



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



控制理论基础

(第三版)

王显正 莫锦秋 王旭永 编著

 科学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

控制理论基础

(第三版)

王显正 莫锦秋 王旭永 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,并曾获 2002 年教育部全国普通高校优秀教材二等奖。

本书主要介绍反馈控制系统的基本理论及其工程分析和设计方法。全书共 10 章。前 3 章主要介绍反馈控制系统的基本工作原理、物理系统的数学模型、包括频率特性在内的一些基本概念。第 4~7 章介绍控制系统稳定性分析、稳态误差分析、瞬态响应分析以及控制系统的设计和校正。第 8 章对工程中常用的根轨迹方法作了介绍。最后两章讲述了状态空间分析法和非线性控制系统。

书中大部分章节有利用 Matlab 控制软件的应用实例。每章还有小结和习题。

本书可作为高等学校机械、冶金、能源动力、材料等非自控专业的教材,也可以供其他有关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

控制理论基础/王显正,莫锦秋,王旭永编著. —3 版. —北京:科学出版社,2018.6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-057828-0

I. ①控… II. ①王…②莫…③王… III. ①控制论-高等学校-教材
IV. ①O231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 129199 号

责任编辑:余 江 张丽花/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>

北京九州迅驰传媒文化有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2000 年 11 月第一版 开本: 787×1092 1/16

2007 年 9 月第二版 印张: 23

2018 年 6 月第三版 字数:545 000

2018 年 6 月第十二次印刷

定价: 59.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

第三版前言

《控制理论基础》第二版出版至今已 10 余年了,为适应发展与教学的需要,在听取多方意见及总结多年教学经验的基础上,这次对该书进行了重新修订.《控制理论基础》第三版保留了前两版编写的特点,即由浅入深、循序渐进,既保持理论性、系统性和工程实践性,又力求概念清晰、确切,分析问题思路符合认知规律的特点;也保留了前两版的编写结构体系,基本上仍然采用了第二版的主体目录.编写中对章节的内容进行调整和增减,对部分章节内容进行了修订和重新编写,并在每一章中增加了一些例题和习题.

《控制理论基础》第三版的统稿、定稿工作由王显正完成,莫锦秋完成第 2~8 章、第 10 章的编写,王旭永完成第 1、9 章的编写.

由于编者水平有限,热忱欢迎读者批评指正.

编 者

2018 年 4 月

第二版前言

“控制理论基础”课程是大学工程技术类专业的主干技术基础课。本书自1980年出版以来,已被国内许多所高等院校选作教材。经过多年教学实践,这次在多方听取意见的基础上重新做了修订,去掉了采样控制这章,增加了状态空间分析法一章。为了避免状态分析法中大量的矩阵运算掩盖经典控制理论中明确的物理概念和工程应用实践强的特点,所以这次修改仍将其单列一章,并用统一、联系的观点把现代控制与经典控制有机结合起来,赋予其较强的物理概念和工程背景。

作为一门基础课,经典控制理论的内容基本上是固定的。这种教材的内容可以有不同的编排,但一般都着重于按教学规律由浅入深、循序渐进、简繁适度,既保持理论性、系统性和工程实践性,又力求概念清晰、确切、分析问题思维符合认识规律,适合机械类和非自控专业学习,所以这次我们仍然保持了该书原来的编写体系和特点。这次修订我们基本上仍采用前几版的目录,在前版基础上仅对部分章节的内容在编排上做了一些增减和调整,并且在大部分章节增加了 Matlab 控制软件的应用案例。

本书由国防工业出版社于1980年初版,历经近30余年,在广大读者的支持、关爱下,曾经获得1987年中船总公司全国高校优秀教材二等奖,2002年教育部全国普通高校优秀教材二等奖以及其他多项奖励。现在被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书第二版由王显正教授主编,参加各章修订及编写的教授是:王显正(第1、2章)、莫锦秋(第3~8章、第10章及各章 Matlab 应用案例)、王旭永(第9章)。应当指出,本书初版到现在是一个不断完善、提高的过程。本书前几版的作者,范崇诤、陈正航等教授,由于退休不再参加该版编写,但他们对《控制理论基础》教材建设的贡献是不可磨灭的,在此向他们表示感谢。特别还要感谢的是在第一线讲课的教授和讲师:金惠良、朱向阳、王冰、叶春、胡晖等,他们为教材的编写及修订提出了许多详细的宝贵意见,才使教材得以很好地完成。

王显正

2007年6月于上海

第一版前言

《控制理论基础》是在前两版的基础上,根据机械电子工程、机械工程与自动化等专业的教学大纲编写的.本书自1980年出版以来,已被国内许多所高等院校选作教材.经过多年的教学实践,这次在多方听取意见的基础上重新做了编写、修订.新版保留了前版教材编写的体系和特点.根据大纲要求,本书系统地介绍了经典控制理论的主要内容,着重讲述了控制系统的反馈工作原理、物理系统的数学模型以及系统的分析和设计,同时对采样控制系统和非线性系统也作了介绍.为了便于学生加深对概念的理解和在实践中的具体应用,每章都列举了大量的例题和习题,并在附录中给出 Matlab 控制软件应用简介.此外,还编写了与教材相配套的《控制理论基础习题与解答》.

本书前3章由王显正编写,第4、5、6、10章由陈正航编写,第7、8、9章及附录由王旭永编写.王显正对全书进行了校核和修改.由于编者水平有限,我们热忱欢迎选用本教材的老师、学生以及科技工作者对本书的不足之处进行批评指正.

编 者

2000年1月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 自动控制及其发展概述	1
1.2 控制系统的反馈工作原理及其组成	3
1.3 控制系统的分类	9
1.4 控制理论在非工程领域的应用	14
1.5 对控制系统的要求及常用典型控制信号	16
小结	19
习题	20
第 2 章 物理系统的数学模型	23
2.1 控制工程的数学方法	23
2.2 物理系统的数学模型及其建立	32
2.3 非线性数学模型的线性化	42
2.4 系统方块图及其传递函数	45
2.5 环节及系统的传递函数	54
2.6 信号流图	67
2.7 Matlab 中系统建模	71
小结	76
习题	76
第 3 章 频率特性	84
3.1 频率特性的基本概念	84
3.2 幅相频率特性	88
3.3 对数频率特性	94
3.4 闭环频率特性及其特征参数	105
3.5 数学模型的实验确定法	107
3.6 Matlab 中的频率响应函数	111
小结	116
习题	116
第 4 章 控制系统的稳定性分析	120
4.1 稳定性的基本概念	120
4.2 劳斯-赫尔维茨稳定判据	123
4.3 奈奎斯特稳定性判据	127
4.4 稳定性裕量	138

4.5 Matlab 求取稳定性裕量	142
小结	144
习题	144
第 5 章 控制系统的误差分析	147
5.1 误差的基本概念	147
5.2 稳态误差系数与稳态误差	150
5.3 动态误差系数与稳态误差	156
5.4 扰动作用下的系统稳态误差	160
小结	162
习题	163
第 6 章 控制系统的瞬态响应分析	166
6.1 一阶系统的瞬态响应	166
6.2 二阶系统的瞬态响应	169
6.3 具有零点的二阶系统的瞬态响应	173
6.4 高阶系统的瞬态响应	175
6.5 瞬态响应指标及其与系统参数的关系	179
6.6 Matlab 分析系统的动态特性	185
小结	189
习题	189
第 7 章 控制系统的综合和校正	193
7.1 系统设计概述	193
7.2 希望频率特性曲线和控制系统综合法校正	196
7.3 控制系统分析法串联校正	206
7.4 PID 控制	219
7.5 控制系统反馈校正分析	233
7.6 复合控制系统	235
小结	237
习题	238
第 8 章 根轨迹法	241
8.1 根轨迹法基本概念	241
8.2 绘制根轨迹图的基本规则	244
8.3 控制系统的根轨迹分析	256
8.4 用根轨迹法设计与校正控制系统	261
8.5 Matlab 绘制系统的根轨迹	269
小结	273
习题	273
第 9 章 状态空间分析法	275
9.1 系统的状态空间描述	275
9.2 状态方程的求解	291

9.3 线性系统的能控性和能观性	297
9.4 控制系统的状态空间综合法	302
9.5 Matlab 中进行状态空间法分析	310
小结	315
习题	315
第 10 章 非线性控制系统	319
10.1 概述	319
10.2 描述函数法	322
10.3 非线性系统的描述函数法分析	328
小结	336
习题	336
参考文献	338
附录 I 拉普拉斯变换表	339
附录 II 校正网络	342
附录 III Matlab 基础	348

第 1 章 绪 论

1.1 自动控制及其发展概述

自动控制在工业、农业、国防及科学技术的现代化中起着重要作用,在国民经济和国防建设的各个领域得到了广泛的应用.自动控制技术的应用,不仅使生产过程实现了自动化,极大提高了劳动生产率,而且减轻了人们的劳动强度,这在冶金、采矿、机械、化工、电子等部门尤为明显.同时,自动控制又可使工作具有高度的准确性,大大地提高产品的质量和数量,提高武器的命中率和战斗力.

所谓自动控制,就是指在没有人直接参与的情况下,利用控制器使生产过程或被控对象的某一物理量准确地按照预期的规律运行.例如,火炮根据雷达指挥仪传来的信息能够自动地改变方位角和俯仰角,随时跟踪,准确地瞄准目标.程序控制机床能够按预先排定的工艺程序自动地进刀切削,加工出预期的几何形状.电弧炼钢炉的电极能自动地跟随钢水的液面作上下移动,以便与液面保持一定距离.所有这些控制系统的例子,尽管它们的结构和功能各不相同,但我们可以发现它们有共同的规律,即它们都是一个或一些被控的物理量按照另一个或另一些物理量的变化而变化,或者保持恒定.而控制系统都是由被控对象和控制装置构成的.这里所说的系统,指完成一特定任务的一些部件的组合.广义而言,系统的概念并不仅限于物理系统,也包含了生物学、经济学等现象的系统.

自动控制理论和实践的不断发展,给人们提供了获得自动控制系统最佳性能的多种方法,这又促使自动化程度的进一步提高.同时,由于大量工程控制及设计问题都涉及系统动态过程的分析和综合,因此控制理论又是系统动力学的理论基础.机械振动、机构学、摩擦学、机械产品的加工、动态参数或过程的测试等都可用控制论的观点、方法来研究,以揭示出它们更深刻的本质,从而找出改进和控制它们性能的更有效的途径.不仅如此,控制理论的应用目前已远远超出了工程范围,而普遍用于生物学、社会学和经济学等非工程领域中,如建立起各种复杂、完整的反馈模型等.事实上,介于多学科之间的控制理论,它已渗透到各个工程领域,已成为工程技术人员必不可少的一门基础知识.

控制理论作为一门独立的工程学科,大致分为四个发展阶段.

第一阶段是控制工程萌芽和发展期.一般公认瓦特 1770 年发明的控制蒸汽发动机速度的飞球调节器是最早的控制系统的例子,通常这个调节器容易振荡.大约 100 年后,麦克斯韦(J. C. Maxwell)分析了飞球调速器的动态性能,发表了《论调节器》一文.可以说这是有关反馈控制理论的第一篇正式发表的论文.紧接着赫尔维茨(A. Hurwitz)于 1875 年、劳斯(E. Routh)于 1884 年、李雅普诺夫(A. A. Ляпунгов)于 1892 年都对调节理论做出了重要贡献,并提出了几个重要的稳定性判据.这一时期,控制系统也开始广泛用于工业控制,乃至武器控制,如第一次世界大战期间用于火炮仰角的随动控制系统和舰船的自动驾驶.

第二阶段是经典控制理论的发展成熟期.20 世纪 40 年代,自动控制理论逐渐形成较为

完整的基本理论体系. 1934 年 H. L. Hazen 发表了具有历史意义的著作《伺服机构理论》, 第一次提出了控制系统的精确理论. 这一期间自动控制理论开始由机械工程领域进入通信工程领域, 而通信工程师习惯于用“频率响应”来描述系统及分析问题. 1932 年奈奎斯特 (H. Nyquist) 在研究负反馈放大器时, 提出了有名的稳定性准则和稳定裕量的概念. 在此基础上, 伯德 (H. W. Bode) 于 1945 年发表用图解法来分析和综合反馈控制系统的方法, 并将其应用于控制工程中, 这就形成了控制理论中用于分析和设计控制系统的频率法.

第二次世界大战大大推动了自动控制理论和实践的发展. 飞机、火炮、舰船快速精确的控制技术和雷达跟踪、导弹制导技术发展之快令人惊奇. 战后, 随着大战期间很多理论及实践成果的公开, 控制理论出现了蓬勃发展的新阶段. 1948 年, 伊文思 (W. R. Evans) 提出了根据系统参数变化时特征方程根变化的轨迹来研究控制系统的“根轨迹”理论, 创建了用微分方程模型来分析系统性能的整套方法. 至此, 控制理论发展的第二阶段——自动调节阶段基本完成. 建立在频率法和根轨迹法基础上的理论, 通常称为经典控制理论.

第三阶段是现代控制理论的发展形成期. 20 世纪 60 年代, 人造地球卫星空间技术的发展, 要求实时地、高精度地处理多变量和非线性控制问题. 由于数字计算机技术日趋成熟和完善, 这样就有可能在研究中利用标准式或状态形式的常微分方程作为数学模型, 直接在时域内进行大量复杂的解算、设计以及实现高度完备的最优控制, 并逐步形成了一套完整的、以状态空间表达式为分析和综合工具的理论, 这就是有别于“经典”的“现代控制理论”. 最优控制理论也是在这段时期由庞特里亚金 (Л. С. понтригин)、贝尔曼 (R. Bellman)、卡尔曼 (R. E. Kalman) 等提出来的.

第四阶段是当代控制理论的百花争艳时期. 从 20 世纪 70 年代末开始, 控制理论向着“复杂系统理论”“智能控制理论”等方向发展, 并形成若干分支, 如鲁棒控制、模糊控制、动态系统辨识、自适应控制、大系统理论等. 其中, 智能控制的概念和原理主要是针对被控对象、环境、控制目标或任务的复杂性提出来的, 它的指导思想是依据人的思维方式和处理问题的技巧, 解决那些目前需要人的智能才能解决的复杂控制问题. 目前, 依靠闭环控制、人工智能、视觉检测和全球定位系统等理论和技术的综合应用, 正在使汽车自动安全驾驶逐渐成为可能.

作为标志性和较为系统的控制理论, 经典控制理论和现代控制理论的特点见表 1.1.

表 1.1 经典控制理论和现代控制理论的特点

阶段 特点	经典控制理论	现代控制理论
研究的主要问题	建模与分析、稳定性、控制策略	建模与分析、系统特性、控制策略
研究对象	单输入-单输出线性自调系统	多输入-多输出复杂系统
分析、设计方法	频域法	时域法
研究工具	拉氏变换	矩阵和向量
数学模型	传递函数	状态空间表达式
理论基础	以反馈为中心的经典控制理论	现代控制理论
分析与综合	(1) 在给定一类特定的输入情况下, 分析输出的响应、综合; (2) 根据给定的某种指标来设计系统的参数与校正网络	(1) 揭示系统对控制和初始状态的依赖关系, 研究其可能影响的性质和程度; (2) 探讨在一定参数和指标条件下可能达到的极值或最佳状态(最优控制)

1.2 控制系统的反馈工作原理及其组成

1.2.1 控制系统的反馈工作原理

在各种生产过程以及生产设备中,常常需要使某些物理量,如温度、压力、位置、转速等保持恒定,或者让它们按照一定的规律变化.要满足这一条件,就应对生产机械或设备进行及时的控制和调整,以抵消外界的干扰和影响.那么,控制系统是怎样实现对这些物理量自动控制的呢?为了回答这个问题,我们还是先看看恒温控制系统这个例子,研究一下它是怎样实现恒温控制的.在这个基础上再总结出控制系统的共同规律.

实现恒温控制有两种方法:人工控制和自动控制.然而,很多自动控制都是受到人工控制的启发而实现的.

1. 人工控制

图 1.1 为一个人工控制的恒温控制箱.人工控制的任务是克服外来干扰,如电压波动、环境温度变化等以保持温箱的温度恒定.这可以通过移动调压器活动触头位置来改变加热电阻丝的电流,以达到温控的目的.箱内温度是由温度计进行测量的.人工调节过程可归纳如下:

(1) 观察由测量元件(温度计)测出的恒温箱的温度(被控制量).

(2) 与要求的温度值(给定值)进行比较,得出偏差的大小和方向.

(3) 根据偏差的大小和方向再进行控制.当温箱温度高于所要求的给定值时,就移动调压器触头将电流减少,使炉温降到正常范围内;若低于给定的温度,则移动调压器触头将电流增加,使温度升到正常范围.

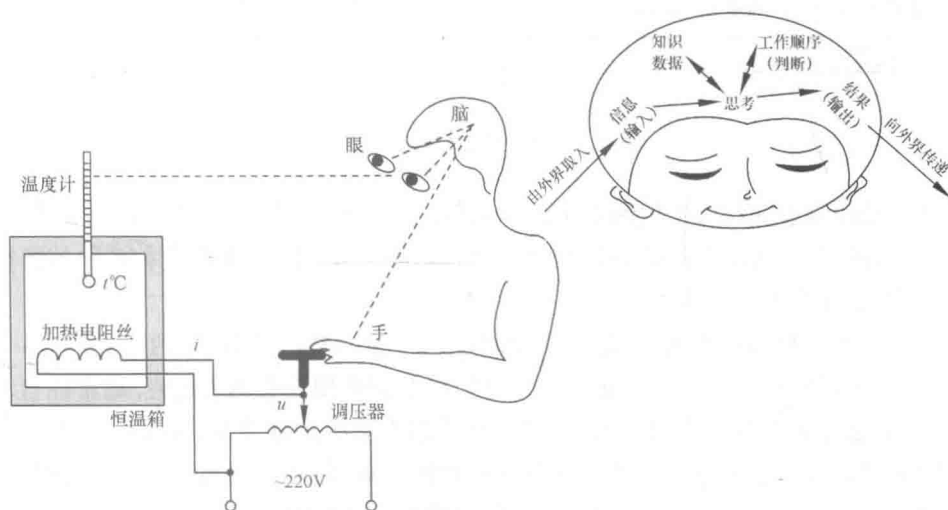


图 1.1 人工控制的恒温控制箱

因此,人工控制的过程就是测量、求偏差、再控制以纠正偏差的过程.简单地讲,就是“检测偏差用以纠正偏差”的过程.

显然,完成这一过程需要一个检测温度用的测量元件(温度计)和一个纠正偏差用的控制元件(调压器),而被控制量(温箱温度)与给定温度的比较,以及决定怎样去控制调压器,这些都是分别通过人的眼、脑、手来实现的.这里眼睛起观察、检测的作用;脑起比较作用,得出偏差大小和方向;手起执行作用.对于这样简单的控制形式,如果能找到一个控制器代替人的各种器官职能,那么这样一个人工调节系统就可以变成自动控制系统了.

2. 自动控制

图 1.2 就是根据上述替代方法构成的自动恒温控制系统.在这个系统中,恒温箱的温度是由给定信号电压 u_1 设定的,当外界因素引起箱内温度变化后,作为测量元件的热电偶将与温箱温度相对应的电压信号 u_2 测量出,并反馈回去与给定信号 u_1 进行比较,所得结果 $\Delta u = u_1 - u_2$,即为温度的偏差信号,经过电压、功率放大器放大后去控制执行电机的旋转速度和方向,并通过传动装置(减速器)旋动调压器活动触头,当箱内温度偏高时,使调压器减小加热电流,反之加大电流,直到温度达到给定值,此时,偏差信号 $\Delta u = 0$,电机停止.这样,就完成了所要求的控制任务,而所有这些元件便组成了一个自动控制系统.

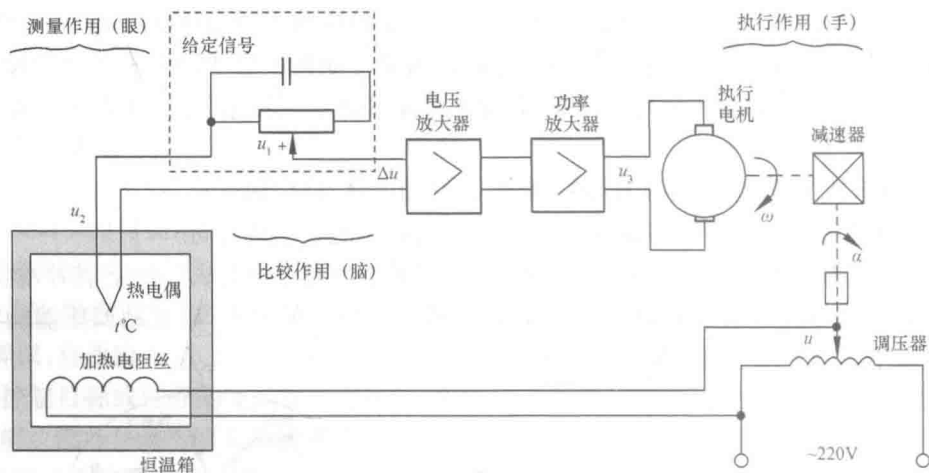


图 1.2 恒温箱的自动控制系统

上述自动控制系统和人工控制系统是极相似的:测量元件类似于操纵者的眼睛(测量作用),控制器类似于操纵者的头脑(比较作用),执行元件类似于操纵者的肌体和手(执行作用)。

3. 反馈控制原理

通过上面的分析可以看出,不论人工控制还是自动控制,它们都有两个共同点:一是检测偏差;二是用检测到的偏差去纠正偏差.可见,没有偏差便没有调节过程.通常在自动控制系统中,给定量称为控制系统的输入量,被控制量称为系统的输出量.反馈就是指输出量通过适当的测量装置将信号的全部或一部分返回到输入端,使之与输入量进行比较的意思,比较的结果称为偏差.控制系统就是根据这一偏差的大小和方向进行工作,以使偏差减小或消除,从而使输出量复现输入量.因此,基于反馈基础的“检测偏差用以纠正偏差”这一原理又称为反馈控制原理.根据反馈原理组成的系统称为反馈控制系统.

现将图 1.2 画成图 1.3 方块图形式.图中方块代表系统的各个组成部分;⊗代表比较元件;方块两边直线及其标注代表该组成部分在控制过程中相互作用的物理量;箭头代表作用

的方向. 这种方块图又称结构方块图, 对于了解系统的作用原理是显而易见的. 同时还可以看出, 被调节量(温度)是系统的输出量, 给定的电压信号是系统的输入量. 偏差通过热电偶将输出量反馈到输入端与输入量比较而得.

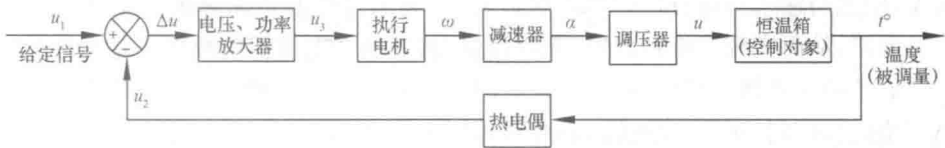
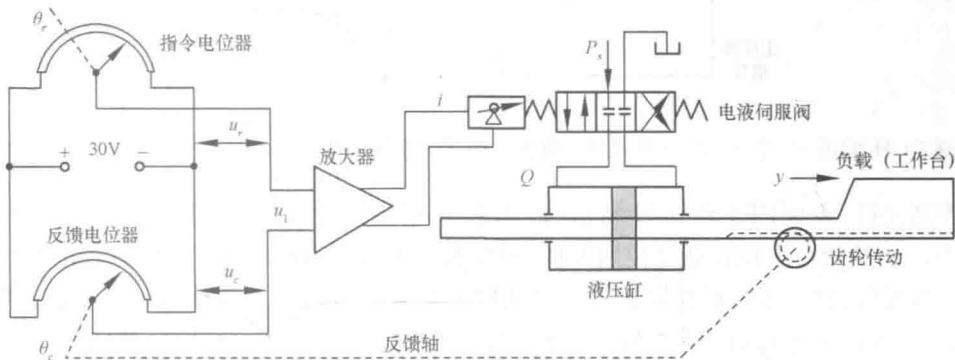
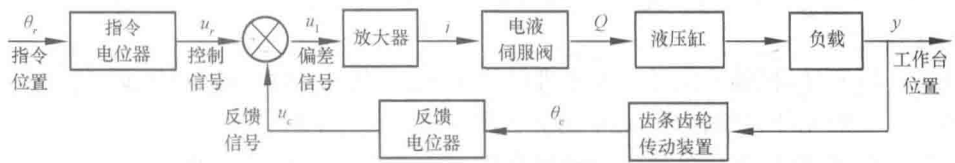


图 1.3 恒温箱温度控制系统方块图

为了更清楚地说明按反馈原理构成控制系统的普遍性, 下面再举一个例子. 图 1.4(a) 和(b)分别为一控制工作台位置的电液反馈控制系统的工作原理图和方块图, 该控制系统的目的是控制工作台的位置, 使之按指令电位器给定的规律变化. 操作者移动指令电位器的滑臂, 滑臂的角度位置 θ_r , 被转换成控制电压 u_r . 被控制的工作台位置由反馈电位器检测, 转换成电压 u_c . 当工作台的位置与指令信号的位置有偏差时, 通过由两个电位器接成的桥式电路而得到该偏差电压 $u_1 = u_r - u_c$, 当开始指令电位器和反馈电位器的滑臂都处于右端位置时, $u_r = 0$ 、 $u_c = 0$, 故 $u_1 = u_r - u_c = 0$ 即没有偏差信号, 工作台处于静止状态. 若突然给一指令信号, 将指令电位器的滑臂移到中间位置, 假设此时 $u_r = 15\text{V}$, 而在负载(工作台)改变位置之前瞬间, 反馈电压 $u_c = 0$, 所以工作台与指令信号位置间的偏差电压 $u_1 = 15\text{V} - 0\text{V} = 15\text{V}$. 该偏差电压经放大后变为电流信号去控制伺服阀, 伺服阀便输出压力液压油, 使液压缸推动工作台移动, 以减小偏差, 直到反馈电位器滑臂达到中间位置, $u_c = 15\text{V}$, 即输出完全复现输入. 此时偏差电压为零($u_1 = 15\text{V} - 15\text{V} = 0$). 伺服阀恢复零位而不再输出压力油, 液



(a) 位置控制系统原理图



(b) 系统的方块图

图 1.4 工作台位置控制系统

压缸活塞便停止运动,于是工作台达到了指令信号所规定的位置.如果指令电位器滑臂位置不断改变,则工作台位置也跟着不断变化.从这个例子可以看出:为了使被控制量与控制作用之间保持所需要的函数关系,系统不断地对被控制量进行检测,并把测得的输出量返回到输入端,使之与输入量进行比较得出偏差信号,再用这个偏差信号来控制系统运动,以便随时消除偏差,从而实现工作台位置(被控制量)按照指令电位器的规律变化的目的.

从以上举的这些例子可以看出,反馈控制系统有两个最主要的特点:一是有反馈存在,二是按偏差进行控制.实现自动控制的装置可以各不相同,但反馈控制原理却是相同的,反馈控制是实现自动控制最基本的方法,并得到了广泛应用.它不仅可以实现对物理量的恒值控制,而且可以实现被控制量复现控制量的变化规律的随动控制.

1.2.2 反馈控制系统的基本组成

1. 反馈控制系统的组成元件

通过上面反馈控制系统工作过程的分析可以看出:对于一个控制系统来说,不管其结构多么复杂,用途各种各样,但它都是由一些具有不同职能的基本元件所组成的,图 1.5 就是一个典型的反馈控制系统,它表示了这些元件在系统中的作用、位置和其相互间的联系,作为一个典型反馈系统应该包括检测偏差所必需的反馈元件、控制元件、比较元件以及用以纠正偏差所必需的放大变换元件和执行元件等.

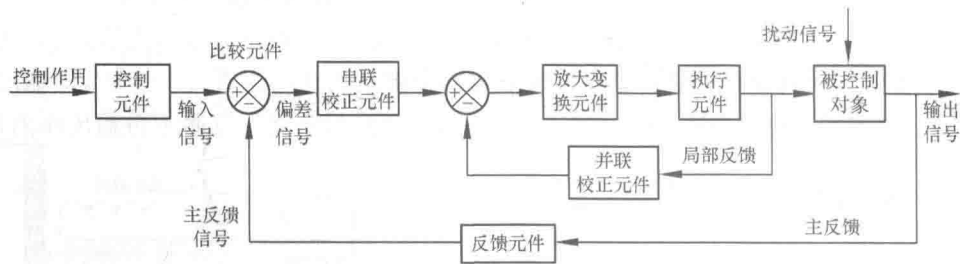


图 1.5 典型反馈控制系统方块图

控制元件:主要用于产生控制信号.引起控制信号变化的原因则称为控制作用.如图 1.4(a)中的指令电位器就是控制元件,而控制作用乃是引起电位器滑臂移动的动力.

反馈元件:它产生与被控制量有一定函数关系的反馈信号.这种反馈信号可以是被控制量本身,也可以是它的函数或导数.如图 1.4(a)中的反馈电位器.此外,自整角机、回转变压器以及传感器等测量元件都可以作为反馈元件.

比较元件:它是用来比较控制信号和反馈信号并产生反映两者差值的偏差信号的元件,如图 1.4(a)中的电位器电桥.此外,机械式差动装置、工作在变压器状态下的自整角机等都可作为比较元件.

放大变换元件:把偏差信号放大并进行能量形式(电气、机械、液压)转换,使之达到足够的幅值和功率的元件,如图 1.4(a)中的放大器、电液伺服阀等.

执行元件:根据控制信号的运动规律直接对控制对象进行操作的元件,如图 1.4(a)中的液压缸.常作为执行元件的有液压马达和电动机等.

控制对象:简称对象,就是控制系统所要操纵的对象,即负载.它的输出量即为系统的被

控制量,如图 1.4(a)中的工作台等。

以上是构成反馈控制系统的最基本的不可缺少的部分,此外,还有:

校正元件:或称校正装置,它是为了改善系统的控制性能而加入系统里的,串联接在系统前向通路内的校正装置称为串联校正元件,接成反馈形式的校正装置称为并联校正元件(或称为局部反馈)。

2. 反馈控制系统的信号

输入信号(又称输入量、控制量或给定量):它是控制输出量变化规律的信号,而输入量则又广义地泛指输入控制系统中的信号,如给定信号,也包括扰动信号。

输出信号(又称输出量、被控制量或被调整量):它的变化规律是要加以控制的,应保持与输入信号之间有一定的函数关系。

反馈信号(或称反馈):从系统(或元件)输出端取出信号,经过变换后加到系统(或元件)输入端,这就是反馈信号。当它与输入信号相同,即反馈结果有利于加强输入信号的作用时称为正反馈,反之,符号相反抵消输入信号作用时称为负反馈。直接取自系统最终输出端的反馈称为主反馈,主反馈一定是负反馈,否则偏差越来越大,直至使系统失去控制。除主反馈外,有的系统还有局部反馈,这主要是用来对系统进行校正、补偿或线性化而加入的。

偏差信号(或称偏差):它是控制信号与主反馈信号之差,有时也称为作用误差。

误差信号(或称误差):它是指系统输出量的实际值与希望值之差,在很多情况下,希望值就是系统的输入量。

这里要注意,误差和偏差不是同一概念,只有在全反馈系统中,误差才等于偏差。

扰动信号(又称扰动或干扰):除控制信息以外,对系统输出产生影响的因素都称为扰动。如果扰动产生在系统内部,称为内扰;产生在系统外部,则称为外扰。外扰动也是系统的一种输入量。

1.2.3 开环控制系统与闭环控制系统

工业上用的控制系统,根据有无反馈作用,又可分为开环控制系统和闭环控制系统两类。

1. 开环控制系统

如果系统的输出端和输入端之间不存在反馈回路,输出量对系统的控制作用没有影响,这样的系统就称为开环控制系统。

图 1.6 为一开环速度控制系统,它根据控制信号的大小和方向来控制负载转速的大小和方向。原理很简单,控制信号通过放大器放大,输出一电流给电液伺服阀,伺服阀就输出一定流量供给液压马达带动负载以一定的转速运动。这个系统对被控制量(负载转速)不进行任何检测,因为没有反馈也谈不上与控制信号进行比较,以产生偏差信号来对系统进行再控制。它仅是根据控制信号来对负载进行控制的。因此,开环控制系统的精度主要取决于系统的校准精度,取决于在工作过程中保持校准值以及组成系统的元件特性和参数值的稳定程度。

如果系统不存在内部扰动和外部扰动,且元件参数比较稳定,开环系统是比较简单并且可以保证足够精度的。但当系统存在扰动的情况下,如果被控制的输出量偏离给定量,开环系统就没有纠正的能力了。如图 1.6 所示的系统,当负载力矩增加时,阀的流量随负载压力

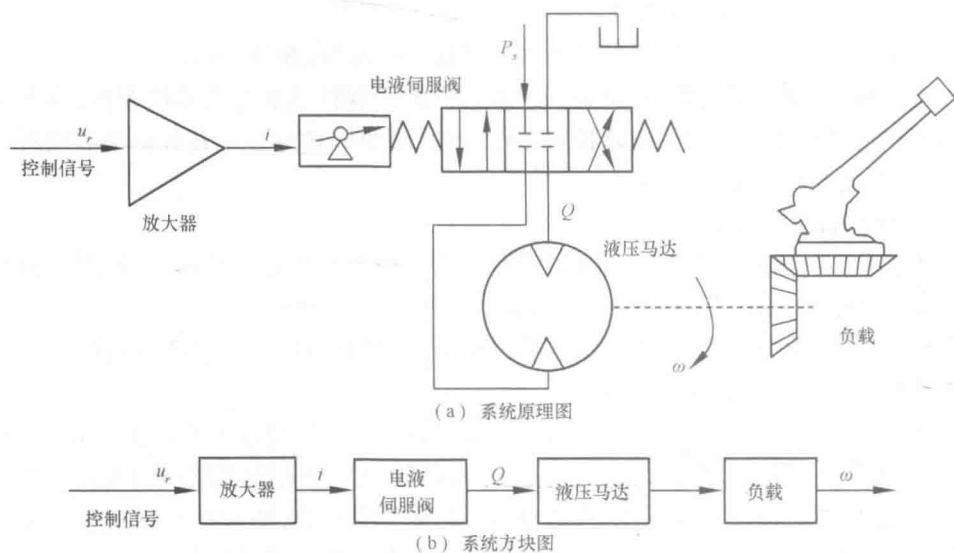


图 1.6 开环速度控制系统

的增加而减小,以及液压系统内漏损增加等原因,就会造成液压马达转速的降低.因为没有反馈比较,就没有办法自动校正输出量到给定值,因此使开环系统精度降低.为了对其进行补偿就必须借助人工改变输入量.

2. 闭环控制系统

凡是系统的输出端与输入端间存在反馈回路,即输出量对控制作用有直接影响的系统,称为闭环系统.所以,反馈系统也就是一个闭环控制系统.换句话说“闭环”的含义,就是应用反馈作用来减小系统的误差.如果对图 1.6 的开环控制系统引入反馈回路,即用测速发电机直接检测被控制量(负载转速),然后反馈到输入端就构成了闭环控制系统,如图 1.7 所示.

闭环控制系统突出的优点是精度高,不管什么干扰只要被控制量的实际值偏离给定值,闭环控制就会产生控制作用来减少这一偏差.

