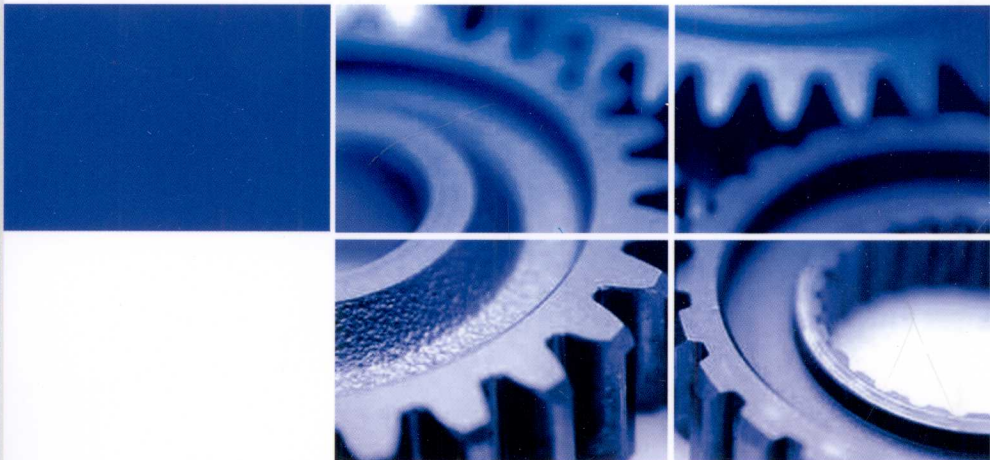


普通高等教育“十二五”规划教材  
高等学校机械电子工程规划教材



# 机械控制 工程基础

第2版

董玉红 / 徐莉萍 主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 高等学校机械电子工程规划教材

机电一体化系统设计	连香姣 司俊山 主编
机电一体化系统设计课程设计	尹志强 刘志峰 主编
可编程序控制器及应用	吴上升 宋小春 主编
机电传动控制	芮延年 主编
数控加工技术	李伟光 主编
数控技术	隋秀凜 主编
机械控制工程基础 第2版	董玉红 徐莉萍 主编
工程流体力学	赵喜荣 主编
单片机原理及应用	李建朝 王沫楠 主编
液压气体传动与控制	方庆瑄 主编
机器人技术及应用	谢存禧 张 铁 主编

地址:北京市百万庄大街22号

邮政编码:100037

电话服务

社服务中心:010-88361066

销售一部:010-68326294

销售二部:010-88379649

读者购书热线:010-88379203

网络服务

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工微博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版



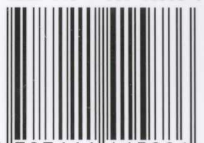
赠电子课件

[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

ISBN 978-7-111-41588-6

策划编辑◎刘小慧 / 封面设计◎张静

ISBN 978-7-111-41588-6



9 787111 415886 >

定价:23.80元

013039439

TP273-43

24-2

普通高等教育“十二五”规划教材  
高等学校机械电子工程规划教材

# 机械控制工程基础

第2版

主编 董玉红 徐莉萍  
参编 田 彧 刘亚俊 吴开宇  
主审 张立勋



机械工业出版社



北航

C1648015

TP273-43  
24-2

000000010

本书主要讲述控制工程的基本概念和基础知识,以及 MATLAB 软件在控制系统分析与设计中的应用。内容包括系统的数学模型、时域分析、频域分析、系统的稳定性以及系统的校正设计等部分。

本书注重控制理论在机械工程中的应用,并以适当的机械系统实例结合机械工程的实际,运用控制理论以及 MATLAB 软件,对系统进行分析与设计,为学生将来解决控制工程的实际问题打下基础。

全书章节内容连贯,系统性强,各章均配有习题与思考题,并在书后附有部分习题的参考答案。为方便教学,本书配有多媒体电子课件,请使用教材的老师到机械工业出版社教育服务网 (<http://www.cmpedu.com>) 查询。

本书作为高等学校机械电子工程专业的规划教材之一,适用于机电专业、机械设计制造及自动化等专业本科生的学习,也可供控制系统设计、MATLAB 应用的工作者及相关专业的工程技术人员参考使用。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

机械控制工程基础/董玉红,徐莉萍主编. —2版. —北京:机械工业出版社,2013.5

普通高等教育“十二五”规划教材 高等学校机械电子工程规划教材  
ISBN 978-7-111-41588-6

I. ①机… II. ①董…②徐… III. ①机械工程-控制系统-高等学校-教材 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 033778 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:刘小慧 责任编辑:刘小慧 王寅生 于苏华

版式设计:霍永明 责任校对:杜雨霏

封面设计:张静 责任印制:杨曦

高教社(天津)印务有限公司印刷

2013 年 5 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 12 印张 · 292 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-41588-6

定价:23.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

## 高等学校机械电子工程规划教材编委会

主任：谢存禧

副主任：贾建援 熊诗波 孔祥东 高文龙

秘书：林颖

委员：谢存禧 贾建援 熊诗波 孔祥东 高文龙

芮延年 隋秀凜 孟宪颐 李强 张河新

赵学增 刘志峰 方庆琯

# 前 言

随着现代科学和计算机技术的迅速发展,将控制理论应用于机械工程实际,解决工程实际问题显得日益重要。机械工程控制论的理论和方法正在成为广大学生和工程技术人员分析问题和解决问题的有效手段,它是高等学校机械电子工程专业的重要技术基础课之一。

第1版教材在机电专业的本科教学中收到了良好的使用效果。为了紧跟时代的发展,不断完善和更新教材内容,在第2版中主要对MATLAB语言及其在连续系统数学模型、时域分析、频域分析中的应用内容进行了更新与精炼,并介绍了控制系统的Simulink建模和系统分析的图形界面工具LTI Viewer,以增强教材的实用性和先进性;增加了物理系统传递函数推导的实例,并选择典型的和在工程实际中应用广泛的机械系统,结合MATLAB/Simulink对系统进行建模与分析,为学生今后将控制理论应用于机械工程实际,解决工程实际问题打下坚实的基础。

全书章节内容连贯,系统性强,结构紧凑。内容共分六章:第一章绪论,主要对机械工程控制论和MATLAB软件进行概要介绍;第二章系统的数学模型,主要讲述运用力学、电学知识对系统建模的方法,以及传递函数、框图、信号流图等重要概念,并对典型的和在工程实际中应用广泛的机械系统传递函数进行了推导,最后讲述连续系统数学模型的MATLAB实现;第三章时域分析,主要对一阶系统、二阶系统在典型输入信号作用下的时间响应进行分析,并定义了二阶系统的性能指标,介绍了稳态误差的概念与计算,最后讲述系统时域分析的MATLAB实现;第四章频域分析,主要介绍频率特性的概念,重点讲述典型环节的频率特性及系统频率特性的极坐标图和对数坐标图的绘制,并介绍了系统闭环频率特性的概念和闭环系统性能分析,最后讲述了频域分析的MATLAB实现;第五章系统的稳定性,主要介绍稳定性的基本概念,重点讲述劳斯稳定判据和奈奎斯特稳定判据,并介绍了系统的相对稳定性及衡量稳定裕度的性能指标,最后讲述了系统稳定性分析的MATLAB实现;第六章系统的校正设计,主要介绍了校正的概念与功能,重点讲述串联校正、PID校正以及反馈校正,并给出了利用MATLAB软件进行串联校正设计的实例。在附录A中给出了常用函数拉普拉斯变换表;在附录B中给出了部分习题的参考答案。为便于教学,本书配有多媒体电子课件。

本书由哈尔滨理工大学董玉红教授和河南科技大学徐莉萍教授主编,由哈尔滨工程大学博士生导师张立勋教授主审。全书内容的编者分工为:第一、六章及有关MATLAB软件的内容由董玉红编写;第二章由北京建筑工程学院田彧编写;第三章由华南理工大学刘亚俊编写;第四章由河南科技大学徐莉萍编写;第五章由哈尔滨理工大学吴开宇编写。全书由董玉红统稿。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

# 目 录

前言	
<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 机械工程控制论概述 .....	1
第二节 控制系统的工作原理与组成 .....	4
第三节 控制系统的分类与基本要求 .....	6
第四节 MATLAB 语言简介 .....	8
习题与思考题 .....	20
<b>第二章 系统的数学模型</b> .....	22
第一节 系统的微分方程 .....	22
第二节 拉普拉斯变换与反变换 .....	28
第三节 传递函数 .....	33
第四节 系统框图及简化 .....	41
第五节 信号流图与梅逊公式 .....	48
第六节 物理系统的传递函数推导 .....	50
第七节 连续系统数学模型的 MATLAB 实现 .....	55
习题与思考题 .....	61
<b>第三章 时域分析</b> .....	64
第一节 概述 .....	64
第二节 一阶系统的时间响应 .....	66
第三节 二阶系统的时间响应 .....	68
第四节 高阶系统的响应分析 .....	73
第五节 稳态误差分析与计算 .....	74
第六节 时域分析的 MATLAB 实现 .....	83
习题与思考题 .....	89
<b>第四章 频域分析</b> .....	91
第一节 概述 .....	91
第二节 典型环节的频率特性 .....	96
第三节 系统开环频率特性的绘制 .....	105
第四节 闭环频率特性 .....	117
第五节 闭环系统性能分析 .....	120
第六节 频域分析的 MATLAB 实现 .....	123
习题与思考题 .....	126
<b>第五章 系统的稳定性</b> .....	128
第一节 概述 .....	128
第二节 劳斯稳定判据 .....	130
第三节 奈奎斯特稳定判据 .....	134
第四节 系统的相对稳定性 .....	140
第五节 系统稳定性分析的 MATLAB 实现 .....	143
习题与思考题 .....	148
<b>第六章 系统的校正设计</b> .....	150
第一节 概述 .....	150
第二节 串联校正 .....	152
第三节 PID 校正 .....	160
第四节 反馈校正 .....	165
第五节 系统校正设计的 MATLAB 实现 .....	168
习题与思考题 .....	178
<b>附录 A 常用函数拉普拉斯变换表</b> .....	180
<b>附录 B 部分习题参考答案</b> .....	181
<b>参考文献</b> .....	184

# 第一章

## 绪论

机械控制工程是研究控制论在机械工程中应用的科学。它是一门技术科学，也是一门跨控制论与机械工程领域的边缘学科。随着工业生产和科学技术的不断发展，机械工程控制论这门新兴学科越来越为人们所重视。原因是它不仅满足今天自动化技术高度发展的需要，同时也与信息科学和系统科学紧密相关，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械系统，改进和完善机械系统，以满足科技发展和工业生产的实际需要。

### 第一节 机械工程控制论概述

#### 一、控制论

控制论、相对论和量子论被称为是 20 世纪上半叶的三项科学革命，也是人类认识客观世界的三大飞跃。控制论是自动控制、电子技术、计算机科学等多种学科相互渗透的产物，是在 20 世纪 40 年代酝酿形成的。1948 年 N·维纳发表了著名的《控制论》，它基本上形成了经典控制理论。1954 年，我国科学家钱学森在美国运用控制论的思想和方法，首创了工程控制论，把控制论推广到工程技术领域，奠定了工程控制论这一技术科学的基础。不久又相继出现了生物控制论、经济控制论和社会控制论。因此，控制论在建立后的很短时期内便迅速渗透到许多科学技术领域，极大地推动了近代科学技术的发展。

按照自动控制技术发展的不同阶段，控制理论分为两大部分：经典控制理论和现代控制理论。经典控制理论以传递函数为基础，主要研究单输入-单输出系统的分析和控制问题。现代控制理论是在经典控制理论的基础上，于 20 世纪 60 年代后发展起来的。它是以状态空间分析法为基础，主要分析和研究多输入-多输出、时变、非线性等系统的最优控制问题。由于计算机技术和现代应用数学的迅速发展，现代控制理论在最佳滤波、系统辨识、自适应





控制、智能控制等方面又有重大进展。

## 二、机械控制论的研究对象与任务

机械控制论的研究对象是机械工程技术中广义系统的动力学问题。具体地讲，机械控制论是研究系统及其输入、输出三者之间的动态关系，也就是研究机械工程广义系统在一定的外界条件作用下，从系统的一定初始条件出发，所经历由内部的固有特性所决定的整个动态历程。例如，在机床数控技术中，调整到一定状态的数控机床就是系统，数控指令就是输入，数控机床的加工运动就是输出。这里系统是由相互联系、相互作用的若干部分构成且有一定运动规律的一个有机整体；输入是外界对系统的作用；输出是系统对外界的作用。通常机械控制论简称机械控制工程，其所研究的系统可大可小、可繁可简，完全由研究的需要而定，因而称之为广义系统。

由此可见，就系统及其输入、输出三者之间的动态关系而言，机械控制论的任务主要研究解决以下几个方面的问题：

- 1) 当系统已定，输入已知时，求出系统的输出（响应），并通过输出来研究系统本身的有关问题，称之为系统分析。
  - 2) 当系统已定，系统的输出也已给定时，要确定系统的输入，使输出尽可能符合给定的最佳要求，称之为系统的最优控制。
  - 3) 当输入已知，输出也给定时，要确定系统，使其输出尽可能符合给定的最佳要求，称之为最优设计。
  - 4) 当输入和输出均已知时，求系统的结构与参数，即建立系统的数学模型，称之为系统辨识或系统识别。
  - 5) 当系统已定，输出已知时，要识别输入或输入中的有关信息，称之为滤波与预测。
- 从本质上看，问题1)是已知系统与输入求输出，问题2)和5)是已知系统与输出求输入，问题3)和4)是已知输入与输出求系统。

本书主要是以经典控制理论来研究问题1)，即通过已知系统与输入求输出，来进行系统分析方面的问题研究。

## 三、反馈及反馈控制

控制论的核心内容是通过信息的传递、加工处理和反馈来进行控制。控制论把一切能表达一定含义的信号、符号、密码和消息等统称为信息。所谓信息传递，是指信息在系统及过程中以某种关系动态地传递，也称转换。例如，对于机床加工工艺系统，要研究机床的加工精度问题，可将工件尺寸作为信息，通过工艺过程的转换，对加工前后工件尺寸的分布情况，运用信息处理的理论和方法来进行研究。

机械控制工程中一个最基本、最重要的概念就是反馈。将系统的输出全部或部分地返回到系统的输入端，并与输入信号共同作用于系统的过程，称之为反馈或信息反馈。如果反馈回去的信号与系统的输入信号方向相反，称之为负反馈；如果方向相同，则称之为正反馈。

在工程技术领域中，随着自动化程度的提高，已广泛采用自动控制系统。在自动控制系统中，通常存在着反馈控制。所谓反馈控制就是利用反馈信号对系统进行控制。下面以机械动力学的典型实例：蒸汽机离心调速器调速系统（见图1-1），来对反馈控制加以说明。

如图1-1a所示，离心调速器由离心机构、比较机构和转换机构等部分组成。对调速系统的调节要求是：调节进入蒸汽机的蒸汽量 $q$ ，使蒸汽机在不同的工作负载 $T$ 时，输出转速

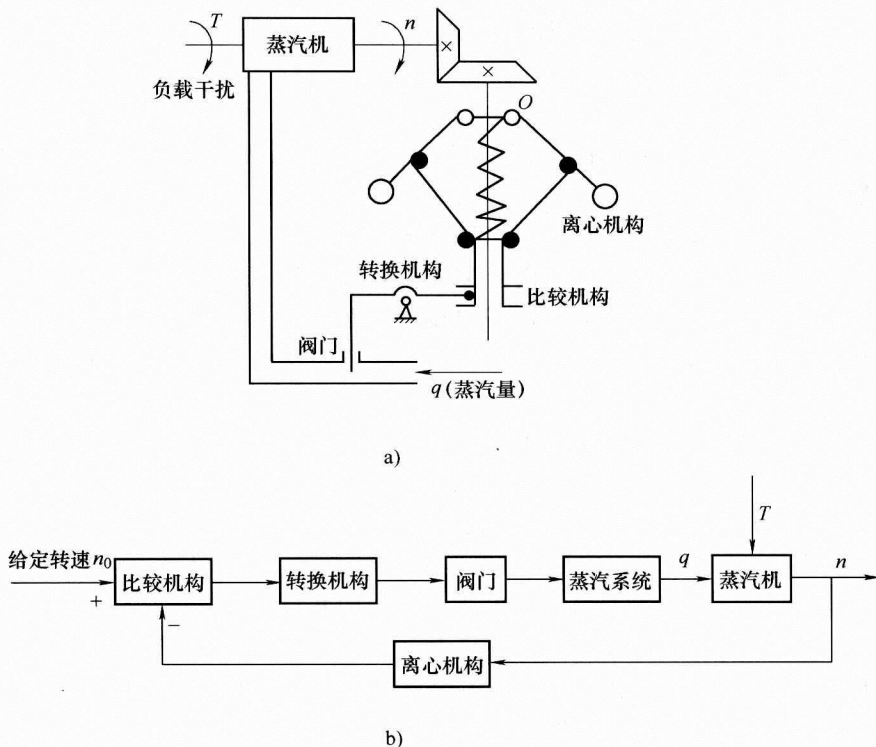


图 1-1 蒸汽机离心调速器调速系统

a) 结构示意图 b) 调速原理框图

$n$  保持不变。调速过程为：当外界负荷变化使  $T$  减小时，因为蒸汽带入的功率不变，输出转速  $n$  将上升； $n$  上升后，离心机构以  $O$  点为支点进一步张开，比较机构的滑套上升，带动转换机构的杠杆，将调节阀的阀门关小， $q$  随之下降，使  $n$  降低逐渐趋向原给定值。显然，蒸汽机的输出转速  $n$  是通过离心调速器，根据转速  $n$  变化后调节蒸汽量  $q$  的大小来使其恢复给定值的，这就是转速  $n$  本身的反馈控制。

图 1-1b 所示为调速系统的原理框图。由图可见，在这里反馈信息为实际转速  $n$ ，经与给定转速  $n_0$  相比较形成一个闭环系统。通常人们利用反馈控制原理在机械系统或过程中加上一个人工的反馈，构成一个自动控制系统，这种反馈称为外反馈。离心调速器就是人为加上的反馈控制装置，目的在于抵抗负荷变化所引起的输出转速的变化。但是，在许多机械系统或过程中，往往存在相互耦合作用形成非人为的“内在”反馈，从而构成一个闭环系统，这种反馈称为内反馈。例如，机械系统中作用力与反作用力的相互耦合而形成内在反馈。又如在切削过程中自激振动的产生，也必是存在内在的反馈使能量在内部循环，促使振动持续进行。因而，许多机械系统从表面上看是开环系统，没有人为加上反馈控制，但经过分析可以发现它们实质上都是闭环系统。机械系统或过程中广泛存在着内反馈或外反馈，这里要注意必须是从动力学而不是静力学的观点，从系统而不是孤立的观点进行分析，才能揭示系



统或过程的本质。

## 第二节 控制系统的工作原理与组成

### 一、工作原理

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。下面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 1-2 为人工控制水箱液位的示意图。人工控制的任务是克服水箱出水口扰动量  $q_2$  变化，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如下：

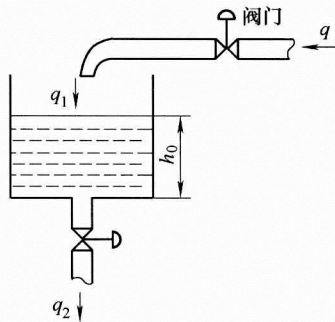


图 1-2 水箱液位的人工控制

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) 将实际的液位高度与给定液位高度进行比较，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，再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、求偏差及进行纠正偏差的过程，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器来代替，一个人工调节的系统就变成一个自动控制系统。

图 1-3 所示为水箱液位自动控制系统示意图。在这个自动控制系统中，用浮子作为测量元件代替人眼，用电位器作为比较器代替人脑，用放大器、电动机及减速器作为驱动环节代替人手。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，其输入电压为  $u_1$  时，电动机  $M$  不动，控制阀门有一定开口度，水箱中进水量与出水量相等，液位保持在期望值上。一旦进水量  $q_1$

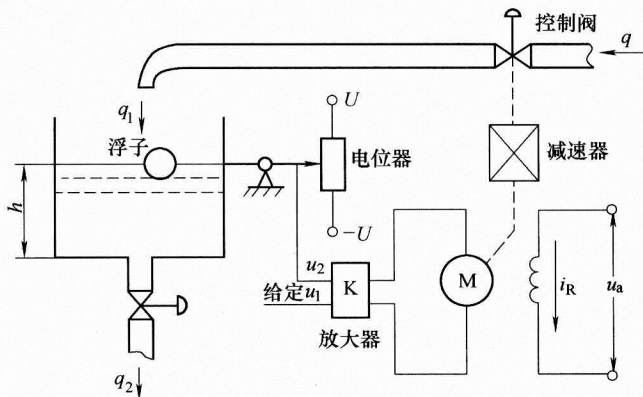


图 1-3 水箱液位自动控制系统示意图

或出水量  $q_2$  发生变化，例如使液面上升时，浮子位置也相应升高，通过杠杆作用使电位器电刷下移，此时其电压为  $u_2$ ，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减小阀门开口度，使水箱的进水量减少。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，系统重新处于平衡位置，液面恢复给定高度。反之，若水箱液位下降，则系统会自动增大阀门开口度，加大进水量，使液位上升到给定高度。



由此可见，控制系统的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。

这种基于反馈原理，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测量、比较和执行三个基本功能。

液位自动控制系统框图如图 1-4 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最基本的方法。

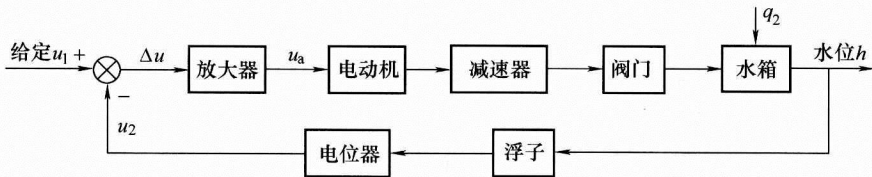


图 1-4 液位自动控制系统框图

## 二、控制系统的组成

### 1. 控制系统的组成

图 1-5 所示为闭环控制系统的组成框图，通常称为闭环控制系统。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。当一个控制系统的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。

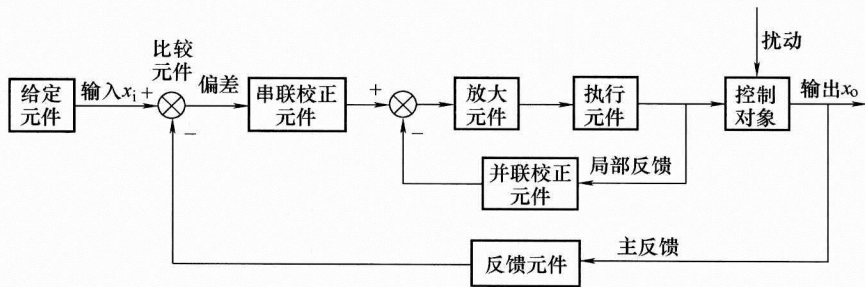


图 1-5 闭环控制系统的组成框图

### 2. 控制系统的基本概念和术语

(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用电量来测量非电量的一些元件。例如，用电位计或旋转变压器将位移或转角变换为电压信号；用热电偶将温度变换为电压信号；用光栅测量装置将直线位移变换为数字电信号等。

(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。



(4) 放大元件 对较弱的偏差信号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。

(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。串联在系统前向通道上的称为串联校正元件，并接在反馈回路上的称为并联校正元件。

以上介绍了控制系统的工作原理和基本组成。下面将常用控制系统的一些基本概念和名词术语归纳如下：

(1) 被控对象 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或控制对象。

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

(3) 输入信号 又叫输入量、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扰动信号在内。一般来说，输入信号是指控制输出量变化规律的信号。

(4) 输出信号 又叫输出量、被控制量或被调节量，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，主要用于系统进行校正等，以满足控制系统的性能要求。

(6) 偏差 系统的输入量与反馈量之差，即比较环节的输出。

(7) 误差信号 它是指输出量的实际值与期望值之差，通常期望值是系统的输入量。这里需要注意，误差和偏差是不相同的概念，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) 扰动信号 又叫干扰信号。扰动信号是指偶然的无法加以人为控制的信号。扰动信号也是一种输入信号，通常对系统的输出产生不利的影晌。

### 第三节 控制系统的分类与基本要求

#### 一、控制系统的分类

控制系统的种类很多，在实际中可以从不同的角度进行分类。

##### 1. 按输入量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，以及某些原动机的速度控制、机



床的位置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。

图 1-6 所示为一个数控机床切削加工的程序控制系统。将待加工的工件按图样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,这样就加工出所需工件的外形。

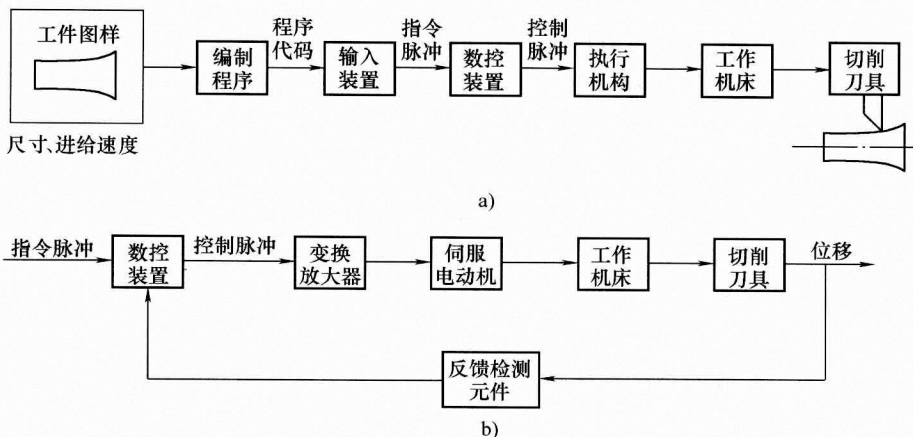


图 1-6 程序控制系统

a) 数控加工过程原理框图 b) 数控机床进给系统框图

(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。

## 2. 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几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(Laplace)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变换法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。

## 二、基本要求

自动控制系统应用的场合不同,对系统性能的要求也不同。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，应能随着时间收敛并且最后回到初始的平衡状态。

### 2. 准确性

准确性是指控制系统的控制精度，一般用稳态误差来衡量。所谓稳态误差是指以一定变化的输入信号作用于系统后，当调整过程结束趋于稳定时，输出量的实际值与期望值之间的误差值。准确性是衡量控制系统性能的重要指标。例如数控机床稳态误差越小，加工精度就越高。

### 3. 快速性

快速性是指当系统的输出量与输入量之间产生偏差时，系统消除这种偏差的快慢程度。快速性是在系统稳定的前提下提出的，它是衡量控制系统性能的又一个重要指标。快速性好的系统，消除偏差的过渡过程时间短，因而就能复现快速变化的输入信号，并具有较好的动态性能。

在实际中，由于控制对象的具体情况不同，每类控制系统对稳定、准确、快速这三方面的要求各有侧重。例如，调速系统对稳定性要求较严格，而伺服系统对快速性要求较高。即使对于同一系统，稳、准、快也是相互制约的。提高快速性，可能会引起强烈振荡，降低了系统的稳定性；改善了稳定性，控制过程可能会过于迟缓，快速性甚至准确性都会变差。如何分析和解决这些矛盾，正是本课程所要讨论和学习的重要内容。

## 第四节 MATLAB 语言简介

MATLAB 是美国 Mathworks 公司开发的大型数学计算软件，它提供了强大的矩阵处理和绘图功能，并具有界面友好的用户环境。由于 MATLAB 可信度高、灵活性好、使用方便、人机界面直观、输出结果可视化，所以目前在世界范围内被科技工作者和大学生们广泛使用。MATLAB 带有一些强大的具有特殊功能的工具箱，几乎涵盖了所有工业、电子、医疗、建筑等各个领域，已经成为国际上最流行的软件之一。现在的 MATLAB 已不仅仅是一个“矩阵实验室”（Matrix Laboratory），而且已经成为一种实用的计算机高级编程语言，是工程技术人员的必备软件。

MATLAB 中含有极为丰富的专门用于控制系统分析与设计的函数，可以实现对线性系统的时域分析、频域分析、稳定性分析和系统校正设计。根据控制系统描述方法的不同，如系统使用传递函数来表达，还是用状态方程来表达，可以选择经典的或现代的控制技术来处理。不仅如此，还可以利用 MATLAB 提供的函数来进行模型之间的转换。对于经典控制理论中常用的系统分析方法，如时域分析、频域分析等都能方便地进行计算，并能以图形的形式表达出来。本书将主要介绍以传递函数描述的经典控制论的系统分析与设计方法的 MATLAB 实现。



## 一、MATLAB 的系统界面

MATLAB 具有强大的编程功能和易操作的交互式计算环境。MATLAB 语言被认为是一种解释性能语言，在其工作空间（Workspace），用户可以在 MATLAB 的命令窗口中键入一个命令，就可以直接进行数字运算，也可以应用 MATLAB 语言编写应用程序，运行程序及跟踪调试程序。MATLAB 软件会对命令和程序的各项语句进行翻译，然后在 MATLAB 环境中对它进行处理，最后返回结果。

启动 MATLAB7.0 后，出现 MATLAB7.0 的系统界面如图 1-7 所示。MATLAB7.0 系统界面的最上面是“MATLAB”标题栏，标题栏下面是条形菜单栏，菜单栏下面是工具栏按钮与设置当前目录的弹出式菜单框及其右侧的查看目录树的按钮。在工具栏下面的大窗口就是 MATLAB7.0 的主窗口，在大窗口里设置有四个小窗口：工作空间（Workspace）、当前目录（Current Directory）、命令历史（Command History）与命令窗口（Command Window）。在最下面是“Start”开始按钮。命令窗口是用户和 MATLAB7.0 进行交互的主要场所。

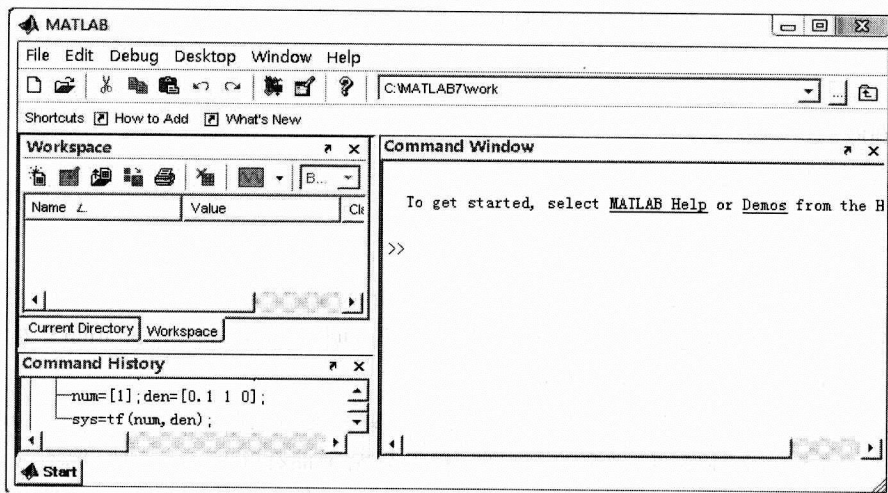


图 1-7 MATLAB7.0 的系统界面

MATLAB7.0 命令窗口的最上面一行是系统初始提示信息，第二行就会出现 MATLAB 环境提示符号“>>”和光标位置符。在命令窗口中，命令的执行类似 DOS 的行命令形式。从提示符处输入命令，按回车键后执行命令，并且一行可以输入多条命令，各命令用逗号或分号隔开。逗号告诉 MATLAB 显示结果，分号禁止显示。

## 二、MATLAB 数学运算

用 MATLAB 进行数学运算，就像在计算器上算算术一样简单方便。因此，MATLAB 被誉为“草稿纸式的科学计算语言”。在 MATLAB 的工作空间中，可以极为方便地直接进行一般的算术运算、复数运算、数组与矩阵运算等数学运算。

### 1. 算术运算

运用 MATLAB 可以完成一般常用的加（+）、减（-）、乘（\*）、除（/）、幂次（^）等数学运算，最快速、简单的方法是在 MATLAB 命令窗口（Command Window）内的提示符号（>>）之后输入表达式，并按下【Enter】键即可。例：





```
>> (5 * 2 + 3.5) / 5
```

```
ans =
```

```
2.7000
```

MATLAB 会将运算结果直接存入默认变量 `ans`，代表 MATLAB 运算后的答案 (Answer)，并在屏幕上显示其运算结果的数值 (在上例中，即为 2.7000)。

若不想让 MATLAB 每次都显示运算结果，只需在表达式最后加上分号 (;) 即可。例：

```
>> (5 * 2 + 3.5) / 5 ;
```

在上例中，由于表达式后面加入了分号，因此 MATLAB 只会将运算结果储存在默认变量 `ans` 内，不会显示于屏幕上；在需要时取用或显示此运算结果，可直接输入变量 `ans`。例 (接上例)：

```
>> ans
```

```
ans =
```

```
2.7000
```

使用者也可将运算结果储存于使用者自己设定的变量 `x` 内。例：

```
>> x = (5 * 2 + 3.5) / 5
```

```
x =
```

```
2.7000
```

MATLAB 变量命名遵循以下规则：

1) 第一个字母必须是英文字母。

2) 字母间不可留空格。

3) 最多只能有 31 个字母，MATLAB 会忽略多余字母。

4) MATLAB 在使用变量时，不需预先经过变量声明 (Variable Declaration) 的程序，而且所有数值变量均以默认的 `double` 数据类型储存。

MATLAB 会将所有在百分比符号 (%) 之后的文字视为程序的注解 (Comments)。例：

```
>> y = (5 * 2 + 3.5) / 5 ; % 将运算结果储存于变量 y 内，但不显示于屏幕
```

```
>> z = y ^ 2 % 将运算结果储存于变量 z 内，并显示于屏幕
```

```
z =
```

```
7.2900
```

在上例中，百分比符号之后的文字会被 MATLAB 忽略不执行，但它的使用可提高 MATLAB 程序的可读性。

MATLAB 可同时执行以逗号 (,) 或分号 (;) 隔开的几个表达式。例：

```
>> x = sin(pi / 3) ; y = x ^ 2 ; z = y * 10 ,
```

```
z =
```

```
7.5000
```

若一个数学表达式太长，可用三个句点 (...) 将其延伸到下一行。例：

```
>> z = 10 * sin(pi / 3) * ...
```

```
sin(pi / 3)
```

```
z =
```

```
7.5000
```