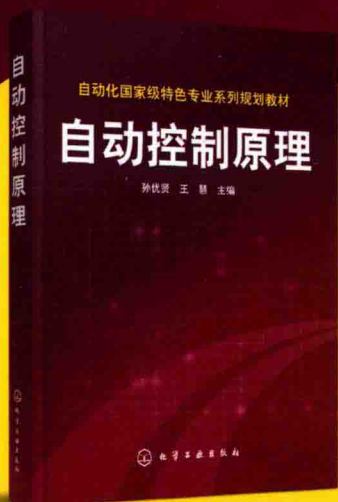


自动化国家级特色专业系列规划教材配套辅导用书

自动控制原理 学习辅导

——知识精粹、习题详解、考研真题

孙优贤 主编 王 慧 副主编



化学工业出版社

自动化国家级特色专业系列规划教材配套辅导用书

自动控制原理 学习辅导

——知识精粹、习题详解、考研真题

孙优贤 主编 王 慧 副主编



化学工业出版社

·北京·

作为《自动控制原理》(孙优贤主编,书号 978-7-122-11607-9)的配套学习辅导,本书紧紧围绕自动控制原理的知识点进行编写,内容与体例均方便读者自学。全书由 9 章正文与附录组成。正文的 9 章与配套教材完全一致,分别为:概述、连续时间控制系统的数学模型、线性系统的时域分析法、连续时间控制系统的稳定性与稳态误差、根轨迹分析法、频率特性分析法、线性离散时间控制系统分析与综合、线性定常系统的状态空间分析法、非线性系统分析。每章又由五个部分组成,即基本要求、知识点与重要公式、典型例题、习题(与配套教材中的习题相同)和自测题。本书在附录中给出了习题与自测题的参考答案,以及浙江大学控制科学与工程学院近年硕士研究生入学试题及参考答案。

本书可作为自动化类、电气信息类相关专业学生学习自动控制原理的辅导用书,对考研学生也是一本有益的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理学习辅导——知识精粹、习题详解、考研真题/孙优贤主编. —北京:化学工业出版社,2017.7

自动化国家级特色专业系列规划教材配套辅导用书

ISBN 978-7-122-29714-3

I. ①自… II. ①孙… III. ①自动控制理论-研究生-入学考试-自学参考资料 IV. ①TP13-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 110184 号

责任编辑:郝英华 唐旭华
责任校对:王素芹

装帧设计:张 辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 19 字数 504 千字 2017 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:49.00 元

版权所有 违者必究

前言

自动控制原理是国内外各高校自动化及相关专业最重要的专业基础课。本书抓住自动控制原理中最重要、最基础的知识点组织编写，目的是期望读者在课程或教材的理论学习之后，通过对本书的例题分析与习题练习，深刻领会自动控制原理的基本概念、定理和分析方法的精髓，更好地掌握这门具有普遍工程实际背景的专业基础课的知识。特别希望的是通过本书的练习，读者能举一反三地灵活应用，不但提高解题能力，而且提高分析问题、解决问题的能力。控制科学与技术是一门随着科学技术与工程发展而不断向前发展的学科，且是与实际应用休戚相关的学科，徜徉在该学科最基础的自动控制原理知识海洋中，目标是为了将来打下扎实的基础，可以飞得更高更远。

本书为《自动控制原理》(孙优贤主编)(书号: 978-7-122-11607-9)的配套习题集, 全书共分九章, 分别是概述、建模、控制系统时域分析、稳定性分析、根轨迹与频率特性两种图解分析方法、离散时间控制系统、状态空间方法以及非线性系统分析方法, 涵盖了经典控制理论与现代控制理论的理论基础与基本原理。每章都由本章基本要求、知识点与重要公式、典型例题精选、习题与自测题几部分组成。从基本要求中, 读者可以了解到该章对不同知识掌握的要求; 而知识点与重要公式部分则简明扼要地介绍该章的重要概念、主要理论、常用的分析方法与计算公式等。特别要注意的是, 由于它只是一种对知识点的简明概括, 不是自动控制原理的教材, 缺乏由浅入深、循序渐进式推导, 故不能单独作为教材使用。典型例题讲解是本书的重点, 可以帮助读者更好地掌握所学的相关知识点, 有些求解方法不止一种, 均配有说明以启发读者对问题的思考。

建议读者在读完例题精选后, 尝试独立完成该章所附的习题与自测题, 加强对该章知识点的掌握。本书的附录除给出了《自动控制原理》一书中每章习题与自测题的参考答案外, 还包括了2003~2012年浙江大学控制科学与工程学院的自动控制原理研究生入学试题及参考答案。读者可以将这些题目用于测试自己对自动控制原理的掌握程度。2013~2015年浙江大学控制科学与工程学院的自动控制原理研究生入学试题及参考答案亦可提供给使用本书的读者, 如有需要, 请发邮件至 cipedu@163.com 索取。

本书由孙优贤院士主编, 王慧教授副主编。其中, 王慧教授负责第1、5章编写, 徐正国副教授负责第2章编写, 邵之江教授负责第3章编写, 赵豫红副教授负责第4章编写, 宋春跃教授负责第6章编写, 周立芳副教授负责第7章编写, 吴俊教授负责第8章编写、杨秦敏副教授负责第9章编写。王慧教授承担了附录的整理与全书的统稿工作, 孙优贤院士负责全书内容的审阅与最终定稿。

在所配套教材2012年出版后的五年间, 本书的编写得到了浙江大学本科生院、教务处、控制科学与工程学院领导与同仁以及使用该教材的控制科学与工程学院学生的大力支持; 本书的初稿问世后, 学院一些老师提出了很好的建议; 在浙江大学控制科学与工

程学院“自动控制原理”课程中也不断得到来自于学生的反馈意见。化学工业出版社的领导与编辑更是对本书的出版寄予了厚望，多次督促编者尽快完稿，为本书的顺利出版做出了许多努力。从教材到这本配套学习辅导，十年的时间，其中的点点滴滴，在此书付诸印刷之际，作为编者的我们唯有无穷的感激。

由于编者水平有限，书中不当之处，敬请读者批评指正，以便在下次印刷或再版时给予修正。

编 者

2017年10月4日（中秋节）于杭州浙江大学玉泉校区

目 录

1 概述	1
1.1 本章基本要求	1
1.2 本章知识点与重要公式	1
1.2.1 一些重要的概念	1
1.2.2 控制系统的基本结构形式	2
1.2.3 控制系统的分类	2
1.2.4 控制系统的组成与方块图	2
1.2.5 小结	2
1.3 典型例题精选	3
1.4 习题一	7
1.5 自测题一	10
2 连续时间控制系统的数学模型	12
2.1 本章基本要求	12
2.2 本章知识点与重要公式	12
2.2.1 动态系统的微分方程模型	12
2.2.2 基于泰勒级数展开的非线性 系统线性化方法	14
2.2.3 相似系统	14
2.2.4 动态系统的状态空间模型	15
2.2.5 动态系统的传递函数模型	16
2.2.6 系统方块图	16
2.2.7 信号流图与梅逊公式	17
2.2.8 微分方程、传递函数与状态空间 模型之间的相互转换	19
2.2.9 状态变换和状态变换中的特征 值的不变性	22
2.2.10 小结	22
2.3 典型例题精选	23
2.4 习题二	49
2.5 自测题二	56
3 线性系统的时域分析法	60
3.1 本章基本要求	60
3.2 本章知识点精粹与重要公式	60
3.2.1 典型输入	60
3.2.2 微分方程的拉氏变换求解	61
3.2.3 控制系统的时域性能指标	62
3.2.4 一阶系统时域分析	63
3.2.5 二阶系统时域分析	64
3.2.6 高阶系统时域分析	65
3.2.7 常规控制器及其对系统的影响	66
3.2.8 状态方程的求解与分析	66
3.2.9 被控对象的实验建模	67
3.2.10 时域分析方法小结	68
3.3 典型例题精选	69
3.4 习题三	78
3.5 自测题三	82
4 连续时间控制系统的稳定性与稳态误差	86
4.1 本章基本要求	86
4.2 本章知识点与重要公式	86
4.2.1 稳定性	86
4.2.2 劳斯判据	86
4.2.3 稳态误差	88
4.2.4 反馈控制系统的“型”	89
4.2.5 稳态误差系数	89
4.2.6 等效单位负反馈系统	90
4.2.7 系统稳定性分析小结	90
4.3 典型例题精选	91
4.4 习题四	98
4.5 自测题四	100

5 根轨迹分析法	102		
5.1 本章基本要求	102	5.2.5 基于根轨迹的补偿器设计	108
5.2 本章知识点与重要公式	102	5.2.6 根轨迹方法小结	108
5.2.1 基本概念	102	5.3 典型例题精选	109
5.2.2 绘制根轨迹的基本法则	103	5.4 习题五	130
5.2.3 广义根轨迹	106	5.5 自测题五	133
5.2.4 基于根轨迹的系统性能分析	107		
6 频率特性分析法	136		
6.1 本章基本要求	136	6.2.4 奈奎斯特 (Nyquist) 稳定性判据	140
6.2 本章知识点与重要公式	136	6.2.5 频域指标与时域指标的关系	141
6.2.1 频率特性的定义	136	6.2.6 频率特性分析方法小结	142
6.2.2 频率特性的图示法	136	6.3 典型例题精选	143
6.2.3 由对数频率特性曲线确定 系统传递函数原则	139	6.4 习题六	155
		6.5 自测题	159
7 线性离散时间控制系统分析与综合	162		
7.1 本章基本要求	162	7.2.4 离散系统的分析与设计	167
7.2 本章知识点与重要公式	162	7.2.5 数字控制系统简介	170
7.2.1 采样过程与采样定理	162	7.2.6 离散控制系统小结	170
7.2.2 Z 变换基础	162	7.3 典型例题精选	171
7.2.3 线性离散系统的数学描述 及求解	164	7.4 习题七	182
		7.5 自测题	187
8 线性定常系统的状态空间分析法	190		
8.1 本章基本要求	190	8.2.7 状态反馈控制	195
8.2 本章知识点与重要公式	190	8.2.8 状态观测器	196
8.2.1 能控性及其判别	190	8.2.9 分离原理	197
8.2.2 能观性及其判别	191	8.2.10 最优控制基础	197
8.2.3 对偶系统及对偶原理	192	8.2.11 线性定常系统状态空间分析 方法小结	198
8.2.4 状态空间模型的几种规范型	192	8.3 典型例题精选	198
8.2.5 线性定常系统的结构分解	193	8.4 习题八	216
8.2.6 状态空间描述与传递函数描述 的关系	195	8.5 自测题	220
9 非线性系统分析	222		
9.1 本章基本要求	222	9.2.4 本章小结	226
9.2 本章知识点与重要公式	222	9.3 典型例题精选	227
9.2.1 相平面分析方法	222	9.4 习题九	237
9.2.2 描述函数分析方法	223	9.5 自测题	239
9.2.3 李雅普诺夫 (Lyapunov) 分析方法	225		
附录	240		

附录 1 《自动控制原理》部分习题参考 答案	240	附录 4 浙江大学控制科学与工程学院 近年硕士研究生入学试题部分 参考答案	263 284
附录 2 各章自测题部分参考答案	257		
附录 3 浙江大学控制科学与工程学院			
参考书目			293

1 概 述

1.1 本章基本要求

掌握：控制系统的基本结构与组成；反馈特别是负反馈的控制原理以及在控制系统中的作用；能够由系统的工作原理与结构图，确定控制系统的被控对象、被控变量、控制量、检测量等要素，并画出系统的方块图。

理解：控制系统的主要类型；自动控制系统的结构、工作原理及过程。

了解：控制理论的发展过程及发展趋势，对控制系统的基本要求。

1.2 本章知识点与重要公式

1.2.1 一些重要的概念

(1) 常用术语

系统 为了完成某个特定任务而组合在一起的部件或装置形成的一个相互间有关联的有机整体。系统不仅限于物理系统，还可以是软件系统甚至是抽象的动态过程、数学变换等。

被控对象 要求实现控制的设备、装置或运行的变化过程，有时又称为被控过程。

被控变量 具体要求实现控制的物理量，通常为被控对象的输出，表征了被控对象的状态和性能，常被称为系统输出变量或简称系统输出。

控制器 按预先设计好的控制规律给出控制量，使被控对象具有期望的性能或状态的部件。它的输入是被控变量与参考输入间的偏差，输出为改变执行机构动作的控制作用。

控制变量(操作变量) 作用于被控对象，改变其运行状态的量。

执行机构 它执行来自控制器的指令，并通过控制变量将控制作用施加于被控对象，以使被控变量趋向期望值。

参考输入 希望被控变量能达到的期望值或运行规律，又称给定值。

扰动输入 任何引起被控变量偏离期望值或期望规律的外界因素，又称扰动量。

自动控制 没有任何人工的参与，仅仅利用控制系统与系统中的装置，使被控对象的被控变量自动地按照预先设计好的控制规律发生变化，这个过程即称为自动控制。

自动控制系统 能完成自动控制任务并包括被控对象在内的整个系统。

(2) 控制系统的任务与要求

任何控制系统的任务是尽可能地减小或消除扰动输入的影响，使得被控变量与参考输入趋于一致。

人们对控制系统的基本要求是稳(稳定性)、准(稳态性能)、快(动态性能)。

稳：指的是系统必须要稳定，因为这是控制系统正常工作的必要条件。

准：指的是对系统的稳态性能要求，即当系统进入稳态以后，希望稳态误差尽可能

地小。

快：指的是对系统的动态性能要求，即希望系统能够快速而平稳地跟踪参考输入的变化，或消除扰动对系统的影响。通常用峰值时间、上升时间、超调量、调节时间等性能指标来评价。

(3) 负反馈工作原理

将系统的输出量经测量变换后引回到输入端，与参考输入相比较得到偏差信号，输入该偏差信号至控制器后，驱动控制器输出一个能消除或减小偏差的控制作用施加到执行机构，作用于被控对象，以达到使系统的输出按照参考输入的要求而变化的目的。

负反馈控制原理是闭环控制系统的核心机理。

1.2.2 控制系统的基本结构形式

开环控制 指的是系统的输出对系统控制作用不产生任何影响的系统。

闭环控制 是将系统的输出反馈到输入端，并对控制作用产生影响的系统。

复合控制 是将开环控制与闭环控制相结合的一种控制结构，如前馈加反馈控制系统。

开环控制与闭环控制的区别：闭环控制系统的核心是反馈（绝大多数情况是负反馈），使得系统既能克服外部干扰的影响又对系统内部参数的变化不灵敏，从而可使系统被控变量与参考输入保持一致或尽可能接近。

1.2.3 控制系统的分类

控制系统有多种分类方法，本书中如不加说明都默认为是单变量线性时不变系统。

① 结构形式 按控制系统的结构形式不同可分为开环控制、闭环控制与复合控制系统。

② 传递信号的性质 按系统中传递信号的时间特性可分为连续时间控制系统与离散时间控制系统。连续时间控制系统中各环节的信号均是时间 t 的连续函数；离散时间控制系统是指系统中某处或几处的信号是脉冲或数字信号。

③ 系统特性 凡是同时满足叠加性与均匀性（齐次性）的系统为线性系统；否则为非线性系统。所谓叠加性是指，当几个输入信号同时作用于系统时，系统的响应等于每个输入信号单独作用于系统时所产生的响应之和。所谓均匀性是指，当输入信号成倍数发生变化时，系统响应也按同一倍数变化。叠加性与均匀性统称为线性叠加原理。

④ 参数的特性 按系统中的参数或结构是否随时间变化分为时变系统与定常（时不变）系统。

⑤ 输入输出数量 按系统的输入输出信号的数量分为单变量系统或多变量系统。

⑥ 按输入信号的特征分类 工程上经常按系统参考输入的特性或变化规律来分类。

a. 恒值控制系统（简称定值系统或调节系统）：其特点是参考输入为一个定值。控制系统的主要任务是增强抗干扰能力，当有扰动输入时克服扰动影响使被控量尽快地恢复到期望值。

b. 随动控制系统（简称伺服系统）：其特点是参考输入不是一个恒定值，而是一个随时间任意变化的函数。控制系统的任务是提高系统的跟踪能力，使输出信号能快速、准确地跟随难以预知的参考输入的变化而变化。

c. 程序控制系统：其特点是参考输入按照预设的函数规律变化。控制系统的任务是使系统输出按照预设的规律变化。

1.2.4 控制系统的组成与方块图

典型的自动控制系统通常由：被控对象、检测（传感）与变送元件、控制器及执行机构组成，通常用图 1-1 来表示。根据系统具体结构的不同，其中的组成部分亦可能不完全相同。

1.2.5 小结

(1) 本章主要内容小结

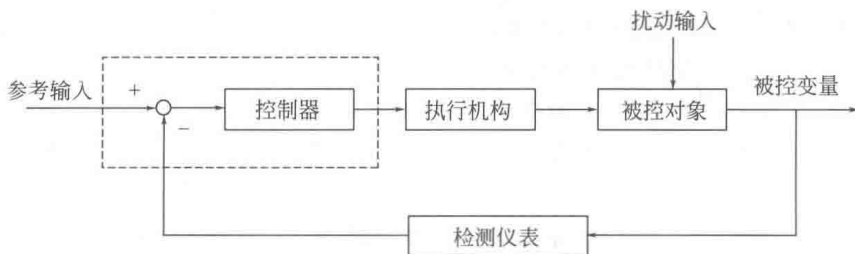


图 1-1 典型的闭环自动控制系统组成方块图

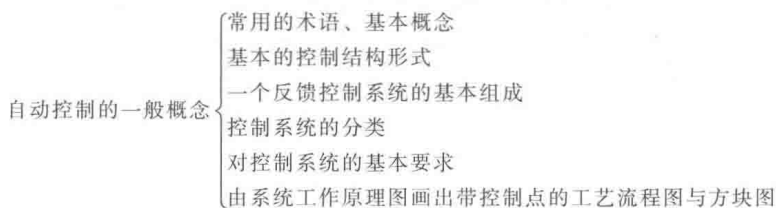
自动控制是指没有人直接参与的情况下，利用测量装置、控制器、执行机构、给定单元等组成的控制系统，对被控对象进行控制，使被控对象的被控量按给定的规律运行。基本的控制方式包括开环控制、闭环控制和复合控制。

闭环控制最重要的工作原理是负反馈。测量装置将系统输出信号反馈到输入端，与给定的输入信号进行比较，得到它们的偏差，控制器根据此偏差信号输出控制作用到被控对象，达到减小偏差或消除偏差的目的。

自动控制系统的分类、组成、对控制系统的要求以及控制系统的方块图表现形式都是这一章中应该掌握的内容。

(2) 本章主要知识脉络图

本章基础：微积分、大学物理



1.3 典型例题精选

这一部分的例题均是考查读者对自动控制系统基本概念是否掌握。题目要求涵盖这一章所学的所有内容，涉及对专业术语的理解、控制系统组成、开环系统与闭环系统的区别、方块图的绘制等。读者需要仔细分析所给场景与条件，充分理解这一章的内容。

【例 1-1】 某转台速度控制系统的结构如图 1-2 所示。问：

- ① 该系统的被控对象、控制器与执行机构分别是什么？
- ② 判断该系统是开环控制系统还是闭环控制系统，请画出系统的组成方块图。
- ③ 如果想要提高系统的控制精度，可以采取什么措施？请画出相应系统的组成方块图。

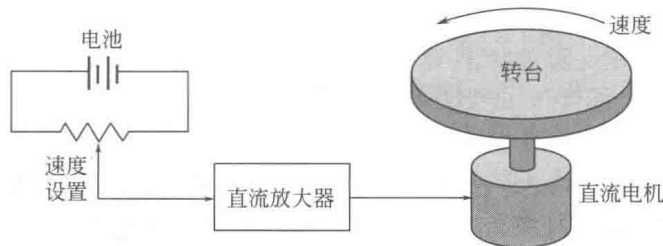


图 1-2 某转台速度控制系统

解 图 1-2 所示的转台控制系统对大家并不陌生，因为许多现代装置如计算机磁盘驱动

器、CD机、留声机等都利用转台驱动盘片匀速旋转，它们都需要在电机和其他部件发生变化的情况下，仍然保持盘片恒定的旋转速度。由图 1-2 知：

- ① 该系统的被控对象是转台，控制器为直流放大器，执行机构是直流电机。
- ② 由于图 1-2 所示系统中无反馈信号，显然为开环控制系统。其方块图如图 1-3 所示。



图 1-3 转台速度控制的开环系统方块图

③ 图 1-3 所示系统为开环系统，假设刚开始的速度控制系统运行正常，即实际速度与预期速度相同，系统处于稳定的工作状态。但一旦外界干扰如直流电机或其他部件发生些许变化，使转台速度发生改变，稳定的工作状态就会被打破。由于作为控制器的放大器无从知道盘片的实际速度已经发生改变，也就不可能采取任何控制作用。所以，开环控制系统结构简单，但几乎没有抗干扰能力，控制精度较差。

如果要求提高系统的控制精度，有效的办法是将开环控制系统设计成闭环控制系统。由于要控制的被控变量是速度，首先需要检测出速度的实际值，并将检测值反馈到系统输入端。因此，选择一台转速仪（它能提供与转轴速度成比例的电压信号）安装至转台系统，如图 1-4 所示。转速仪的任务是随时检测出转台的速度，并反馈到输入端与转台速度的给定值相比较，如果有偏差，放大器将会产生相应的改变量控制直流电机。正是由于闭环控制系统能在实际值偏离给定值时对偏差信号做出响应，在运行过程中不断减小偏差，因此图 1-4 所示的闭环控制系统优于图 1-2 所示的开环控制系统。若采用的部件足够精密，闭环控制系统的误差可望达到开环控制系统误差的 1/100。转台转速的闭环控制系统方块图如图 1-5 所示。

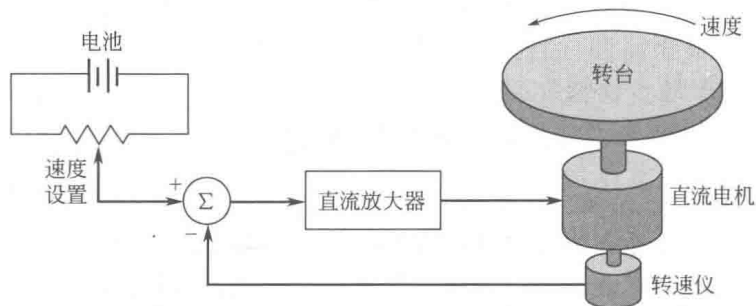


图 1-4 转台速度控制的闭环系统

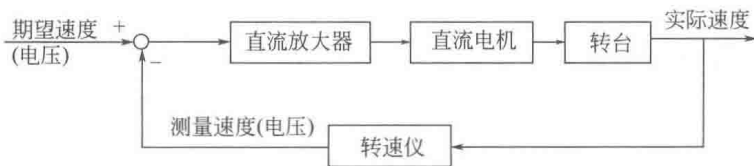


图 1-5 转台速度闭环控制系统的方块图

【例 1-2】 现代社会中的人们出行已经离不开汽车。大部分汽车上都装有驾驶和制动的动力装置，它们通过液压放大器将操纵动力放大，以便控制驱动轮或者刹车，快速准确地对司机的操纵做出响应。若将驾驶员驾驶汽车的过程看成是一个控制系统，请给出该系统的工作原理，指出系统的被控对象、输入变量、输出变量、反馈量、执行机构、检测传感部分、控制器。并画出其方块图。

解 驾驶员在正常驾驶汽车时一定是沿着他预期的行车路线行进在某条车道。随着交通情况不时地变化，他不断地通过眼睛与耳朵掌握当前的行车环境，根据“测量”到的实际情

况与预期的“参考值”进行比较。如果产生偏差，驾驶员会通过自己的手操纵方向盘（加之脚的配合加减油门），使得汽车按照缩小偏差的方向运动；若“测量值”与“参考值”的比较结果是没有偏差或偏差很小，则他继续保持着原来驾驶状态不做改变。

在这个系统中，被控对象是汽车，输入变量是预期的行车路线，输出变量是实际的行车路线，反馈量是眼睛观察（“测量”）到的实际行车路线，执行机构是驾驶员的手、脚及整个驾驶与制动装置，检测传感器是驾驶员的眼睛、耳朵及相应的神经传输系统，发出是否调整方向盘或是否加减油门指令的控制器是驾驶员的大脑。

汽车驾驶控制系统组成的方块图如图 1-6 所示。

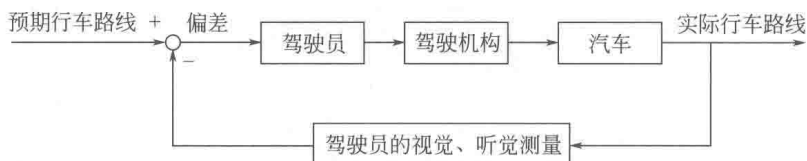


图 1-6 汽车驾驶控制系统组成方块图

【例 1-3】 图 1-7 是某蒸汽加热器的四种不同的控制方案。如果需要控制的是物料的出口温度，请问：

- ① 系统的被控对象、被控变量、给定值、控制变量各是什么？
- ② 从结构上来看这四种控制方案各有什么特点？请画出它们相应的结构方块图。

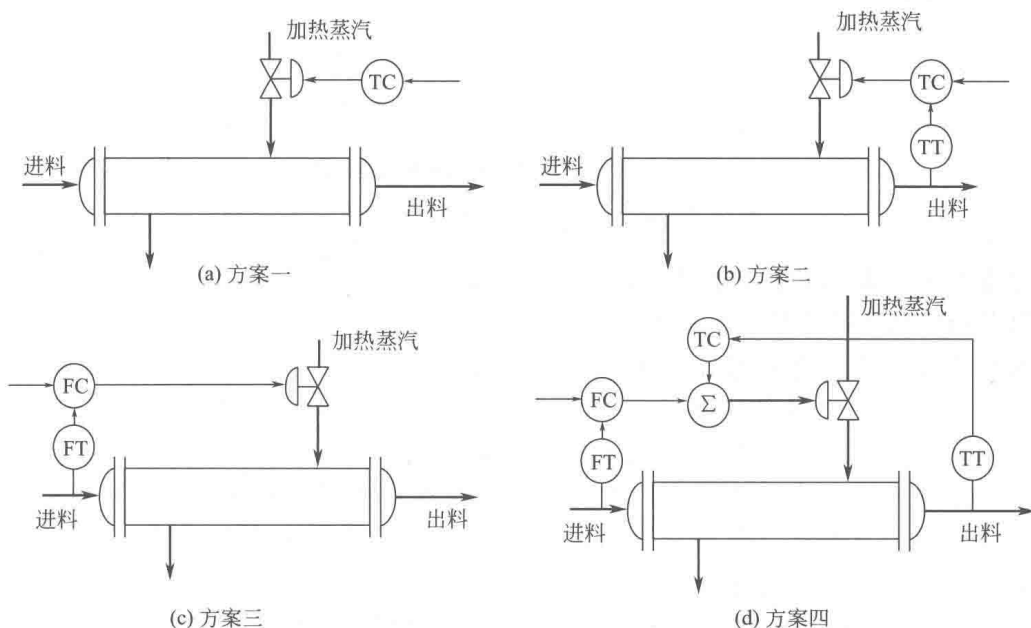


图 1-7 蒸汽加热器的四种控制方案示意图

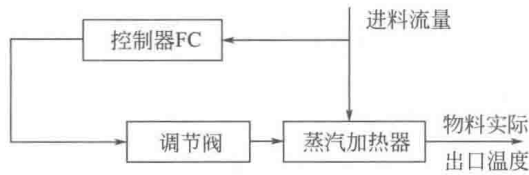
解 ① 在这个蒸汽加热器系统中，被控对象是蒸汽加热器；被控变量是系统的输出，即热物料的出口温度；给定值即是欲保持的热物料的期望出口温度；控制变量（操纵变量）是加热蒸汽量，即出口温度的控制是通过调整加热蒸汽量的变化而实现的。

② 在方案一中，控制器 TC 会根据给定值的输入信号自动地改变它的输出信号，当进入蒸汽加热器的加热蒸汽量改变，物料的出口温度也随之改变。但在这个方案中，物料的出口温度并没有被测量，TC 采取的控制作用是否合适人们无从知晓；另一方面，如果给定值不变，物料的出口温度因外界的扰动输入（如进料量的流量或温度）而发生了变化，同样由于控制器 TC 没有出口温度的测量信息，其输出就不会发生改变。因此，从系统的结构上

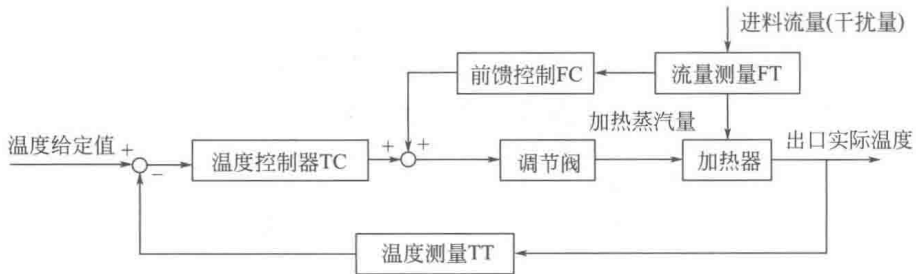
看，这是一个开环控制系统，其方块图如图 1-8(a) 所示。这种方案可以使被控变量精度有限地跟踪给定值的变化，却无法消除扰动输入对出口温度的影响。



(a) 蒸汽加热器的控制方案一方块图



(b) 蒸汽加热器的控制方案三方块图



(c) 蒸汽加热器的前馈+反馈控制方案四方块图

图 1-8 蒸汽加热器系统方块图

在方案二中，温度测量传感器 TT 检测到出料温度后将其送至温度控制器 TC，TC 将该测量值与给定值进行比较，如果存在偏差则改变加热蒸汽量，以维持出料温度与给定值一致。在这个系统中，控制器 TC 的控制作用与方案一一样，也是通过改变加热蒸汽量进而改变出料温度；但不同之处在于，出料温度是实时被检测并反馈给控制器的，只要温度有变化，控制器就会有相应的控制信号输出，控制作用的不断作用，最终使得被控变量与给定值趋于一致。在此系统中，控制器与被控对象之间既有前向控制又有反馈控制，因而是一个典型的具有负反馈控制作用的闭环系统。请读者画出相应于方案二的控制系统方块图。

如果给定值不变，引起出料温度变化的主要扰动因素是进料的流量，采用方案一将对此毫无对策，方案二虽然可以有效，但控制器一定是在出料温度与给定值之间已经产生偏差才开始作用，可以认为这是一种“事后”的行为。方案三的出发点是，事先建立进料量与出料温度间的关系，在进料处安装流量检测仪。一旦进料量发生改变，就通过控制器 FC 改变加热蒸汽量以抵消改变了的进料量将要产生的对出料温度的影响，达到控制出料温度维持不变的目的。显然，这是一种“事先”控制方案，即在扰动对被控变量影响之前已经采取了控制作用，故被称为前馈控制。在此系统中，出口温度并没有被测量，当然也没有反馈给控制器。流量控制器 FC 只是根据进料流量的变化来改变加热蒸汽量，所以对被控变量出口温度而言，没有测量与反馈，仍然是一种开环系统，无非是按扰动进行控制的开环系统。其方块图如图 1-8(b) 所示。进一步考察，可以发现，虽然这类系统在一定程度上，能够补偿扰动

对被控变量的影响,但它对于给定值的变化、或其他非进料流量扰动引起的出口温度变化均无能为力,这是前馈控制系统的缺陷。

综合考虑方案二与方案三的优点,可以形成既能迅速克服主要扰动的前馈控制,又能根据实际被控变量进行反馈控制的第四种方案,如图 1-7(d) 所示。这种方案属于复合控制系统,又称为前馈加反馈控制系统。这种方案的系统方块图如图 1-8(c) 所示。当然,随着控制系统复杂度的增加,这种系统较前三种方案的成本要高。

【例 1-4】除了工业领域,社会、政治和经济领域中也越来越多地采用反馈方法建模分析,虽然可能还不太成熟,但这类模型有助于分析与理解政府出台的控制措施对社会经济系统的影响。请你给出一个描述国民收入与政府调控、商品生产、税收、消费者消费、私人商业投资等关系的宏观模型,并以反馈控制系统的方块图形式表示。

解 图 1-9 给出的是反映国民收入反馈控制系统的宏观模型,它反映了政府支出对实际国民收入的动态影响。

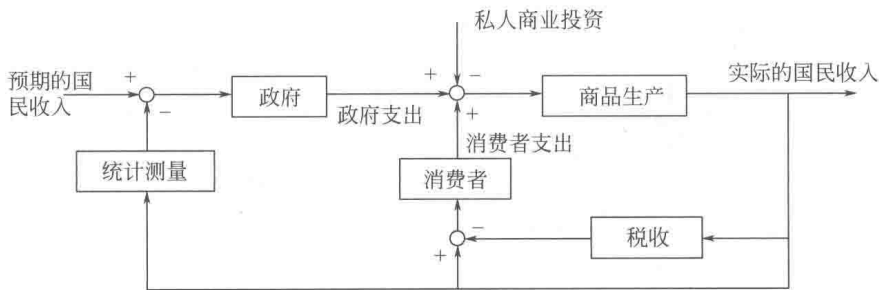


图 1-9 国民收入反馈控制系统宏观模型方块图

当统计测量显示国民收入与预期的国民收入有偏差时,通过政府的调控手段与消费者的共同作用,影响到商品生产,继而再影响到国民收入。在此模型中,还有一些没有考虑进去的因素,如财政预算、赤字等,但已能提供一些有价值的信息。

1.4 习题一

A1-1 精确的光信号源可以将功率输出精度控制在 1% 以内。激光器由输入电流控制并产生输出功率,作用在激光器上的输入电流由一个微处理器控制,微处理器将期望的功率值与传感器测得的激光器的输出功率值作比较。这个闭环控制系统的框图如图 1-10 所示。试指明该系统的输出变量、输入变量、被测变量和控制变量。



图 1-10 光信号源的部分框图

A1-2 画出由驾驶员驾驶汽车时的汽车速度控制系统的框图。如果采用目前很多车辆上已经安装了的速度保持控制系统(只要按下“巡航控制”按钮,它就会自动地保持一个设定的速度,由此司机驾车就可以限定的速度或较为经济的速度行驶,而不需要经常查看速度表,也不需要长时间控制油门)。试画出汽车速度保持控制系统的反馈控制系统框图。

A1-3 许多汽车都安装有控制温度的空调系统。使用空调系统时,司机可以在控制面板上设置预期的车内温度。请画出该空调系统的框图,并指明该系统各部分的功能。

- A1-4 请描述人调整痛觉、体温等感觉时的生物反馈过程。生物反馈是人能够自觉而且成功地调整脉搏、疼痛反应和体温等感觉的一种机能。
- A1-5 图 1-11 是水槽液位系统的两种不同控制方案。

- ① 分别画出两个控制系统的方块图；
- ② 分别指出两个控制系统的被控对象、被控变量和操纵（或称控制）变量；
- ③ 结合这两个系统的方块图，说明方块图中的信号流与工艺流程中的物流流。

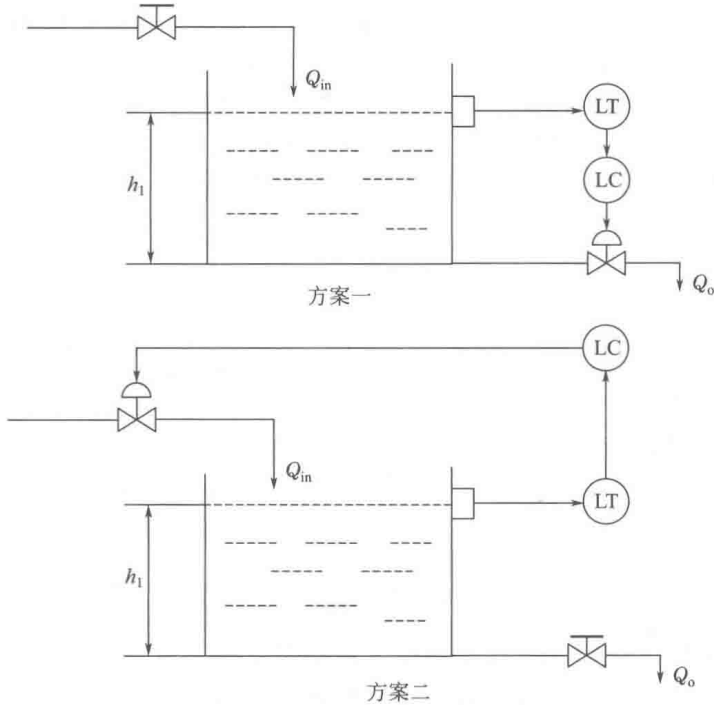


图 1-11 水槽的液位控制

- A1-6 在石油化工生产过程中，常常利用液态丙烯汽化吸收裂解气体的热量，使裂解气体的温度下降到规定的数值上。图 1-12 是一个简化的丙烯冷却器温度控制系统。被冷却的物料是乙烯裂解气，其温度要求控制在 $(15 \pm 1.5)^\circ\text{C}$ 。如果太高，冷却后的气体会包含过多的水分，对生产造成有害影响；如果温度太低，乙烯裂解气会产生结晶析出，堵塞管道。

- ① 指出该系统的被控对象、被控变量、操纵变量各是什么？设定值是多少？
- ② 画出该系统的方块图。
- ③ 可能的扰动有哪些？
- ④ 该系统是属于定值还是随动控制系统？为什么？

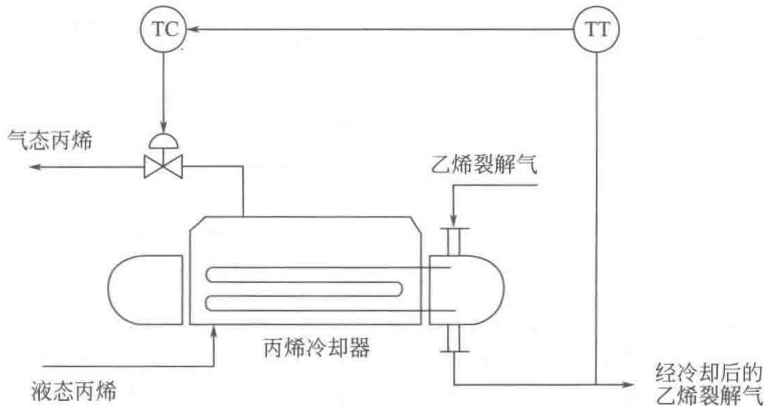


图 1-12 丙烯冷却器温度控制系统示意图

- A1-7 图 1-13 为水温控制系统示意图。冷水在热交换器中由通入管道的蒸汽加热，从而得到具有一定温度的热水。冷水流量变化用流量计测量。试绘制系统方块图，并说明为了使热水温度维持在期望值，系统是如何工作的？系统的被控对象和控制装置各是什么？

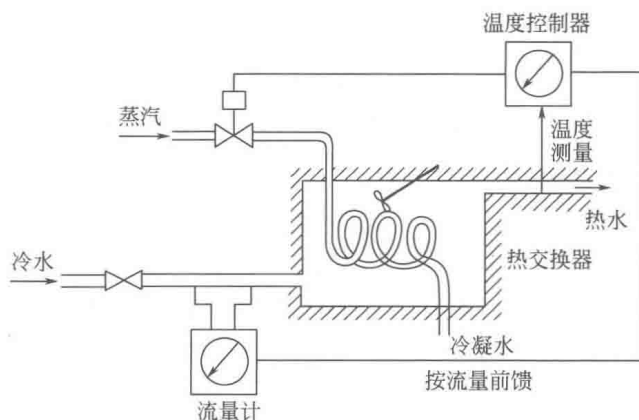


图 1-13 水温控制系统示意图

- A1-8 图 1-14 为谷物的湿度控制系统示意图。在谷物磨粉的生产过程中，有一个出粉最多的湿度值。因此，磨粉之前要给谷物加水以得到合适的给定湿度。图中，谷物用传送装置按一定流量通过加水处，加水量由自动阀门控制。加水过程中，谷物流量、加水前谷物湿度以及水压都是对谷物湿度控制的扰动作用。为了提高控制精度，系统中采用了谷物湿度的前馈加反馈控制，试画出系统方块图。

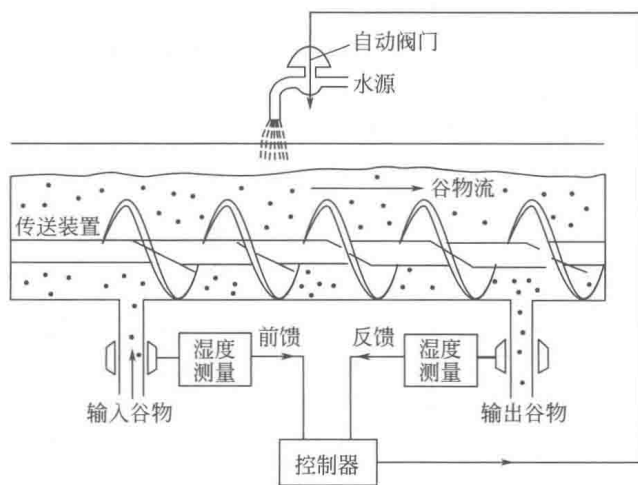


图 1-14 谷物湿度控制系统示意图

- A1-9 反馈系统不一定是负反馈的。以物价持续上涨为标志的经济膨胀就是一个正反馈系统。该正反馈系统如图 1-15 所示。它将反馈信号与输入信号相加，并将合成的信号作为过程的输入。这是一个以价格、工资描述通货的简单模型。增加其他的反馈回路，比如立法控制或税率控制，可以使该系统稳定。如果工人工资有所增加，经过一段时间的延迟后，将导致物价有所上升。请问在什么条件下，通过修改或延缓分配生活费用，可以使物价稳定？国家的工资与物价政策是怎么影响这个反馈系统的？

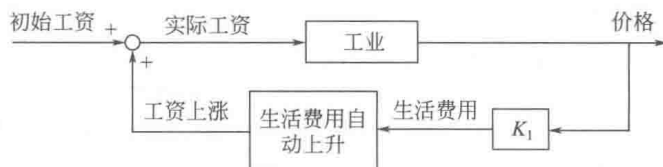


图 1-15 正反馈系统框图