



普通高等院校**机械类**应用型规划教材

# 控制工程基础

王得胜 主编

KONGZHI  
GONGCHENG  
JICHU



北京邮电大学出版社  
[www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)

普通高等院校机械类应用型规划教材

# 控制工程基础

王得胜 主 编

北京邮电大学出版社  
·北京·

## 内 容 简 介

本书共分7章,主要讨论机械工程控制的基本原理和基本知识,包括绪论、控制理论的数学基础、控制系统的数学模型、控制系统的时间响应分析、控制系统的稳定性分析、根轨迹法及控制系统的设计与性能校正。

本书力求强调基本概念和基本方法,注重论述的逻辑性和严谨性,同时在论述过程中根据工科学生的具体情况尽量避免高深的数学论证,紧密结合控制工程与机械工程实际,用机械与电气实例解释说明一些基本理论和基本方法,以使其能很好地在数理知识和专业知识之间起到桥梁的作用。

本书可作为高等学校机械设计制造及自动化、机电一体化等专业本科生和应用型本科院校的机械工程类、机电类、信息工程类、仪器仪表类以及计算机应用等专业的教材,也可作为有关教师与从事自动控制技术工作的工程技术人员的参考用书。

为了更好地配合课堂教学,本书配有多媒体教学课件。

### 图书在版编目(CIP)数据

控制工程基础/王得胜主编. —北京:北京邮电大学出版社,2009

ISBN 978-7-5635-1932-3

I. 控… II. 王… III. 自动控制理论 IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 058801 号

---

书 名: 控制工程基础  
主 编: 王得胜  
责任编辑: 李欣一  
出版发行: 北京邮电大学出版社  
社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)  
发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578  
E-mail: publish@bupt.edu.cn  
经 销: 各地新华书店  
印 刷: 北京忠信诚胶印厂  
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16  
印 张: 13.25  
字 数: 315 千字  
印 数: 1—3 000 册  
版 次: 2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-5635-1932-3

定 价: 22.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

# 前 言

随着科学技术的不断进步,控制工程在机械工程领域的应用越来越广泛,自动控制技术的普及极大地提高了社会劳动生产率,改善了人类的生产和生活条件,为人类文明进步发挥着重要作用。对于 21 世纪的机械工程技术人员来说,如果不了解控制理论方面的知识,就很难成为合格的工程师,如果不能应用控制理论对自动控制系统进行分析或综合,就很难胜任机械工程领域的技术工作。

控制理论不仅仅是一门很重要的学科,同时它的形成、发展以及对理论的论述过程本身也体现了科学的方法论,为了培养学生客观、理性和实证的科学精神,本书作为机械工程类专业基础课教材,强调基本概念和基本方法,注重一些方法论述的逻辑性和严谨性。同时在论述过程中根据工科学生的具体情况尽量避免高深的数学论证,紧密结合控制与机械工程实际,用机械与电气实例解释说明一些基本理论和基本方法,以使其能很好地在数理知识和专业知识之间起到桥梁的作用。

控制工程基础作为机械工程类专业一门重要的专业基础课,其内容需要不断地更新调整 and 进行必要的扩充。本书针对当前本科生的具体情况,试图将内容从深度的扩展转向广度的扩展,在系统介绍理论知识的同时强调应用,加强理论联系实际,不仅注重对已有控制系统进行分析的能力培养,而且扩展到设计控制系统的能力培养,力求使学生学完本课程后具有综合设计控制系统的初步能力。

本书主要介绍经典控制理论的基本内容,重点是线性控制理论及其在控制系统分析和机械动力系统动态性能分析中的应用。本书的编写试图将控制理论与机电工程系统相结合,介绍控制理论的基本概念和基本知识、控制理论的数学基础,讨论控制系统的数学模型及其建立与转换方法、控制系统的频率特性和时间响应分析、控制系统稳定性分析,最后阐述控制系统的设计与性能校正方法。



本书由河南理工大学王得胜教授主编,河南理工大学博士生导师王裕清教授主审。编写分工为:第1章和第7.5节由河南理工大学王得胜编写;第2章和第7.1节由焦作市技师学院刘阿丽编写;第3章由河南理工大学高爱华编写;第4章由河南理工大学万方科技学院汪固财编写;第5章由河南理工大学张明编写;第6章由河南理工大学朱红丽编写,第7.2~7.4节及第7.6节由河南理工大学张登攀编写。全书由河南理工大学王得胜教授定稿。

感谢王裕清教授在审稿过程中提出了许多宝贵的意见,同时感谢河南理工大学万方科技学院机械系主任邓乐教授对本书提出了宝贵的编写建议,给予了大力支持。

本书在编写过程中,参考与吸收了有关院校教材的部分内容,得到了有关院校的支持。北京邮电大学出版社为本书的出版给予了大力支持,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中不妥与错误之处在所难免,恳请广大读者和专家批评,并予以指正。

编 者



# 主要符号说明

$m$	质量
$c$	黏性阻尼系数
$k$	弹簧劲度系数
$R$	电阻
$L$	电感
$C$	电容
$K$	增益或放大系数
$f(t)$	作用力
$x_i(t)$	时域输入
$n(t)$	时域干扰信号
$x_o(t)$	时域输出
$\varepsilon(t)$	时域偏差
$e(t)$	时域误差
$\delta(t)$	单位脉冲函数
$u(t)$	单位阶跃函数
$r(t)$	单位斜坡函数
$\xi$	阻尼比
$M_p$	最大超调量
$M_r$	相对谐振峰值
$\omega_n$	无阻尼固有频率
$\omega_d$	有阻尼固有频率
$\omega_r$	谐振频率
$\omega_t$	各环节之间的转角频率
$\omega_c$	剪切频率或幅值穿越频率
$\omega_g$	相位穿越频率
$\gamma$	相位裕度
$K_g$	幅值裕度



$X_i(s)$	频域输入
$X_o(s)$	频域输出
$N(s)$	频域干扰信号
$E(s)$	频域偏差
$E_1(s)$	频域误差
$G(s)$	前向通道传递函数
$H(s)$	反馈通道传递函数
$G_K(s)$	开环传递函数
$G_B(s)$	闭环传递函数
$G(j\omega)$	频率特性
$ G(j\omega) $ 或 $A(\omega)$	频率特性幅值
$\angle G(j\omega)$ 或 $\varphi(\omega)$	频率特性相角
$H(j\omega)$	反馈通道频率特性

# 目 录

## 第 1 章 绪论

1.1 控制系统的工作原理与分类 .....	1
1.1.1 控制系统的工作原理 .....	1
1.1.2 闭环控制系统的基本组成 .....	4
1.1.3 控制系统的分类 .....	4
1.1.4 有关基本概念和术语 .....	6
1.2 控制系统的基本要求及应用 .....	6
1.2.1 对控制系统的基本要求 .....	6
1.2.2 控制系统在机械工程中的应用 .....	7
1.3 控制理论发展历史简介 .....	10
1.3.1 经典控制理论 .....	10
1.3.2 现代控制理论 .....	11
1.4 本课程的学习方法和目标 .....	11
1.4.1 本课程的学习方法 .....	11
1.4.2 学习本课程要达到的目标 .....	12
本章小结 .....	12
本章习题及答案 .....	12

## 第 2 章 控制理论的数学基础

2.1 复变函数及其有关定理 .....	15
2.1.1 复数与复变函数 .....	15
2.1.2 幅角原理(柯西定理) .....	18
2.2 拉普拉斯变换 .....	19
2.2.1 拉普拉斯变换的定义 .....	19
2.2.2 几种典型函数的拉普拉斯变换 .....	20
2.2.3 拉普拉斯变换的主要定理 .....	22
2.2.4 拉普拉斯逆变换 .....	24
2.2.5 应用拉普拉斯变换解线性微分方程 .....	28
2.3 傅里叶变换 .....	30
2.3.1 傅里叶变换的定义 .....	30





2.3.2 傅里叶变换的性质	30
2.3.3 傅里叶变换与拉普拉斯变换的关系	32
本章小结	33
本章习题及答案	33
<b>第3章 控制系统的数学模型</b>	
3.1 控制系统的微分方程	35
3.1.1 建立数学模型的基本步骤	36
3.1.2 列写控制系统微分方程举例	36
3.1.3 微分方程的增量化表示	38
3.1.4 非线性微分方程的线性化	39
3.2 控制系统的传递函数	41
3.2.1 传递函数的概念和定义	42
3.2.2 传递函数的零点和极点	43
3.2.3 典型环节及其传递函数	44
3.2.4 传递函数方框图及其简化	51
3.2.5 反馈控制系统的传递函数	60
3.3 控制系统的频率特性	62
3.3.1 频率特性的基本概念	62
3.3.2 频率特性的图示方法	65
3.3.3 典型环节的频率特性图	67
3.3.4 闭环频率特性	77
3.3.5 最小相位系统与非最小相位系统	79
本章小结	80
本章习题及答案	80
<b>第4章 时间响应分析</b>	
4.1 时间响应与典型输入信号	84
4.1.1 时间响应及其组成	84
4.1.2 典型输入信号	87
4.2 一阶系统	89
4.2.1 一阶系统的单位脉冲响应	89
4.2.2 一阶系统的单位阶跃响应	90
4.3 二阶系统	91
4.3.1 二阶系统的单位脉冲响应	92
4.3.2 二阶系统的单位阶跃响应	93
4.3.3 二阶系统时间响应的性能指标	95
4.4 高阶系统	100
4.5 控制系统的误差分析与计算	101



4.5.1 控制系统的误差与偏差 .....	102
4.5.2 控制系统误差传递函数 .....	103
4.5.3 控制系统稳态偏差的计算 .....	104
本章小结 .....	108
本章习题及答案 .....	108
<b>第5章 控制系统的稳定性</b>	
5.1 控制系统的稳定性概念 .....	110
5.1.1 控制系统不稳定现象的发生 .....	110
5.1.2 稳定性的定义和条件 .....	112
5.1.3 李雅普诺夫稳定性概念和渐近稳定性 .....	113
5.2 劳斯稳定性判据 .....	115
5.2.1 控制系统稳定的必要条件 .....	115
5.2.2 控制系统稳定的充要条件 .....	116
5.2.3 劳斯稳定性判据的特殊情况 .....	119
5.3 奈奎斯特稳定性判据 .....	120
5.3.1 米哈伊洛夫定理 .....	121
5.3.2 奈奎斯特稳定性判据 .....	122
5.3.3 开环传递函数在虚轴上有极点时的稳定性 .....	124
5.3.4 关于奈奎斯特稳定性判据的几点说明 .....	126
5.3.5 奈奎斯特稳定性判据应用举例 .....	127
5.3.6 具有延时环节的系统的稳定性分析 .....	129
5.4 伯德稳定性判据 .....	130
5.4.1 奈奎斯特图和伯德图的对应关系 .....	130
5.4.2 穿越的概念 .....	131
5.4.3 伯德稳定性判据 .....	131
5.5 系统的相对稳定性 .....	132
5.5.1 相位裕度 .....	133
5.5.2 幅值裕度 .....	134
本章小结 .....	137
本章习题及答案 .....	137
<b>第6章 根轨迹法</b>	
6.1 根轨迹的基本概念 .....	140
6.2 根轨迹方程 .....	141
6.3 绘制根轨迹的规则和方法 .....	143
6.4 根轨迹法的应用 .....	150
6.4.1 用根轨迹法确定控制系统参数 .....	150
6.4.2 增益给定时的闭环传递函数 .....	152

6.4.3 阻尼比给定时的闭环极点和单位阶跃响应 .....	153
本章小结 .....	153
本章习题及答案 .....	154
<b>第7章 控制系统设计与性能校正</b>	
7.1 控制系统设计概述 .....	157
7.1.1 设计控制系统的一般原则 .....	157
7.1.2 控制系统的设计步骤 .....	158
7.1.3 控制系统的性能指标 .....	159
7.1.4 常见校正方式 .....	160
7.2 串联校正设计 .....	161
7.2.1 相位超前校正 .....	161
7.2.2 相位滞后校正 .....	166
7.2.3 相位滞后-超前校正 .....	170
7.3 PID校正设计 .....	172
7.3.1 PID控制规律 .....	173
7.3.2 PID校正环节 .....	177
7.3.3 PID控制器设计 .....	178
7.4 反馈校正设计 .....	180
7.4.1 位置反馈校正 .....	180
7.4.2 速度反馈校正 .....	181
7.5 恒值控制系统设计实例 .....	182
7.5.1 单回路直流调速系统的组成与工作原理 .....	183
7.5.2 直流调速系统的性能指标要求 .....	184
7.5.3 控制系统数学模型的建立 .....	185
7.5.4 控制系统开环放大系数的确定 .....	188
7.5.5 控制系统校正装置参数的确定 .....	189
7.5.6 控制系统校正装置的工程实现 .....	193
7.6 伺服控制系统设计实例 .....	194
7.6.1 概述 .....	195
7.6.2 控制系统的组成和工作原理 .....	195
7.6.3 控制系统性能分析 .....	196
本章小结 .....	199
本章习题及答案 .....	200
<b>主要参考文献</b> .....	202



控制工程是研究控制理论在机械工程中应用的科学。它是一门跨控制理论和机械工程的边缘学科。随着工业生产和科学技术的不断向前发展,控制工程这门新兴学科越来越为人们所重视。原因是它不仅与信息科学和系统科学紧密相关,能满足自动化技术高度发展的需要,更重要的是它提供了辩证的系统分析方法,即不但从局部,而且从整体上认识和分析机电液系统,改进和完善机电液系统,以满足科技发展和工业生产的实际需要。

本章首先结合实例阐述控制系统的工作原理与组成,并在此基础上阐明控制系统的分类,进而介绍对控制系统的基本性能要求。为了使读者对控制工程的基础理论具有比较清晰的了解,更好地掌握控制理论知识及其应用方法,本章还介绍了控制理论的发展简史和学习本课程的方法。

## 1.1 控制系统的工作原理与分类

### 1.1.1 控制系统的工作原理

为了说明控制系统的工作原理,首先以水箱液位控制为例,分析人工控制和自动控制的控制过程。图 1.1.1 为水箱液位人工控制的示意图。人工控制的任务是克服水箱出水口扰动量  $Q_2$  的影响,保持水箱液位恒定。操作人员可以通过改变进水阀门的开口度控制进水量  $Q_1$ ,达到控制水箱液位的目的。人工调节过程可归纳为:

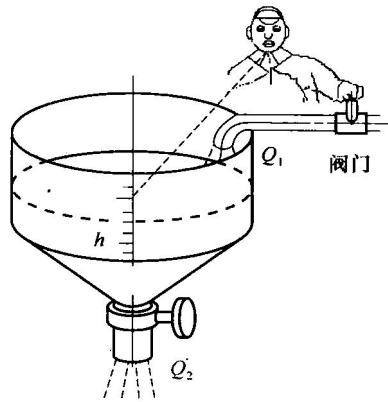


图 1.1.1 水箱液位人工控制的示意图

(1) 操作者观察液位的高度或液位计的读数,这是人眼的功能;

(2) 将实际的液位与给定液位进行比较,得出液位偏离给定值的大小和方向,这是人脑的功能;

(3) 根据偏差值的大小和方向控制进水阀门的开口度,改变进水量,这是人手的功能。

由此可见,人工控制过程就是观测、求偏差及纠正偏差的过程。简言之“求偏与纠偏”的过程。如果将上述人工控制过程中操作人员的作用由自动控制装置来代替,一个人

工调节的系统就变成了一个自动控制系统。

图 1.1.2 所示为水箱液位的自动控制系统。在这个自动控制系统中,用浮子代替人眼作为测量元件,用电位计代替人脑作为比较器,用放大器、电机及减速器代替人手作为驱动环节。水箱液位的自动控制过程为:当电位器的电刷位于中点位置,其输出电压为  $u_2 = u_1$ ,电动机 M 不动,控制阀门保持一定开口度,水箱中进水量与出水量相等,液位保持在希望值上。一旦进水量  $Q_1$  或出水量  $Q_2$  发生变化,例如  $Q_1 > Q_2$ ,液面上升时,浮子位置也相应升高,通过杠杆作用于电位器电刷,使其从中点位置下移至  $u_2 \neq u_1$ ,从而给电动机提供一定的控制电压  $\Delta u = u_1 - u_2$ ,驱动电动机及减速器带动阀门减小开口度,使水箱的进水量  $Q_1$  减少,水箱液面开始下降,浮子位置也相应下降,直至偏差  $\Delta u = 0$ ,电位器电刷回到中点位置,系统又重新处于平衡位置,液面恢复到给定值。反之,若水箱液位下降,则系统会自动增大阀门开口度,使进水量  $Q_1$  增大,直至水箱液位恢复到给定值,系统重新处于平衡位置。

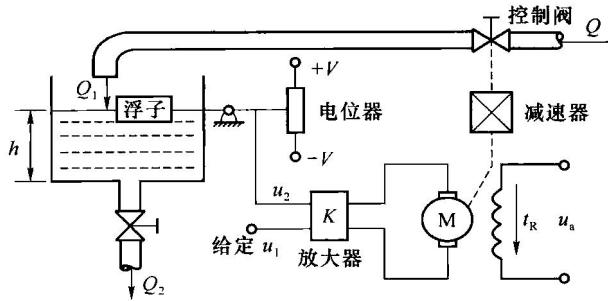


图 1.1.2 水箱液位的自动控制系统

从以上两个实例可知,所谓控制系统,是指系统的输出能按照要求的参考输入或控制输入进行调节的系统。自动控制系统的一般工作原理可以归纳如下:

- (1) 检测被控制量或输出量的实际值;
- (2) 将实际值与给定值进行比较得出偏差值;
- (3) 用偏差值产生控制调节作用去消除偏差。

这种通过检测偏差再纠正偏差的系统称为反馈控制系统或闭环控制系统。通常反馈控制系统至少具备检测、比较和执行 3 个基本功能。

水箱液位的自动控制系统方框图如图 1.1.3 所示。图中箭头表示信号作用的方向,“⊗”代表比较元件,每一个方框代表一个环节。每个环节的作用是单向的,且输出受输入控制。该图清楚地说明了反馈控制的基本原理。可以说,反馈控制是实现自动控制的最基本方法。

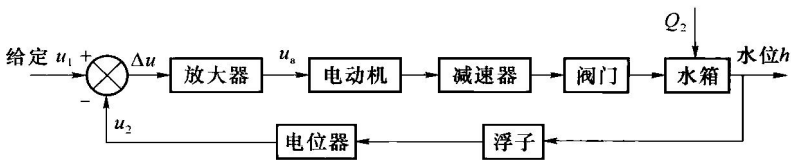


图 1.1.3 水箱液位的自动控制系统方框图

下面再分析一下数控机床工作台的驱动系统。数控机床工作台的驱动常用两种控制方案,一种比较简单的控制方案是根据控制装置发出的一定频率和数量的指令脉冲驱动步进电机,以控制工作台或刀架的移动量,而对工作台或刀架的实际移动量不作检测,其工作原理如图 1.1.4(a)所示。这种控制方式简单,但问题是从驱动电路到工作台的整个传动链中的任一环节的误差均会影响工作台的移动精度或定位精度。为了提高控制精度,采用图 1.1.4(b)所示的反馈控制,增加检测装置,随时测定工作台的实际位置(即其输出信息),然后反馈送回输入端,与控制指令比较,再根据工作台实际位置与给定位置之间的误差,决定控制动作,达到消除误差的目的。图 1.1.4(b)中检测装置即为反馈环节。

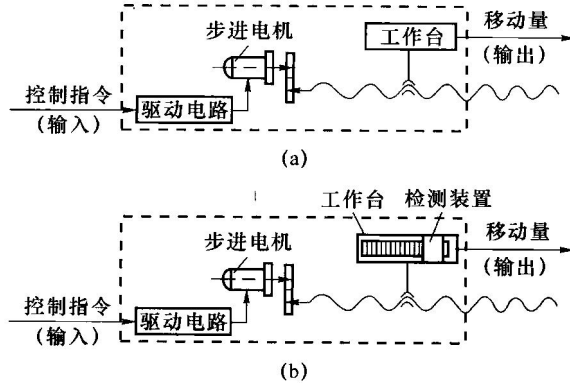


图 1.1.4 数控机床工作台控制系统

数控机床工作台两种驱动方案的特点,可通过图 1.1.5 所示的数控机床工作台驱动系统的方框图作进一步分析。图 1.1.5(a) 对应于图 1.1.4(a),图 1.1.5(b)对应于图 1.1.4(b)。比较图 1.1.5(a)和(b)可知,因图 1.1.5(a)中没有检测装置,控制指令通过驱动电路、步进电机和丝杆螺母传动副,一直传递到工作台。工作台的移动量不仅取决于控制指令,而且会受到从驱动电路到工作台之间传动链中各个环节的传动精度影响,因此,一般情况下,工作台的移动精度或定位精度较低。要提高工作台的移动精度或定位精度,就必须提高传动链中各个环节的传动精度。这种类型的控制系统称为开环控制系统。图 1.1.5(b)中通过检测装置把工作台的实际移动量或实际位置转换为反馈信号,送回输入端并与控制指令比较获得偏差信号  $\epsilon$ ,使偏差信号  $\epsilon$  通过驱动电路、步进电机和丝杆螺母机构推动工作台移动。若偏差信号  $\epsilon=0$ ,则工作台到达给定位置。这种驱动方案,理论上可以获得很高的精度,且对传动链中各个环节的精度并无很高的要求。由于反馈环节把系统的输出端和输入端连接起来,形成封闭的逻辑联系,习惯上称为闭环控制系统。

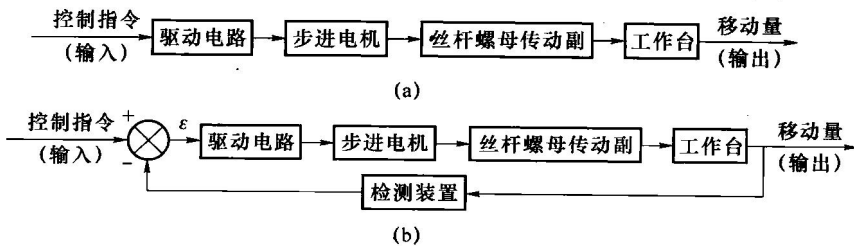


图 1.1.5 数控机床工作台驱动系统方框图

### 1.1.2 闭环控制系统的基本组成

综合以上控制系统,可以得到闭环控制系统的基本组成方框图,如图 1.1.6 所示。由图可见,闭环控制系统一般由给定元件、反馈元件、比较元件、放大元件、执行元件及校正元件等单元组成。

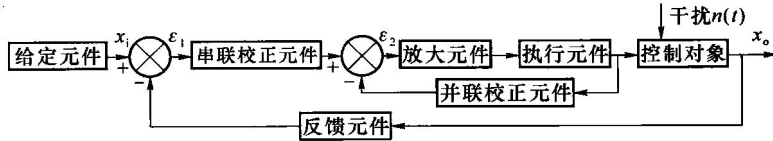


图 1.1.6 闭环控制系统基本组成

(1) 给定元件。主要用于产生给定信号或输入信号。

(2) 反馈元件。测量被控制量或输出量,产生主反馈信号。反馈元件一般使用检测元件,为了便于传输,这些检测元件通常是能够把非电量转换为电量的元件。例如,用电位计或旋转变压器将位移或转角转换为电压信号;用热电偶将温度转换为电压信号;用光栅测量装置将直线位移转换为数字电信号等。

(3) 比较元件。用来接收输入信号和反馈信号,并进行比较,产生反映两者差值的偏差信号  $\epsilon$ 。

(4) 放大元件。对较弱的偏差信号  $\epsilon$  进行放大以推动执行元件动作。放大元件有电气的、液压的和机械的,等等。

(5) 执行元件。直接对被控对象进行操纵的元件,例如伺服电动机、液压马达及伺服液压缸等。

(6) 校正元件。校正元件不是反馈控制系统所必须具有的,它是为了改善系统控制性能而加入系统中的元件。校正元件又称校正装置或校正环节。串联在系统前向通道上的校正装置称为串联校正装置,并接在反馈回路上的称为并联校正装置。

### 1.1.3 控制系统的分类

控制系统的种类很多,可以从不同的角度进行分类。

#### 1. 按照有无反馈环节分类

按照有无反馈环节,控制系统分为两种基本形式,即开环控制系统和闭环控制系统。当一个控制系统的方框图中没有反馈回路时,称之为开环系统。开环系统较闭环系统简单,其系统组成中没有反馈元件和比较元件。从这一概念出发,开环系统的方框图可简化为图 1.1.7(a),这种系统的输入直接作用于控制器,并通过控制器对被控对象进行控制。开环系统的主要优点是结构简单、价格便宜、容易维修。主要缺点是精度低,容易受环境变化的影响。在工业与国防等要求较高的应用领域,绝大多数控制系统都是采用闭环控制系统,其简化的方框图如图 1.1.7(b)所示,输出的全部或部分由检测装置反馈到输入端,与输入信号进行比较后的差值(即偏差信号)作用于控制器,由控制器对被控对象进行调节。一般情况下,反馈信号与输入信号的极性相反,称为负反馈。其优点是精度高、动

态性能好、抗干扰能力强等,缺点是结构比较复杂、价格比较贵、维修复杂。

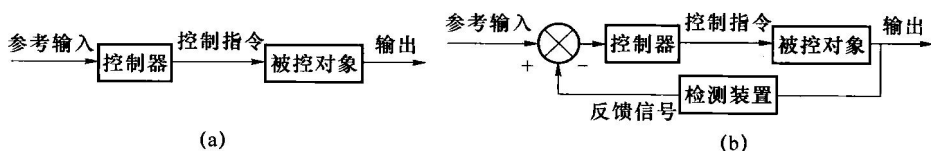


图 1.1.7 开环控制系统与闭环控制系统

## 2. 按输入信号的变化规律进行分类

### (1) 恒值控制系统

恒值控制系统的输入量是一个恒定值,一经给定,在运行过程中就不再改变(但可定期校准或更改输入量)。这种控制系统的任务是保证在任何扰动作用下系统的输出量为恒定值。工业生产中的温度、压力、流量、液位等参数的控制等均属此类控制。

### (2) 程序控制系统

这种控制系统的输入量不为恒定值,其变化规律是预先知道和确定的。可将输入量的变化规律预先编成程序,由程序发出控制指令,在输入装置中再将控制指令转换为控制信号,经过全系统的作用,使控制对象按照指令的要求运动。

数控机床切削加工的程序控制系统,就是将待加工的工件按图纸要求预先编制成加工程序,将程序指令通过输入装置送到数控装置进行计算,产生的控制脉冲使刀具和工件按程序指令的要求运动,从而加工出图纸要求的工件外形。

### (3) 随动系统

随动系统又称伺服系统。这种控制系统输入量的变化规律是不能预先确定的。当系统的输入量发生变化时,要求输出量迅速平稳地随着输入量变化,并且能排除各种干扰因素的影响,准确地复现控制信号的变化规律。控制指令可以由操作者根据需要随时发出,也可以由目标物或相应的测量装置发出。如机械加工中的仿形机床,武器装备中的火炮自动瞄准系统以及导弹自动跟踪系统等均属于随动系统。

## 3. 按系统中传递信号的性质分类

### (1) 连续控制系统

连续控制系统是指系统中各部分传递的信号都是连续时间变量的系统。连续控制系统又可分为线性系统和非线性系统。能用线性微分方程描述的系统称为线性系统,不能用线性微分方程描述、存在非线性部件的系统称为非线性系统。

### (2) 离散控制系统

离散控制系统是指系统中某一处或数处的信号是以脉冲序列或数字量传递的系统,又称数字控制系统。由于连续控制系统和离散控制系统的信号形式差别较大,因此在分析方法上有明显的不同。连续控制系统以微分方程来描述系统的运动状态,并用拉普拉斯变换法求解微分方程;而离散控制系统则用差分方程来描述系统的运动状态,用 $z$ 变换引出脉冲传递函数来研究系统的动态特性。

此外,还可以按描述系统的数学模型将控制系统分为线性控制系统和非线性控制系统;按系统部件的类型分为机电控制系统、液压控制系统、气动控制系统、电气控制系统等。



### 1.1.4 有关基本概念和术语

在分析控制系统的工作原理和特性时,经常用到以下基本概念和名词术语。

(1) 被控对象(也称为受控对象或控制对象)。在控制理论和控制技术中,运动规律或状态需要控制的装置称为被控对象。

(2) 控制器。在控制系统中,被控对象以外的所有装置统称为控制器。因此,控制系统可以说是由控制器和被控对象两部分组成。

(3) 输入信号(也称为输入量、控制量或给定量)。从广义上讲,输入信号是指输入到系统中的各种信号,包括对系统输出不利的干扰信号在内。一般来说,输入信号仅指控制输出量变化规律的信号。

(4) 输出信号(也称为输出量、被控制量或被调节量)。指表征被控对象运动规律或状态的物理量。输出信号是输入信号作用的结果,因此,它的变化规律应与输入信号之间保持确定的关系。

(5) 反馈信号。它是输出信号经过反馈元件变换后加到输入端的信号。若反馈信号的符号与输入信号相同,称为正反馈;反之,称为负反馈。控制系统中的主反馈通常采用负反馈,以免系统失控。系统中的局部反馈,主要用于对系统进行校正等,以满足控制系统的性能要求。

(6) 偏差信号。系统的输入量与反馈量之差,是比较环节的输出。

(7) 误差信号。是指输出量的实际值与希望值之差,通常希望值是系统的输入量。这里需要注意,误差和偏差不是相同的概念,只有在单位反馈系统,即反馈信号等于输出信号的情况下,误差才等于偏差。

(8) 干扰信号(也称为扰动信号)。干扰信号是指偶然的、无法加以人为控制的信号。干扰信号也是一种输入信号,通常对系统的输出产生不利的影响。

(9) 自动控制。在无人直接参与的情况下,利用一组装置使被控对象的被控制量按预定的规律运动或变化的控制方式。

(10) 自动控制系统。被控对象和参与实现被控制量自动控制的装置或元件的组合。

## 1.2 控制系统的基本要求及应用

### 1.2.1 对控制系统的基本要求

用于不同场合的控制系统,其性能要求也不同。但从控制工程的角度出发,对每个控制系统却有相同的基本要求,一般可归纳为稳定性、准确性和快速性。

#### 1. 稳定性

稳定性是保证控制系统正常工作的首要条件。因为控制系统中都包含储能元件,若系统参数匹配不当,就可能引起振荡。稳定性就是指系统动态过程的振荡倾向及其恢复平衡状态的能力。对于稳定性满足要求的系统,当输出量偏离平衡状态时,应能随着时间的推移而收敛并且最后回到初始的平衡状态。

