所示。

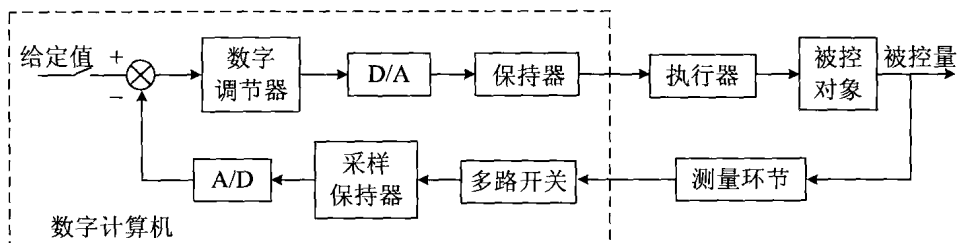


图 1.4 输出反馈计算机控制系统

下面就计算机控制系统的各基本组成部分作简略的介绍。

1.2.1 被控对象

被控对象是指系统所要控制的设备、装置或过程。在传统的基于模型的控制系统中,线性连续被控对象采用传递函数来表征时,其特性可以用 4 个量来描述,它们是:放大系数 K , 惯性时间常数 T_m , 积分时间常数 T_i 和纯滞后时间 τ 。

线性连续被控对象的传递函数就其形式而言,可以归纳为以下 4 类:

① 放大环节

$$G(s) = K \quad (1-1)$$

② 惯性环节

$$G(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1) \cdots (T_ns + 1)} \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (1-2)$$

当 $T_1 = T_2 = \cdots = T_n = T_m$ 时,

$$G(s) = \frac{K}{(T_ms + 1)^n} \quad (n = 1, 2, \dots)$$

③ 积分环节

$$G(s) = \frac{K}{T_is^n} \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (1-3)$$

④ 滞后环节

$$G(s) = e^{-\tau s} \quad (1-4)$$

实际的被控对象可能是上述各类环节的部分或全部的串联、并联或反馈连接而成。例如,一阶惯性加纯滞后的被控对象,就是惯性环节和纯滞后环节串联而成。

$$G(s) = \frac{K}{(T_ms + 1)} e^{-\tau s} \quad (1-5)$$

而描述定量泵的传递函数可表示为

$$G(s) = \frac{K}{(T_is)} e^{-\tau s} \quad (1-6)$$

它是积分环节与滞后环节的串联。

然而,被控对象经常会受到环境中的各种扰动的影响,如果这些扰动是可建模的,为了分析方便,可以把对象的特性分解为控制通道和扰动通道来描述,如图 1.5 所示。

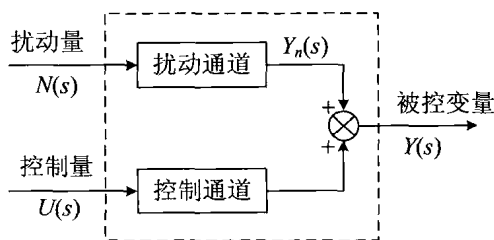


图 1.5 被控对象的扰动通道和控制通道

上面所介绍的被控对象的形式都是只有一个输入量 $U(s)$ 和一个输出量 $Y(s)$, 我们把它称为单输入单输出(SISO)对象。但实际系统中很多对象并非如此简单,往往是多输入多输出的,如图 1.6 所示,1.6(a)为多输入单输出(MISO)的对象,1.6(b)为多输入多输出(MIMO)的对象。

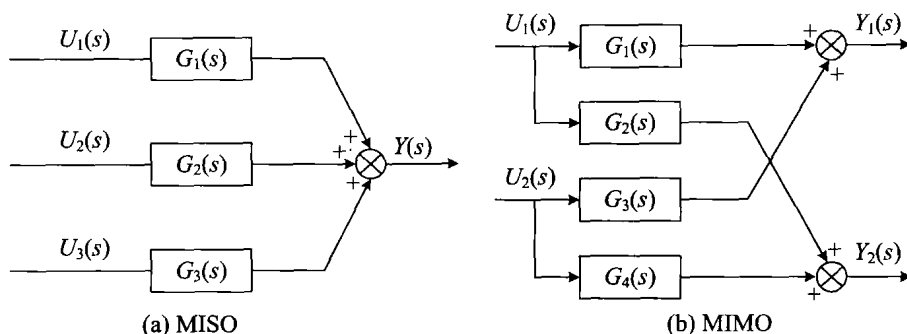


图 1.6 被控对象的输入与输出

1.2.2 执行器

执行器在控制系统中起着极为重要的作用,控制品质与执行器的选择和使用有着十分密切的关系。

执行器是由执行机构与调节机构两部分组成。执行机构把调节器输出信号转换成直线位移或角位移,有气动、电动和液动 3 类。调节机构把直线位移或角位移转换成流通截面积的变化,从而改变操作变量的值。调节机构的类型很多,包括直通阀、角阀、三角阀、球形阀、阀体分离阀、隔膜阀、蝶阀、高压阀和套筒阀等。

气动调节阀有气开与气关类型。气开型是输入气压越高开度越大,而在失气时将关闭,故称 FO(false open)型;气关型是输入气压越低开度越大,而在失气时将全开,故称 FC(false close)型。气开与气关的选择主要以失气时仍能保证生产安全为标准。

电动执行器的输入有连续信号和非连续信号两种,连续信号一般为 4~20 mA 的电流信号,非连续信号一般为电磁的开关信号。

1.2.3 测量环节

测量环节包括检测元件(传感器)和变送器。检测元件及变送器的作用,是把工艺变量检测出来,转换成气或电信号,送往显示或控制仪表。在计算机控制系统中是将该信号送给 A/D 转换器。在单元组合仪表中,变送器的输出信号是电、气标准信号,如 0~10 mA,4~20 mA 或 0.2~1.0 kgf/cm² 等。其工作原理如图 1.7 所示。

在工业过程控制中,常见的被控变量有压力、流量、温度、液位及物性和成分变量等,加之有各式各样的测量范围和使用环境,检测元件和变送器的类型极为繁多。一般来说,选择测量环节的原则可表述为:

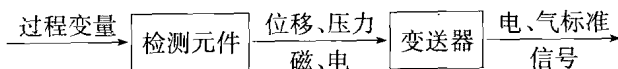


图 1.7 测量环节的原理构图

- ① 在测量精度、测量范围上符合要求；
- ② 性能稳定可靠，重复性好；
- ③ 尽可能选择线性度好、线路简单、灵敏度高的检测元件；
- ④ 电源种类尽量少，电源电压尽量规范化。

1.2.4 数字调节器与输入、输出接口

随着计算机技术、通讯技术的发展，数字计算机已成为数字调节器的核心。其中数字调节器的控制规律是由计算机程序来实现的，而作为输入通道的多路开关、采样保持器、模-数转换器(ADC)，输出通道的保持器、数-模转换器(DAC)等都是以板式结构插接在计算机系统的总线上。

1. 模-数转换器(ADC)

ADC 实现模拟信号的采样、模拟数据保持及量化编码的功能。用框图表示如图 1.8。

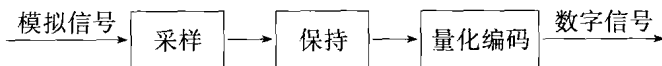


图 1.8 ADC 的示意图

2. 控制算法

一个控制用计算机，可能承担多方面的任务，而所用于非控制方面的机时甚至可能大大超过控制所用的机时。在计算机控制系统中数字调节器的控制规律是一个算法程序，计算机通过执行算法程序来实现

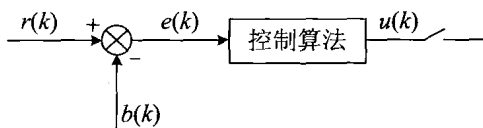


图 1.9 数字调节器实现的示意图

对被控对象的控制。在反馈控制系统中，计算机对控制信号的作用可描述为：
① 对输入数字信号和反馈数字信号进行比较，求得误差 $e(k)$ ；
② 根据控制方案来加工误差信号，以得到反映控制作用大小

的数字信号。故可以表示成图 1.9 所示的结构。