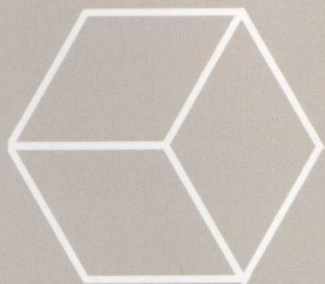




普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高职高专计算机系列规划教材

# 计算机控制技术 (第2版)

俞光昀 主编 吴一锋 季菊辉 副主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高职高专计算机系列规划教材

# 计算机控制技术

(第2版)

俞光昫 主编

吴一锋 季菊辉 副主编

ISBN 978-7-121-02474-7  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
计算机控制技术(第2版) 俞光昫主编  
2008.1 北京:电子工业出版社, 2008.3

中国图书馆CIP数据核字(2007)第184039号  
I. 计... II. 俞... III. 计算机控制—高等学校—教材. IV. TP232

责任编辑: 曹

责任印制: 刘

印刷: 苏州市南印

发行: 苏州市教育出版

电子工业出版社

北京市海淀区长春路173信箱 邮编: 100036

开本: 787×1092 1/16 印张: 14.3 字数: 371千字

印次: 2008年3月第1次印刷

印数: 4000册 定价: 30.00元

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

林慧敏 张燕虹 俞光均 “十一五” 普通高等教育

## 内 容 简 介

本书以微控制器在智能化测量和自动控制中的应用为主线,概要地介绍了连续控制系统和微机测控系统的工作原理和基本结构,从应用的角度介绍了测控系统中主要使用的传感器和执行器,循序渐进地介绍了微机测控系统的输入/输出技术、数据处理和抗干扰技术、常用的控制算法和控制参数整定技术,以及可编程序控制器的工作原理和应用技术,还介绍了微机测控系统的最新发展。本书列举了不同领域中使用的微机测控系统实例,供不同行业的读者学习。本书编写过程中尽量避免复杂的数学推导和理论分析,着重于实际的可应用性。

本书适合初学自动控制原理及其相关知识的计算机应用、机电一体化、电气、机械及医疗仪器等专业的学生使用,也可供从事微机应用或自动化工作的工程技术人员参考。

(刘 兰 策)

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

计算机控制技术/俞光均主编. —2版. —北京:电子工业出版社,2008.3  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高职高专计算机系列规划教材  
ISBN 978-7-121-05474-7

I. 计… II. 俞… III. 计算机控制—高等学校:技术学校—教材 IV. TP273  
中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第184039号

策划编辑:吕 迈

责任编辑:张燕虹 刘 凡

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

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:14.5 字数:371千字

印 次:2008年3月第1次印刷

印 数:4000册 定价:20.00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。

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

服务热线:(010)88258888。

# 前 言

本教材由高职高专计算机教材编委会征稿，经中国计算机学会教育委员会高职高专教育学组评审推荐，由电子工业出版社出版。

本教材共分 10 章，以微处理器在测量控制中的应用技术为中心，介绍了组成微机测控系统的各个环节。在选材上考虑了适应性（非自控专业读者）、实用性、系统性和完整性。第 1~3 章介绍了自动控制系统的基本知识和测控系统中使用的传感器和执行器，目的是为非自动控制系统专业的读者提供有关测量和控制方面的必要知识，包括自动控制系统的工作原理、被控对象的特性及一般分析、对计算机控制系统的基本要求、控制系统的分类、传感器和执行器的原理和应用等。第 4~9 章介绍了开发微机测量控制系统所需的各种技术，包括微机测量控制系统输入/输出技术、数据处理技术、抗干扰技术、PID 控制技术，以及可编程程序控制器、集散系统和 CIMS 系统简介等。第 10 章介绍了微机测控系统设计的原则与步骤，还列举了由单片机、PLC 组成的微机测控系统实例，并介绍了数控机床的基本原理。本教材在编写过程中，注重物理概念的叙述，避免复杂的数学推导，力求做到突出重点、通俗易懂、注重实用。

本教材由南京师范大学俞光昀担任主编，由吴一峰、季菊辉担任副主编。第 2 章、第 3 章、第 7 章由吴一峰编写，第 5 章、第 6 章、第 9 章由季菊辉编写，第 1 章、第 4 章、第 8 章、第 10 章由俞光昀编写。全书由俞光昀统一编排定稿。南京航空航天大学顾宝根教授担任本书主审，他认真仔细阅读了作者的初稿，提出了许多宝贵的修改意见，编者对顾教授的热情帮助和指导表示诚挚的感谢。

本教材在编写过程中，吸取了许多兄弟院校计算机控制技术教材的优点，得到了许多老师的帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，错误和不足之处在所难免，敬请同行和读者批评指正。

编 者

# 目 录

<b>第 1 章 计算机控制系统概述</b> .....	1
1.1 自动控制系统的工作原理 .....	1
1.1.1 自动控制的任務 .....	1
1.1.2 反馈控制系统工作原理 .....	1
1.1.3 反馈控制系统的组成 .....	2
1.1.4 自动控制系统的类型 .....	3
1.2 被控对象的特性 .....	4
1.2.1 被控对象特性的类型 .....	4
1.2.2 被控对象特性的一般分析 .....	6
1.3 对控制系统的基本要求 .....	10
1.3.1 控制系统典型外作用函数 .....	10
1.3.2 闭环控制系统的过渡过程 .....	12
1.3.3 闭环控制系统的控制指标 .....	12
1.3.4 计算机控制系统的综合控制指标 .....	13
1.4 计算机控制系统组成和分类 .....	14
1.4.1 计算机控制系统一般概念 .....	14
1.4.2 计算机控制系统的硬件组成 .....	14
1.4.3 计算机控制系统软件组成 .....	16
1.4.4 计算机控制系统的分类 .....	16
本章小结 .....	21
练习 1 .....	22
<b>第 2 章 传感器</b> .....	23
2.1 传感器概述 .....	23
2.1.1 传感器的作用及组成 .....	23
2.1.2 传感器分类 .....	23
2.1.3 对传感器的主要技术要求 .....	24
2.1.4 不同领域使用的传感器 .....	24
2.1.5 用于机器人的传感器 .....	25
2.1.6 家用设施所需传感器 .....	26
2.1.7 医疗卫生保健领域使用的主要传感器 .....	26
2.2 机械量传感器 .....	27
2.2.1 压电传感器 .....	27

2.2.2	电感式接近传感器	29
2.2.3	光栅位移传感器	31
2.3	热工量传感器	34
2.3.1	集成温度传感器	34
2.3.2	高分子材料湿度传感器	37
2.3.3	涡流流量传感器	40
2.4	光传感器	42
2.4.1	光电式传感器	42
2.4.2	红外光传感器	51
2.4.3	紫外线传感器	53
2.5	其他传感器	55
2.5.1	气敏传感器	55
2.5.2	超声波传感器	57
2.5.3	霍尔传感器	58
	本章小结	60
	练习 2	61
<b>第 3 章</b>	<b>执行器</b>	<b>62</b>
3.1	执行器概述	62
3.1.1	执行器应具备的主要技术特征	62
3.1.2	执行器的分类及特点	62
3.2	气动执行器	63
3.2.1	气动执行器的基本结构和工作原理	63
3.2.2	气动执行器与计算机的连接	64
3.3	电动执行器	64
3.3.1	伺服电动机	64
3.3.2	步进电动机	66
3.3.3	调节阀	68
3.3.4	电磁阀	69
3.3.5	固态继电器	69
3.4	液压执行器	72
3.5	防火、防爆和手动/自动、无扰动切换	73
3.5.1	防爆栅	73
3.5.2	手动/自动、无扰动切换	74
	本章小结	75
	练习 3	75
<b>第 4 章</b>	<b>计算机过程输入/输出技术</b>	<b>77</b>
4.1	模拟量输入通道	77
4.1.1	输入信号的处理	77

4.1.2	模拟多路开关	80
4.1.3	程控增益放大器	82
4.1.4	采样和采样定理	87
4.1.5	A/D 转换器及其和微处理器的连接	91
4.2	模拟量输出通道	96
4.2.1	模拟量输出通道的结构形式	96
4.2.2	单片 D/A 转换器和 CPU 的连接	97
4.2.3	D/A 转换器的输出方式	100
4.2.4	D/A 转换模板的通用性	101
4.3	开关量输入/输出通道	102
4.3.1	数字量输入接口	102
4.3.2	数字量输出通道	103
	本章小结	103
	练习 4	104
<b>第 5 章</b>	<b>数据处理技术</b>	<b>105</b>
5.1	数字滤波	105
5.1.1	惯性滤波法	105
5.1.2	算术平均值滤波法	107
5.1.3	加权平均滤波法	108
5.1.4	中值滤波法	109
5.1.5	防脉冲干扰平均值法 (复合滤波法)	110
5.1.6	滑动平均滤波法	110
5.1.7	程序判断滤波法	111
5.2	标度变换与线性化处理	112
5.2.1	标度变换	112
5.2.2	线性化处理	112
5.3	查表技术	116
5.3.1	顺序查表法	116
5.3.2	折半查表法	117
5.3.3	计算查表法	117
5.4	报警处理	117
5.4.1	越限报警处理	117
5.4.2	声光和语音报警	119
	本章小结	123
	练习 5	123
<b>第 6 章</b>	<b>微机测控系统抗干扰技术</b>	<b>124</b>
6.1	干扰的来源和传播途径	124
6.1.1	干扰的种类	124

08	6.1.2 干扰传播途径	125
58	6.2 干扰抑制的基本原则	125
78	6.3 干扰抑制技术	126
10	6.3.1 电源系统的抗干扰措施	126
82	6.3.2 接地系统的抗干扰措施	128
82	6.3.3 I/O 接口的抗干扰措施	131
72	6.3.4 输入/输出传输线的抗干扰措施	134
001	6.3.5 静电和电磁干扰的抑制	137
101	6.3.6 软件抗干扰措施	138
501	本章小结	140
501	练习 6	140
	<b>第 7 章 数字 PID 控制</b>	142
701	7.1 数字 PID 控制算法	142
101	7.1.1 连续控制系统的 PID 控制规律	142
201	7.1.2 位置式 PID 算式	143
701	7.1.3 增量式 PID 算式	144
201	7.1.4 PID 程序设计时应考虑的若干问题	145
701	7.2 积分饱和及其抑制	146
801	7.2.1 积分饱和的原因及其影响	146
601	7.2.2 积分饱和的抑制	146
011	7.3 数字 PID 算法的改进	148
011	7.3.1 对微分项的改进	148
111	7.3.2 带死区的 PID 算式	150
511	7.3.3 给定值突变时的改进算法	151
511	7.3.4 砰砰—PID 复合控制	151
514	7.4 PID 调节器参数整定与在线修改	151
811	7.4.1 扩充临界比例度法	152
811	7.4.2 PID 参数的在线修改	152
711	本章小结	153
711	练习 7	153
	<b>第 8 章 可编程序控制器</b>	155
711	8.1 PLC 的工作原理与硬件组成	155
811	8.1.1 PLC 的基本组成部件	155
851	8.1.2 可编程序控制器的特点	156
851	8.1.3 可编程序控制器的应用	156
851	8.1.4 PLC 的工作原理	157
851	8.1.5 PLC 的硬件	158
851	8.2 PLC 的编程语言及软件设计	159



8.2.1	梯形图编程语言	159
8.2.2	顺序功能图编程	166
8.3	可编程序控制器控制注塑机	168
8.3.1	注塑机的工艺流程	168
8.3.2	确定 I/O 点及分配 I/O 地址	169
8.3.3	控制系统梯形图	170
8.3.4	梯形图指令表	171
	本章小结	172
	练习 8	172
<b>第 9 章 集散系统和 CIMS 系统简介</b>		174
9.1	集散系统	174
9.1.1	系统的主要特点	174
9.1.2	基本组成部件	175
9.1.3	DCS 的结构特点	176
9.1.4	DCS 的体系结构	177
9.1.5	典型 DCS 系统简介	178
9.2	计算机集成制造系统 (CIMS) 简介	180
9.2.1	CIMS 追求生产活动的整体优化	180
9.2.2	CIMS 的组成	181
9.2.3	CIMS 的基础技术	182
9.2.4	CIMS 结构	184
	本章小结	186
	练习 9	186
<b>第 10 章 微机测控系统实例</b>		187
10.1	微机测控系统设计的原则与步骤	187
10.1.1	系统设计的基本原则	187
10.1.2	系统设计步骤	188
10.2	带 LED 显示和 4×4 键盘的 4 通道电压表	190
10.2.1	系统硬件电路	190
10.2.2	程序框图	192
10.2.3	参考程序	194
10.3	基于 PIC16 单片机的空调控制系统	205
10.3.1	控制器原理	205
10.3.2	硬件设计	206
10.3.3	软件设计	208
10.4	高档 PLC 电厂输煤程控系统	208
10.4.1	系统要求	208
10.4.2	PLC 选择	209

152	10.4.3 系统结构 .....	209
152	10.4.4 上位机 .....	209
158	10.4.5 系统组态图 .....	210
158	10.5 数控机床 .....	211
159	10.5.1 车床数字控制器的主要任务 .....	211
170	10.5.2 逐点比较法插补原理 .....	212
171	10.5.3 数字控制中其他一些重要概念 .....	215
172	本章小结 .....	218
172	练习 10 .....	218
174	参考文献 .....	219
174	1.1 数控系统 .....	1.1.1 数控系统的主要特点 .....
174	1.1.2 数控系统的组成 .....	1.1.3 DCS 的组成 .....
176	1.1.4 DCS 的体系结构 .....	1.1.5 典型 DCS 系统的组成 .....
177	1.2 计算机集成制造系统 (CIMS) 简介 .....	1.2.1 CIMS 的含义 .....
178	1.2.2 CIMS 的组成 .....	1.2.3 CIMS 的数据库 .....
180	1.2.4 CIMS 的接口 .....	1.2.5 CIMS 的展望 .....
180	1.3 本章小结 .....	1.4 练习 10 .....
181	10.1 数控机床 .....	10.1.1 数控机床的组成 .....
181	10.1.2 数控机床的组成 .....	10.1.3 数控机床的组成 .....
182	10.1.4 数控机床的组成 .....	10.1.5 数控机床的组成 .....
184	10.2 本章小结 .....	10.3 练习 10 .....
186	10.3 本章小结 .....	10.4 练习 10 .....
187	10.4 本章小结 .....	10.5 练习 10 .....
187	10.1 本章小结 .....	10.2 练习 10 .....
187	10.1.1 本章小结 .....	10.1.2 练习 10 .....
188	10.1.2 本章小结 .....	10.1.3 练习 10 .....
190	10.2 本章小结 .....	10.2.1 练习 10 .....
190	10.2.1 本章小结 .....	10.2.2 练习 10 .....
192	10.2.2 本章小结 .....	10.2.3 练习 10 .....
194	10.2.3 本章小结 .....	10.2.4 练习 10 .....
202	10.3 本章小结 .....	10.3.1 练习 10 .....
202	10.3.1 本章小结 .....	10.3.2 练习 10 .....
206	10.3.2 本章小结 .....	10.3.3 练习 10 .....
208	10.3.3 本章小结 .....	10.3.4 练习 10 .....
208	10.4 本章小结 .....	10.4.1 练习 10 .....
208	10.4.1 本章小结 .....	10.4.2 练习 10 .....
209	10.4.2 本章小结 .....	10.4.3 练习 10 .....

# 第 1 章 计算机控制系统概述

当前,世界先进工业国家正处在由“工业经济”模式向“信息经济”模式转变时期,技术进步因素在经济增长中占有 70%~80%的作用。“以高新技术为核心,以信息化为手段,提高工业产品的附加值”已经成为现代工业企业自动化的重要发展目标,事实上也是各行各业的重要发展目标。在现代企业的生产管理中,大量的物理量、工艺参数、特性参数需要进行实时检测、监督管理和自动控制。这是现代化生产必不可少的基本手段。从单台计算机的直接监督控制到多级计算机监督控制系统,以及分布式、网络化、智能化的集控制和管理为一体的计算机控制系统,正在各行各业中得到越来越普遍的应用。因此,在我国实现四个现代化的过程中,计算机控制技术充当着极其重要的角色。

## 1.1 自动控制系统的工作原理

### 1.1.1 自动控制的任務

任何机器、设备或生产过程都必须按照规定的要求运行。例如,要使发电机正常发电,必须使发电机的输出电压保持在额定电压,尽量不受负荷变化和原动机转速波动的影响;要想使退火炉加工出合格的产品,就要使退火炉的温度在不同的时刻达到规定的要求;要想使电冰箱能够冷冻食品,就要使冰室温度达到用户的设定温度,尽量不受环境温度或冰室中冷冻物品数量变化的影响。

在上述例子中,发电机、退火炉、电冰箱都是机器设备;电压、炉温、冰室温度是表征这些机器设备工作状态的物理量;而额定电压、规定的炉温、冰室设定温度就是机器设备在运行过程中对这些状态参量的要求。所谓的自动控制,就是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,使它们具有一定的状态或性能。所以如果能够设计出某种装置,能自动地使发电机的输出稳定在额定电压,使退火炉的温度在要求的时间内达到规定的温度,使电冰箱的冰室温度降低到用户的设定温度,这些装置就是发电机、退火炉及电冰箱的自动控制装置。

各种控制装置的具体任务虽然不同,但究其实质却不外乎是对被控对象的某些物理量进行控制,自动保持其应有的规律性。

### 1.1.2 反馈控制系统工作原理

首先,我们通过实例来说明自动控制和自动控制系统的基本概念。

图 1.1 是蒸汽加热器自动控制系统的示意图。冷流体从左端流入加热器,被蒸汽加热后的热流体从右端流出,供下一道工序使用。图中 TT 是 Temperature Transducer (温度变送器)的首字母缩写,SP 是 Set Point (设定值)的首字母缩写,TC 是 Temperature Controller (温度控制器)的首字母缩写。设该系统已经处在平衡状态,热流体的出口温度已经稳定在设定值。但

是在该系统中，有许多因素都会影响出口温度，使之偏离设定值，这些因素即称为干扰。现在假定由于某种原因，输入的冷流体流量突然增加，由于加热蒸汽的流量不可能同时增加，热流体的出口温度必然会降低，温度变送器将该温度值检测出来后送给温度控制器，控制器将其与设定温度 SP 进行比较，发现出口温度低于了设定值，就按照某种事先约定的控制算法，计算出调节阀的控制量，使调节阀的开度增大，从而使输入的蒸汽流量增加，使出口温度得以提高，经过一定时间以后，使出口温度恢复到设定温度，从而达到自动控制的目的。该系统的工作过程可以用图 1.2 表示。

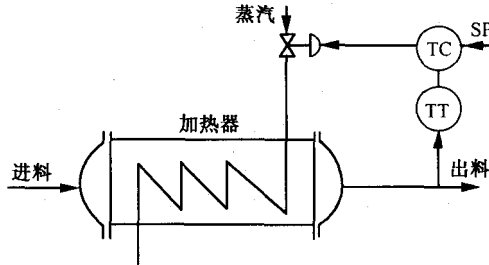


图 1.1 蒸汽加热器自动控制系统示意图

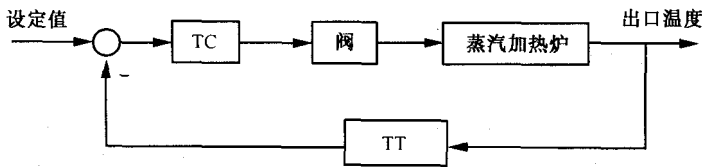


图 1.2 蒸汽加热炉出口温度控制系统方框图

图 1.2 所示的控制系统中，系统的输出量即加热炉的出口温度由温度变送器反馈到系统的输入端，由控制器将设定值和反馈信号进行比较，求得实际输出信号和设定值之间的偏差，再根据偏差的大小去调节执行机构，由执行机构的输出（称为操纵变量）去影响被控制量，达到减小或消除偏差的目的，最后使系统又恢复到原先的平衡状态。这种系统中，输出量反馈到输入端与设定值进行比较，故称为反馈控制系统。加入了反馈之后，整个系统构成一个闭合回路，所以反馈控制系统又称为闭环控制系统。加入反馈的目的是为了检测偏差，而控制器的作用是纠正偏差。所以反馈控制系统的工作原理就是检测偏差，纠正偏差。

### 1.1.3 反馈控制系统的组成

尽管不同的控制系统由不同元件组成，系统的功能也不一样，但它们大多都采用了负反馈工作原理。相同的工作原理决定了它们必然有类似的结构，例如它们都含有检测装置、比较装置、放大装置和执行装置等。

一般来说，一个闭环控制系统由以下基本元件或装置组成。

- (1) **被控对象**：自动控制系统需要进行控制的机器、设备或生产过程。
- (2) **被控制量**：被控对象内要求实现自动控制的物理量。
- (3) **检测元件**：对系统输出量进行测量的装置。
- (4) **比较元件**：对系统的输入量和输出量进行比较，给出偏差信号，起信号综合作用。

(5) **放大元件**：对微弱偏差信号进行放大，使之可输出足够的功率。

(6) **控制器**：或称为**校正装置**，将偏差信号进行比例、积分、微分等控制运算的器件，产生控制信号操纵执行元件，用于改善系统的性能。

(7) **执行元件**：根据控制器的命令，改变操纵变量的大小，使被控制的输出量与给定值一致。

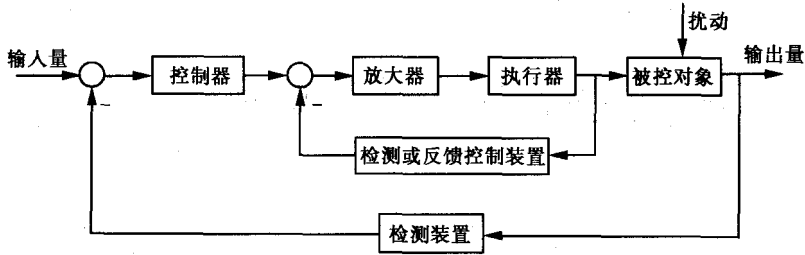


图 1.3 自动控制系统的组成

典型的自动控制系统的组成，可用图 1.3 所示的结构图表示，“-”号表示两个量相减，即负反馈。

信号从输入端沿箭头方向到达输出端的传输通路称为前向通路；系统输出量由检测装置反馈到输入端的传输通路称为反馈通路；前向通路与反馈通路一起构成外闭环，称为主回路。此外还有局部反馈及由它构成的内闭环。有两个以上反馈通路的系统称为多闭环系统。

一般来说，控制系统都有有用信号和扰动，它们都可作为系统的输入信号。系统的有用信号决定系统的输出量的变化规律；而扰动是系统不希望的外作用，它破坏有用信号对系统输出量的控制。但在实际系统中，扰动是不可避免的，如电源电压波动、工件数量变化，负载大小等都是实际存在的扰动。系统的输入信号一般是指有用信号。

### 1.1.4 自动控制系统的类型

反馈控制系统中的输入量如果恒定不变，此类反馈控制系统就称为定值控制系统。如给定量按已知规律变化，该系统仍称为定值控制系统。在有的控制系统中给定量的变化不为人们所预知，但仍要求系统输出量能迅速地跟随给定量的变化。最典型的例子为火炮控制系统，它需要能迅速跟随敌机的行踪，而敌机运动的规律是不可能预先知道的。这类系统既要迅速跟随给定量的变化，又要克服扰动量对系统的影响，所以称为随动系统。显然设计或分析随动系统，要比定值系统要求高得多，但所用的基本理论几乎一样。

如果设定信号  $r(t)$  的变化规律为已知函数，即事先确定的程序，则称这类控制系统为程序控制系统。以数字程序控制机床为例，如图 1.4 所示。

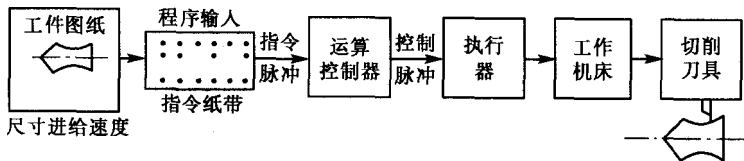


图 1.4 数字程序控制机床示意图

数字控制，是用数字量来控制机器部件运动的一种控制。在数字控制中，执行机构的运动可由数字控制器输出的二进制信息来控制。图 1.4 所示是开环控制系统，它是由程序输入设备、

运算控制器和执行机构所组成。程序输入设备的作用是根据加工图纸的要求，选定加工过程，编制程序指令送入运算控制器；运算控制器完成对指令脉冲的寄存、交换和计算，并输出控制脉冲给执行机构；执行机构再将运算控制器送来的电脉冲信号变成驱动机床的运动，完成程序指令的要求。执行机构可以选用步进电动机。

数字程序控制机床的控制系统也可以是闭环系统，如图 1.5 所示。在闭环系统中执行机构为电动机，变换放大器将控制脉冲变换成能对电动机进行控制的电压，于是电动机驱动切削工具，按图纸要求进行加工。

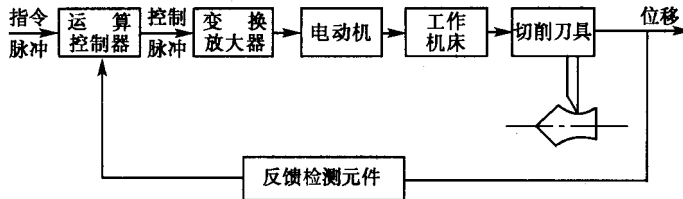


图 1.5 闭环数字程序控制机床

## 1.2 被控对象的特性

对控制系统的基本要求有稳定、准确、快速三个方面。为了使一个系统满足这三方面的要求，我们需要知道系统中各个环节及其整个系统的特性。

所谓环节或系统的特性，是指它们的输出参数和输入参数之间的种种关系，即设定值与输出，以及干扰和输出之间的关系。

### 1.2.1 被控对象特性的类型

广义对象特性可以通过两种方法测定获得：一是控制作用  $u(t)$  作阶跃变化时[扰动  $f(t)$  不变]，测定被控变量的时间特性  $c(t)$ ；二是扰动  $f(t)$  作阶跃变化时[控制作用  $u(t)$  不变]，测定被控变量的时间特性  $c(t)$ 。用图形表示时，前者称为控制通道的响应曲线，后者称为扰动通道的响应曲线。

响应曲线可分为以下四种类型。

#### 1. 有自衡非振荡过程的响应曲线

图 1.6 所示的液体储槽和图 1.7 所示的蒸汽加热器都是具有这种特性的被控对象，其响应曲线分别如图 1.8 (a) 和图 1.8 (b) 所示。

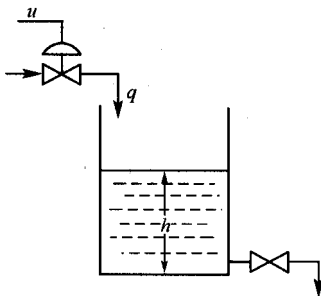


图 1.6 有自衡的液位被控对象

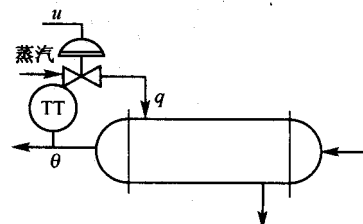


图 1.7 有自衡的蒸汽加热器

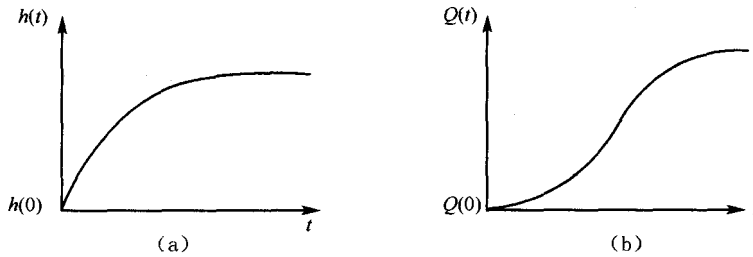


图 1.8 有自衡的非振荡过程的响应曲线

在图 1.6 中，当进料阀开度增大、进料量增加时，储槽原有的物料平衡状态被破坏。由于进料多于出料，多余的液体在储槽内积累起来，使储槽液位升高。随着液位的上升，出料量也因静压力的增加而增大。这样，进出料量之差会逐渐减小，液位上升速度也逐渐变慢。最后，当进出料量相等时，液位也就稳定在一个新的位置上。显然这种被控对象会自发地趋于新的平衡状态。

图 1.7 所示的蒸汽加热器也有类似的特性。当蒸汽阀门开大，流入蒸汽量增大时，热平衡被破坏。由于输入热量大于输出热量，多余的热量加热管壁，继而使管内流体温度升高，出口温度也随之上升。这样，随着输出热量的增大，输入/输出热量之差会逐渐减小，流体出口温度的上升速度也逐渐变慢。这样被控对象最后也能在新的出口温度下自发地建立起新的热量平衡状态。

这种被控对象在工业自动控制系统中最为常见，而且比较容易控制。

## 2. 无自衡非振荡过程的响应曲线

图 1.9 (a) 所示也是一个液体储槽，它与图 1.6 所示的液体储槽差别在于出料不是用阀门节流，而是用定量泵抽出，因此当进料量增加后，液位的上升不影响出料量。当进料量作阶跃变化后，液位等速上升，不能建立起新的物料平衡状态，其响应曲线如图 1.9 (b) 所示。

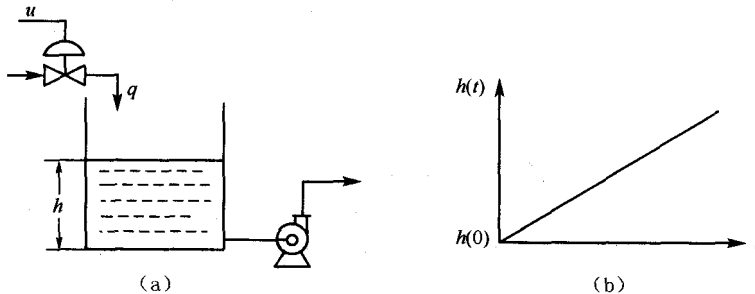


图 1.9 无自衡的非振荡液位过程及响应曲线

无自衡非振荡的被控对象，也可能出现如图 1.10 所示的响应曲线。通常无自衡的被控对象要比有自衡的被控对象难控制一些。

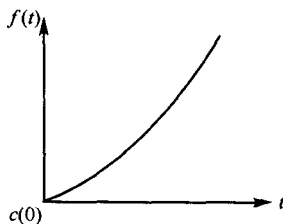


图 1.10 无自衡非振荡过程的响应曲线

### 3. 有自衡振荡过程的响应曲线

有些被控对象在扰动或控制作用的阶跃输入下，会出现振荡现象，如图 1.11 所示。具有振荡的被控对象也较难控制，好在这类被控对象并不多见。

### 4. 具有反向特性的过程的响应曲线

有少数被控对象会出现图 1.12 所示的反向特性。在阶跃输入下，输出信号先降后升（或先升后降）。处理这类被控对象必须十分谨慎，因为它们一开始会给人以假象，容易导致错误的决策。输出信号明明要上升，一开始却反而下降，有可能导致误向控制动作。



图 1.11 有自衡振荡过程的响应曲线

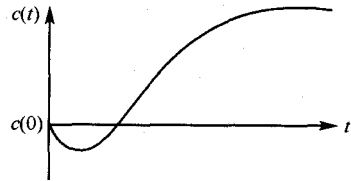


图 1.12 具有反向特性的过程的响应曲线

锅炉汽包的假液位现象是具有反向特性的过程的一个典型例子。当用汽量突然增加时，汽包的压力必然下降，随着压力的降低，沸腾将加强，更多的气泡使液面汹涌上升。此时不论是肉眼观测，还是检测元件测量，都确认液位是在上升。然而，因为用汽量即负荷的增加，从物料平衡关系看，出多于进，必然使液位下降。尽管液位下降过程一开始比较缓慢，但最终还是起决定作用。故这是个先升后降过程，具有反向特性。

## 1.2.2 被控对象特性的一般分析

描述有自衡非振荡的被控对象的特性参数有放大系数（也称稳态增益） $K_0$ 、时间常数  $T_0$  和时滞  $\tau$ 。

### 1. 放大系数 $K_0$

以直接蒸汽加热器为例，冷物料从加热器底部流入，经蒸汽直接加热至一定温度后，热物料由加热器上部流出，送至下道工序。这里，热物料出口温度即为被控变量  $c(t)$  [或被控变量的测量值  $y(t)$ ]，加热蒸汽流量即为操纵变量  $q(t)$ ，而冷物料入口温度或冷物料流量的变化量即为扰动  $f(t)$ ，如图 1.13 所示。

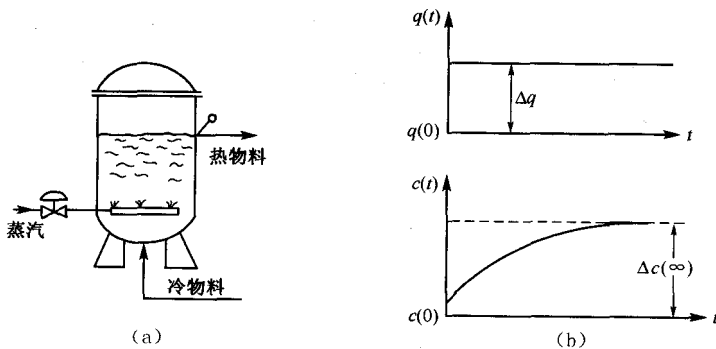


图 1.13 直接蒸汽加热器及其阶跃响应曲线



所谓通道,是指输入信号对输出信号的作用途径。控制通道是指操纵变量  $q(t)$  对被控变量  $c(t)$  的作用途径,而扰动通道则是指扰动  $f(t)$  对被控变量  $c(t)$  的作用途径。物料出口温度  $c(t)$  受到控制作用(控制通道)和扰动作用(扰动通道)的影响,因而被控对象的放大系数及其他特性参数也将从控制通道和扰动通道两个方面分析介绍。

(1) 控制通道放大系数  $K_0$ 。设被控对象处于原有稳定状态时,被控变量为  $c(0)$ ,操纵变量为  $q(0)$ 。当操纵变量(本例中的蒸汽流量)做幅度为  $\Delta q$  的阶跃变化时,必将导致被控变量的变化[如图 1.13 (b) 所示],且有  $c(t)=c(0)+\Delta c(t)$ [其中  $\Delta c(t)$  为被控变量的变化量],则被控对象控制通道的放大系数  $K_0$ :

$$K_0 = \frac{\Delta c(\infty)}{\Delta(q)} = \frac{c(\infty) - c(0)}{\Delta q} \quad (1-1)$$

式中,  $\Delta c(\infty)$ ——过渡过程结束时被控变量的变化量。

上式表明,被控对象控制通道的放大系数  $K_0$  反映了被控对象以初始工作点为基准的、被控变量与操纵变量在过渡过程结束时的、变化量之间的关系,是一个稳态特性参数。所谓初始工作点,即被控对象原有的稳定状态。通常把被控对象的生产能力或处理量称为负荷。工业生产中线性被控对象并不多见,故在不同的负荷或工作点的情况下,被控对象的放大系数  $K_0$  并不相同。由图 1.14 可见,在相同的负荷下,  $K_0$  将随工作点的增大而减少,例如 A、B、C 三点(对随动控制系统而言);在相同的工作点上,  $K_0$  也将随负荷的增大而减小,例如 D、A、E 三点(对定值控制系统而言)。下面简要说明  $K_0$  的大小和变化对自动控制系统的影响。

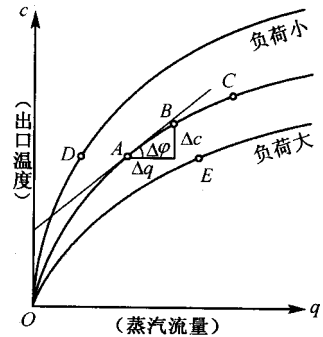


图1.14 蒸汽加热器的稳态特性

①  $K_0$  的大小。操纵变量  $q(t)$  对应的放大系数  $K_0$  的值大,表示它的控制作用显著。因而,假定工艺上允许有几种控制手段可供选择,应该选择  $K_0$  适当大一些。

②  $K_0$  的变化。控制系统总的放大系数  $K$  是广义对象放大系数和调节器放大系数的乘积,在系统运行过程中要求  $K$  恒定才能获得满意的控制品质。如果被控对象的放大系数会随负荷或工作点的改变而变化,则控制系统总的放大系数也将随之变化,以致使系统在某一工作点下适合的调节器参数在其他工况下会显得不适应:在  $K_0$  变小时,会使被控变量变化迟缓;在  $K_0$  变大时,会使被控变量振荡加剧。解决这一矛盾的常用办法是使广义对象中的执行器如调节阀也具有非线性的特性,如选用流量特性为对数型的调节阀。这种调节阀的放大系数  $K_v$  在一定程度上可以补偿被控对象放大系数  $K_0$  的变化,以使整个控制系统总的放大系数  $K$  的变化减到最小。

(2) 扰动通道放大系数  $K_f$ 。在操纵变量  $q(t)$  不变的情况下,被控对象受到幅度为  $\Delta f$  的阶跃扰动作用,被控对象将从原有的稳定状态达到一个新的稳定状态。扰动通道的放大系数  $K_f$  为:

$$K_f = \frac{\Delta c(\infty)}{\Delta f} = \frac{c(\infty) - c(0)}{\Delta f} \quad (1-2)$$

$K_f$  的大小对控制过程所产生的影响比较容易理解。在相同的  $\Delta f$  作用下,  $K_f$  越大,被控变量偏离设定值的程度也越大,即使在组成控制系统后,情况仍然如此。一个控制系统往往存在