



普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材
辽宁省“十二五”普通高等教育本科省级规划教材



机械工程控制基础 学习辅导与习题解答 (第二版)

罗 忠 王 菲 马树军 程红太 主编



科学出版社

普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材
辽宁省“十二五”普通高等教育本科省级规划教材

机械工程控制基础 学习辅导与习题解答

(第二版)

罗 忠 王 菲 马树军 程红太 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是针对“机械工程控制基础”机械类专业平台课程,为学生复习和考研编写的学习辅导书。全书共8章,包括绪论、控制系统的数学模型、控制系统的时域分析法、控制系统的频域分析法、控制系统的稳定性、控制系统的根轨迹分析法、控制系统的误差分析和计算、控制系统性能校正。每章包括内容提要、基本要求、重点与难点、习题与解答4个板块的内容。

本书内容全面、重点突出、分析透彻、理论联系实际,可帮助学生理清思路、掌握重点、突破难点,从而提高分析和解决实际工程控制问题的能力。

本书可作为课程学习或硕士研究生入学考试的复习用书,也可作为普通高等院校“机械工程控制基础”课程的教师教学参考书,也可供有关机械工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程控制基础学习辅导与习题解答/罗忠等主编.—2版.—北京:科学出版社,2017.6

普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材

辽宁省“十二五”普通高等教育本科省级规划教材

ISBN 978-7-03-053448-4

I. ①机… II. ①罗… III. ①机械工程-控制系统-高等学校-教学参考资料 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 133830 号

责任编辑:朱晓颖 毛 莹/责任校对:郭瑞芝

责任印制:吴兆东/封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017年6月第 二 版 印张:11 3/4

2017年6月第二次印刷 字数:260 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

第二版前言

本书第二版是在罗忠等人编写的普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材《机械工程控制基础学习辅导与习题解答》(科学出版社出版)的基础上修订而成的。本书在五年多的使用过程中,受到了广大读者朋友的支持和好评,编者感到对课程建设的付出非常值得。

近年来,针对“机械工程控制基础”课程,编者先后编写出版了《机械工程控制基础》(2006年第一版,2011年第二版)、《机械工程控制基础学习辅导与习题解答》(2011年出版)和《机械工程控制基础实验教程》(2014年出版)等三本配套教材,均由科学出版社出版。特别是在近两年,课程组积极开展 MOOC(Massive Open Online Course,大规模网络公开课)课程建设,完成了以知识点为单元的课程设计、课件制作和授课视频录制等工作,细化了机械工程经典控制理论的内容,加深了对机械工程经典控制理论的理解,丰富了机械工程经典控制理论的教学资源。这些都使编者深切地感到有必要对教材进行再次修订,把这些年来积累的教学资源添加到教材中去,以适应当前智慧校园的新形势和新需求,提高学生和读者的学习效率和质量。本次修订与《机械工程控制基础(第三版)》配套出版。

此次修订在原书内容的基础上,每章都在习题与解答部分补充了选择题。此外,对原来的一些概念进行了统一,对个别错误进行了改正。本书参考了兄弟院校的同类教材和论文,在此对这些教材的编著者和论文作者再次表示诚挚的感谢。另外,特别感谢闻邦椿院士在本书修订过程中给予的指导和帮助,使本书水平得以大幅度提高。特别感谢柳洪义教授为本书奠定的良好基础。感谢科学出版社、东北大学教务处、东北大学机械工程与自动化学院和有关专家给予的大力支持。

本书由罗忠、王菲、马树军和程红太共同修订。另外,郝丽娜、房立金和胡明对本书的修订也给予了大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2016年12月于东北大学

第一版前言

随着人类社会的发展,机械出现在人们日常生活、生产、交通运输、军事和科研等各个领域。人们希望机械可以最大限度地代替人的劳动,并产生更多、更好的劳动成果,这就要求机械不断地向自动化和智能化方向发展。“机械工程控制基础”是机械类专业的专业平台课,该课程的理论性和实践性很强,学生理解起来比较困难,另外随着教学改革深入,教学学时越来越短。为了做到“学时减,学习效果不减”,使学生能够在有限的教学学时内,理清课程体系结构、掌握重点、突破难点、有效地提高解题水平,从而提高分析和解决实际工程控制问题的能力,满足课程学习和复习迎考(课程考试和研究生入学考试)的需要,我们结合多年的教学实践经验,并吸取兄弟院校有关教材和资料的精华,编写了这本《机械工程控制基础学习辅导与习题解答》。

本书力求通过对各章基本内容、重点难点和基本要求的归纳,以及精选例题的分析解答,帮助读者正确理解和应用机械工程自动控制理论的基本理论和基本方法。本书内容全面,例题丰富,注重理论与实践相结合,重点培养和提高学生的知识综合应用能力、分析问题和解决问题的能力,以及创新能力。

本书由罗忠博士、王菲博士和柳洪义教授共同编写,协助本书编写工作的还有研究生杨书仙、薛冬阳、史志勇、李玉洁等。另外,课程组的张健成教授、郝丽娜教授和胡明副教授对本书的编写也给予了大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于时间仓促及作者水平有限,书中难免存在错误和不当之处,恳请读者批评指正。

编者

2011年3月于东北大学

目 录

第 1 章	绪论	1
	一、内容提要	1
	二、基本要求	5
	三、重点与难点	5
	四、习题与解答	5
第 2 章	控制系统的数学模型	17
	一、内容提要	17
	二、基本要求	27
	三、重点与难点	28
	四、习题与解答	28
第 3 章	控制系统的时域分析法	51
	一、内容提要	51
	二、基本要求	56
	三、重点与难点	56
	四、习题与解答	57
第 4 章	控制系统的频域分析法	68
	一、内容提要	68
	二、基本要求	81
	三、重点与难点	81
	四、习题与解答	82
第 5 章	控制系统的稳定性	103
	一、内容提要	103
	二、基本要求	110
	三、重点与难点	110
	四、习题与解答	110
第 6 章	控制系统的根轨迹分析法	121
	一、内容提要	121
	二、基本要求	124
	三、重点与难点	124
	四、习题与解答	124
第 7 章	控制系统的误差分析和计算	130
	一、内容提要	130

二、基本要求	135
三、重点与难点	135
四、习题与解答	135
第 8 章 控制系统性能校正	147
一、内容提要	147
二、基本要求	159
三、重点与难点	159
四、习题与解答	161
参考文献	181

第 1 章 绪 论

一、内 容 提 要

1. 机械工程的发展与控制理论的应用

1) 机械工程的发展

人类最初使用的机械是杠杆,通过杠杆,人可以移动直接用手不能移动的重物;发明利用自然力(如风车和水车的使用)是人用机械动力把自己从繁重的体力劳动中解脱出来的开始,机械开始不断地由简单变复杂;蒸汽机和电动机的发明,为机械提供了有效并且使用方便的动力,同时也提出了机械自动化问题。机械系统自动化程度如表 1.1 所示。

表 1.1 各个发展阶段的机械系统自动化程度

发展阶段	使用目的	传感与检测	决策与控制	发展程度	典型例子
简单工具	工作方便、提高效率、省力	人的五官	人	单一操作	扳手、锤子
简单机械	完成简单工作	人的五官	操作者	简单机械化	小型提升机、除草机
复杂机械	完成复杂工作	人的五官	技术工人	复杂机械化	普通机床
自动机器	自动完成确定工作	传感器	人与控制器	自动机器	数控机床、工业机器人
智能机器	无人操作,自主完成任务	多种传感器	智能控制器	自主机器	各类智能机器人

2) 控制理论的发展及分类

控制理论的发展及分类如图 1.1 所示。

2. 机械工程自动控制系统的基本结构及工作原理

所谓自动控制,是指在没人直接参与的情况下,利用外加设备或装置使被控对象或过程按照预定的规律运行。能够实现自动控制任务的系统称为自动控制系统。简单的自动控制系统通过机械系统自身的机构实现检测调节功能,如水位控制系统、蒸汽机转速控制系统等。但随着科学技术的发展,机械系统越来越复杂,将机械与电子融合在一起逐渐产生了机电一体化系统。反馈控制系统是完整而典型的自动控制系统,图 1.2 所示为典型反馈控制系统的组成。由各种功能不同的元件构成一个系统来完成一定的任务。

被控对象:在控制系统中,其运动规律或状态需要控制的装置称为被控对象,如教材中位置控制系统中的工作台。

被控量:表征被控对象运动规律或状态的物理量,即输出量,如位置控制系统中工作台的位移。

执行元件:控制系统中直接对被控对象进行操作的元件,如位置控制系统中的伺服电动机、减速器、滚珠丝杠和直线导轨等。

控制器:接受偏差信号,通过转换和运算产生控制量的元件,如位置控制系统中的 PI (Proportion-Integration,比例-积分)控制器。

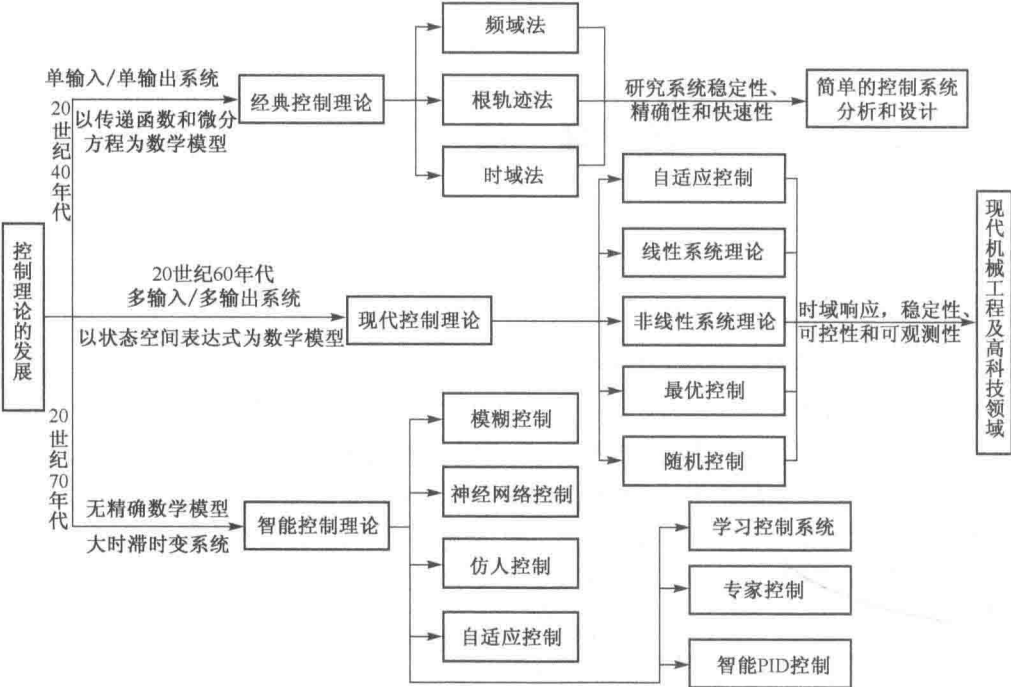


图 1.1 控制理论的发展及分类

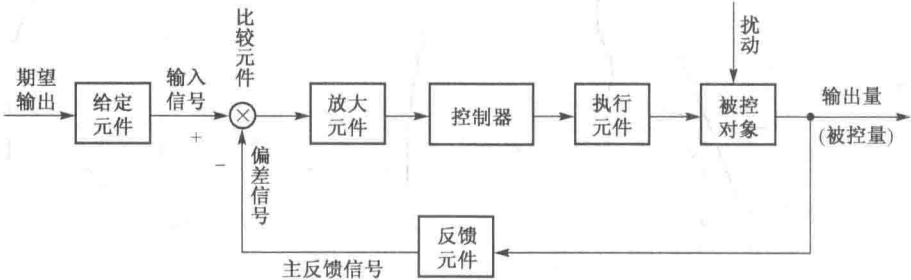


图 1.2 典型反馈控制系统的组成

控制量：为控制输出量按预定规律变换必须提供给系统的物理量，通常为电压或电流。

放大元件：控制系统中对偏差信号进行幅值放大或功率放大的元件，如位置控制系统中的前置放大器。

比较元件：控制系统中用于比较输入信号与反馈信号、输出偏差信号的元件，如位置控制系统中的比较器。

给定元件：控制系统中主要用于产生给定信号(输入信号)的元件，如位置控制系统中的给定电位器。

反馈元件：控制系统中用于测量输出量、产生反馈信号的元件，如位置控制系统中的反馈电位器。

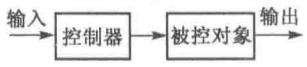
偏差：系统输入量与反馈量之差，位置控制系统中比较环节的输出，如位置控制系统中给定电位器输入 u_a 与检测电位器输出 u_b 的差。

干扰：偶然的、无法加以人工控制的信号。

3. 机械自动控制系统的分类

机械自动控制系统可按照控制系统有无反馈环节、控制系统中的信号类型、控制变量的多少、系统参数变化规律、系统本身的动态特性和系统采用的控制方法等进行分类,如表 1.2 所示。

表 1.2 机械自动控制系统的分类

分类特征	系统类型	特 点	应 用
有无反馈	开环控制系统	 只有顺向作用而无反向联系,即控制是单方面进行的	洗衣机:按照时顺进行浸湿、洗涤、漂洗等过程的控制
	闭环控制系统	 系统被控对象的输出(被控制量)会反馈回来影响控制器的输出,形成一个或多个闭环,即根据被控量与给定值的偏差进行控制的系统	自动温控系统:当环境温度高于设定温度时,空调制冷系统自动开启,调定温度到设定值自动关闭,如教材中的工作台位置控制系统
信号类型	连续控制系统	控制系统中各部分的信号均为时间的连续函数	电冰箱、洗衣机、电风扇等电压、电流、温度等信号的控制
	离散控制系统	控制系统中有脉冲序列或数码形式的信号	计算机控制系统:计算机根据控制规律进行运算,然后将结果经过过程输出通道,作用到被控对象,从而使被控变量符合要求的性能指标。与模拟系统不同之处在于,在模拟系统中,信号的传送不需要数字化;而数字系统必须先进行模/数转换,输出控制信号也必须进行数/模转换,然后才能驱动执行机构
控制变量数量	单变量控制系统	系统的输入和输出变量都是单个的	水位控制系统、温度控制系统、位置控制系统等,经典控制理论的研究对象均为单变量控制系统
	多变量控制系统	系统有多个输入和输出变量	高档数控车床、多自由度机器人臂系统等
控制量变化规律	恒值系统	系统调节目标是控制量为一常量,输出量基本保持为常量	蒸汽机转速控制、常见的恒温恒压控制
	随动系统	很大范围内,系统的输出能以一定精度随输入的改变而变化	火炮自动瞄准系统、液压仿形刀架系统
	程序控制系统	系统控制量按预定的程序变化	数控机床、工业机器人及自动生产线等
系统本身动态特性	线性系统	系统数学模型为线性微分方程	通常,大部分控制系统都被认为是线性控制系统,如工作台位置控制系统、温度控制系统等
	非线性系统	系统中存在非线性元件,数学模型是非线性方程	实际上,现实生活中几乎所有的控制系统都存在一定的非线性,只不过在大多数情况下都按线性控制系统看待。典型的非线性控制系统如运载火箭,质量随时间而变化

4. 对自动控制系统的基本要求

对控制系统的要求可简要概括为三个字:稳、快、准。

1) 稳:稳定性

稳定性是指系统在受到外部作用之后的动态过程的倾向和恢复平衡状态的能力。不稳定

的系统是无法工作的。因此,控制系统的稳定性是控制系统分析和设计的首要内容。

2)快:快速性

系统在稳定的前提下,响应的快速性是指系统消除实际输出量与稳态输出量之间误差的快慢程度。反映系统敏捷性;动态过程要短且振荡要适中。

3)准:准确性

准确性是指在系统达到稳定状态后,系统实际输出量与给定的输出量之间的误差大小,它又称为稳态精度。系统的稳态精度不但与系统有关,而且与输入信号的类型有关。

5. 课程结构及主要研究任务

1)建立系统数学模型

研究机械自动控制系统,首先要建立系统的数学模型。找出需要反映和确定的系统属性并确定它们之间的数学关系是建立数学模型的关键。单输入单输出控制系统的数学模型主要有两种形式:时域下的微分方程和频域下的传递函数。具体建立数学模型的过程,微分方程和传递函数之间的变换关系将在第2章着重介绍。

2)系统分析

在建立数学模型后,要对系统性能进行分析。在经典控制理论中,常用的系统分析方法有时域分析法、频域分析法和根轨迹分析法。

时域分析法主要是分析输入一个典型信号时系统的时间响应。包括系统快速性(对于二阶系统包括上升时间、峰值时间、调整时间等)及稳定性(最大超调量等),属于定量分析。一阶系统和二阶系统典型信号的时间响应特性、系统性能指标的定义及关系、高阶系统时域分析方法等将在第3章中重点介绍。

频域分析法主要建立系统时间响应与其频谱之间的关系,特别适合机械系统动态特性的研究。频域分析法将传递函数从复数域引到频率域,建立起系统的时间响应与其频谱之间的关系,主要包括典型环节频率特性的 Nyquist 图和 Bode 图,表示系统输入、输出幅值和相位之间的关系等内容。两种频率特性图的绘制以及系统频域性能指标将在第4章进行介绍。

稳定性是系统最重要的性能指标,系统稳定性的判定以及稳定程度的衡量是一项十分重要的工作,稳定性判据主要有赫尔维茨判据、劳斯判据等代数判据和 Nyquist 稳定性判据、Bode 稳定性判据等几何判据。系统的相对稳定性主要由相位稳定裕度和幅值稳定裕度来衡量,这些内容将在第5章进行详细介绍。

根轨迹法是通过分析闭环极点随开环参数变化时在复平面上的曲线来分析系统的性能。如确定系统稳定性和稳定域,简化高阶系统,分析系统的过渡过程运动形式和零、极点对系统的影响等。绘制根轨迹的方法主要有手工绘制和利用 MATLAB 绘制,将在第6章介绍。

对于稳定的控制系统,只有在满足要求的控制精度的前提下才有工程意义,系统的准确度用误差大小来衡量,具体内容在第7章介绍。

3)系统设计

当一个系统不能满足期望的性能时,需要对系统进行校正、调节来改变原系统的特性,使其满足要求,这就涉及控制系统的设计。要设计一个控制系统,首先必须要了解系统的性能指标,掌握它与系统传递函数之间的关系;其次,确定校正方式,系统的校正主要有并联校正和串联校正两种方式;再次,确定控制器的类型,主要有比例控制器、比例积分控制器、比例微分控制器、比

例积分微分控制器等;最后,进行控制器的设计,主要有图解法和直接法两种方法。关于这些内容将在第8章进行详细介绍。

二、基本要求

- (1)了解学习本课程的目的和任务,能正确分析经常接触的实际控制系统的工作原理和控制过程。
- (2)正确理解反馈控制系统的概念,了解机械自动控制系统的分类。
- (3)掌握闭环控制系统的工作原理和基本组成,熟悉控制系统中的基本名词及其含义。
- (4)掌握机械自动控制系统基本要求的内涵。

三、重点与难点

- (1)自动控制与机械自动控制系统的含义。
- (2)控制系统的基本概念、基本组成和工作原理。
- (3)开环控制系统与闭环控制系统的区别及实际应用。

四、习题与解答

1.1 单项选择题

(1)()是保证控制系统正常工作的先决条件。

- A. 稳定性 B. 快速性 C. 准确性 D. 连续性

答案:A

(2)与开环控制系统相比较,闭环控制系统通常对()进行直接或间接地测量,通过反馈环节去影响控制信号。

- A. 输出量 B. 输入量 C. 扰动量 D. 设定量

答案:A

(3)通常把系统(或环节)的输出信号直接或经过一些环节重新引回到输入端的做法叫做()。

- A. 对比 B. 校正 C. 顺馈 D. 反馈

答案:D

(4)系统在稳定的前提下,其响应的()是指系统消除实际输出量与稳态输出量之间误差的快慢程度。

- A. 稳定性 B. 快速性 C. 准确性 D. 连续性

答案:B

(5)在系统达到稳定状态后,系统实际输出量与希望输出量之间的误差大小,属于()。

- A. 稳定性 B. 快速性 C. 准确性 D. 连续性

答案:C

1.2 什么是反馈?什么是负反馈?负反馈在自动控制系统中有什么重要意义?

解:(1)将系统(或环节)的输出信号直接或经过一些环节重新引回到输入端,与输入信号进行比较的做法叫做反馈。

(2) 反馈信号与给定信号比较后产生的偏差信号为两者之差, 这种反馈叫做负反馈。

(3) 负反馈是自动控制系统的一个重要特征。若被控变量在扰动的作用下升高, 则反馈信号也升高, 经过比较, 由于是负反馈, 则偏差信号降低, 于是控制器将发出信号而使执行器动作, 施加控制作用, 其作用方向与扰动对被控变量的作用方向相同, 因而使被控变量下降, 这样就达到了控制的目的。

1.3 机械自动控制系统有许多类型及分类方法, 试简要说明。

- 解: (1) 按控制系统有无反馈分 $\begin{cases} \text{开环控制} \\ \text{闭环控制} \end{cases}$
- (2) 按控制系统中的信号类型分 $\begin{cases} \text{连续控制系统} \\ \text{离散控制系统} \end{cases}$
- (3) 按控制变量的多少分 $\begin{cases} \text{单变量控制系统} \\ \text{多变量控制系统} \end{cases}$
- (4) 按控制系统输出变化规律分 $\begin{cases} \text{恒值调节系统} \\ \text{随动系统} \\ \text{程序控制系统} \end{cases}$
- (5) 按控制系统本身的动态特性分 $\begin{cases} \text{线性系统} \\ \text{非线性系统} \end{cases}$
- (6) 按控制系统采用的控制方法分 $\begin{cases} \text{模糊控制系统} \\ \text{最优控制系统} \\ \text{神经网络控制系统} \\ \dots \end{cases}$

1.4 控制系统的基本要求是什么?

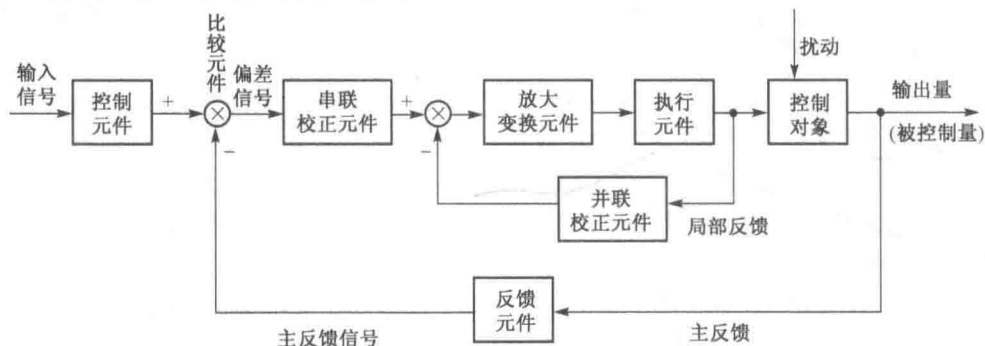
解: “稳定性”——基本要求: 系统首先必须具有稳定性才能正常工作。

“快速性”——动态要求: 调节时间要短, 超调量要小。

“准确性”——稳态要求: 稳态误差要小。

1.5 试用框图说明反馈控制系统的基本组成。

解: 反馈控制系统是完整而典型的自动控制系统, 题图 1.1 说明了典型反馈控制系统的组成图。一个系统的主反馈回路(或通道)只有一个。而局部反馈可能有几个, 图中只画出一个。各种功能不同的元件, 从整体上构成一个系统来完成一定的任务。



题图 1.1 典型反馈控制系统的组成

1.6 通过实际应用例子说明开环控制系统和闭环控制系统的原理、特点及适应范围。

解: (1) 开环控制系统是指控制器与被控对象之间只有顺向控制而没有反馈联系的控制系统,即操纵变量通过被控对象去影响被控变量,但被控变量的变化并没有通过反馈作用去改变控制作用。从信号传递关系上看,并没有形成闭合回路,故称为开环控制系统。一般来说,开环控制结构简单、成本低廉、工作稳定。因此,当系统的输入信号及扰动作用能预先知道且要求精度不高时,可以采用开环控制。由于开环控制不能自动修正被控量的偏离,所以系统的元件参数变化以及外来的未知扰动对控制精度的影响较大,如全自动洗衣机、电风扇、电动搅拌机等。

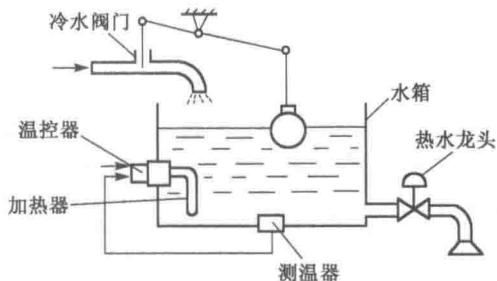
(2) 闭环控制系统是指控制器与被控对象之间既有顺向控制又有反馈联系的控制系统。控制器的输出(控制)信号改变后,通过执行器会影响被控对象的被控变量,而被控变量改变后,又会通过反馈通道去改变控制器的输入信号,进而改变了控制器的输出信号。所以,从信号传递关系来看,形成一个闭合回路,故称为闭环控制系统。它具有自动修正被控量出现偏离的能力,可以修正元件参数变化以及外界扰动引起的误差,其控制精度较高。但是存在反馈,闭环控制也有其不足之处,如被控制量可能出现振荡,严重时会使系统无法工作。这是由于被控制量出现偏离之后,经过反馈使形成一个修正偏离的控制作用,这个控制作用和它所产生的修正偏离的效果之间,一般是有时间延迟的,使被控制量的偏离不能立即得到修整,从而有可能使被控制量处于振荡状态。因此,如果系统参数选择不当,不仅不能修正偏离,反而会使偏离越来越大,系统无法工作,如电冰箱、电热水器以及教材中的位置控制系统等。

1.7 在下列这些运动中,都存在信息的传输。试说明哪些运动是利用反馈来进行控制的,哪些不是,为什么?

(1) 司机驾驶汽车; (2) 篮球运动员投篮; (3) 人骑自行车。

解: (1) 和 (3) 是利用反馈来控制的。因为虽然这三项运动都有测量器,那就是眼睛,但是,对于篮球运动员投篮这项运动来讲,投出去后就无法控制了,也就是没有反馈元件,所以不是反馈控制,而其他两项是反馈控制。

1.8 题图 1.2 是一个全自动电热淋浴器,说明其工作原理,并画出水温控制系统的原理框图。



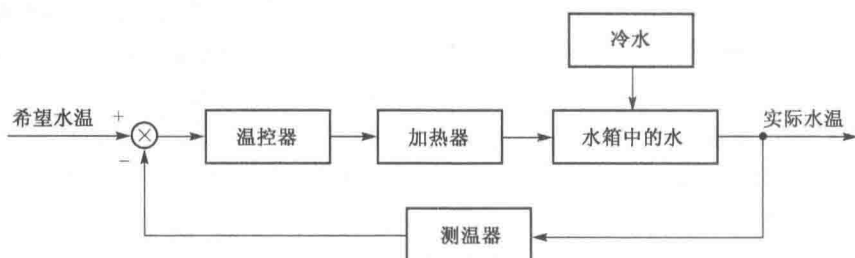
题图 1.2

解: 该系统的控制任务有两个:一个是保持水箱的水位不变,一个是保持水箱的水温不变。

(1) 对于水箱的水位控制,水箱是被控对象,水位高度是被控量。其工作原理是:设系统原来处于进、出水量相等,水位高度等于给定值的工作状态下,若出水量增大(而进水量一时没有改变),水位高度下降,使浮子下移,产生水位偏差,冷水阀门开度增大,进水量增大,直至使水位高度又恢复到或接近希望高度。

(2)对于水箱水温的控制,水箱中的水是被控对象,水温是被控量。其工作原理是:设系统原来处于设定温度和实际温度相等,若由于热水出水量增大,而冷水进水量增多,水温下降,产生水温偏差,这时加热器开始加热,水温升高,直至使水温又恢复到或接近希望温度。

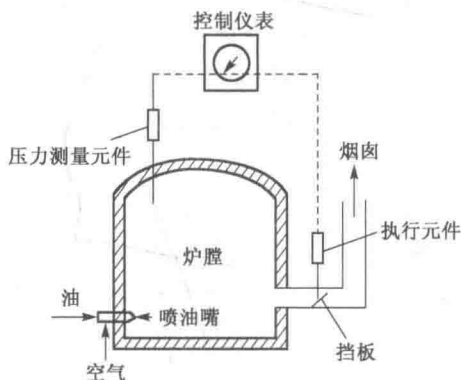
由以上对水温的分析可画出系统的方框图,如题图 1.3 所示。



题图 1.3

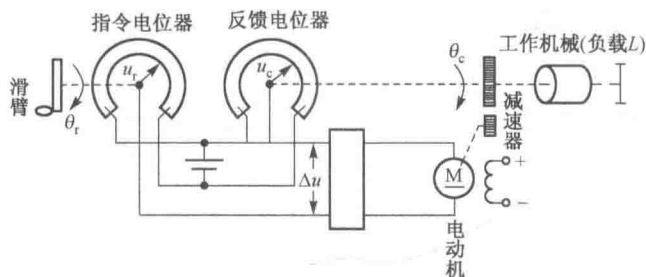
1.9 题图 1.4 所示为一个压力控制系统。炉内压力由挡板位置控制,并由压力测量元件测量,说明其控制原理。

解:该系统的控制任务是保持炉膛压力不变,其中炉膛是被控对象,炉内压力(设为 P)是被控量,而设 P_r 是炉内压力的期望值。其工作原理是:设系统原来处于炉内设定压力和实际压力相等,即 $P = P_r$ 的工作状态下,若由于喷油嘴进油燃烧而使炉内压力增大(而挡板位置一时没有改变,处于闭合状态),压力测量元件测量炉内压力,将 P 值传给控制仪表,产生压力偏差 $P - P_r > 0$,控制仪表依据偏差大小控制执行元件进行对挡板的位置控制,挡板开口增大,烟囱排烟,直至使炉内压力 P 又恢复到或接近期望值 P_r ,挡板再次闭合。



题图 1.4

1.10 某角位移随动系统如题图 1.5 所示,试分析系统的工作原理,画出系统的方块图。



题图 1.5

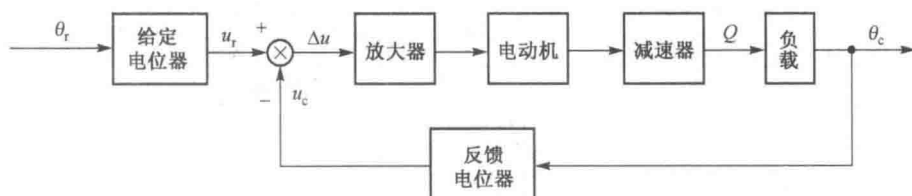
解:系统的任务是使负载 L (工作机械) 的角位移 θ_c 跟随滑臂给定角度 θ_r 的变化而变化,即要求被控量 θ_c 随给定量 θ_r 之动而动,简称“随动”。

指令电位器和反馈电位器组成的电桥电路是测量、比较元件,其作用是测量给定量(即输入角

度 θ_r) 和被控量(即输出角度 θ_c), 即将它们分别转换成与之成正比的输入电压 u_r 和输出电压 u_c , 并产生与偏差角度 $\Delta\theta = \theta_r - \theta_c$ 成正比的偏差电压 $\Delta u = u_r - u_c$ 。

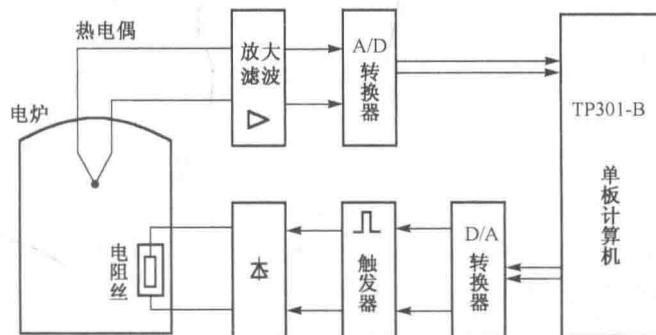
当负载轴的实际位置 θ_c 与给定位置 θ_r 相同时, 则 $\Delta u = 0$, 电动机不转动。当负载轴的实际位置 θ_c 与给定位置 θ_r 不同时, $\Delta u \neq 0$, 偏差电压 Δu 经放大器放大, 使执行电动机转动, 再通过减速器带动负载轴和反馈电位器滑臂向减小偏差的方向转动, 最终当 $\theta_c = \theta_r$ 时, 电动机停转, 系统达到新的平衡状态, 从而实现了角位移跟踪的目的。

在该系统中, 负载 L (工作机械) 是被控对象, 负载轴的角位移 θ_c 是被控量, 放大器是放大元件, 而电动机和减速器是执行元件。这是一个典型的位置随动系统, 系统的方块图如题图 1.6 所示。



题图 1.6

1.11 试说明如题图 1.7 所示电阻炉微型计算机温度控制系统的工作原理。



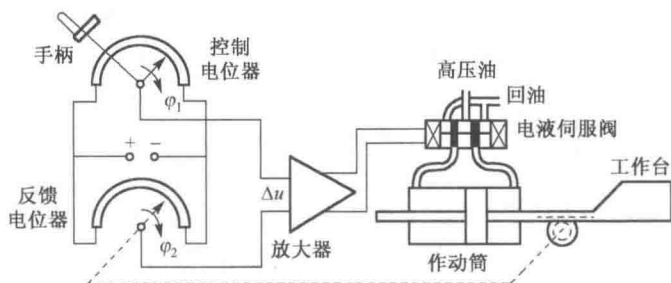
题图 1.7

解: 题图 1.7 中, 电阻丝通过晶闸管主电路加热, 炉温期望值由计算机预先设置, 炉温实际值由热电偶检测, 并转换成电压, 经放大、滤波后, 由 A/D 转换器将模拟量转换为数字量送入计算机, 在计算机中与所设置的温度期望值比较后产生偏差信号, 计算机便根据预定的控制算法(即控制规律)计算出相应的控制量, 再经 D/A 转换器转换成电流, 通过触发器控制晶闸管导通角, 从而改变电阻丝中电流大小, 达到控制炉温的目的。

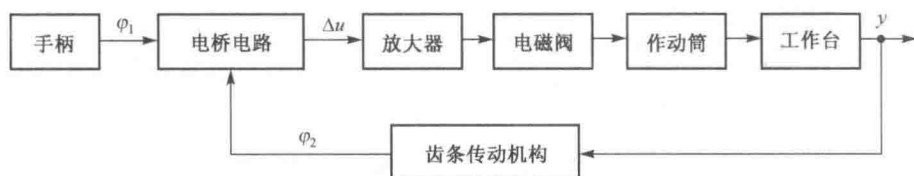
1.12 题图 1.8 为一工作台位置液压控制系统。该系统可以使工作台按照控制电位器给定的规律变化。要求:

- (1) 指出系统的被控对象、被控量和给定量, 画出系统方框图。
- (2) 说明控制系统中控制装置各组成部分。

解: (1) 控制系统的功能是使工作台随控制电位器给定规律移动, 所以被控对象是工作台, 被控量是工作台的位移, 给定量是控制电位器滑臂的转角(表征工作台的希望位置)。系统方框图如题图 1.9 所示。



题图 1.8



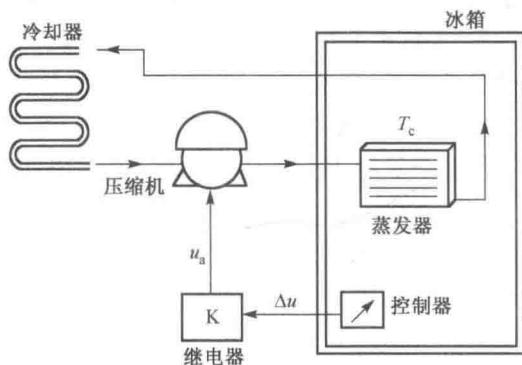
题图 1.9

(2) 控制装置的各组成部分如下：

手柄是给定元件，给出表征工作台希望位置的转角信号 φ_1 。齿条齿轮传动机构完成测量元件测量实际转角 φ_2 的功能。由控制电位器、反馈电位器组成的电桥电路完成 φ_1 和 φ_2 （表征工作台实际位置）的比较，给出偏差电压 Δu 。放大器是放大元件。电磁阀、作动筒组成执行机构，推动工作台移动。

当工作台处于希望位置时，反馈电位计滑臂偏角 φ_2 与给定电位器滑臂偏角一致，电桥输出电压 Δu 为 0。此时电磁阀位于零位，工作台保持在希望位置上。当操纵手柄转动（如顺时针转动）时， $\varphi_2 \neq \varphi_1$ ， $\Delta u \neq 0$ ，放大器输出电压驱动电液伺服阀左移，高压油从作动筒左侧压入，推动工作台右移，带动齿轮顺时针转动。当 $\varphi_2 = \varphi_1$ 时，系统又在新的条件下达到平衡，工作台又处于新的希望位置上。操作手柄逆时针转动时的调节过程则正好相反，从而实现了工作台位置跟随手柄转角规律而变化的控制目的。该系统属于闭环随动控制系统。

1.13 电冰箱制冷系统工作原理如题图 1.10 所示。试简述系统的工作原理，指出系统的被控对象、被控量和给定量并画出系统方块图。



题图 1.10