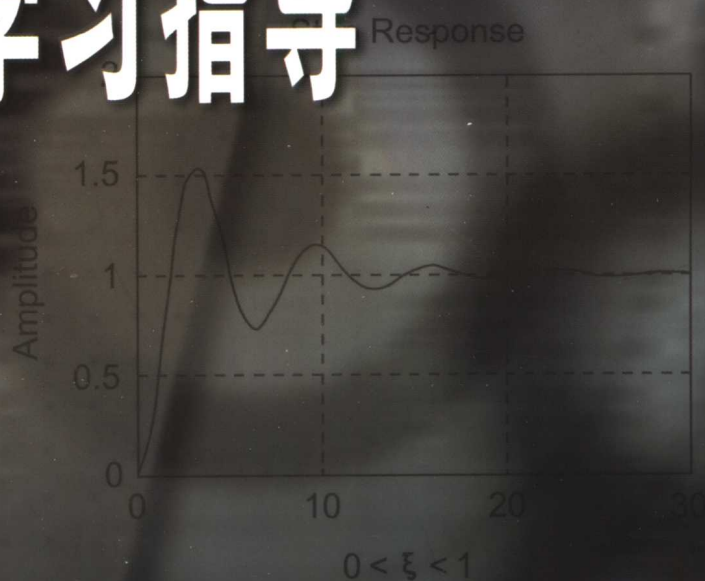


主编 董玉红 杨清梅

主审 张立勋

# 机械控制工程基础 学习指导



哈尔滨工业大学出版社

# 机械控制工程基础学习指导

主 编 董玉红 杨清梅  
副主编 张晓超 吴开宇  
主 审 张立勋

哈尔滨工业大学出版社

·哈尔滨·

## 内 容 简 介

本书是《机械控制工程基础》的教学辅导用书,与教材同步使用。本书的内容对应于教材各章节,每章包括内容要点、基本要求、重点难点、例题精选和习题解答。第八章精选了四套综合练习题,其中包括部分院校研究生入学考试试题和本科生课程结业考试题,并给出了参考答案。本书内容精炼,重点突出,题解详尽清楚。

本书可作为大学本科生学习本课程的辅导教材,也可帮助报考研究生者进行系统复习。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械控制工程基础学习指导/董玉红主编. —哈尔滨:  
哈尔滨工业大学出版社, 2003. 11

ISBN 7 - 5603 - 1875 - 4

I. 机… II. 董… III. 机械工程-控制系统-高等学校-教学参考资料 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 098785 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006  
传 真 0451 - 86414749  
印 刷 哈尔滨市龙华印刷厂  
开 本 787×1092 1/16 印张 10.25 字数 234 千字  
版 次 2003 年 11 月第 1 版 2003 年 11 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 7 - 5603 - 1875 - 4/TH·110  
印 数 1~4 000  
定 价 14.80 元

# 前 言

机械控制工程基础是机械工程专业的重要专业基础课之一,它主要讲述控制理论的基础知识和基本概念,并结合机械工程系统,将控制理论应用于工程实际,解决实际问题。机械工程控制论的理论和正在成为学生和科技工作者必须掌握的分析问题和解决问题的有效手段。

机械控制工程基础是一门多学科交叉的新课程。在教学中发现,对于机械专业的学生,学习这一新课程有一定的难度。为了让学生真正掌握和学好该专业基础课,为后续的专业课学习打下坚实的基础,我们参考了有关习题解答材料,并将教学中积累的素材加以整理,编写了这本《机械控制工程基础学习指导》。

本书作为《机械控制工程基础》的教学辅导用书,共分八章,第一章至第七章的内容与教材的内容对应,每章按内容要点、基本要求、重点难点、例题精选和习题解答几个环节进行指导。内容要点是教材中章节内容的提炼和概括;基本要求、重点难点帮助在学习时明确目的;例题精选是对典型性、代表性的例题进行解析,便于学生加深理解基本概念和基础知识;习题解答针对教材每章后面的习题给出详细的解题过程,使学生真正熟练掌握所学的知识内容。第八章精选了四套综合练习题,其中包括部分院校研究生入学考试试题和本科生课程结业考试题,并给出了参考答案。

本书由哈尔滨理工大学董玉红和哈尔滨工程大学杨清梅主编,由哈尔滨工程大学博士生导师张立勋教授主审。书中第一、二、三、八章由董玉红编写;第四、五章由杨清梅编写;第六章由哈尔滨理工大学吴开宇编写;第七章由哈尔滨理工大学张晓超编写。

张立勋教授对本书提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。

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。

编 者  
2003年6月

# 目 录

第一章 绪论	1
内容要点	1
1.1 机械工程控制论的基本含义	1
1.2 控制系统的工作原理与组成	2
1.3 对控制系统的基本要求与分类	3
1.4 本课程的特点及学习方法	4
基本要求	5
重点难点	5
例题精选	5
习题解答	7
第二章 系统的数学模型	11
内容要点	11
2.1 系统的微分方程	11
2.2 拉氏变换与反变换	13
2.3 传递函数	17
2.4 系统的方框图及其简化	19
2.5 反馈系统的传递函数	20
2.6 信号流图与梅逊公式	21
2.7 物理系统的传递函数推导	22
基本要求	23
重点难点	23
例题精选	23
习题解答	28
第三章 时间响应分析	39
内容要点	39
3.1 时间响应和典型输入信号	39
3.2 一阶系统的时间响应	40
3.3 二阶系统的时间响应	43
3.4 高阶系统的响应分析	46
3.5 稳态误差分析与计算	47

基本要求 .....	50
重点难点 .....	50
例题精选 .....	51
习题解答 .....	55
<b>第四章 频率特性分析 .....</b>	<b>61</b>
内容要点 .....	61
4.1 频率特性 .....	61
4.2 典型环节的频率特性 .....	62
4.3 系统开环频率特性图 .....	65
4.4 闭环频率特性 .....	66
4.5 闭环系统性能分析 .....	69
基本要求 .....	70
重点难点 .....	70
例题精选 .....	71
习题解答 .....	75
<b>第五章 系统的稳定性 .....</b>	<b>81</b>
内容要点 .....	81
5.1 稳定性的基本概念 .....	81
5.2 劳斯稳定判据 .....	82
5.3 奈奎斯特稳定判据 .....	83
5.4 系统的相对稳定性 .....	86
基本要求 .....	87
重点难点 .....	87
例题精选 .....	87
习题解答 .....	91
<b>第六章 系统设计与校正 .....</b>	<b>97</b>
内容要点 .....	97
6.1 概述 .....	97
6.2 串联校正 .....	98
6.3 PID 校正 .....	101
6.4 反馈校正 .....	103
基本要求 .....	103
重点难点 .....	104
例题精选 .....	104
习题解答 .....	112

<b>第七章 线性离散系统</b> .....	119
内容要点.....	119
7.1 线性离散系统的基本概念 .....	119
7.2 $Z$ 变换与 $Z$ 反变换 .....	120
7.3 脉冲传递函数 .....	123
7.4 线性离散系统性能分析 .....	126
7.5 数字控制器的设计 .....	130
基本要求.....	131
重点难点.....	132
例题精选.....	132
习题解答.....	138
<b>第八章 综合练习</b> .....	145
综合练习(1) .....	145
综合练习(2) .....	146
综合练习(3) .....	148
综合练习(4) .....	150
综合练习参考答案.....	151
<b>参考文献</b> .....	154

# 第一章 绪 论

## 内 容 要 点

### 1.1 机械工程控制论的基本含义

#### 1.1.1 控制论概述

控制论是在 20 世纪 40 年代逐渐形成的,它是由自动控制、电子技术、计算机科学等多种学科相互渗透而产生的交叉学科。控制论的中心思想:通过信息的传递、加工处理和反馈来进行控制。1948 年,N·维纳发表了著名的《控制论》,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。不久又相继出现了生物控制论、经济控制论和社会控制论。

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,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。

#### 1.1.2 机械工程控制论的研究对象与任务

机械工程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,机械工程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

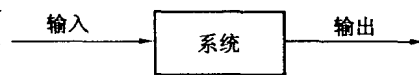


图 1.1 系统与输入、输出

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。如图 1.1 所示,这里的系统是由相互联系、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。通常机械工程控制论简称为机械控制工程,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。

机械工程控制论的任务主要分为以下几个方面:

(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,即系统分析。

(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,即系统的最优控制。

(3) 当输入已知输出也给定时,确定系统,使之输出尽可能符合给定的最佳要求,即最优设计。



(4) 当输入和输出均已知时,求出系统的结构与参数,即建立系统的数学模型,此即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,此即滤波与预测。

### 1.1.3 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,亦称转换。所谓反馈是指将系统输出的全部或部分返送回系统的输入端,并与输入信号共同作用于系统的过程,称为反馈或信息反馈。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,则称为正反馈。所谓反馈控制就是利用反馈信号对系统进行控制。

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。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。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。

## 1.2 控制系统的工作原理与组成

### 1.2.1 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。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。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。

### 1.2.2 控制系统的组成

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,如图 1.2 所示。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,开环系统组成中没有反馈元件和比较元件。

- (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。
- (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的元件。

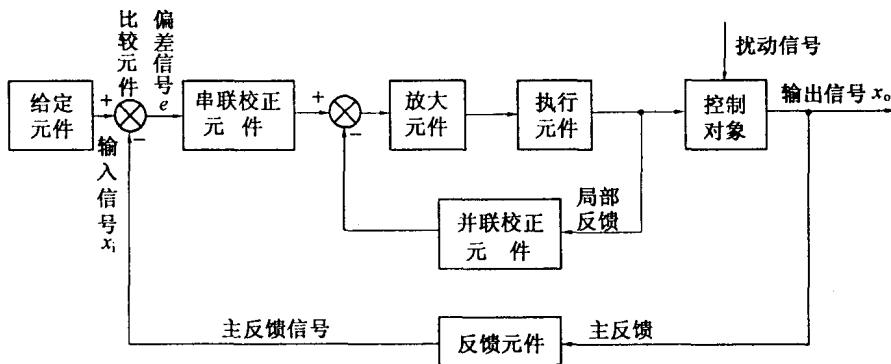


图 1.2 闭环控制系统的组成

(5) 执行元件。直接对被控对象进行操纵的元件。

(6) 校正元件。校正元件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。

控制系统基本概念和常用名词术语:

(1) 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控制对象或被控对象。

(2) 控制器。在控制系统中,控制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。

(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,它与输入信号保持确定的关系。

(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。

(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。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。

(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。

## 1.3 对控制系统的基本要求与分类

### 1.3.1 基本要求

从控制工程的角度出发,对控制系统的基本要求是稳定性、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。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

准确性是衡量控制系统性能的重要指标。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。

## 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。

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。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。

### 1.3.2 控制系统的分类

#### 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)。

##### (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。

##### (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跟随变化,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。

#### 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。

##### (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。

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。

## 1.4 本课程的特点及学习方法

机械控制工程是一门技术基础课,它是利用控制论的原理和方法来解决机械工程问

题的一门技术学科。在学习本课程之前,应有较好的数学、力学、电学基础知识,还要有一定的机械工程方面的专业知识。

学习本课程不必过分追求数学论证上的严密性,但应注意数学结论的准确性和物理概念的明晰性。要学会用广义系统动力学来解决专业实际问题。要重视实验,重视习题,这有助于基本概念的理解和基本方法的运用。

## 基本要求

- (1)了解机械工程控制论的研究对象和主要任务。
- (2)掌握反馈的概念,了解正反馈、负反馈、外反馈和内反馈的概念。
- (3)了解控制系统的工作原理及其各组成部分的作用。
- (4)了解控制系统中的基本概念和常用名词术语。
- (5)掌握对控制系统的基本要求,了解控制系统的几种分类方法。
- (6)了解本课程的特点及学习方法。

## 重点难点

本章重点

学会用系统论、信息论的观点分析广义系统的动态特性,理解信息反馈的含义及作用;掌握控制系统的工作原理、基本概念和组成。

本章难点

广义系统中的信息反馈及外反馈和内反馈。

## 例题精选

例 1.1 图 1.3 为某一恒温箱的温度控制系统,试分析该系统的自动调温过程,并说明系统的输出量、输入量、控制量和扰动量各是什么?

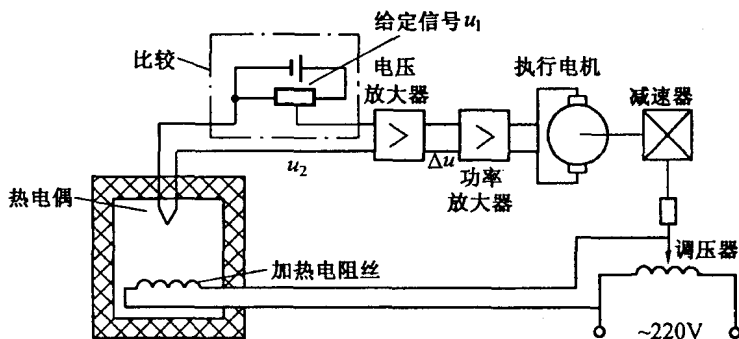


图 1.3 恒温箱温度控制系统

解 恒温箱温度控制系统的任务是控制恒温箱中的温度使其保持恒定不变。恒温箱是被控对象,恒温箱的实际温度为系统的输出量  $T_o$ 。即被控制量,恒温箱的希望温度为系统的输入量  $T_i$ 。即为给定量,加热电阻丝的输出功率为控制量,而恒温箱散热量为系统的扰动。

恒温箱的所需温度由电压信号  $u_1$  给定。当外界因素引起箱内温度变化时,热电偶将温度测量值转换成对应的电压信号  $u_2$ ,并反馈与给定信号  $u_1$  相比较,获得温度的偏差信号  $\Delta u = u_1 - u_2$ 。偏差信号经过电压、功率放大后,用以改变执行电机的转速和方向,并通过传动装置拖动调压器动触头。当温度偏高时,动触头向着减小电流的方向运动,反之加大电流,直到温度达到给定值,即偏差信号  $\Delta u = 0$  时,电机才停转,从而实现温度自动调节的任务。恒温箱温度控制系统方框图如图 1.4 所示。

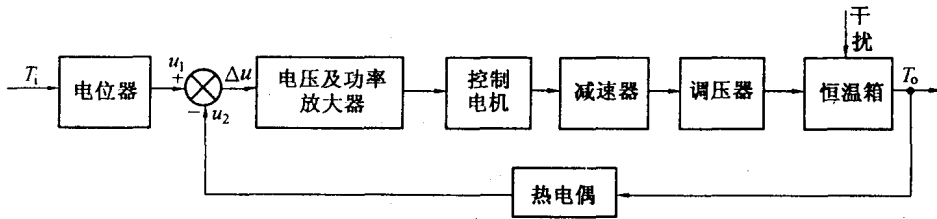


图 1.4 恒温箱温度控制系统方框图

例 1.2 图 1.5 所示为角位置随动系统工作原理图,试简述其工作原理并画出系统方框图。

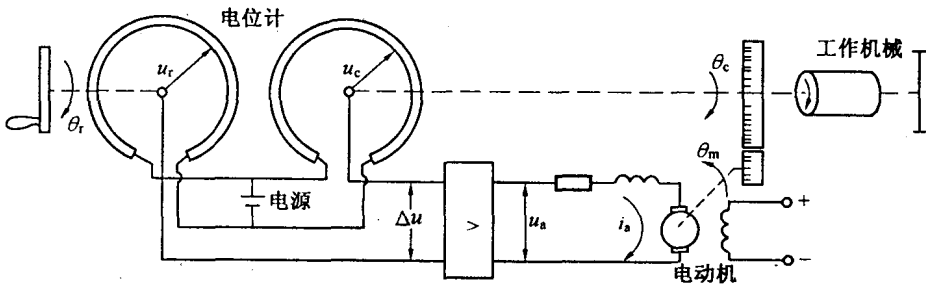


图 1.5 角位置随动系统原理图

解 图中角位置随动系统的任务是控制工作机械位置  $\theta_c$  跟踪手柄转角  $\theta_r$ 。工作机械是被控对象,工作机械的角位移是被控量,手柄角位移是给定量。

当工作机械转角  $\theta_c$  与手柄转角  $\theta_r$  一致时,两环形电位计组成的桥式电路处于平衡状态,输出电压  $\Delta u = 0$ ,电机不动,系统相对静止。当手柄转角  $\theta_r$  改变时,工作机械还处于原位,此时电桥输出  $\Delta u \neq 0$ ,电位信号经过放大器放大后产生驱动信号  $u_a$  驱动电机转动,经减速器拖动工作机械向手柄转角要求的方向偏转。当  $\theta_c = \theta_r$  时,系统达到新的平衡状态,从而实现对角位置的自动跟踪目的。

随动系统中手柄是给定元件,电桥电路完成测量和比较功能,电机和减速器组成执行机构。角位置随动系统的方框图如图 1.6 所示。

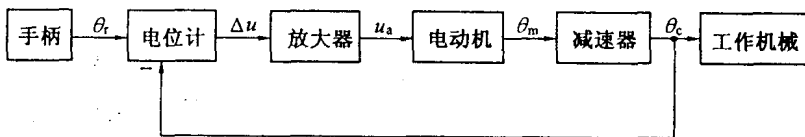


图 1.6 角位置随动系统方框图

**例 1.3** 图 1.7 所示为一张力控制系统,当送料速度在短时间内突然变化时,试说明系统的工作原理。

**解** 如图 1.7 所示,当给定参考输入一定时,送料速度为某一要求的数值,这时测量头的重锤  $G$  与动滑轮  $L$  等组成的系统受力平衡。因为重锤的重力  $G$ 、动滑轮的重力  $P$ 、带料的张力之间受力平衡,测量轴无角位移,系统处于平衡状态。

若送料速度在短时间内突然发生变化,如电源波动引起马达转速变化、所输送的带料厚度不均匀等,使带料在输送过程中张力发生改变,破坏了重锤  $G$  与滑轮  $L$  的力平衡,于是测量轴产生角位移,通过测量元件直接测出送料速度的变化,并变换为相应的电压值反馈给放大器,通过放大器比较后,输出校正电压以控制马达的转速,从而改变送料的速度,直到送料速度恢复为要求的数值,张力系统重新平衡为止。

张力控制系统方框图如图 1.8 所示。

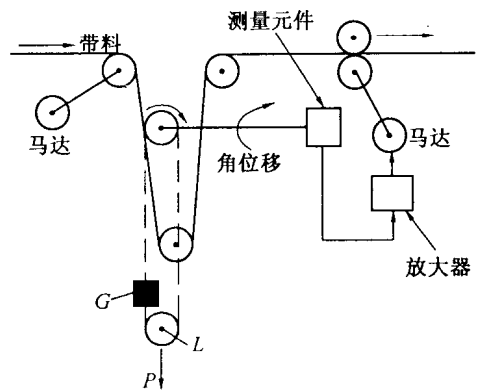


图 1.7 张力控制系统原理图

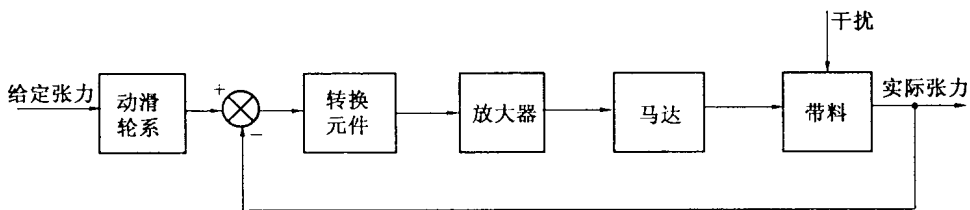


图 1.8 张力控制系统方框图

## 习题解答

**1.1** 控制论的中心思想是什么？

**解** 控制论的中心思想是：通过信息的传递、加工处理和反馈来进行控制。

**1.2** 机械工程控制论的研究对象与任务是什么？

**解** 机械工程控制论实质上是研究机械工程技术中广义系统的动力学问题。具体地讲,机械工程控制论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,所经历的由内部的固有特性所决定的整个动态历程;研究这一系统及其输入、输出三者之间的动态关系。

机械工程控制论的任务可以分为以下五个方面：

- (1) 当已知系统和输入时,求出系统的输出(响应),即系统分析。
- (2) 当已知系统和系统的理想输出,设计输入,即最优控制。
- (3) 当已知输入和理想输出,设计系统,即最优设计。
- (4) 当系统的输入和输出已知,求系统的结构与参数,即系统辨识。
- (5) 输出已知,确定系统,以识别输入或输入中的有关信息,即滤波与预测。

### 1.3 什么是反馈?什么是外反馈和内反馈?

**解** 所谓反馈是指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,称为反馈或信息反馈。

所谓外反馈是指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。

所谓内反馈是指许多机械系统或过程中存在的相互耦合作用,形成非人为的“内在”反馈,从而构成一个闭环系统。

### 1.4 反馈控制的概念是什么?为什么要进行反馈控制?

**解** 所谓反馈控制就是利用反馈信号对系统进行控制。

在实际中,控制系统可能会受到各种无法预计的干扰。为了提高控制系统的精度,增强系统抗干扰能力,人们必须利用反馈原理对系统进行控制,以实现控制系统的任务。

### 1.5 闭环控制系统的基本工作原理是什么?

**解** 闭环控制系统的基本工作原理如下:

- (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闭环控制系统。通常闭环控制系统至少具备测量、比较和执行三个基本功能。

### 1.6 对控制系统的基本要求是什么?

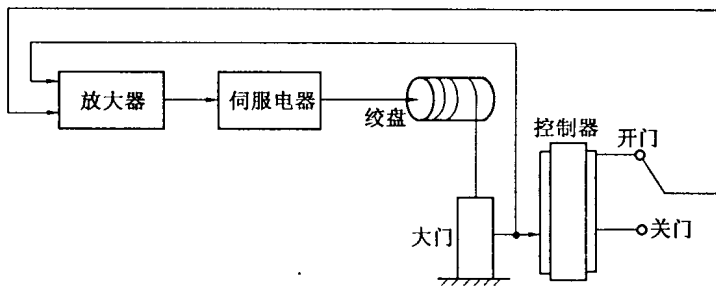
**解** 对控制系统的基本要求是稳定性、准确性和快速性。

稳定性是保证控制系统正常工作的首要条件。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。

准确性是衡量控制系统性能的重要指标。准确性是指控制系统的控制精度,一般用稳态误差来衡量。

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。

1.7 某仓库大门自动控制系统的原理如题 1.7 图所示,试说明自动控制大门开启和关闭的工作原理,并画出系统方框图。

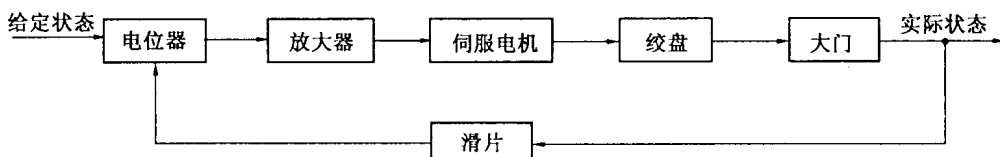


题 1.7 图 仓库大门控制系统原理图

**解** 如题 1.7 图所示,当合上开门开关时,控制器产生偏差电压,该电压经过放大器放大后,驱动伺服电机带动绞盘转动,使大门向上提起。同时,与大门连在一起的电位器电刷上移,直到桥式测量电路达到平衡,电机停止转动,开门开关自动断开。

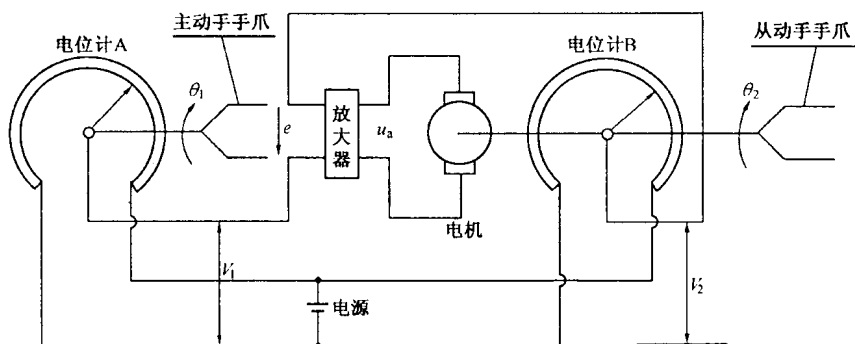
反之,当合上关门开关时,伺服电机反向转动,带动绞盘使大门关闭。从而实现远距离自动控制大门开关的要求。

仓库大门控制系统方框图如题 1.7(a) 图所示。



题 1.7(a) 图 仓库大门控制系统方框图

1.8 远距离操作机器人的手臂工作系统原理如题 1.8 图所示,试简述其工作原理并画出系统方框图。

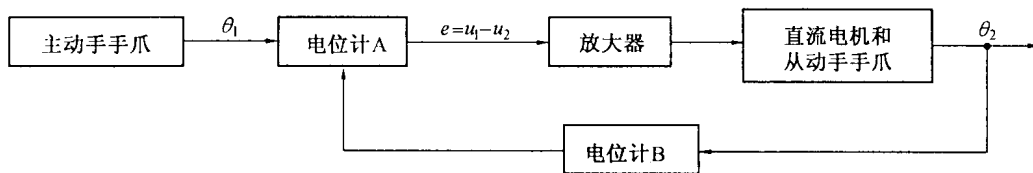


题 1.8 图 机器人手臂工作系统原理图

解 机器人手臂系统的任务是控制从动手的手爪角度  $\theta_2$  跟踪主动手的手爪角度  $\theta_1$ 。系统的被控量为从动手的手爪角位移  $\theta_2$ , 给定量为主动手的手爪角位移  $\theta_1$ 。电位计 A、B 的作用是分别将主动手和从动手的角位移变换成电压  $u_1$ 、 $u_2$ 。

机器人手臂系统的工作原理:当从动手手爪角位移  $\theta_2$  等于主动手手爪角位移  $\theta_1$  时,  $u_1 = u_2$ , 由电位计 A、B 组成的电桥处于平衡状态, 电桥输出电压  $e = 0$ , 电机不动, 手臂系统相对静止。当主动手手爪角位移  $\theta_1$  改变, 从动手手爪角位移  $\theta_2 \neq \theta_1$ , 其对应的电压差  $e$  经过放大器使直流伺服电机转动, 改变从动手手爪角位移  $\theta_2$ , 直至  $\theta_2 = \theta_1$ 。当  $\theta_2 = \theta_1$ ,  $u_2 = u_1$ ,  $e = 0$ , 从动手手爪的旋转角度与主动手手爪的给定角度相等。

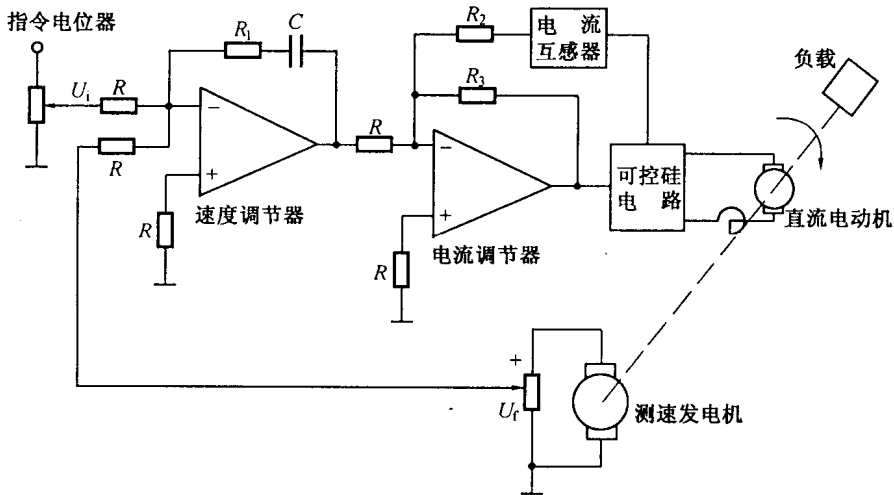
在机器人手臂系统中, 主动手手爪是给定元件, 电位计 A、B 组成的电桥完成测量、比较功能, 电机和从动手手爪为执行机构。机器人手臂系统的方框图如题 1.8(a) 图所示。



题 1.8(a) 图 机器人手臂工作系统方框图



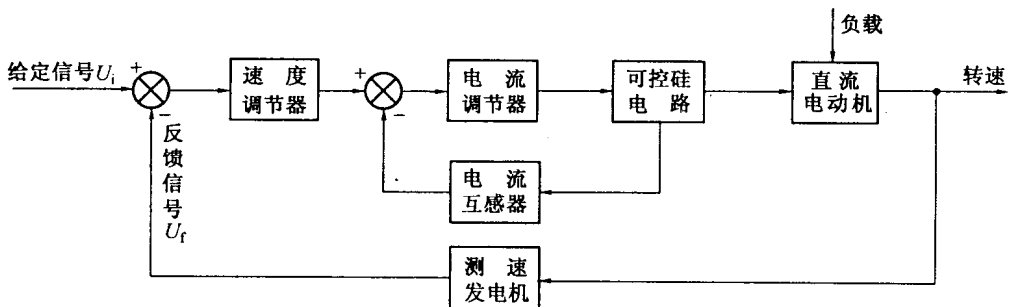
1.9 直流电动机双闭环调速系统的原理如题 1.9 图所示。试画出系统的方框图,并分析哪些装置起测量、比较、执行和校正作用。



题 1.9 图 直流电动机调速系统原理图

解 由题 1.9 图可知,直流电动机调速系统具有两个反馈回路:速度反馈回路和电流反馈回路。通常称速度反馈为主反馈,电流反馈为局部反馈。可控硅电路的电流输出经过电流互感器构成局部反馈,可控硅电路的电压输出使直流电动机旋转,电机转速经过测速发机构成主反馈。

在直流电动机调速系统中,指令电位器起给定作用,电流互感器在电流反馈中起测量作用,积分器起校正作用,电流调节器在电流反馈中起比较、放大作用;测速发电机在速度反馈中起测量作用,速度调节器起比较、放大作用,可控硅电路和直流电动机是执行机构。直流电动机调速系统的方框图如题 1.9(a) 图所示。



题 1.9(a) 图 直流电动机调速系统方框图