

控制原理教程

(航空宇航工程类)

Principles of Automatic Control

屈香菊 孙立国 严 德 编著

Principles of Automatic Control



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

控制原理教程

(航空宇航工程类)

屈香菊 孙立国 严 德 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书为航空科学与工程学科大学本科“自动控制原理”课程的教材,重点介绍经典控制理论及其应用。为了使学生在后续学习现代控制理论时,能更好地与经典控制理论衔接,在本教材中,对于控制系统的数学模型,介绍了经典控制理论的传递函数模型和现代控制理论的状态空间模型;在系统分析与综合方法上,重点介绍古典控制理论,包括时域分析法、根轨迹法、频域分析法及控制系统的校正方法;在控制系统的概念引入和应用示例上,以航空领域实际控制系统为背景,基于 CtrlLAB 虚拟实验室,将 MATLAB 应用技术用于系统建模仿真、分析与综合,从而提高学生分析和解决实际问题的能力。

本书可作为高等院校的教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

控制原理教程:航空宇航工程类/屈香菊,孙立国,严德编著.--北京:北京航空航天大学出版社,2017.12

ISBN 978-7-5124-2593-4

I. ①控… II. ①屈… ②孙… ③严… III. ①自动控制理论—高等学校—教材 IV. ①TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 272084 号

版权所有,侵权必究。

控制原理教程

(航空宇航工程类)

屈香菊 孙立国 严德 编著

责任编辑 刘晓明

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京宏伟双华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:17 字数:435 千字

2017 年 12 月第 1 版 2017 年 12 月第 1 次印刷 印数:2 000 册

ISBN 978-7-5124-2593-4 定价:48.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

自动控制原理已经有很多种教材,本书是在已有教材的基础上,根据航空科学与工程学科的需求和特色编写的。本教材的编写主要考虑以下几个问题:有利于古典控制理论与现代控制理论的衔接;更好地体现航空特色;加强控制系统分析与设计的综合训练。

目前,航空科学与工程学科在本科和硕士培养阶段,相继开设了“自动控制原理”和“现代控制理论”课程。本科“自动控制原理”课程介绍基于传递函数的经典控制理论。“现代控制理论”作为硕士课程,介绍基于状态空间描述的控制理论。将古典控制理论与现代控制理论分开讲授,其好处是课程体系清晰,且在古典控制理论中,能够更清晰、直观地将控制系统的概念从物理系统中抽象出来,这对学生建立控制理论的概念很有帮助。相对而言,现代控制理论一般直接从状态空间数学模型出发,建立系统分析和综合方法,比较抽象。这样就存在一个问题:学生不能清楚地认识两种控制理论的关联。为了解决这一问题,在本教材中,建立了控制系统的数学描述,从实际物理系统抽象数学模型的微分方程,从微分方程出发,建立系统传递函数模型和状态空间描述模型;在此基础上,讨论传递函数、状态空间方程及其图示化信号流程图、框图模型形式的相互转换,目的是让学生更好地理解经典控制理论与现代控制理论的内在联系,从而实现本科与硕士阶段控制理论课程的自然过渡和衔接。

为了突出工程背景,体现航空航天特色,加强综合训练能力,在控制系统的概念引入、例题和习题的选择上,以航空航天领域的控制系统作为示例。基于 Ctrl-LAB 虚拟实验室平台,通过综合性的分析与设计实例,培养学生分析问题和解决问题的能力。

本教材由北京航空航天大学航空科学与工程学院“自动控制原理”教学团队编写。屈香菊、孙立国、严德分工执笔编写了教材的初稿,屈香菊负责教材的统稿和修改。教学团队的董朝阳、苏媛、朱磊分工进行了审阅,并提出了修改建议,董朝阳为书稿的主审。

北京航空航天大学教材立项评审组对初稿提出了宝贵的意见和建议,为本书的统稿和修改提供了有益的指导,作者谨在此致谢。

作 者

2017年9月

基本符号表

- $r(t)$ ——指令信号(给定值、参考输入信号),对应 $R(s)$ 。
 $c(t)$ ——被控量(输出信号),对应 $C(s)$ 。
 $m(t)$ ——控制信号。
 $b(t)$ ——反馈信号。
 $n(t)$ ——干扰信号,对应 $N(s)$ 。
 $e(t)$ ——偏差信号。
 e_{ss} ——稳态误差。
 s ——拉普拉斯变换算子符($s = \sigma + j\omega$, 为复变量)。
 \mathcal{L} ——拉氏变换符号。
 Z ——Z 变换符号。
 $G(s)$ ——传递函数。
 $H(s)$ ——反馈通道传递函数。
 $G_c(s)$ ——补偿器。
 $G_p(s)$ ——前置滤波器。
 $\Phi(s)$ ——闭环传递函数。
 K ——开环增益(开环放大系数)。
 K^* ——开环根轨迹增益。
 T ——时间常数。
 τ ——微分时间常数,或者延迟时间。
 ω_n ——自然频率, $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ 。
 ω_c ——截止频率(穿越频率、交接频率), $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ 。
 ξ ——阻尼比。
 t_s ——调节时间, s 。
 t_p ——峰值时间, s 。
 t_r ——上升时间, s 。
 $\sigma\%$ ——超调量。
 ν ——积分环节的个数($\nu = 0, 1, 2$, 对应 0 型、I 型、II 型)。
 K_p ——静态位置误差系数。
 K_v ——静态速度误差系数。
 K_a ——静态加速度误差系数。
 z_i ——第 i 个零点。
 p_j ——第 j 个极点。
 $\Phi(j\omega)$ ——频率特性, $\Phi(j\omega) = |\Phi(j\omega)| \angle \Phi(j\omega)$ 。
 $\varphi(\omega)$ —— $\Phi(j\omega)$ 的相角, $\angle \Phi(j\omega)$ 。

- $L(\omega)$ ——幅频特性, $|T(j\omega)|$ 。
- h ——幅值裕度。
- γ ——相角裕度。
- ω_s ——采样频率(采样周期用 ΔT 表示)。
- $e^*(t)$ ——脉冲序列。
- $\delta_T(t)$ ——单位理想脉冲序列。
- $G(z)$ ——脉冲传递函数(z 传递函数)。
- X ——状态向量。
- A ——系统矩阵。
- B ——操控矩阵。
- C ——输出矩阵。
- D ——直接输出矩阵。

索引表

索引表

第一章 绪论 (1)

第二章 控制系统的数学模型 (10)

第一节 控制系统的数学模型 (10)

第二节 传递函数 (15)

第三节 传递函数的分解 (25)

第四节 传递函数的运算 (35)

第五节 传递函数的物理意义 (45)

第六节 传递函数的应用 (55)

第三章 控制系统的稳定性 (65)

第一节 稳定性概念 (65)

第二节 稳定性判据 (75)

第三节 稳定性判据的应用 (85)

第四章 控制系统的校正 (95)

第一节 校正的概念 (95)

第二节 校正的方法 (105)

第三节 校正的设计 (115)

第五章 控制系统的频域分析 (125)

第一节 频率响应的概念 (125)

第二节 频率响应的计算 (135)

第三节 频率响应的物理意义 (145)

第四节 频率响应的应用 (155)

第六章 控制系统的采样控制 (165)

第一节 采样控制系统的概念 (165)

第二节 采样控制系统的数学模型 (175)

第三节 采样控制系统的稳定性 (185)

第四节 采样控制系统的校正 (195)

第七章 控制系统的综合 (205)

第一节 控制系统的综合概念 (205)

第二节 控制系统的综合方法 (215)

第三节 控制系统的综合设计 (225)

第八章 控制系统的性能指标 (235)

第一节 性能指标的概念 (235)

第二节 性能指标的测量 (245)

第三节 性能指标的优化 (255)

第九章 控制系统的仿真 (265)

第一节 仿真的概念 (265)

第二节 仿真的方法 (275)

第三节 仿真的应用 (285)

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 自动控制技术的发展	1
1.2 自动控制系统的概念	1
1.2.1 自动控制的定义	1
1.2.2 自动控制系统的构成和任务	2
1.2.3 反馈控制	2
1.3 自动控制的基本方式	5
1.3.1 按给定值操纵的开环控制	5
1.3.2 按干扰补偿的开环控制	5
1.3.3 按偏差调节的闭环控制	6
1.4 自动控制系统的示例	6
1.4.1 飞机-自动驾驶仪系统	7
1.4.2 锅炉液位控制系统	8
1.4.3 机械手位置随动系统	9
1.4.4 发动机转速控制系统	10
1.5 控制系统的性能要求及设计原则	11
1.5.1 控制系统的性能要求	11
1.5.2 控制系统的设计原则	12
小 结	12
习 题	13
第 2 章 控制系统的数学模型	16
2.1 引 言	16
2.2 列写微分方程的一般方法	17
2.3 非线性微分方程的线性化	20
2.4 拉普拉斯变换	22
2.4.1 拉普拉斯变换的定义	22
2.4.2 几种典型函数的拉普拉斯变换	23
2.4.3 拉普拉斯变换的基本法则	25
2.4.4 拉普拉斯反变换	26
2.4.5 用拉普拉斯变换求解微分方程	27

2.5 传递函数	27
2.5.1 传递函数的概念及定义	27
2.5.2 对传递函数的说明	29
2.5.3 传递函数的零点和极点	29
2.6 控制系统的动态结构图与信号流图	30
2.6.1 动态结构图	30
2.6.2 结构图的等效变换	31
2.6.3 结构图变换示例	34
2.6.4 信号流图的组成及性质	36
2.6.5 信号流图的绘制	38
2.6.6 用梅森公式求传递函数	39
2.7 典型环节的传递函数	40
2.7.1 比例环节(放大环节)	40
2.7.2 积分环节	41
2.7.3 理想微分环节	42
2.7.4 惯性环节	43
2.7.5 一阶微分环节	44
2.7.6 振荡环节	45
2.7.7 二阶微分环节	47
2.8 反馈控制系统的传递函数	48
2.9 状态空间模型	50
2.9.1 状态空间的概念	50
2.9.2 线性状态空间模型的一般形式	51
2.10 几种模型形式的相互转换	52
2.10.1 传递函数、信号流图及功能框图模型转换示例	52
2.10.2 由传递函数求状态方程	53
2.10.3 相标准状态空间模型的信号流图和框图模型	53
2.10.4 由状态方程求传递函数	54
小 结	54
习 题	55
第3章 时域分析法	59
3.1 典型输入信号及性能指标	59
3.1.1 典型输入信号	59
3.1.2 动态过程与稳态过程	61
3.1.3 阶跃响应的性能指标	61

3.2	一阶系统分析	63
3.2.1	一阶系统的数学模型	63
3.2.2	一阶系统的脉冲响应	63
3.2.3	一阶系统的单位阶跃响应	64
3.2.4	一阶系统的单位斜坡响应	65
3.2.5	一阶系统的单位抛物线响应	66
3.2.6	一阶系统各输出响应的关系	66
3.3	二阶系统分析	67
3.3.1	二阶系统的数学模型	67
3.3.2	二阶系统的单位阶跃响应	69
3.3.3	欠阻尼二阶系统单位阶跃响应的性能指标	73
3.3.4	二阶系统响应性能的改善措施	78
3.4	高阶系统分析	82
3.5	系统稳定性分析	83
3.5.1	稳定性的概念	83
3.5.2	稳定性的定义和数学条件	84
3.5.3	代数判据	85
3.5.4	结构不稳定及其改进措施	90
3.6	系统稳态精度分析	92
3.6.1	误差与稳态误差的定义	92
3.6.2	稳态误差的计算	93
3.6.3	输入信号 $r(t)$ 作用下的稳态误差与系统结构的关系	95
3.6.4	系统的型别和静态误差系数	98
3.6.5	干扰 $n(t)$ 作用下的稳态误差与系统结构的关系	100
3.6.6	改善系统稳态精度的方法	101
	小 结	103
	习 题	103
第 4 章	根轨迹法	109
4.1	根轨迹法的概念与方程	109
4.1.1	根轨迹的概念	109
4.1.2	根轨迹与系统性能	110
4.1.3	闭环零、极点与开环零、极点之间的关系	111
4.1.4	根轨迹方程	112
4.2	绘制根轨迹图的基本法则	113
4.3	广义根轨迹	120

4.4	利用根轨迹分析系统的性能	122
4.4.1	闭环零极点分布与阶跃响应的关系	122
4.4.2	主导极点与偶极子	123
4.5	基于根轨迹的控制系统设计示例	127
	小 结	135
	习 题	135
第 5 章	频域分析法	139
5.1	频率特性	139
5.1.1	基本概念	139
5.1.2	求取频率特性的数学方法	140
5.1.3	频率特性图示法	142
5.2	典型环节的频率特性	143
5.2.1	典型环节	143
5.2.2	比例环节(放大环节)	144
5.2.3	积分环节	145
5.2.4	微分环节	145
5.2.5	惯性环节	146
5.2.6	一阶微分环节	147
5.2.7	振荡环节	148
5.2.8	二阶微分环节	150
5.3	控制系统开环频率特性	151
5.3.1	开环幅相特性曲线的绘制	152
5.3.2	伯德图的绘制	153
5.3.3	最小相位系统和非最小相位系统	156
5.4	稳定判据及稳定裕度	158
5.4.1	奈氏稳定判据	158
5.4.2	奈氏稳定判据的实际方法	160
5.4.3	对数频率稳定判据	161
5.4.4	控制系统稳定裕度	163
5.5	闭环频域性能指标及时域性能指标的估算	165
5.5.1	闭环频域性能指标	165
5.5.2	时域性能指标的估算	167
5.6	系统开环频率特性三频段的概念	169
5.6.1	低频段与系统稳态精度的关系	170
5.6.2	中频段与系统动态性能的关系	170

5.6.3 高频段与系统抗干扰能力的关系	171
5.7 用实验法求传递函数	172
5.8 控制系统频域分析与设计示例	174
小 结	180
习 题	180
第 6 章 控制系统的设计与校正	186
6.1 控制系统的设计步骤	186
6.2 性能指标与系统设计的基本思路	187
6.2.1 时域指标	187
6.2.2 频域指标	187
6.2.3 各项指标的关系	187
6.2.4 系统带宽的选择	188
6.2.5 校正方式	189
6.3 基本控制律	190
6.3.1 比例(P)控制	190
6.3.2 比例-微分(PD)控制	191
6.3.3 积分(I)控制	192
6.3.4 比例-积分(PI)控制	192
6.3.5 比例-积分-微分(PID)控制	194
6.4 常用串联校正网络	195
6.4.1 超前校正网络和滞后校正网络	195
6.4.2 用伯德图设计超前校正网络	198
6.4.3 用伯德图设计滞后校正网络	199
6.4.4 超前-滞后校正网络	201
6.5 常用串联校正方法	203
6.5.1 二阶典型系统校正法	203
6.5.2 三阶典型系统校正法	207
6.5.3 高阶典型系统“期望”特性校正法	209
6.6 反馈校正	212
6.6.1 比例负反馈	212
6.6.2 速度反馈	212
6.6.3 反馈校正的作用	213
6.6.4 负反馈校正的作用	214
6.7 前馈校正	215
6.7.1 前置滤波组合校正	215

6.7.2	最小节拍组合校正	219
6.8	复合校正	222
6.8.1	复合校正的概念	222
6.8.2	附加顺馈补偿的复合校正	222
6.8.3	附加干扰补偿的复合校正	223
6.8.4	复合校正举例	223
6.8.5	部分补偿系统	224
6.9	控制系统设计实例	225
小 结	231
习 题	232
附录 A	傅里叶变换和拉普拉斯变换	235
附录 B	MAILAB 在控制系统分析与设计中的应用	250
参考文献	259

第1章 绪论

1.1 自动控制技术的发展

自动控制理论研究自动控制系统的共同规律,它的诞生和发展源于自动控制技术的应用。最早的自动控制技术的应用,可以追溯到我国古代,如自动计时器漏壶和指南车的应用。而自动控制技术的广泛应用则开始于欧洲工业革命时期。英国发明家詹姆斯·瓦特 (James Watt)在发明蒸汽机的同时,应用反馈原理,于1788年发明了离心式调速器。当负载或蒸气供给量发生变化时,离心式调速器能够自动调节进气阀门的开度,从而控制蒸汽机的转速。1868年,以离心式调速器为背景,美国物理学家麦克斯韦(Maxwell)研究了反馈系统的稳定性问题,发表了论文《论调速器》。随后,源于物理学和数学的自动控制理论开始逐步形成。1892年,俄国数学家李雅普诺夫(Lyapunov)发表了题为《论运动稳定性的一般问题》的博士论文,提出了李雅普诺夫稳定性理论。20世纪初,PID控制器出现,并获得广泛应用。1927年,为了使广泛应用的电子管在其性能发生较大变化的情况下仍能正常工作,反馈放大器正式诞生,从而确立了“反馈”在自动控制技术中的核心地位。同时,有关系统稳定性和技术性能指标分析的大量研究成果也应运而生。

在现代科学和工程领域,控制理论与控制技术得到迅速发展,自动控制技术在工业、农业、军事乃至社会生活的各个领域得到了广泛的应用,例如,工业生产过程中的自动化生产线、数控机床等;在军事上,火炮雷达跟踪系统,宇宙飞船、人造卫星的轨道控制,航空航天器的飞行控制等。近几十年来,随着计算机技术的发展,控制技术水平不断提高,应用范围更加广泛,已经扩展到经济与社会生活的各个领域,如通信、交通、医疗、环境保护、经济管理等领域。

1.2 自动控制系统的概念

1.2.1 自动控制的定义

所谓自动控制,是指在没有人直接参与的情况下,利用外加的设备或装置(控制装置或控制器),使机器、设备或生产过程(统称被控对象)的某个工作状态或参数(被控量)自动地按照预定的规律运行。例如,数控车床按照预定程序自动地切削工件;宇宙飞船、人造卫星准确地进入预定轨道运行并回收;无人驾驶飞机按照预定航迹自动升降和飞行;发动机按照给定的转速工作,驾驶舱保持预定温度;雷达和计算机组成的导弹发射和制导系统,自动地将导弹引导到敌方目标。为了使得这些设备、机器的运行状况在没有人直接参与的情况下符合要求,就需要对其运行进行自动控制。

1.2.2 自动控制系统的构成和任务

自动控制系统 由被控对象和控制器按照一定的方式连接起来,组成一个有机的整体,实现预期的系统功能。例如,飞船、卫星按预定轨道飞行,无人机按规划航迹飞行,发动机按给定转速运转等。

被控对象(受控对象) 装备、机器(如宇宙飞船、卫星、飞机、发动机等)工作的主体,其作用是完成给定任务。

控制器(调节装置) 由控制元部件组成,其作用是操纵被控对象,使其按照希望的状态运行。

控制系统中被控对象和控制器之间的相互作用是通过信号进行传递的,控制系统中常用的信号术语和符号表达如下(见图 1-1):

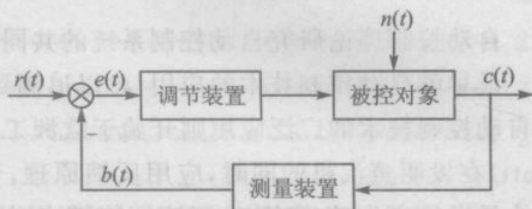


图 1-1 自动控制系统基本构成

- **被控量 $c(t)$** 表征被控对象工作状态的

物理量(或状态量),例如,飞行器的飞行速度、高度,发动机的转速,热炉的温度等;

- **给定值(指令信号) $r(t)$** 希望的被控对象的工作状态,是系统的输入信号;

- **干扰信号 $n(t)$** 对系统的工作状态产生不利影响的信号,例如,飞机飞行时受到的大气扰动;

- **反馈信号 $b(t)$** 被控量 $c(t)$ 经测量元件检测后送到系统输入端的信号, $b(t)$ 是 $c(t)$ 的测量值;

- **偏差信号 $e(t)$** 有两种定义:一种是给定值与被控量的差值,另一种是给定值与反馈信号的差值。

以上五种信号都被称为控制系统信号。

自动控制的任務 指自动控制系统在运行过程中,利用控制器操纵受控对象,使被控对象的工作状态按照理想状态运行,也就是被控量 $c(t)$ 按给定值 $r(t)$ 变化,即

$$c(t) = r(t)$$

1.2.3 反馈控制

根据受控对象的被控量和指令信号的偏差对系统进行调节,控制器按偏差的大小产生控制作用,称为反馈控制。在反馈控制系统中,控制装置对被控对象施加的控制作用是依据被控量的反馈信息,不断修正被控量与输入量之间的偏差,从而实现对被控对象进行控制的任务。

其实,人的一切活动都体现出反馈控制的原理,人本身就是一个具有高度复杂控制能力的反馈控制系统。例如,人用手拿取桌上的书,汽车司机操纵方向盘驾驶汽车沿公路平稳行驶等,这些日常生活中习以为常的动作都渗透着反馈控制的原理。

为了说明反馈控制的概念,我们举一个热炉温度控制系统的例子。首先,分析人控制炉温的过程,如图 1-2 所示。操作人员希望炉子内的温度保持在给定温度(给定值或指令信号),人通过观测温度计感知炉内温度(被控量)。当发现炉内温度高于希望值时,就关小阀门(执行动作),减少进气量;当发现炉内温度低于希望值时,就开大阀门增加进气量,这就是人按给定

温度和实际温度偏差实施控制的过程,这种控制作用就是反馈控制原理,被控量(实际的炉温)反馈到系统的输入端,如图 1-3 所示。

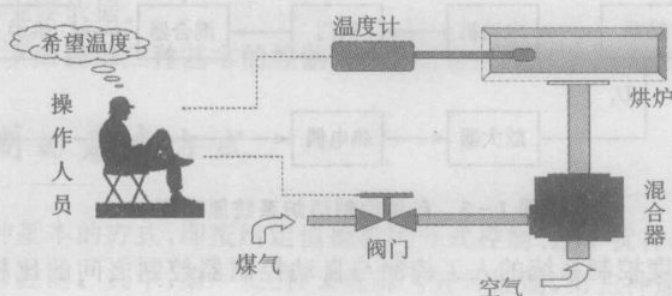


图 1-2 人工控制热炉系统



图 1-3 人工控制热炉系统原理图

现在,我们用一个自动调节装置(控制器)来替代热炉系统中人的操作,对比人的控制过程,不难理解自动控制器的构成和应该具备的功能。自动控制器控制的热炉系统如图 1-4 所示,其中,电位计输出电压 U_R 设置指令温度,热电偶经放大器为测量的输出信号;比较放大相当于人的大脑,完成计算工作;电动机驱动阀门,相当于手臂的作用。自动控制器控制的热炉系统工作原理图如图 1-5 所示。

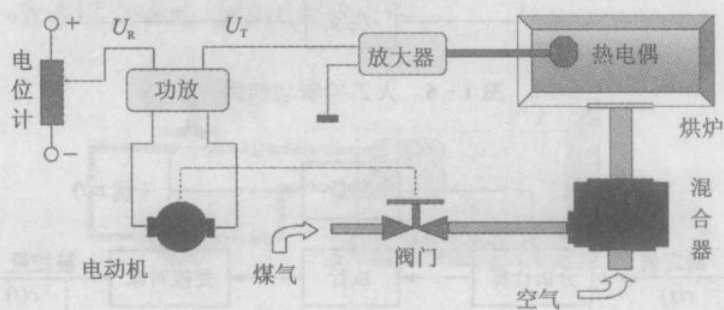


图 1-4 自动控制热炉系统

在反馈系统中,被控量经过一些中间环节,最后又作用于被控量自身,使之发生变化,其中信息的传递途径是一个自身闭合的环。所以反馈控制是闭环(Closed-loop)控制。

反馈控制系统是由各种结构不同的元部件组成的。从完成“自动控制”这一职能来看,一个系统必然包含被控对象和控制装置两大部分,而控制装置是由具有一定职能的各种基本元部件组成的。将组成系统的元部件按职能分类,主要有测量元件、比较元件、放大元件和执行元



图 1-5 自动控制热炉系统原理图

件。我们通过热炉温度控制系统的人工控制与自动控制器控制之间的比较,来描述自动控制器的基本职能:

- **测量元件** 相当于人的感受器官,其职能是检测被控量,例如,热电偶测量炉子的温度;飞机上的速度传感器测量飞行速度,陀螺测量飞机的姿态角等。
- **比较元件和放大元件** 相当于人的大脑,其中,比较元件的职能是把测量元件检测到的被控量与给定值进行比较,并求出它们之间的偏差;放大元件的职能是将比较元件给出的偏差信号进行放大,用来驱动执行元件去控制被控对象。
- **执行元件** 相当于人的四肢,其职能是直接驱动被控对象,使被控量发生变化。

下面给出人工控制和自动控制器控制的功能图。

如果用技术装置和工程语言代换图 1-6 中各子单元,那么工作对象即受控对象,实际结果即被控量,预期目标则相当于给定值(或参考输入)。而功能块(观察、分析决策)分别以测量、分析计算取代,则可得到自动控制原理方框图(见图 1-7)。



图 1-6 人工控制功能图



图 1-7 自动控制原理方框图

图 1-7 中除受控对象外,其他功能部分必须由控制装置(控制器)承担,故控制装置应该具备测量、计算、执行三种基本功能,这需要配置相应的部件来实现。实际控制系统中,测量部件就是各种工业仪表及传感器;计算部件即各种比较线路、模拟运算装置和计算机;执行部件

则为交、直流伺服电动机,电磁铁,作动筒,以及气、液压马达。

另外,由图 1-7 中可看出,参与控制的原始信号有三个,即被控量 $c(t)$ 、给定值 $r(t)$ 及干扰 $n(t)$,这是控制的主要依据。

基于上述分析,下面提出三种基本的控制方式。

1.3 自动控制的基本方式

自动控制有三种基本的方式,即按给定值操纵的开式控制、按干扰补偿的开式控制及按偏差调节的闭环(反馈)控制。其中,第一、二种又统称为开环控制,第三种通常称为闭环控制。

1.3.1 按给定值操纵的开环控制

这种控制方式的特点是,需要控制的是受控对象的被控量 $c(t)$,而控制装置只接受给定值 $r(t)$ 信号,如图 1-8 所示。系统中,信号源给定值经计算、执行部件到达受控对象而转变为被控量,信号传递为单向,故称为开环控制。



图 1-8 按给定值操纵的系统原理方框图

这种控制系统具有明显的缺陷,当受控对象受到干扰或运行中某些部件的特性参数发生变化时,会直接影响被控量,且无法自行纠正。因此,系统的控制精度难以保证。当然,如果系统的部件特性相当稳定,基本不受干扰的影响,则也还是可用的。

如图 1-9 所示,热炉定时加热系统的控制方式就是按给定值操纵的开环控制。在预定的时刻,开关就会合上,连通电路回路,加热器开始工作。

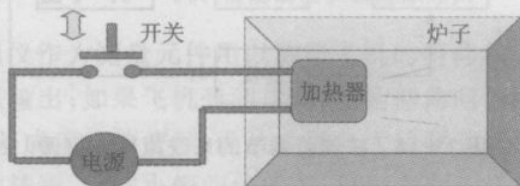


图 1-9 热炉定时加热系统

1.3.2 按干扰补偿的开环控制

其原理方框图如图 1-10 所示。需要控制的仍是受控对象的被控量,而控制装置接受的是(影响正常运行的)干扰信号 $n(t)$ 。利用干扰信号产生控制作用,以补偿干扰对被控量的直接影响,故称按干扰补偿式。而干扰经测量、计算、执行诸部件传递到受控对象变换为被控量,也是单向传递,故亦称开环控制。