



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 自动控制原理

(非自动化类)

(第二版) (配光盘)

孟庆明 主编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS



## 内容简介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,第一版于2005年被评为北京市精品教材。

本书是为非自动化类、工科高年级学生编写的教材,简练地论述了连续控制系统的分析和综合研究方法,包括系统数学模型的建立和动态结构图等等效变换法则,利用经典控制理论的时域分析法、复域分析法、频域分析法对控制系统进行分析,应用串联校正、反馈校正和前馈校正进行系统的设计和补偿。同时阐述了采样控制系统的分析和综合方法,并对控制系统的状态空间分析法及能控性和能观测性进行了论述。书中部分章节适当增加了MATLAB应用的内容。

本书适合高年级本科生、研究生和工程技术人员使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/孟庆明主编.—2版.—北京:高等教育出版社,2008.6

非自动化类

ISBN 978-7-04-023947-8

I. 自… II. 孟… III. 自动控制理论-高等学校-教材 IV. TP13

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第051750号

策划编辑 金春英 责任编辑 李葛平 封面设计 于文燕 责任绘图 朱静  
版式设计 范晓红 责任校对 姜国萍 责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
总 机 010-58581000  
经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 中青印刷厂

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16  
印 张 19.25  
字 数 460 000

版 次 2003年8月第1版  
2008年6月第2版  
印 次 2008年6月第1次印刷  
定 价 29.20元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23947-00



## 第二版前言

近年来,在一些高等院校,非自动化类工科专业相继开设了自动控制原理课程,且逐渐成为许多工科专业的技术基础课。为满足其教学的需要并根据普通高等教育“十一五”国家级规划教材的要求,我们特修订编写了供非自动化类工科专业选用的《自动控制原理》(第二版)这本教材。

自动控制原理是一门工程性很强的专业基础课,为使学生通过阅读本书,能够正确理解有关控制理论的基本概念,掌握分析自动控制系统性能的基本方法,并初步具备综合设计较简单的自动控制系统的能力,本书不盲目追求理论体系的完整与内容的全面详尽,而是偏重于内容的精练,着眼于运用自动控制理论的基本规律和基本方法,解决一些实际工程应用问题能力的培养。

目前,国际上许多新版控制理论书籍,都把 MATLAB 作为一种工具语言,用于控制系统分析、设计和系统仿真研究,取得了很好的效果。我国高等院校也开始重视 MATLAB 的工程应用。本书也融入了 MATLAB 语言的应用,在一些主要章节里的部分问题采用了 MATLAB 求解。本书没有涉及有关 MATLAB 的预备知识。为了强化对学生分析问题和解决问题能力的培养,在书中部分章节内增加了有关工程实际应用方面的例题。

本书在北京航空航天大学本科非自动化类专业高年级自动控制原理课上进行过多次教学实践。如果本书作为 32 学时一学期的课程教材,可以讲授前 6 章的主要内容。如果把本书作为 64 学时的双学期课程教材,则本书中的全部内容均可讲授。在教学的过程中,各有关专业可按具体的教学大纲取舍讲授内容,只要灵活地删除部分内容即可。

本书附录摘编了北航自动化学院编写的《自动控制原理实验说明书》的部分内容。若教学计划安排 6 学时的实验,则非控制类专业的学生只要求做实验一、实验二和实验三。若双学期教学,安排 8 学时的实验,可加做实验四。实验中的系统结构及其参数的具体数值仅供参考。通过实验课的教学,对学生深入理解自动控制原理的基本概念和掌握分析问题的基本方法是很有益处的。

为了使非控制类专业的自动控制原理教学跨上一个台阶,我们制作了本课程的计算机辅助教学课件,已试用了四届,随本书共同出版。

本书由孟庆明教授主编,参加编写工作的有北京航空航天大学的孟庆明、王涛、程涛、张静同志。附录由北航自动控制原理实验室提供,部分习题答案由程涛副教授提供,电子教案由程涛、张静提供。在编写过程中,学习和汲取了国内部分有关教材的内容。

全书由北京联合大学孙虎章老师审阅,他提出了许多宝贵意见和建议,在此谨表诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2008 年 1 月 8 日

# 第一版前言

近年来,在一些高等院校,非控制类工科专业相继开设了自动控制原理课程,且逐渐成为许多工科专业的技术基础课。为满足其教学的需要,我们特编写了非控制类工科专业选用的《自动控制原理》这本教材。

自动控制原理是一门工程性很强的技术基础课,为使学生通过阅读本书,能够正确理解有关控制理论的基本概念,掌握分析自动控制系统性能的基本方法,并初步具备综合设计较简单的自动控制系统的能力,本书不盲目追求理论体系的完整与内容的全面详尽,而是偏重于内容的精练,着眼于运用自动控制理论的基本规律解决一些实际工程应用问题能力的培养。

目前,国际上许多新版控制理论书籍,都把 MATLAB 作为一种工具语言,用于控制系统分析、设计和系统仿真研究,取得了很好的效果。我国高等院校也开始重视 MATLAB 的工程应用。本书也融入了 MATLAB 语言的应用,在一些主要章节里的部分问题采用了 MATLAB 求解。本书没有涉及有关 MATLAB 的预备知识。

本书在北京航空航天大学本科非控制类专业高年级自动控制原理课上进行过多次教学实践。如果本书作为 32 学时一学期的课程教材,可以讲授前 6 章的主要内容。如果把本书作为 64 学时的双学期课程教材,则本书中的全部内容均可讲授。在教学的过程中,各有关专业可按具体的教学大纲取舍讲授内容,只要灵活地删除部分内容即可。

本书附录摘编了北航自动化学院编写的《自动控制原理实验说明书》的部分内容。若教学计划安排 6 学时的实验,则非控制类专业的学生只要求做实验一、实验二和实验三。若双学期教学,安排 8 学时的实验,可加做实验四。实验中的系统结构及其参数的具体数值仅供参考。通过实验课的教学,对学生深入理解自动控制原理的基本概念和掌握分析问题的基本方法是很有益处的。

为了使非控制类专业的自动控制原理教学跨上一个台阶,我们制作了本课程的计算机辅助教学课件,已试用了一个学期,待完善后可以向兄弟院校提供该课件。

参加本书编写工作的有北京航空航天大学的孟庆明(第 1、2、4、5、8 章)、王涛(第 3、6 章)、程涛(第 7 章)。王涛还负责增补了第 1~6 章中的部分内容和 MATLAB 应用示例。“附录”由自动化学院自控实验室提供。孟庆明负责全书的统稿。在编写过程中,学习和汲取了国内部分有关教材的内容。

全书由北京联合大学孙虎章老师审阅,他提出了许多宝贵意见和建议,在此谨表诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2003 年 3 月 6 日

# 教学要求

总的教学要求是理解概念,掌握方法。

## 第1章 绪论

1. 正确理解自动控制的有关概念,如控制器、被控对象、指令信号、偏差信号、被控信号(被控量)、自动控制系统、开环控制、闭环控制(负反馈控制或按偏差调节)等。
2. 初步掌握由系统工作原理图绘制系统职能方框图的方法,并能判别系统的控制方式。

## 第2章 控制系统的数学模型

1. 对建立系统的运动方程作一般的了解。
2. 要清楚系统数学模型的不同形式及其相互转换关系。
3. 正确理解系统传递函数的定义、性质,并能熟练地求出  $\Phi_{C \cdot R}(s)$ 、 $\Phi_{C \cdot N}(s)$ 、 $G(s)$ 、 $\Phi_{E \cdot R}(s)$ 、 $\Phi_{E \cdot N}(s)$ ,熟记各典型环节传递函数标准型。
4. 熟练掌握由系统运动方程组建立系统动态结构图(方块图)的方法,并根据等效结构变换法则,正确地计算出系统传递函数。

## 第3章 时域分析法

1. 正确理解单位阶跃响应及其时域性能指标( $\sigma\%$ 、 $t_s$ 、 $e_{ss}$ )、稳定性、 $K_p$ 、 $K_v$ 、 $K_a$ 。
2. 牢固掌握一阶、二阶系统的标准型及阶跃响应的特点,并能熟练地掌握分析及综合一、二阶系统的方法,即正问题:已知参数计算性能指标;反问题:已知性能指标反求结构参数。
3. 正确运用代数判据判定系统的稳定性,并能进行参数的分析、计算。
4. 熟练掌握系统稳态误差  $e_{ss}$  的两种计算方法——终值定理法及观察法,一定注意先判定系统的稳定性再计算  $e_{ss}$ 。

## 第4章 复域分析法——根轨迹法

1. 正确理解通过开环研究闭环根轨迹。开环零点、开环极点、闭环零点、闭环极点、主导极点和偶极子等重要的概念。
2. 理解根轨迹方程的概念,熟记绘制根轨迹的基本法则,并能正确运用法则画出闭环根轨迹图。
3. 正确运用主导极点和偶极子的概念分析系统的动态品质。

## 第5章 频域分析法——频率法

1. 正确理解频率特性的物理意义、定义及求取方法,并能根据定义进行分析计算。
2. 熟记典型环节频率特性  $G(j\omega)$ 、 $|G(j\omega)|$ 、 $\angle G(j\omega)$ 、 $20\lg|G|$  及其特征点的特征值。
3. 熟练掌握绘制开环对数幅频和相频特性的方法。已知最小相位系统开环对数幅频,应会反求其传递函数。
4. 正确运用对数频率判据判定闭环系统的稳定性,并能正确计算模稳定裕度和相稳定裕度。
5. 正确理解零频幅比  $A(0)$ 、峰值  $M_r(A_m)$ 、频宽  $\omega_b$ 、穿越频率(截止频率)  $\omega_c$ 、相裕度  $\gamma$ 、模裕度  $L_h$  以及三频段的概念,明确其和系统阶跃响应的定性关系。

## 第6章 自动控制系统的设计与校正

1. 明确 P、PI、PID 基本控制规律,正确理解它们在改善系统性能中的作用。
2. 掌握二阶最佳模型串联校正法,初步了解高阶(四阶)期望模型串联校正法。
3. 了解反馈校正和复合校正的特点及其作用。
4. 通过一个具体的位置伺服系统的设计实例,了解控制系统的工程设计方法和步骤。

## 第7章 采样数据控制系统分析

1. 正确理解采样控制系统的基本概念,如采样定理、连续信号、采样信号、数字信号、脉冲传递函数等。
2. 掌握求取开环、闭环脉冲传递函数的方法步骤,在求取的过程中应注意采样开关的位置,要正确区分  $Z$  变换的积和积的  $Z$  变换。
3. 要注意采样系统有的能写出脉冲传递函数,而有的则只能写出系统的输出信号表达式。
4. 会用脉冲传递函数分析采样控制系统的性能。

## 第8章 状态空间分析法

1. 正确理解状态变量、状态空间、状态方程、能控性及能观测性等基本概念。
2. 正确绘出系统的状态空间表达式的方框图,掌握由系统传递函数求取系统能控标准型和能观测标准型的方法。
3. 掌握线性定常系统能控性、能观测性的判定准则。

# 主要符号

- $r(t)$ ——指令信号(或称给定值、参考输入信号)  
 $c(t)$ ——被控量(或称输出信号)  
 $m(t)$ ——控制信号(或称控制量、调节中介)  
 $b(t)$ ——反馈信号  
 $n(t)$ ——干扰信号  
 $e(t)$ ——偏差信号(或称误差信号)  
 $e_{ss}$ ——稳态误差(或称静态误差)  
 $s$ ——算子符( $s = \sigma + j\omega$  为复变量)  
 $L$ ——拉氏变换符号  
 $Z$ ——Z变换符号  
 $G(s)$ ——传递函数符号,前向通道传递函数  
 $\Phi(s)$ ——闭环传递函数  
 $G(s)H(s)$ ——开环传递函数  
 $G_h(s)$ ——零阶保持器传递函数  
 $H(s)$ ——反馈通道传递函数  
 $K$ ——开环增益(或称开环放大系数)  
 $K^*$ ——开环根轨迹增益  
 $T$ ——时间常数(s)  
 $\tau$ ——微分时间常数(s)  
 $\omega$ ——角频率(rad/sec 或  $s^{-1}$ )  
 $\omega_n$ ——无阻尼自然角频率( $s^{-1}$ )  
 $\omega_d$ ——有阻尼自然角频率( $s^{-1}$ )  
 $\omega_r$ ——峰值频率(或  $\omega_m$ )  
 $\omega_c$ ——穿越频率(或称截止频率、交接频率)  
 $\omega_b$ ——闭环频带(或称频宽、通频带)  
 $\omega_p$ ——相频宽  
 $\xi$ ——阻尼比(量纲一)  
 $h(t)$ ——阶跃响应  
 $t_s$ ——调节时间(s)  
 $t_p$ ——峰值时间



$t_r$ ——上升时间

$\sigma\%$ ——超调量

$\nu$ ——积分环节数目( $\nu=0,1,2$ ,即0型、I型、II型)

$K_p$ ——稳态位置误差系数

$K_v$ ——稳态速度误差系数

$K_a$ ——稳态加速度误差系数

$M(\omega)$ ——幅频特性(或  $A(\omega)$ 、 $|\Phi(j\omega)|$ )

$\varphi(\omega)$ ——相频特性(或  $\angle\Phi(j\omega)$ )

$\Phi(j\omega)$ ——频率特性,  $\Phi(j\omega) = |\Phi(j\omega)| \angle\Phi(j\omega)$

$L(\omega)$ ——对数幅频特性

$h$ ——模稳定裕度( $L_h$ (dB))

$\gamma$ ——相稳定裕度

$M_r$ ——峰值( $A_m$ )

A/D——模/数转换

D/A——数/模转换

$\omega_s$ ——采样频率

$\theta$ ——转角

$\prod$ ——求积符号

$\Sigma$ ——求和符号

$e^*(t)$ ——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

$A$ ——系数矩阵

$B$ ——控制矩阵

$C$ ——输出矩阵

$D$ ——直接传递矩阵

索引要目

(各言人論考卷, 查受錄附錄) 專論今錄——(1)1  
 (專論出版錄) 專論錄——(1)2  
 (今中辛圖, 查受錄錄) 專論錄——(1)3  
 專論錄——(1)4  
 專論錄——(1)5  
 (專論錄) 專論錄——(1)6  
 (專論錄) 專論錄——(1)7  
 (專論錄) 專論錄——(1)8  
 專論錄——(1)9  
 專論錄——(1)10  
 專論錄——(1)11  
 專論錄——(1)12  
 專論錄——(1)13  
 專論錄——(1)14  
 專論錄——(1)15  
 專論錄——(1)16  
 專論錄——(1)17  
 專論錄——(1)18  
 專論錄——(1)19  
 專論錄——(1)20  
 專論錄——(1)21  
 專論錄——(1)22  
 專論錄——(1)23  
 專論錄——(1)24  
 專論錄——(1)25  
 專論錄——(1)26  
 專論錄——(1)27  
 專論錄——(1)28  
 專論錄——(1)29  
 專論錄——(1)30  
 專論錄——(1)31  
 專論錄——(1)32  
 專論錄——(1)33  
 專論錄——(1)34  
 專論錄——(1)35  
 專論錄——(1)36  
 專論錄——(1)37  
 專論錄——(1)38  
 專論錄——(1)39  
 專論錄——(1)40  
 專論錄——(1)41  
 專論錄——(1)42  
 專論錄——(1)43  
 專論錄——(1)44  
 專論錄——(1)45  
 專論錄——(1)46  
 專論錄——(1)47  
 專論錄——(1)48  
 專論錄——(1)49  
 專論錄——(1)50  
 專論錄——(1)51  
 專論錄——(1)52  
 專論錄——(1)53  
 專論錄——(1)54  
 專論錄——(1)55  
 專論錄——(1)56  
 專論錄——(1)57  
 專論錄——(1)58  
 專論錄——(1)59  
 專論錄——(1)60  
 專論錄——(1)61  
 專論錄——(1)62  
 專論錄——(1)63  
 專論錄——(1)64  
 專論錄——(1)65  
 專論錄——(1)66  
 專論錄——(1)67  
 專論錄——(1)68  
 專論錄——(1)69  
 專論錄——(1)70  
 專論錄——(1)71  
 專論錄——(1)72  
 專論錄——(1)73  
 專論錄——(1)74  
 專論錄——(1)75  
 專論錄——(1)76  
 專論錄——(1)77  
 專論錄——(1)78  
 專論錄——(1)79  
 專論錄——(1)80  
 專論錄——(1)81  
 專論錄——(1)82  
 專論錄——(1)83  
 專論錄——(1)84  
 專論錄——(1)85  
 專論錄——(1)86  
 專論錄——(1)87  
 專論錄——(1)88  
 專論錄——(1)89  
 專論錄——(1)90  
 專論錄——(1)91  
 專論錄——(1)92  
 專論錄——(1)93  
 專論錄——(1)94  
 專論錄——(1)95  
 專論錄——(1)96  
 專論錄——(1)97  
 專論錄——(1)98  
 專論錄——(1)99  
 專論錄——(1)100

# 目 录

<b>第1章 绪论</b> .....	1
1-1 自动控制系统的概念和发展简史 .....	1
1-2 自动控制的基本方式 .....	5
1-3 自动控制系统的性能要求 .....	9
1-4 自动控制系统示例 .....	10
小结 .....	14
习题 .....	14
<b>第2章 控制系统的数学模型</b> .....	16
2-1 拉氏变换 .....	16
2-2 传递函数 .....	22
2-3 动态结构图及其等效变换 .....	25
2-4 典型环节的传递函数 .....	33
2-5 自动控制系统的传递函数 .....	41
2-6 MATLAB 的应用 .....	43
2-7 示例——磁盘驱动读取系统 .....	46
小结 .....	49
习题 .....	49
<b>第3章 时域分析法</b> .....	52
3-1 典型输入信号及性能指标 .....	52
3-2 一阶系统分析 .....	56
3-3 二阶系统分析 .....	59
3-4 高阶系统分析 .....	75
3-5 系统稳定性分析 .....	76
3-6 系统稳态精度分析 .....	85
3-7 MATLAB 的应用 .....	96
小结 .....	102
习题 .....	102

<b>第4章</b>	<b>复域分析法——根轨迹法</b>	106
4-1	根轨迹的基本概念	106
4-2	绘制根轨迹图的基本法则	109
4-3	利用根轨迹分析系统的动态性能	116
4-4	广义根轨迹	120
4-5	用 MATLAB 绘制根轨迹	124
	小结	128
	习题	128
<b>第5章</b>	<b>频域分析法——频率法</b>	130
5-1	频率特性	130
5-2	典型环节的频率特性	135
5-3	控制系统开环频率特性	145
5-4	稳定判据及稳定裕度	152
5-5	闭环频域性能指标及时域性能指标的估算	159
5-6	系统开环频率特性三频段概念	164
5-7	用实验法求传递函数	167
5-8	利用 MATLAB 分析系统稳定性	168
	小结	170
	习题	171
<b>第6章</b>	<b>自动控制系统的设计与校正</b>	174
6-1	控制系统的设计步骤	174
6-2	性能指标与系统设计的基本思路	175
6-3	基本控制规律	179
6-4	常用串联校正网络	183
6-5	常用的串联校正方法	193
6-6	反馈校正	203
6-7	复合校正	206
6-8	控制系统设计实例	210
	小结	215
	习题	215
<b>第7章</b>	<b>采样数据控制系统分析</b>	217
7-1	概述	217

7-2	信号的采样与保持 .....	219
7-3	$Z$ 变换与 $Z$ 反变换 .....	225
7-4	脉冲传递函数 .....	233
7-5	采样数据控制系统的性能分析 .....	244
	小结 .....	254
	习题 .....	254
<b>第8章</b>	<b>状态空间分析法 .....</b>	<b>257</b>
8-1	概述 .....	257
8-2	动态系统的状态空间表示法 .....	259
8-3	多输入多输出(MIMO)系统状态空间表达式和传递矩阵 .....	266
8-4	线性系统能控性和能观测性 .....	271
	小结 .....	276
	习题 .....	276
<b>附录</b>	<b>自动控制原理实验测试方法 .....</b>	<b>278</b>
	概述 .....	278
实验一	一、二阶系统的电子模拟及时域响应的动态测试 .....	278
实验二	频率响应测试 .....	281
实验三	控制系统串联校正 .....	284
实验四	采样系统实验研究 .....	286
<b>部分习题答案</b> .....		<b>288</b>
<b>参考文献</b> .....		<b>293</b>

# 第1章

## 绪论

在工程和科学技术的发展过程中,自动控制技术起着愈来愈重要的作用。所谓自动控制,是指在人不直接参与的情况下,利用外加的设备或装置,使机器、设备或生产过程的工作状态或参数自动地按照特定规律运行。自动控制的基础是反馈理论和线性系统理论,并综合应用了网络理论和通信理论的相关知识。因此,自动控制并不从属于任一工程学科,而是在航空航天、舰船、化工、机械、环境、电气以及核动力等工程学科中都有着广泛的应用。随着社会的发展,自动控制技术正逐步应用于生物、医学、商业和社会管理等领域。

### 1-1 自动控制系统的基本概念和发展简史

#### 一、技术术语

1. **被控对象** 是指一个装备、工作机器等(如飞机、喷气发动机、汽车、宇宙飞船等),其作用是完成特定的技术要求。

2. **控制器** 又称调节器、控制装置,由控制元部件组成,它接受指令信号,输出控制作用信号于被控对象。

3. **自动控制系统** 被控对象和控制器按照一定方式连接起来,组成一个有机整体,能提供预期的系统响应,以实现各种控制任务。

4. **被控量  $c(t)$**  表征被控对象工作状态的物理参量(或状态参量),如转速、压力、温度、电压、位移等。

5. **给定值或指令信号  $r(t)$**  要求控制系统按一定规律变化的信号,是系统的输入信号。

6. **干扰信号  $n(t)$**  又称扰动值,是一种对系统的被控量起破坏作用的信号。如果干扰产生在系统内部,称为内扰;产生在系统外部,称为外扰。外扰也是系统的一种输入信号。

7. **反馈信号  $b(t)$**  是指被控量经测量元件检测后回馈送到系统输入端的信号。

8. **偏差信号  $e(t)$**  是指给定值与被控量的差值,或指令信号与反馈信号的差值。

9. **控制信号  $m(t)$**  又称控制量、调节中介。是指作用于被控对象的信号,如航空发动机的供油量  $m_f$  即是控制量。

## 二、自动控制的任務

控制系统简图如图 1-1 所示。

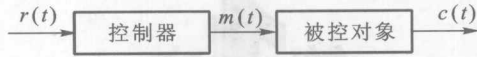


图 1-1 控制系统图

在没有人的直接参与下,利用控制器操纵被控对象,使被控量按照给定值的规律变化,或简单表达为

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

这就是自动控制任务的数学表达式。

## 三、反馈控制原理

在自动控制系统中,被控量是要求严格加以控制的物理量,它可以是一个恒定值,如温度、压力、转速等;也可以是一个变量,如飞机、导弹的飞行轨迹。作为对被控对象施加控制作用的控制装置,可以采用不同的原理和方式完成赋予的任务。其中,最基本的控制原理就是反馈控制原理。基于反馈控制原理组成的控制系统称为反馈控制系统。

在反馈控制系统中,控制装置对被控对象施加控制作用,而控制装置接受的信号是被控量的反馈信号与给定值相比较产生的偏差,根据偏差值的大小产生控制作用,实现控制任务。这就是反馈控制的工作原理。

反馈控制在现代工业和社会生活中的应用十分普遍。理论上讲,人体本身就是一个具有高度复杂控制能力的反馈控制系统,人们平日任何最简单的活动都体现着反馈控制原理。例如,如果将驾驶一辆汽车视为一个反馈系统,对其进行分析,首先,人要用眼睛连续目测预定的行车路线,并将信息输入大脑(给定值)。然后与实际测量的行车路线相比较,获得行驶偏差,通过手来操作方向盘,调节汽车使其按照预定行车路线行驶,如图 1-2 所示。可以用图 1-3 所示的框图来表示这一控制过程的组成部分和工作原理。

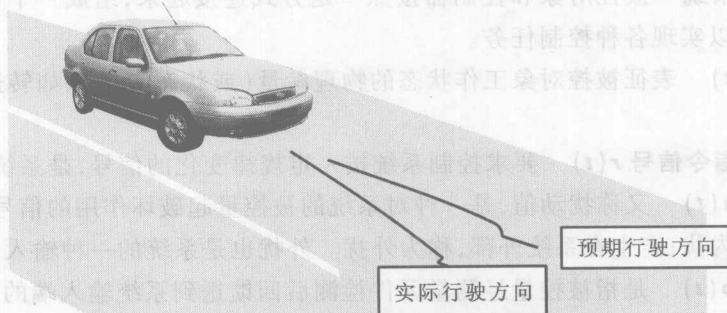


图 1-2 汽车行驶示意图

在这里,人是控制装置,方向盘是执行装置,汽车为被控对象,实际行车路线为被控量,预定行车路线为给定值。

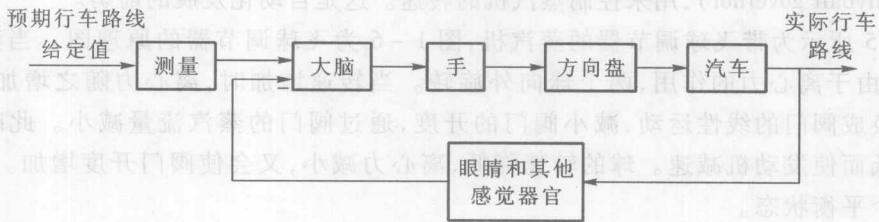


图 1-3 汽车驾驶控制原理框图

#### 四、控制系统的职能方框图

根据控制系统各元部件的职能画出的方框图称为系统的职能方框图,一般具有图 1-4 所示的形式。



图 1-4 控制系统职能方框图

控制器应具有三种基本职能,即测量、比较和执行。这三种职能分别由相应的元部件来承担。放大和校正职能则根据系统的性能要求而取舍。

1. **测量元件** 职能是检测被控制的物理量,如果所测量的物理量为非电量,一般要将其转换为电量。例如,测速发电机的作用是测量电动机轴的转速,并将转速转换为电压信号。
2. **比较元件** 将测量元件检测到的被控量的实际值与给定值相比较,计算求出二者间的偏差。
3. **放大元件** 将比较元件给出的偏差信号放大,以驱动执行元件去控制被控对象。
4. **执行元件** 直接作用于被控对象,使被控量发生变化。

参与控制的信号来自三条通道,即给定值、干扰和被控量。这是控制的主要依据。

给定值决定系统输出量的变化规律或要求值;干扰则是系统不希望的外作用,它对控制系统的性能影响很大,严重时会导致系统不能正常运行。

#### 五、自动控制简史

反馈控制系统的设计与研究有着悠久的历史。现今公认的最早的反馈控制实例是在公元前 250 年左右在古希腊出现的浮子阀门调节装置(float valve regulator),用于控制水位。近代最早的温度控制装置是荷兰化学家和机械学家 Cornelis Drebbel(1572—1633)发明的,用于控制熔炉

保持恒温。

人们普遍认为,最早应用于工业过程的自动反馈控制装置是 James Watt 于 1789 年发明的飞球调节器 (flyball governor), 用来控制蒸汽机的转速。这是自动化发展的前奏。

图 1-5 所示为带飞球调节器的蒸汽机, 图 1-6 为飞球调节器的原理图。当蒸汽机带动轴旋转时, 由于离心力的作用, 两个球向外旋转。当转速增加时, 离心力随之增加, 力通过杠杆机构转换成阀门的线性运动, 减小阀门的开度, 通过阀门的蒸汽流量减小。此时导致输入能量的降低而使发动机减速。球的转速降低, 离心力减小, 又会使阀门开度增加。最终, 发动机达到一个平衡状态。

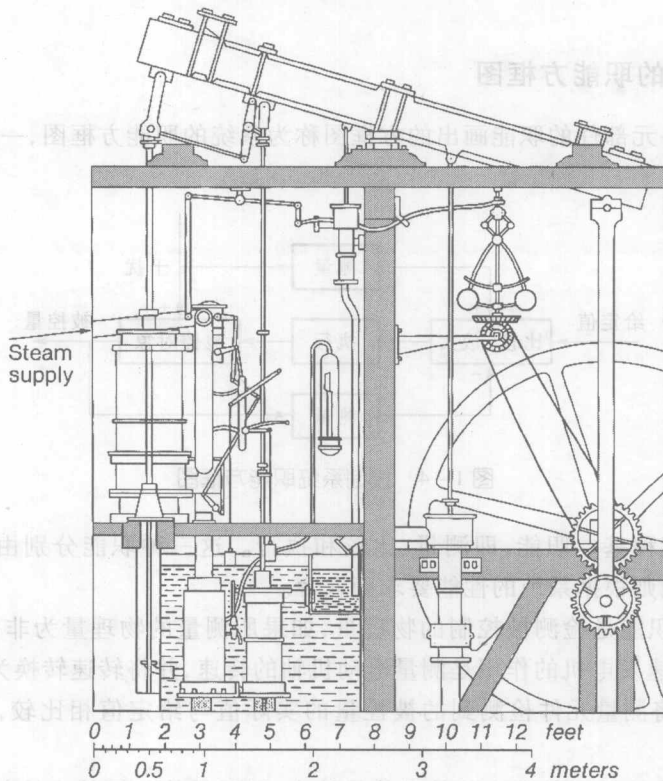


图 1-5 Watt 带飞球调节器的蒸汽机

1868 年, 麦克斯威尔 (J. C. Maxwell) 用微分方程建立了蒸汽机的调节器数学模型, 发展了与控制理论相关的数学理论, 从而开始了自动控制理论的研究。二战之前, 美国的伯德 (Bode)、奈奎斯特 (Nyquist) 和布莱克 (Black) 等人在贝尔实验室对电话系统和电子反馈放大器所进行的研究, 被认为是促进反馈系统应用研究的主要动力。同时, 前苏联科学家在控制理论上进行了深入的探讨。

二战期间, 飞机自动驾驶仪、火炮定位系统、雷达天线控制系统的研制成功大大推进了自动控制理论的发展。如果说, 在二战前, 控制系统设计在很大程度上凭借着工程人员的直觉,



是一种“试凑性”的实证性发明,那么,从20世纪40年代起,随着数学和分析方法的推广,控制工程逐步发展成为一门工程学科。

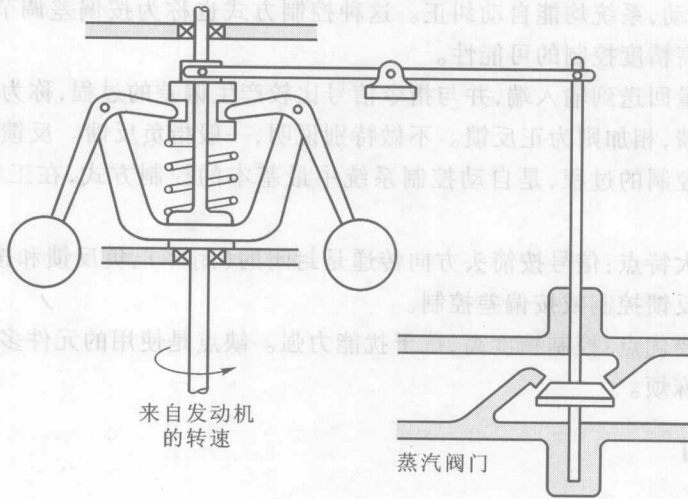


图 1-6 Watt 的飞球调节器

20世纪50年代,控制理论的重点是 $s$ 平面法。在这一时期,根轨迹法的应用占主导地位。到20世纪80年代,逐步采用数字计算机作为控制器部件。随着宇航技术的发展,自动控制理论的发展又获得了新的动力,控制系统的设计向高精度、高复杂性发展,人们开始进行最优控制理论、鲁棒控制等现代控制方法的研究。目前,自动控制理论已日臻完善,并得到了广泛的应用。

## 1-2 自动控制的基本方式

### 一、闭环控制

其职能方框图如图1-7所示。



图 1-7 闭环控制框图

这种控制方式的原理是:需要控制的是被控对象的被控量,而测量的则是被控量和给定值,